



Die Deutsche Arbeitsfront

Das Grundwissen des Telegraphenbau- handwerkers

Teil II

Herausgeber: Der Reichsorganisationsleiter der NSDAP.

Das Grundwissen des Telegraphenbau- handwerkers

Teil II

3. Auflage

Als Manuskript gedruckt

Nr. 371

Verantwortlich:

Amt für Berufserziehung und Betriebsführung der Deutschen Arbeitsfront

Bearbeitet von:

**Sachamt Energie • Verkehr • Verwaltung, Abteilung Berufserziehung
in Zusammenarbeit: Amt für Berufserziehung und Betriebsführung**

Zu beziehen durch:

Lehrmittelzentrale der Deutschen Arbeitsfront, Berlin-Zehlendorf, Teltower Damm 87/91

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
I. Magnetismus.	
1. Natürliche Magnete	7
2. Künstliche Magnete	7
3. Verteilung des Magnetismus	8
4. Nachweis der magnetischen Kraft	8
5. Innere Beschaffenheit der Magnete.	8
6. Koerzitivkraft	9
7. Magnetisches Feld	11
8. Erdmagnetismus	13
II. Elektromagnetismus.	
1. Magnetisches Kraftfeld eines stromdurchflossenen Leiters	15
2. Ausführungsformen von Elektromagneten	18
3. Neutrale und polarisierte Elektromagnete.	19
4. Spulen ohne magnetisches Feld	21
5. Der stromdurchflossene Leiter im magnetischen Feld	22
6. Induktion	27
7. Induktion in ruhenden Leitern	29
8. Induktivität (Selbstinduktion)	30
III. Schaltung, Bemessung und Unterhaltung von Batterien. Unterhaltung der Sammelbatterien.	33
IV. Stromarten.	
1. Gleichstrom und Gleichstromquellen.	41
2. Wechselstrom	41
3. Messung des Wechselstromes	43
4. Der Kondensator	47
	3

5. Schaltung von Kondensatoren	50
6. Glühkathoden-Gleichrichter	50
V. Ruffstromerzeuger.	
1. Der Kurbelinduktor	57
2. Der Polwechsler	61
3. Die Wecker:	
a) Gleichstromwecker	62
b) Wechselstromwecker	64
4. Fernsprechrelais	65
VI. Grundsätzliches aus der Lehre vom Schall.	
1. Wesen und Entstehung des Schalles	69
2. Fortpflanzung des Schalles	69
3. Geschwindigkeit des Schalles	69
VII. 1. Der Fernhörer	
2. Das Mikrophon	72
3. Induktionsspulen	74
4. Zähler	77
5. Fernsprechapparate und Schaltungen	78

Vorwort

Der Teil I der Arbeitsunterlage „Das Grundwissen des Telegraphenbauhandwerkers“ erreichte in wenigen Monaten mehrere Auflagen. Er behandelte einleitend die Gesetze über Fernmeldeanlagen und Telegraphenwege und führte ein in die „physikalischen Grundbegriffe“, in das Gebiet der „strömenden Elektrizität“ und in den „geschlossenen elektrischen Stromkreis“. Der nunmehr vorliegende II. Teil des „Grundwissens“ will weiterführen, und zwar in die Gebiete „Magnetismus“, „Elektromagnetismus“, „Schaltung, Bemessung und Unterhaltung von Batterien, Unterhaltung der Sammelbatterien“, „Stromarten“, „Ruffstromerzeuger“ und „Grundsätzliches aus der Lehre vom Schall“. Weiter wird abschließend behandelt: Fernhörer, Mikrophon, Induktionsspulen, Zähler- und Fernsprechapparate sowie Schaltungen.

Die angehenden Telegraphenbauhandwerker, aber auch die bereits langjährig tätigen, werden das Erscheinen der neuen Arbeitsunterlage begrüßen, da sie ein weiteres Hilfsmittel erhalten, das Wissen vermittelt und zur Wissensauffrischung und -vertiefung anregt.

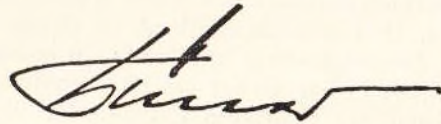
Die neue, mit vielen Zeichnungen ausgestattete Arbeitsunterlage will nicht ein „Lehrbuch“ sein, sondern ein Helfer in Kursen und Arbeitsgemeinschaften der Telegraphenarbeiter, die sich Berufswissen aneignen oder sich auf die Handwerkerprüfung vorbereiten wollen.

Auch der Teil II ist von Praktikern erstellt und kursusmäßig durchgeprüft worden. Wir sind den bekannten Bearbeitern des I. Teils des „Grundwissens des Telegraphenbauhandwerkers“, dem Leiter unserer Postlehrgänge und Arbeitsgemeinschaften im Gau Baden, Herrn technischen Telegrapheninspektor Müller, Karlsruhe, Herrn Obertelegrapheninspektor Wilberg, Berlin, dem Schriftleiter der Zeitschrift „Die Postbetriebschule“, Ausgabe Tele-

graphen- und Fernsprehdienst, und unserem fachlichen Mitarbeiter, Herrn Telegrapheninspektor Lorenz, Berlin, dankbar, daß sie in Verbindung mit unserer Abteilung Berufserziehung auch die Bearbeitung des Teils II durchgeführt haben.

Wir wünschen dieser Arbeitsunterlage die gleiche freudige Aufnahme und den gleichen Erfolg, die der Teil I des „Grundwissens“ bei unseren Arbeitskameraden erfahren hat.

Heil Hitler!



Leiter des Fachamtes Energie — Verkehr — Verwaltung.

I. Magnetismus

1. Natürliche Magnete.

Körper, die Eisenstücke anzuziehen und festzuhalten vermögen, nennen wir Magnete. Schon die alten Griechen kannten diese Eigenschaft bei einer in Kleinasien in der Nähe der Stadt Magnesia vorkommenden Gesteinsart (Eisenerz). Hierauf ist der Name Magnet zurückzuführen. Späterhin fand man in Schweden und auch in anderen Ländern Eisenerze, die diesen natürlichen Magnetismus besitzen.

2. Künstliche Magnete.

Die natürlichen Magnete sind für technische Zwecke wenig geeignet. Ihr Vorkommen ist verhältnismäßig gering, die magnetische Wirkung schwach. Ferner lassen sie sich nicht in die für die Technik erforderlichen Formen bringen. In der Technik verwendet man deshalb künstliche Magnete, meist in Stab- oder Hufeisenform. Bestreicht man einen zweckentsprechend geformten Körper aus gehärtetem Stahl mit einem starken Magneten oder leitet man einen elektrischen Strom um ihn herum, so wird er magnetisch und behält den ihm mitgeteilten Magnetismus. Er ist zu einem künstlichen Dauermagneten (auch permanenter Magnet genannt) geworden. Eisen oder ungehärteter Stahl, in gleicher Weise behandelt, werden nur während der Wirkung des Magneten oder des Stromes magnetisch. Sie verlieren ihren Magnetismus wieder, sobald die Ursache (Beeinflussung durch einen Magneten oder einen Strom) aufhört. Man nennt diesen Magnetismus im Eisen oder weichen Stahl vorübergehenden (temporären) Magnetismus. Allerdings verlieren Eisen und Stahl, die einmal magnetisiert wurden, ihren Magnetismus nicht völlig; es bleibt stets ein geringer Rest Magnetismus zurück, den man zurückbleibenden oder remanenten Magnetismus nennt.

3. Verteilung des Magnetismus.

Die magnetische Wirkung eines Magneten ist an **zwei Stellen** besonders stark. Diese Stellen heißen **Pole**. Die gedachte Verbindungslinie zwischen den Polen im Innern des Magneten nennt man **magnetische Achse**. Die Pole liegen bei Magneten in **Hufeisen- oder Stabform** an den **Enden**. Am mittleren Teil eines Stabmagneten läßt sich außen nur ganz schwacher Magnetismus nachweisen. Diesen Teil bezeichnet man als **Indifferenzzone**.

4. Nachweis der magnetischen Kraft.

Von jedem Magneten geht eine Kraft aus; Eisenstücke werden angezogen. Die Kraft (Tragkraft), mit der die Eisenstücke von dem Magneten festgehalten werden, ist meßbar. Hängt man einen Magneten beweglich auf, so nimmt er eine ganz bestimmte Lage ein; er stellt sich auf die **Süd-Nordrichtung** ein. Der Norden zugewendete Pol wird **Nordpol**, der Süden zugekehrte Pol **Südpol** genannt. Bei einem derart freischwebenden Magneten lassen sich die Wirkungen, die ein in die Nähe gebrachter zweiter Magnet ausübt, leicht feststellen. Es tritt eine **Anziehung** oder eine **Abstoßung** ein. Dabei besteht die gleiche Gesetzmäßigkeit, die uns aus der Lehre der ruhenden Elektrizität schon bekannt ist, nämlich:

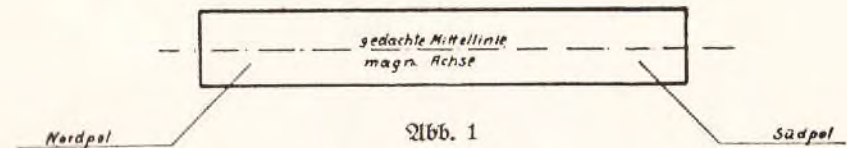
„**Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.**“

5. Innere Beschaffenheit der Magnete.

Bricht man einen Magneten in zwei Stücke, so entstehen zwei neue vollständige Magnete mit je zwei Polen. Teilt man diese in immer kleinere Teile, dann ergibt sich stets dasselbe Bild. Stets ist das Ergebnis eine entsprechende Anzahl kleinerer Magnete, auch dann, wenn diese mechanische Zerteilung bis auf allerfeinste Teilchen durchgeführt wird. Stets bleibt auch in diesen winzigen Massen der Magnetismus erhalten, nie aber wird es gelingen, die Teilung so weit zu treiben, daß magnetische Teilchen mit nur einem Nord- oder einem Südpol entstehen. Die Vorgänge in einem Magneten lassen sich nur erklären, wenn man annimmt, daß auch bei chemischer Zerlegung des Eisens in seine allerfeinsten, selbst im Mikroskop unsichtbaren Teilchen (die sogenannten Moleküle) kleinste Magnete mit

Nord- und Südpol entstehen, die **Molekularmagnete**. Jedes Stahl- oder Eisenstück besteht demnach aus einer gewaltigen Zahl derartiger winziger Molekularmagnete, deren Kräfte aber nach außen hin nicht wahrnehmbar sind, denn sie lagern sich mit ihren entgegengesetzten Polen so aneinander, daß sie sich in ihren Kräften gegenseitig aufheben. Wird aber ein Eisen- oder Stahlkörper in den Bereich eines starken Magneten gebracht, so richten dessen Kräfte die Molekularmagnete so, daß sie alle mit den gleichen Polen in derselben Richtung wirken. Das Eisen erscheint magnetisch. Wird das Eisen wieder vom Magneten entfernt, so lagern sich die Molekularmagnete wieder um, ihren eigenen anziehenden und abstoßenden Polkräften folgend.

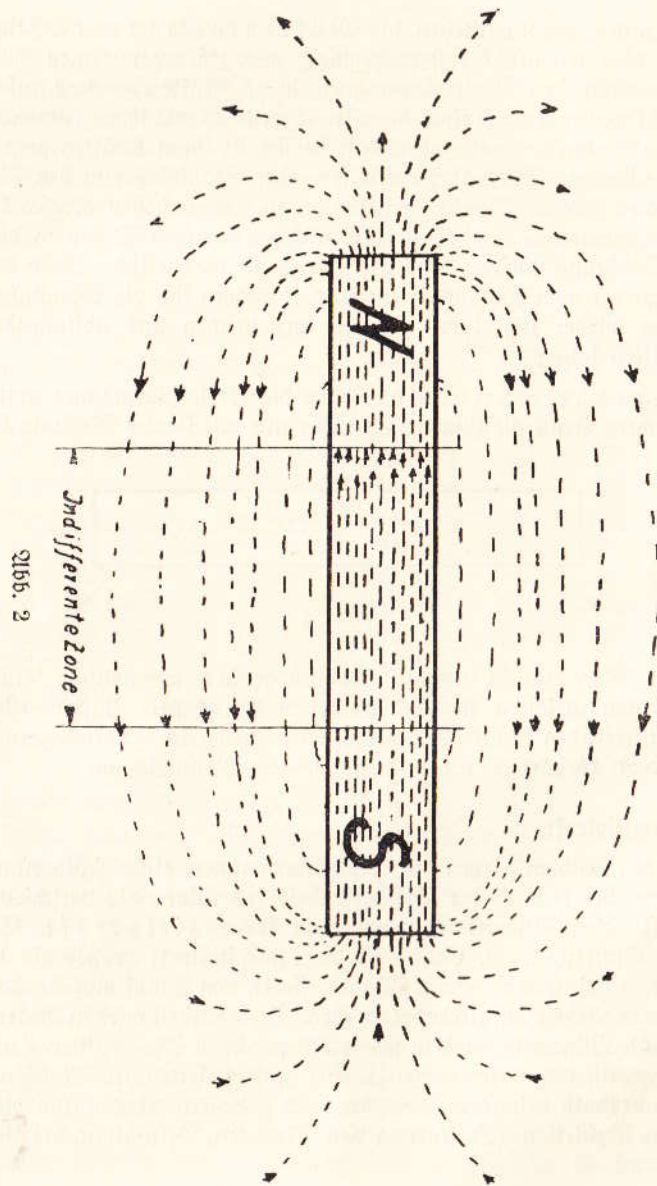
Im **gehärteten Stahl** stehen die Molekularmagnete unter erheblichem Druck, sie können sich daher nur mit starker Reibung be-



wegen. Man braucht deshalb erheblich größere magnetische Kraft, um sie gleichzurichten, sie werden aber auch nach dem Aufhören der magnetisierenden Kraft durch eben diesen Druck an der Umlagerung verhindert: Gehärteter Stahl behält seinen Magnetismus.

6. Koerzitivkraft.

Dem „**Richten**“ setzen die Molekularmagnete einen Widerstand entgegen, der je nach der Beschaffenheit des Materials verschieden stark ist. Den Widerstand nennt man **Koerzitivkraft**. Bei harten Stoffen, z. B. Stahl, ist die Koerzitivkraft größer als bei weichen, z. B. Eisen. Beim Magnetisieren von Stahl muß deshalb auch mehr Arbeit aufgewendet werden. Diese Arbeit wird in Wärme umgesetzt. Allgemein wird in jedem Körper beim Magnetisieren und Ummagnetisieren Wärme erzeugt. Bei großen elektrischen Maschinen müssen deshalb besondere Vorkehrungen getroffen werden, um diese Wärme abzuleiten. (Entlüftung von Motoren, Deltühlung bei Umlagern.)



7. Magnetisches Feld.

Den Kraftbereich eines Magneten, überhaupt jeden Raum, in dem magnetische Kräfte wirksam sind, nennt man ein **magnetisches Feld**. Man kann dieses Feld sichtbar machen, wenn man ein Stück Pappe, eine Glasscheibe usw. auf einen Magneten legt und darauf Eisenfeilspäne streut. Bei leichtem Klopfen gegen die

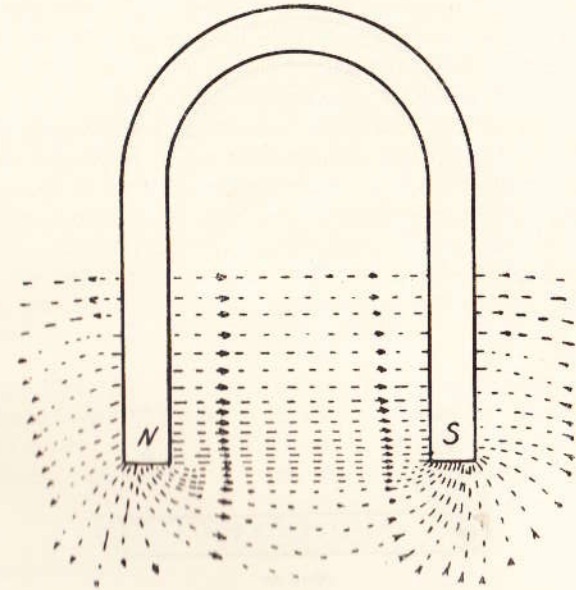


Abb. 3

Platte ordnen sich dann die Eisenfeilspäne in Kurven an, die zwischen den Polen verlaufen. Man nennt diese Kurven **Kraftlinien**. Man sieht, daß diese Kraftlinien vor den Polen dicht gedrängt sind (Abb. 2 u. 3) und sich zwischen den Polen voneinander zu entfernen suchen. Je dichter die Kraftlinien aneinander liegen, desto stärker ist an dieser Stelle das Feld. Wie wir wissen, sind die magnetischen Kräfte nur in der den Magneten umgebenden Luft nachweisbar. Man nimmt an, daß die Kraftlinien beim Nordpol aus den Ma-

gneten aus- und beim Südpol in diesen wieder eintreten und bezeichnet daher die äußere Verbindungslinie vom Nord- zum Südpol eines Magneten als die Richtung des Feldes oder der Kraftlinien. Man muß dann auch annehmen, daß im Innern des Magneten die Richtung vom Südpol zum Nordpol führt.

Je länger der Weg der magnetischen Kraftlinien vom Nord- zum Südpol durch die Luft ist, desto schwächer wird das magnetische

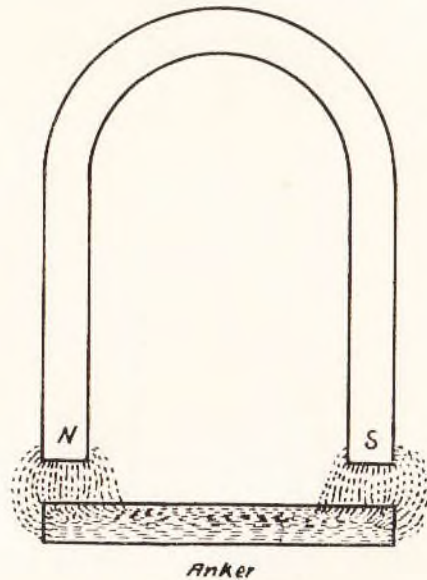


Abb. 4

Feld. Je länger nun ein Stabmagnet wird, desto länger wird der Luftweg für die Kraftlinien und desto schwächer wird das Feld. Denken wir uns nun den Stabmagneten so gebogen, daß seine Pole sich einander nähern (Uebergang zur Ring- oder Hufeisenform), dann wird der Weg der Kraftlinien durch die Luft immer kürzer, es wird Luftwiderstand ausgeschaltet, und das Feld zwischen den Polen wird immer stärker. Je enger der Luftspalt zwischen den Polen wird, desto kräftiger wird die magnetische Wirkung in ihm

und natürlich auch der Kraftlinienfluß im Innern des Magneten. Man spricht von Kraftliniendichte oder Feldstärke und bestimmt diese nach der Zahl der Kraftlinien, die an der zu messenden Stelle durch eine Fläche von 1 cm^2 hindurchtreten.

Bringt man, wie in Abb. 4, ein Stück Eisen (einen sogenannten Anker) in ein magnetisches Feld, so sieht man bei einem Versuch mit Eisenfeilspänen, daß eine erhebliche Zahl von Kraftlinien versucht, den Weg durch die Luft zu verlassen und durch das Eisen zu gehen. Der Grund dafür ist, daß Eisen den magnetischen Kraftlinien einen Weg von erheblich geringerem Widerstand bietet als die Luft. Diese magnetische Leitfähigkeit eines Stoffes nennt man seine Permeabilität. Einige Stoffe, z. B. Eisen, Nickel, Kobalt, leiten die magnetischen Kraftlinien besser als Luft, sie werden daher von ihnen aufgesucht. Eisen nimmt unter diesen eine besondere Stellung ein, weil es im magnetischen Feld infolge Gleichrichtung seiner Molekularmagnete selbst zusätzliche magnetische Kraft erzeugt und ausstrahlt. Andere Stoffe, wie Kupfer, Silber, Antimon, lassen magnetische Kraftlinien nicht so leicht durch sich hindurchtreten als die Luft; sie haben geringere Permeabilität und werden daher von den Kraftlinien nach Möglichkeit umgangen.

Bei der D R P.

gebräuchliche Formen
künstlicher

Dauermagnete.

Nadeln bei Meßgeräten,

Hufeisenmagnete bei Fernhörern,

Weckern, Relais, Rurbelinduktoren;

die künstlichen Dauermagnete sind
durchweg Stahlmagnete.

8. Erdmagnetismus.

Die Erde ist der größte natürliche Magnet. Das magnetische Feld macht sich bei einer freischwebenden Magnetnadel bemerkbar. Die Nadel stellt sich in die Nord-Südrichtung ein. Die Kompaßnadel zeigt aber nicht nach dem geographischen Pol der Erde, sondern nach dem magnetischen Pol, die sich nicht decken. Die Abweichung von der genannten Nord-Südrichtung heißt *Deklination*. Wenn wir ferner eine Magnetnadel so aufhängen, daß sie wie ein Waagebalken in der senkrechten Ebene schwingen kann, dann sehen wir, daß die magnetische Achse der Nadel nicht in der waagerechten Lage verharrt. Sie bleibt nur am Äquator in dieser Lage. Je mehr wir uns dem Nordpol der Erde nähern, desto mehr senkt sich der

Nordpol der Magnetnadel, um am Pol senkrecht gegen die Erdoberfläche zu weisen. Auf der südlichen Halbkugel verhält sich der Südpol unserer Magnetnadel in gleicher Weise. Die für die verschiedenen Breitengrade feststehenden Abweichungen der Nadel von der Waagerechten nennt man *Inklination*, die Magnetnadel *Inklinationsnadel*.

II. Elektromagnetismus

Weit stärkere Wirkungen als mit künstlichen Dauermagneten kann man mit den sogenannten Elektromagneten erreichen.

1. Magnetisches Kraftfeld eines stromdurchflossenen Leiters.

So wie bei einem Magneten ein Kraftfeld vorhanden ist, entsteht um einen Leiter herum bei *Stromdurchgang* ein magnetisches Feld. Die magnetischen Kraftlinien sind Kreise senkrecht zur Strombahn (Abb. 5). Für die *Richtung* dieser elektrischen Kraftlinien gelten folgende Regeln:

a) Kommt der Strom auf mich zu, so verlaufen die Kraftlinien in der umgekehrten Uhrzeigerrichtung (Abb. 5).

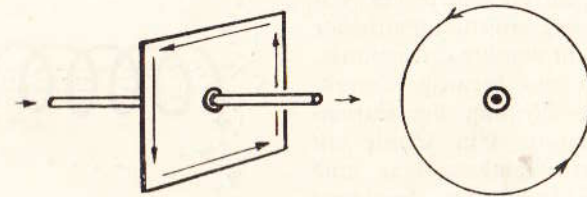


Abb. 5

b) Fließt der Strom vom Betrachter weg, so verlaufen die Kraftlinien in der Richtung des Uhrzeigers (Abb. 6).

Hinsichtlich der *Polarität* einer stromdurchflossenen Spule gilt:

a) Fließt der Strom in der *Richtung* des Uhrzeigers durch eine Spule, so wendet die Spule dem Betrachter einen *Südpol* zu.

b) Fließt der Strom im entgegengesetzten Sinne durch die Spule, so ist dem Betrachter der *Nordpol* zugekehrt.

Das magnetische Kraftfeld des elektrischen Stromes besteht nur so lange, wie der elektrische Strom fließt. Die Größe bzw. die Stärke des Feldes ist von der Stärke des Stromes abhängig.

Wickelt man einen Draht zu einer Spule auf, so entsteht bei

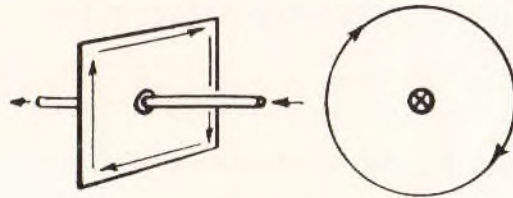


Abb. 6

Stromdurchgang innerhalb der Spule ein magnetisches Kraftfeld, dessen Kraftlinien sich außen um die Spule herum schließen. Ein vor der Spule an einer Feder aufgehängter Eisenkern wird je nach der Stärke des Feldes mehr oder weniger in die Spule hineingezogen. Da die Stärke des Feldes, wie wir wissen, unmittelbar abhängig ist von der Stromstärke, kann man eine derartige Anordnung zur Messung der Stromstärke benutzen. Eine Spule mit nur einer Windungslage und ohne Eisenkern bezeichnet man als Solenoid (Abb. 7).

Bringen wir in den Hohlraum einer Spule einen diesen ausfüllenden Eisenkern, so entsteht das magnetische Feld der Spule nicht mehr in Luft, sondern im Eisen.

Wir ersetzen also einen magnetischen Leiter geringerer Leitfähigkeit durch einen besseren Leiter und erreichen damit daselbe, wie wenn wir in einem elektrischen Stromkreis einen Widerstand durch einen niedrigeren ersetzen: Die Batterie liefert einen stärkeren Strom. In unserem Falle wird durch Einbringen des Eisenkerns der magnetische Kraftlinienfluß verstärkt. Eisen wird aber, wenn es von magnetischen Kraftlinien durchsetzt wird, selbst zu einem Magneten, der

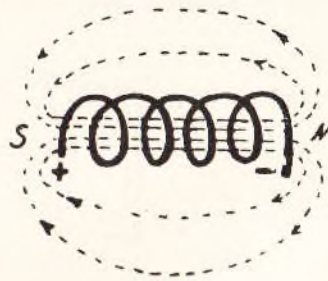


Abb. 7

nun gleichfalls Kraftlinien aussendet. An den Polen wirkt also jetzt eine Summe von Kräften: 1. die verstärkte magnetische Erregung der Spule selbst und 2. die im Eisenkern erzeugte (induzierte) magnetische Kraft. Ein solcher aus einer stromdurchflossenen Spule und einem Eisenkern bestehender Magnet wird **Elektromagnet** genannt. Abb. 8 zeigt ihn in seiner einfachsten Form.

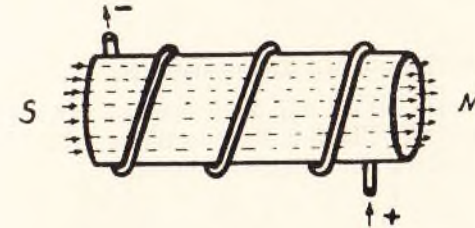


Abb. 8

Die magnetische Erregung einer Spule ist abhängig von der Stärke des Stromes (in Ampere gemessen) und davon, wie oft ein Strom dieser Stärke um den Innenraum der Spule herumgeführt wird, also von der Zahl der Windungen (W). Daraus erhalten wir eine Maßeinheit für die Erregung einer Spule: Die **Amperewindung (AW)**, das Produkt aus Stromstärke und Windungszahl. Hat z. B. eine Spule 100 Windungen und fließt ein Strom von 0,5 A hindurch, so ist sie mit $100 \cdot 0,5 = 50$ AW erregt. Verdoppeln wir die Stromstärke, so verdoppelt sich auch die Erregung. Der gleiche Strom erregt eine Spule mit 200 Windungen 10mal so stark, als eine solche mit nur 20 Windungen. 2 A und 50 W ergeben dieselbe Erregung wie 10 A bei 10 W oder wie 1 A bei 100 W usw.

Die Amperewindungszahl einer Spule ist aber nicht daselbe, wie die Kraft des Elektromagneten, dessen Bestandteil sie bildet. Wir können den Magnetismus eines Eisenkörpers nicht über eine bestimmte Grenze hinaus steigern, weil er nur eine seiner Leitfähigkeit und seinem Querschnitt entsprechende Zahl von magnetischen Kraftlinien aufnehmen kann. Dann ist das Eisen **magnetisch gesättigt**, und eine Erhöhung der Stromstärke hat keine Zunahme der magnetischen Kraft mehr zur Folge. Bis zum Eintritt der Sättigung aber haben wir in der Veränderung der Strom-

stärke ein Mittel in der Hand, um die Feldstärke eines Elektromagneten nach Belieben ändern zu können.

Die Ueberlegenheit des Elektromagneten gegenüber dem Dauermagneten beruht aber nicht nur in seiner größeren Kraft, sondern in erster Linie darauf, daß man ihn mit Hilfe des elektrischen Stromes über eine Leitung u. d. von weit entfernten Orten her magnetisch oder unmagnetisch machen kann.

2. Ausführungsformen von Elektromagneten.

Elektromagnete werden wie Dauermagnete in Stab- oder Hufeisenform hergestellt (Abb. 8 u. 9); für größere Leistungen ist natürlich der Hufeisenform der Vorzug zu geben.

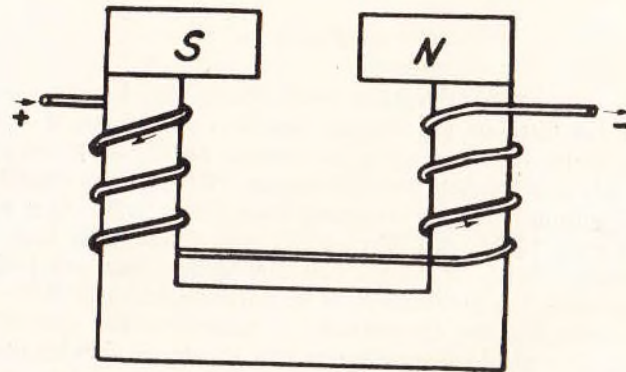


Abb. 9

3. Neutrale und polarisierte Elektromagnete.

Die bisher behandelten Elektromagnete entwickeln bei genügend starkem Stromdurchgang ein magnetisches Kraftfeld, durch das ein vor den Polen befindlicher Anker angezogen wird. Dabei ist die Polarität des Magneten ohne Einfluß, d. h. aber nichts anderes, als daß bei jeder Stromrichtung ein gleich starkes magnetisches Kraftfeld entsteht. Solche Elektromagnete werden *neutrale* Magnete genannt.

In der Fernmeldetechnik werden aber auch häufig Elektromagnete gebraucht, deren Arbeitsweise von der Richtung des Stromes abhängt. Man verwendet dazu solche, bei denen den Eisenteilen des Elektromagneten durch einen Dauermagneten bereits eine bestimmte Polarität gegeben ist. Beim Betrieb eines solchen Elek-

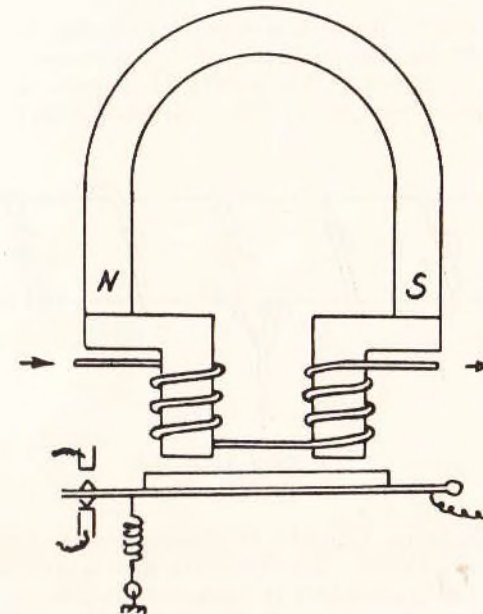


Abb. 10

tromagneten handelt es sich nun nicht so sehr darum, den zum Betrieb nötigen Magnetismus zu erzeugen, als vielmehr darum, bereits vorhandenen Magnetismus zu ändern. Elektromagnete solcher Bauart nennt man *gepolte* (polarisierte) Elektromagnete; wir sehen einen solchen einfachster Bauart in Abb. 10. Seine Wirkung können wir uns wie folgt erklären:

Bringen wir vor den Polen einen Eisenanker an, der von einer Feder mit solcher Kraft von den Polen abgehalten wird, daß die

Kraft des Dauermagneten nicht genügt, um ihn anzuziehen, und schicken dann durch die Windungen des Elektromagneten einen Strom, so wird dieser je nach seiner Richtung im Eisen einen Magnetismus erzeugen, der den des Dauermagneten unterstützt oder verstärkt, und der Anker wird angezogen, oder der im Eisen entstehende Magnetismus ist dem des Dauermagneten entgegengesetzt, schwächt ihn also, und der Anker bleibt in Ruhe.

Auch bei einer anderen Schaltung der Spulen eines Elektromagneten spricht die Stromrichtung mit. Führen wir einem solchen nach Abb. 8 den Strom in der in Abb. 11 angegebenen Weise zu, so würden bei der angenommenen Stromrichtung zwei Südpole, bei

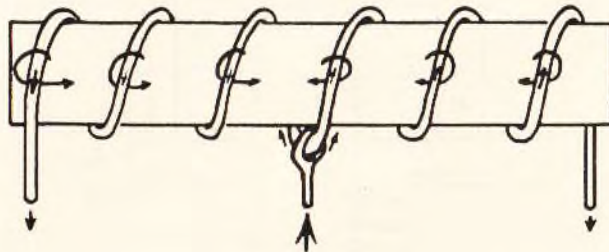


Abb. 11

umgekehrter Richtung (Wechsel der Batteriepole) zwei Nordpole gleicher Stärke entstehen. Der Magnetismus in beiden Schenkeln hebt sich auf, der Anker bleibt in Ruhe. Wird aber der Strom in der einen Wicklungshälfte durch Einschalten eines passend bemessenen Widerstandes geschwächt oder wird er unterbrochen, so zieht der Magnet unter dem Einfluß der allein oder am stärksten erregten Wicklungshälfte den Anker an. Bei dieser Ausführung wird nicht die Summe, sondern der Unterschied (die Differenz) der magnetischen Erregung wirksam. Man nennt deshalb einen Elektromagneten dieser Form Differentialmagnet.

Selbstverständlich sind dabei durch verschiedenen Widerstand beider Windungen sowie durch voneinander abweichende Windungszahlen oder Zusammenfassung beider Möglichkeiten die verschiedensten Bau- und Wirkungsweisen gegeben. Wir wollen uns hier aber auf die einfachsten und übersichtlichsten Grundzüge beschränken.

4. Spulen ohne magnetisches Feld.

In der Fernmeldetechnik ist es aus technischen und wirtschaftlichen Gründen vielfach nötig oder doch vorteilhaft, auf einem Elektromagneten zusätzliche Wicklungen unterzubringen, die aber, vom Strom durchflossen, keine magnetischen Wirkungen haben. Man wendet in diesem Falle die sogenannte bifilare Wicklung an. Dazu verbindet man zwei Drähte leitend miteinander und wickelt sie nebeneinander zur Spule auf, wie Abb. 12 zeigt. Ein durch eine derartige Wicklung gesandter Strom erzeugt in zwei benachbarten Windungen stets entgegengesetzte gleich starke Felder, die sich aufheben.

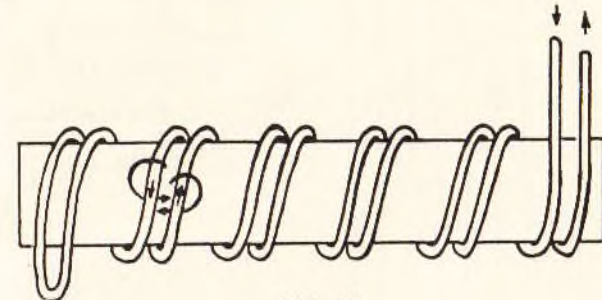


Abb. 12

5. Der stromdurchflossene Leiter im magnetischen Feld.

Bringen wir einen elektrischen Leiter in der Art in ein magnetisches Feld, wie es in Abb. 13 a geschehen ist, dann wird er, sobald er von einem Strom durchflossen wird, senkrecht zum magnetischen Feld in diesem bewegt. Die Richtung der Bewegung ist abhängig von der Richtung des im Leiter fließenden Stromes. Sie kann nach der sogenannten „Dreifingerregel der linken Hand“ ermittelt werden. Bringt man die Finger der linken Hand in die in Abb. 13 b gezeigte Stellung, also den gestreckten Zeigefinger in die Richtung der magnetischen Kraftlinien (vom Nordpol zum Südpol) und den rechtwinklig abgelenkten Mittelfinger in die Richtung des im Leiter fließenden Stromes, dann zeigt der abgespreizte Daumen die Richtung der Bewegung an. Unter den in Abb. 13 a gegebenen Bedingungen wird demnach der Leiter eine Bewegung nach rechts ausführen. Kehren wir die Stromrichtung um (in diesem Falle

müssen wir, da der Strom nun von hinten nach vorn fließt, die linke Hand um 180° drehen — Abb. 13 c —, so wird der Leiter von rechts nach links bewegt.

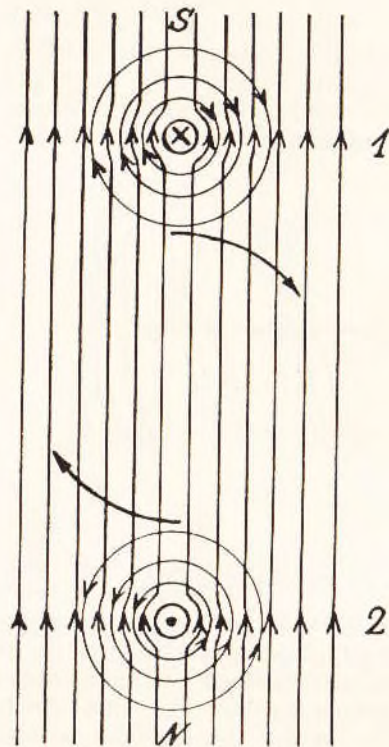


Abb. 13 a

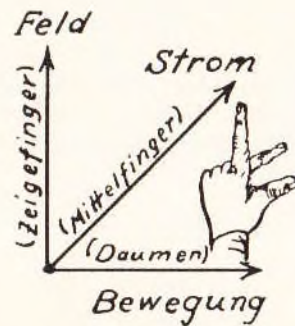


Abb. 13 b

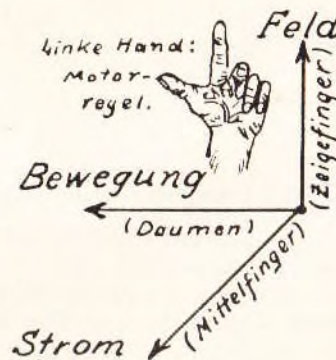


Abb. 13 c

Der Vorgang ist nicht schwer zu verstehen. Wir haben zunächst ein magnetisches Feld, dessen Kraftlinien vom Nordpol zum Südpol verlaufen. In dieses Feld bringen wir einen Kupferleiter. Kupfer leitet den Magnetismus schlechter als Luft, infolgedessen biegen sich die Kraftlinien außen um den Kupferquerschnitt herum (s. Abb. 13 a). Da sie stets den kürzesten Weg zu nehmen suchen,

üben sie von beiden Seiten her einen Druck auf den Leiter aus, der sich aber aufhebt, da er von beiden Seiten her mit gleicher Kraft wirkt. Senden wir nun einen Strom durch den Leiter, so entsteht ein zweites magnetisches Feld, dessen Stärke und Richtung von dem durch den Leiter fließenden Strom abhängen. Dem vom Beschauer fortfließenden Strom ($\times$ im Querschnitt) entspricht ein Feld, das auf der rechten Seite des Leiters von oben nach unten, auf der linken von unten nach oben gerichtet ist. Das erste Feld wird demnach auf der linken Seite verstärkt, auf der rechten aufgehoben oder ge-

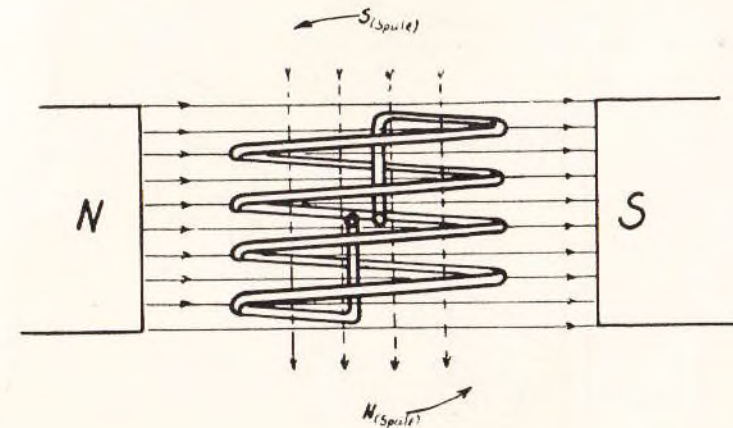


Abb. 14

schwächt. Es wird also von links her ein (magnetischer) Druck auf den Leiter ausgeübt, und dieser bewegt sich deshalb nach rechts. Der auf den Beschauer zufließende Strom ($\cdot$ im Querschnitt) führt, wie aus dem Bilde hervorgeht, für diesen Leiter die entgegengesetzte Bewegung herbei.

Verbinden wir beide Leiter auf der Rückseite zu einer Schleife, geben wir ihr eine feste Achse A, um die sie sich drehen kann, und senden wir nun einen Strom durch diese Schleife, der wie in Abb. 13 a im oberen Teil von vorn nach hinten, im unteren von hinten nach vorn fließt, so führt die Schleife eine Drehbewegung aus, wie ohne weiteres einzusehen ist, besonders wenn wir die stromdurchflossene Schleife (Spule) nach Abb. 15 betrachten.

Es besteht ein magnetisches Feld zwischen N und S (waagrecht); der die Schleife oder Spule durchfließende Strom erzeugt in der gezeichneten Lage ein Feld, das senkrecht zu dem ersten steht. Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. Infolgedessen wird die Spule sich unter dem Einfluß der magnetischen Kräfte drehen, bis ihr Südpol vor dem Nordpol des Dauerfeldes liegt.

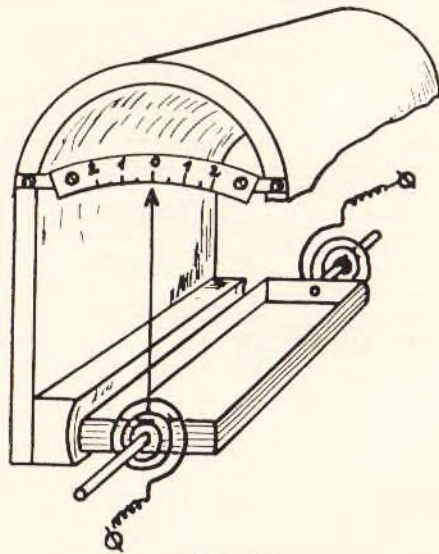


Abb. 15

Bringen wir an der Achse der Drehspule zwei entgegengesetzt wirkende Spiralfedern an (Abb. 16), so erhält durch deren Gegenspannung die Spule eine bestimmte Ruhelage im Feld.

Bei Stromdurchgang wird die Spule dann von zwei Kräften beeinflusst, und zwar von dem in Richtung und Stärke vom Strom bestimmten magnetischen Feld, das die Spule zu drehen sucht, und der dem entgegenwirkenden Kraft der Spiralfedern. Die Spule wird also nur soweit abgelenkt werden, bis das Gleichgewicht beider Kräfte erreicht ist, d. h. einem bestimmten Strom entspricht eine be-

stimmte Ablenkung. Rüstet man die Spule mit einem Zeiger aus, der vor einer Skala spielt, so kann man diese so einrichten, daß die der Ablenkung entsprechenden elektrischen Werte direkt abgelesen werden können. Wir sehen also in dieser Anordnung die Grundform der sogenannten Drehspul-Meßgeräte, die für Messungen in Gleichstromkreisen als Galvanometer, Strom-Span-

nungs- und Widerstandsmesser hauptsächlich verwendet werden. Aber nicht nur die am meisten gebrauchten Meßinstrumente beruhen auf den Grundsätzen über den stromdurchflossenen Leiter im Feld, sondern diese sind auch bestimmend für den Bau der Elektromotoren.

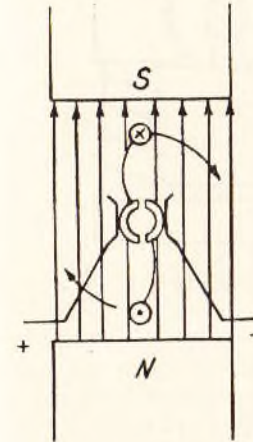


Abb. 16

Wir haben bereits erwähnt, daß eine stromdurchflossene Windung oder eine aus einer Anzahl solcher Windungen bestehende Spule sich in einem magnetischen Feld dreht, bis ihre Pole vor den ungleichnamigen Polen des Feldes liegen. Sorgt man dafür, daß der Strom in dem Augenblick, in dem dieser Zustand erreicht ist, die Richtung wechselt, so wechselt die Spule ihre Pole und die Drehung setzt sich fort. Eine Einrichtung, die diesen Wechsel der Stromrichtung selbsttätig vornimmt, nennt man

Stromwender oder Kommutator.

Abb. 16 zeigt uns einen solchen in seiner einfachsten Form. Auf der Achse der drehbaren Schleife sind zwei halbkreisförmige Kupferstücke isoliert voneinander und von der Achse befestigt. Zwischen ihnen liegt die stromdurchflossene Windung oder Wicklung; dieser wird der Strom zugeführt durch Vermittlung zweier auf dem Kommutator schleifenden Metall- oder Kohlebürsten. Der Kommutator nimmt an der Drehung der Schleife teil und ist so eingestellt, daß in dem Augenblick, in dem die Schleife nach dem vorstehend Gesagten zur Ruhe kommen würde, der Strom in ihr seine Richtung ändert, die Bewegung also fortgesetzt wird. Wir haben hier also die Grundlage des Elektromotors. Man verwendet zur Erzen-

gung des magnetischen Feldes (Felderregung) Elektromagnete und speist diese aus derselben Gleichstromquelle, die den Strom für die bewegte Wicklung liefert. Durchfließt der Strom beide — Elektro-

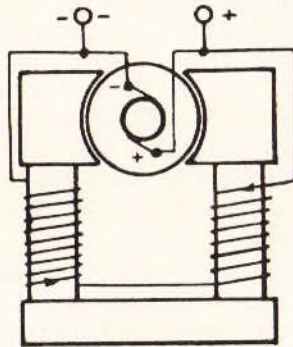


Abb. 17

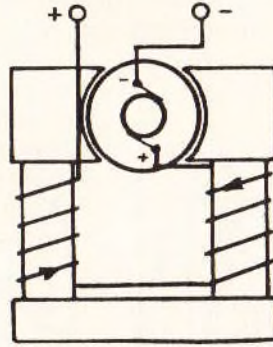


Abb. 18

magnet- und Ankerwicklung — hintereinander, so haben wir den Hauptstrommotor (Abb. 17); liegen beide nebeneinander im Stromkreis, dann nennen wir ihn Nebenschlussmotor (Abb. 18). Als Anker bezeichnet man den bewegten Teil des Motors, er be-

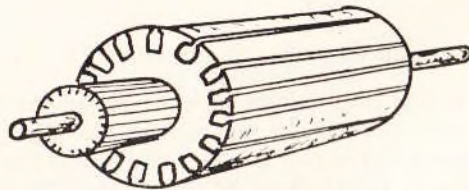


Abb. 19

steht aus einem ringförmigen oder zylindrischen Eisenkörper mit der Achse, der auf seiner Oberfläche die wirksamen Teile der Wicklung trägt, und dem Kommutator (Abb. 19). Die Wicklung verteilt sich in vielen Windungen über die ganze Ankeroberfläche und auch der

Kommutator besteht aus vielen einzelnen Lamellen. Der über die Bürsten zugeführte Strom durchfließt die Ankerwindungen stets so, daß das Feld der Ankerwicklung mit dem der Feldmagnete einen Winkel bildet; der Anker dreht sich, solange der Strom fließt.

Eingehende Beschreibung der Elektromotore würde den Rahmen dieses Aufsatzes überschreiten. Sie soll einer besonderen Abhandlung vorbehalten bleiben.

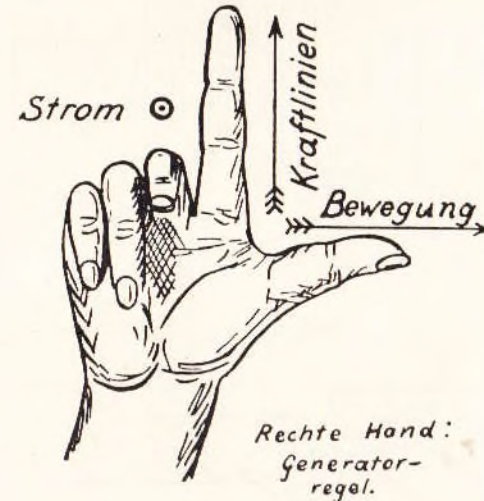


Abb. 20

6. Induktion.

Unter Induktion verstehen wir die Wirkung eines magnetischen Feldes auf einen elektrischen Leiter. Wird ein Leiter in einem magnetischen Felde so bewegt, daß er dessen Kraftlinien schneidet, oder schneiden die Kraftlinien eines bewegten Feldes einen Leiter, so wird in ihm eine Spannung induziert. Sind die Enden des Leiters außerhalb des Feldes leitend verbunden, dann fließt durch den Leiter und den äußeren Stromkreis ein Strom, den

wir Induktionsstrom nennen. Im vorigen haben wir gesehen, daß ein stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld eine Ablenkung bzw. eine Bewegung erfährt. Diese Betrachtung läßt sich umkehren in der Weise, daß durch eine mechanische Bewegung eines Leiters ein Strom erzeugt wird. Abb. 20 zeigt, wie in diesem Falle

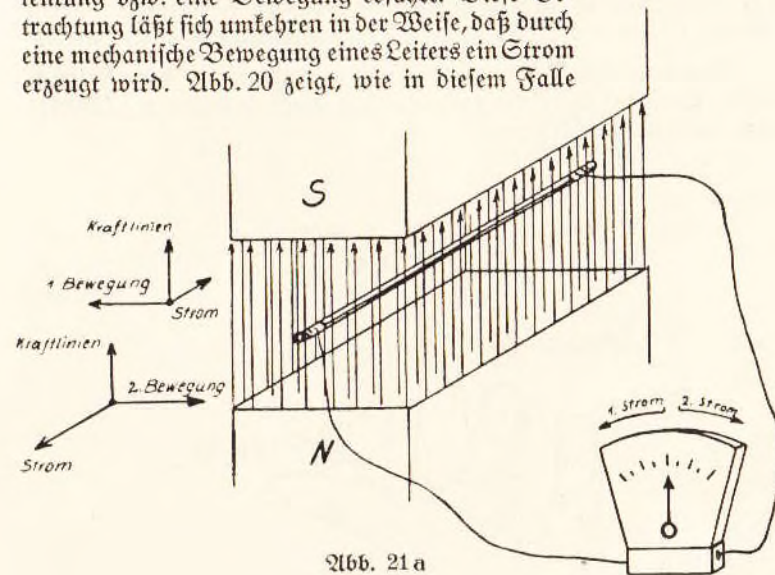


Abb. 21 a

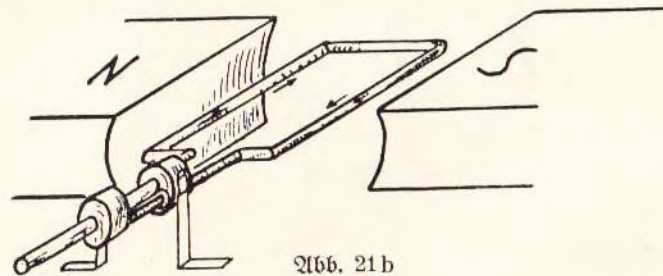


Abb. 21 b

mit Hilfe der Dreifingerregel der rechten Hand die Stromrichtung bestimmt wird. Abb. 21 a zeigt die Induktion eines bewegten Leiters und Abb. 21 b die einer bewegten Schleife. Bei Drehung liefert die Spule einen Strom wechselnder Richtung. Damit haben wir die Grundanordnung eines Stromerzeugers. Für die Größe der induzierten Spannung gilt die Regel:

— Die induzierte Spannung ist um so größer, je schneller der Leiter durch das Magnetfeld bewegt wird, je mehr Kraftlinien er also in jeder Sekunde schneidet. — Die Induktionswirkung dauert nur so lange, als die Bewegung dauert.

7. Induktion in ruhenden Leitern.

Zur Erzeugung von Induktionsspannungen in einer Spule ist es nicht unbedingt erforderlich, daß der Leiter im Magnetfeld bewegt wird. Eine Induktionswirkung wird auch dann erreicht, wenn die Zahl der magnetischen Kraftlinien, die die Spule durchsetzen, sich ändert. Diese Änderung kann, statt durch gegenseitige Bewegung, durch eine Änderung des Magnetfeldes erreicht

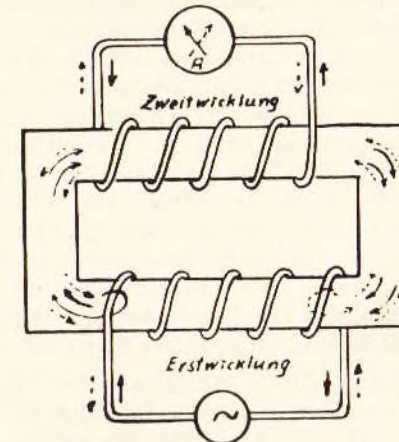


Abb. 22

werden. Bringt man zwei Wicklungen auf einem Eisenkern unter und schließt eine an eine Stromquelle und die andere an ein Meßgerät an, so beobachtet man beim Einschalten des Stromes einen Ausschlag des Meßgerätes. Beim Abschalten der Stromquelle zeigt das Meßgerät wieder einen Ausschlag, der aber jetzt entgegengesetzt gerichtet ist. Legen wir an die Erstwicklung eine Wechselspannung, so ändert sich das magnetische Feld mit dem Wechsel des Stromes (Abb. 22). In der Zweitwicklung wird eine Spannung induziert, die die gleiche Wechselzahl wie die angelegte Spannung hat. Die Größe

der Spannung ist abhängig von dem Verhältnis der Windungszahlen der beiden Wicklungen. Eine solche Anordnung, zwei Spulen auf einem Kern, heißt *Induktionspule*. Wir unterscheiden dabei zwei Abarten: Haben beide Wicklungen gleiche oder annähernd gleiche Windungszahlen, so bezeichnen wir sie als *Uebertrager*; bei voneinander abweichenden Windungszahlen nennen wir sie *Umspanner* oder *Transformatoren*.

8. Induktivität (Selbstinduktion).

Wenn die Stromstärke in einem Leiter oder gar auch die Stromrichtung sich ändert, dann wird in dem Leiter stets eine Kraft ausgelöst, die diese Aenderung zu hindern sucht. Es handelt sich dabei um einen physikalischen Vorgang, der uns allen aus Erscheinungen des täglichen Lebens in anderer Form vertraut ist. Wollen wir einen beladenen Wagen in Bewegung setzen, so ist dazu eine erhebliche Kraft anzuwenden und trotzdem folgt der Wagen der wirkenden Kraft zunächst nur langsam und erst nach einer gewissen Zeit hat er die gewollte Geschwindigkeit erreicht. Die mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fortbewegte Masse setzt jeder Aenderung dieser Geschwindigkeit, gleichviel, ob sie größer oder kleiner werden soll, einen Widerstand entgegen. Die bewegte Masse bleibt auch nicht sofort stehen, wenn die bewegende Kraft aufhört, es muß eine gewisse Kraft zum Bremsen aufgewendet werden. Dieses Bestreben jeder Masse, im Zustand der Ruhe oder der Bewegung zu verharren, nennt man das *Beharrungsvermögen*.

Auch der elektrische Strom besteht aus einer Bewegung aller kleinster Masseteilchen, der Elektronen, und auch für ihn gilt daher das Beharrungsgesetz. Wird ein Gleichstromkreis geschlossen, so vergeht eine gewisse (wenn auch kurze) Zeit, bis der Strom die dem Ohmschen Gesetz entsprechende Stärke erreicht. Ein gleichmäßig fließender Strom löst immer Kräfte aus, die jeder Stromänderung entgegenwirken. Wenn auch diese Vorgänge bei der Schnelligkeit ihres Ablaufs nicht ohne weiteres zu erkennen sind, ist ein anderer kaum zu übersehen: Beim Unterbrechen eines Gleichstromes springt nach dem Öffnen des Kreises an der Unterbrechungsstelle ein Funke über, der sogenannte *Deffnungsfunke*. Er läßt uns erkennen, daß nach der Unterbrechung eines Stromkreises in diesem eine Elektrizitätsmenge hinter dem unterbrochenen Strom hereilt, die Unterbrechung also zu hindern sucht.

Für diese Auswirkungen des Beharrungsgesetzes auf einen elektrischen Leiter ist die Bezeichnung *Induktivität* geprägt worden und die dadurch verursachten Vorgänge im Leiter faßt man unter dem Begriff *Selbstinduktion* zusammen.

Unter Induktion verstehen wir die Einwirkung eines stromdurchflossenen Leiters auf einen benachbarten durch das magnetische Feld des Stromes. Dieses Feld entsteht aber nicht erst außerhalb des stromführenden Leiters, sondern bereits im Mittelpunkt seines Querschnittes; die magnetischen Kraftlinien schneiden also zunächst den eigenen Leiter und erzeugen in ihm Ströme, die jeweils dem Vorgang entgegenwirken, der sie hervorruft.

Voraussetzung für jede Induktion und Selbstinduktion ist die Aenderung eines Stromes. Ein gleichmäßig fließender Strom hat keine Induktionswirkung. Ein Gleichstrom übt solche nur aus im Augenblick des Einschaltens, beim Verstärken, Schwächen und Unterbrechen. Ein Wechselstrom dagegen, der ja seine Stärke und seine Richtung dauernd ändert, löst im eigenen Leiter eine ununterbrochene Gegenwirkung aus, die um so stärker wird, je schneller der Wechselstrom sich ändert, d. h. je höher seine Frequenz ist. Mit anderen Worten: Ein Wechselstrom findet in einem Leiter stets einen höheren Widerstand als ein Gleichstrom, und bei einem Wechselstrom steigt der Widerstand mit wachsender Frequenz.

Windungen im Leiter erhöhen die Selbstinduktion, denn in einer Spule schneiden die magnetischen Kraftlinien den Leiter nicht nur einmal (beim Entstehen im Querschnitt), sondern sie treffen beim Verlassen des Leiters sofort auf die benachbarten Windungen, schneiden auch diese und erzeugen in ihnen Gegenspannungen.

Wird eine solche Spule dann noch mit einem geschlossenen Eisenkreis versehen zur Verstärkung des magnetischen Feldes, so wird sie undurchlässig schon für Wechselströme verhältnismäßig niedriger Schwingungszahl je Sekunde. (*Drosselspule*.)

Nun noch in Kürze einige Ausführungen über das Maß für die Induktivität. Die Induktivität (Selbstinduktion) wird mit dem Buchstaben „L“ bezeichnet und in *Henry* (H) gemessen. Um diese Maßeinheit zu verstehen, müssen wir uns vor Augen halten, daß der Ausgangspunkt für Selbstinduktion stets eine Aenderung der Stromstärke ist. Wir haben also zunächst ein Maß für die Größe dieser Aenderung festzusetzen und wählen dafür die Einheit der Stromstärke, 1 A, und die Einheit der Zeit, 1 Sekunde. Wir erhalten dann von selbst als Einheit für die Aenderung 1 A in

jeder Sekunde (1 A/s). Durch diese Stromänderung wird in einem Leiter (Spule) eine Gegenspannung erzeugt; unsere Maßeinheit für diese ist 1 V. Dann hat die Spule die Einheit der Selbstinduktion, 1 Henry, wenn in ihr Stromänderungen von 1 A je Sekunde die Gegenspannung 1 Volt erzeugen.

Beispiel:

Ein Strom ändert seine Stärke in 0,02 Sekunden um 0,5 A und erzeugt dabei in einer Spule eine Spannung von 0,1 V; dann wird die Induktivität wie folgt berechnet:

Der Strom ändert sich in 0,02 sec um 0,5 A, in 1 sec also um $\frac{0,5}{0,02} = 25$ A; die dadurch erzeugte Spannung ist 0,1 V, dann beträgt $L = 25 \cdot 0,1 = 2,5$ H.

III. Schaltung, Bemessung und Unterhaltung von Batterien

Wenn mehrere Elemente zu einer gemeinsamen Stromquelle vereinigt werden, dann nennt man diese Zusammenstellung eine Batterie. Man kann dabei die einzelnen Elemente hintereinander (in Reihe) oder parallel (nebeneinander) schalten. Es können auch beide Schaltungsarten gleichzeitig angewendet werden (gemischte Schaltung).

Wir wollen uns die Wirkung der verschiedenen Schaltungsarten an einem Beispiel durch Berechnung klarmachen, und wir wählen

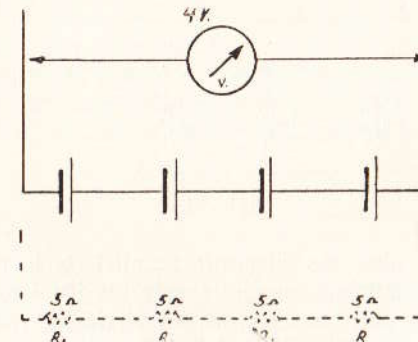


Abb. 23

dazu vier Rupperelemente mit einer Spannung von 1 V und einem inneren Widerstand von 5 Ω je Element.

In Reihe geschaltet (Abb. 23) besteht an den Polen der Batterie die Spannung E von $4 \cdot 1 = 4$ Volt. Der innere Widerstand R_i ist gleich dem vierfachen eines Elements, beträgt also $4 \cdot 5 = 20 \Omega$, da der durch das Innere der Batterie fließende Strom ja in jedem Element dessen inneren Widerstand von 5 Ω zu überwinden hat.

Verbinden wir die Batteriepole direkt miteinander, dann ist der Außenwiderstand $R_a = 0$, und die Batterie gibt uns den sogenannten Kurzschlussstrom. Nach der bekannten Formel $I = \frac{E}{R}$ hat dieser die Stärke $\frac{4}{20} = 0,20 \text{ A}$.

Den gleichen Strom aber gibt bereits ein einziges Element bei Kurzschluss, denn dann ist $E = 1 \text{ V}$, $R = 5 \Omega$ und $I = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ A}$.

Wir sehen: Bei Reihenschaltung wächst die Spannung mit jedem zugeschalteten Element, die Stromstärke aber ändert sich nicht, solange der Außenwiderstand $R_a = 0$ ist.

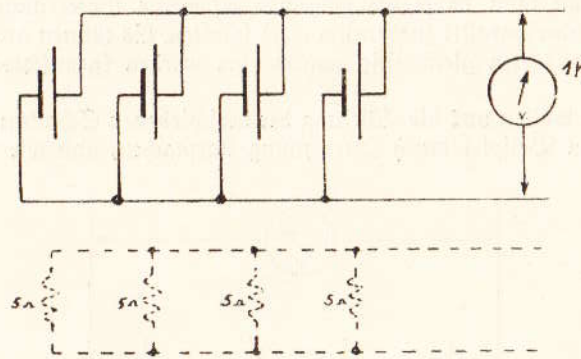


Abb. 24

Schalten wir aber die Elemente parallel, d. h. verbinden wir die vier Zinkpole miteinander und ebenso die Kupferpole, so erhalten wir damit ein einziges Element mit vierfach vergrößerten Elektroden. Wir sehen in Abb. 24, daß die Batterie nur mit der Spannung eines Elementes wirkt. Der im Innern fließende Strom aber verzweigt sich über die inneren Widerstände aller Elemente gleichzeitig. R_i ist demnach nur $\frac{1}{4}$ von dem eines Elementes.

Die Batterie gibt demnach bei Parallelschaltung einen Kurzschlussstrom $I = \frac{1}{1,25} = 0,8 \text{ A}$.

Bei Parallelschaltung von Elementen bleibt die Spannung gleich der eines Elementes; jedes hinzugeschaltete

Element vermindert anteilmäßig den inneren Widerstand und die Stromstärke wächst. Das ist leicht einzusehen, da z. B. bei vier Elementen und $R_a = 0$ die Stromstärke gleich der vierfachen eines Elementes ist, da jedes Element $\frac{1}{4}$ der Gesamtstromstärke liefert.

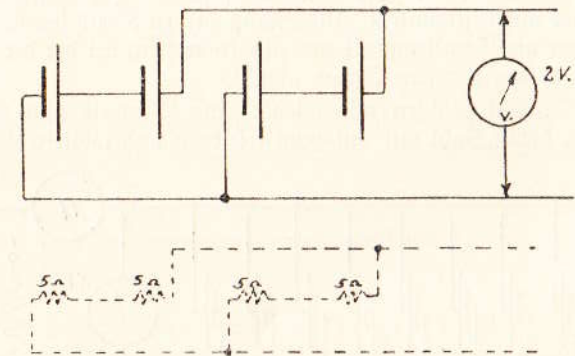


Abb. 25

In Abb. 25 haben wir vier Elemente in gemischter Schaltung zur Batterie vereinigt, indem wir zunächst zwei Gruppen von je zwei hintereinandergeschalteten Elementen bildeten. Jede Gruppe hat die Spannung 2 Volt bei einem inneren Widerstand von 10Ω . Beide

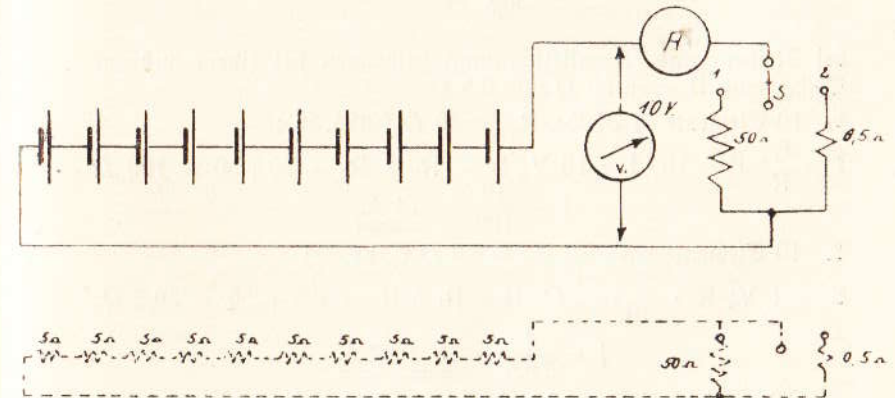


Abb. 26

Gruppen parallel ergeben eine Batterie von $E = 2 \text{ V}$ und $R_i = \frac{10}{2} = 5 \Omega$. Sie gibt einen Kurzschlußstrom von $\frac{2}{5} = 0,4 \text{ A}$.

Ein richtiges Bild vom Vorteil der verschiedenen Batterieschaltungen erhalten wir aber erst, wenn wir statt $R_i = 0$ einen Stromverbraucher mit bestimmtem Widerstand in den Kreis legen. Dann wird immer die Schaltung die vorteilhafteste sein, bei der die gleiche Elementzahl den stärksten Strom abgibt.

Als Beispiel wählen wir wieder eine Batterie aus Kupferelementen, deren Zahl wir auf zehn festsetzen und wollen diese nun

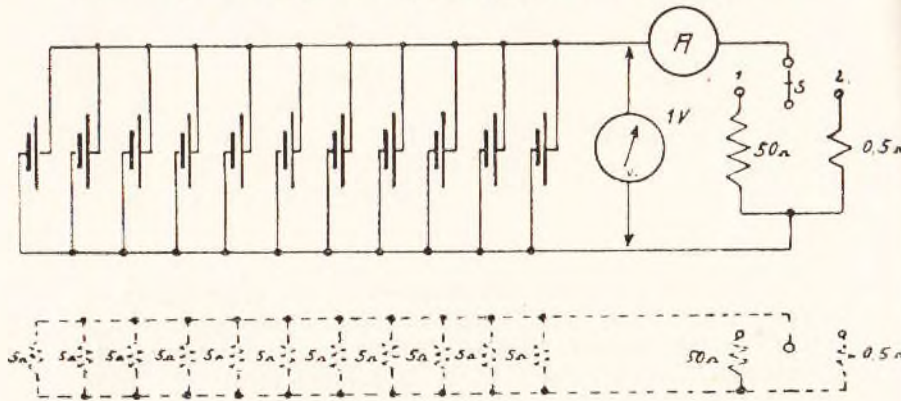


Abb. 27

bei Reihen- und Parallelschaltung betrachten bei einem äußeren Widerstand R , von 50Ω und $0,5 \Omega$.

1. 10 Elemente in Reihe, $R_i = 50 \Omega$ (Abb. 26);

$$I = \frac{E}{R}; E = 10 \cdot 1 = 10 \text{ V}; R = R_i + R_a = 50 + 50 = 100 \Omega$$

$$I = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ A.}$$

2. 10 Elemente parallel, $R_i = 50 \Omega$ (Abb. 27)

$$E = 1 \text{ V}; R_i = \frac{5}{10} = \frac{1}{2} \Omega; R = R_i + R_a = 0,5 + 50 = 50,5 \Omega;$$

$$I = \frac{1}{50,5} = \text{rd. } 0,02 \text{ A.}$$

Man wird also in diesem Falle die Reihenschaltung zu wählen haben.

3. 10 Elemente in Reihe, $R_i = 0,5 \Omega$

$$E = 10 \text{ V}, R = 50 + 0,5 = 50,5 \Omega;$$

$$I = \frac{10}{50,5} = \text{rd. } 0,2 \text{ A.}$$

4. 10 Elemente parallel, $R_i = 0,5 \Omega$

$$E = 1 \text{ V}, R = 0,5 + 0,5 = 1 \Omega;$$

$$I = \frac{1}{1} = 1 \text{ A.}$$

Die Parallelschaltung ist in diesem Falle vorteilhafter.

Grundsatz: Eine Batterie hat stets den besten Wirkungsgrad, wenn $R_i = R_a$ ist.

Man wählt daher bei höherem Außenwiderstand die Reihenschaltung und bei geringerem die Parallelschaltung. Zur genauen Anpassung muß u. U. die gemischte Schaltung dienen.

Unterhaltung der Sammlerbatterien.

Wir haben die physikalischen Grundlagen der Sammler bereits in der Arbeitsunterlage „Grundwissen des Telegraphenbauhandwerkers“, Teil I, besprochen. Sammler sind elektrolytische Zellen mit Bleielektroden in verdünnter Schwefelsäure, in denen ein von außen zugeführter elektrischer Strom chemische Vorgänge auslöst, die die Elektroden gegeneinander so verändern, daß ein Element entsteht, dem ein erheblicher Teil der zugeführten Energie in Gestalt eines elektrischen Stromes wieder entnommen werden kann. Die Menge der in einem Sammler aufzuspeichernden Energie hängt ab von der Größe der Oberfläche der Elektroden (Bleiplatten). Die Aufnahmefähigkeit der einzelnen Sammler (die Kapazität) ist also verschieden; sie wird in Amperestunden (Ah) gemessen. Man versteht darunter das Produkt aus Stromstärke (A) und Stromdauer (h). Entnehmen wir daher einer Stromquelle einen Strom von 1 A eine Stunde lang, so hat sie 1 Ah hergegeben; oder senden wir 20 A drei Stunden lang durch eine Sammlerbatterie, so hat sie 60 Ah erhalten.

Als Kapazität des Sammlers bezeichnen wir aber nicht die Zahl der Ah, die wir zu seiner Ladung aufwenden, sondern die, die im Sammler chemisch gebunden werden, das ist die Energie, die wir ihm wieder entnehmen können. Diese ist aber nicht gleich der bei der Ladung aufgewendeten, denn es entstehen bei der Ladung (hauptsächlich durch die Gasentwicklung) Verluste, die mit etwa 10 v. H. zu bewerten sind; d. h. wir müssen einem Sammler

330 Ah zuführen, um ihm 300 Ah entnehmen zu können. Diese 300 Ah sind die Kapazität der Zelle.

Die Kapazität hängt aber nicht nur von der Größe der Plattenoberfläche ab, sondern sie wird wesentlich beeinflusst durch die Stärke des Entladestromes. Derselbe Sammler gibt, mit starkem Strom entladen, eine erheblich geringere Strommenge her, als wenn ihm nur schwache Ströme entnommen werden. Darauf muß bei der Feststellung seiner Kapazität Rücksicht genommen werden.

Gibt uns z. B. ein Sammler bestimmter Bauart fünf Stunden lang einen Strom von 40 A bis zur Erreichung der unteren Spannungsgrenze von 1,85 V, dann hat er eine Kapazität von $40 \cdot 5 = 200$ Ah. Entnehmen wir demselben Sammler etwa 100 A, so sinkt die Spannung bereits nach $1\frac{1}{2}$ Stunden auf 1,85 V, die Kapazität beträgt also nicht mehr 200, sondern nur noch $100 \cdot 1\frac{1}{2} = 150$ Ah. Sie wächst über 200 Ah, wenn die Zelle mit einer geringeren Stromstärke als 40 A entladen wird. Bei Angabe der Kapazität muß demnach stets zu ersehen sein, für welche Entladestromstärke sie gilt. 300 Ah/3 st. bedeutet, daß dem Sammler seine volle Kapazität in 3 Stunden entnommen werden kann. Er muß also 3 Stunden hindurch 100 A leisten. Ein Sammler von 300 Ah/10 st. dagegen gibt 10 Stunden lang 30 A ab. Die Sammler müssen in ihrer Bauart stets der Stromstärke angepaßt sein, für die sie bestimmt sind; man soll also nicht einen Sammler für dreistündige Entladung in Anlagen verwenden, in denen nach der Betriebsstromstärke ein solcher für zehnstündige Entladung genügen würde; denn dauernde Entladung mit zu schwachen Strömen setzt die Lebensdauer der Sammler ebenso herab, wie dauernde Belastung mit zu starkem Entladungsstrom.

Das Verhältnis der abgegebenen Ah zu den bei der Ladung aufgewendeten nennt man den elektrochemischen Wirkungsgrad des Sammlers; er beträgt, wie bereits gesagt, etwa 90 v. H. Der wirkliche Wirkungsgrad aber ergibt sich erst, wenn man nicht nur die Strom-, sondern auch die Spannungsverluste berücksichtigt, wenn also aufgenommene elektrische Arbeit und wiedergegebene in Volt-Ampere- oder Wattstunden eingeseht werden. Da die Ladespannung von 2–2,7 V steigt, die Entladespannung aber von 2 V bis auf 1,85 V fällt, ergibt sich ein Verlust an Wattstunden von etwa 25 v. H.

Der Vollständigkeit wegen sei noch erwähnt, daß damit noch nicht die gesamten Verluste einer Sammlerbatterie einschließlich Ladeeinrichtung erfaßt sind. In der Regel werden die Batterien

mit Dynamomaschinen geladen, die mit aus dem öffentlichen Starkstromnetz betriebenen Motoren gekuppelt sind. Die Reibungs- und Eisenverluste in diesen beiden Maschinen müssen ebenfalls berücksichtigt werden. So kommen wir zu einem Gesamtwirkungsgrad einer Sammleranlage von etwa 50 v. H.; wir müssen also für je 100 Wattstunden Sammlerenergie dem Starkstromnetz 200 Wattstunden entnehmen.

Das wichtigste Mittel zur Beurteilung des Ladezustandes eines Sammlers oder einer Sammlerbatterie haben wir in der Dichte (dem spezifischen Gewicht) der Schwefelsäure.

Die wirksame oder aktive Masse auf den Platten des entladenen Sammlers ist eine Blei-Schwefelsäureverbindung, das Bleisulfat. Durch die Menge des im Sammler vorhandenen Bleisulfats wird seine Aufnahmefähigkeit bestimmt. Bei der Ladung wird den Platten das Sulfat entzogen und der Schwefelsäure hinzugefügt. Diese wird dadurch dichter, also spezifisch schwerer. Das spezifische Gewicht kann in einfacher Weise an einem eingetauchten Aräometer, einer Senkwaage, abgelesen werden; es soll beim geladenen Sammler nach Vorschrift 1,200 betragen. Bei der Entladung tritt eine genau der entnommenen Energie entsprechende Menge der Schwefelsäure in die Platten zurück und bildet dort wieder Bleisulfat. Der Elektrolyt wird also während der Entladung entsprechend verdünnt. Man kann also sowohl bei der Ladung als auch bei der Entladung durch Messung der Säuredichte den jeweiligen Zustand des Sammlers erkennen. Fast alle Unregelmäßigkeiten im Sammler sind am Gewicht der Schwefelsäure zu erkennen, besonders dann, wenn mehrere Zellen zu einer Batterie vereinigt sind. Abweichung einer Zelle in der Säuredichte läßt stets auf eine Unregelmäßigkeit schließen, deren Ursache ermittelt werden muß.

Die Sammler sind vor Temperaturschwankungen zu schützen, und es ist durch Prüfung der zum Nachfüllen dienenden Säure und des destillierten Wassers dafür zu sorgen, daß keine Fremdstoffe in den Elektrolyten gelangen.

Wie im übrigen die Batterie zu pflegen ist, wie die Ladeeinrichtung zu bedienen ist usw., ist in der für jede Stromversorgungsanlage vorhandenen Ergänzungsanweisung genau festgelegt.

IV. Stromarten

1. Gleichstrom- und Gleichstromquellen.

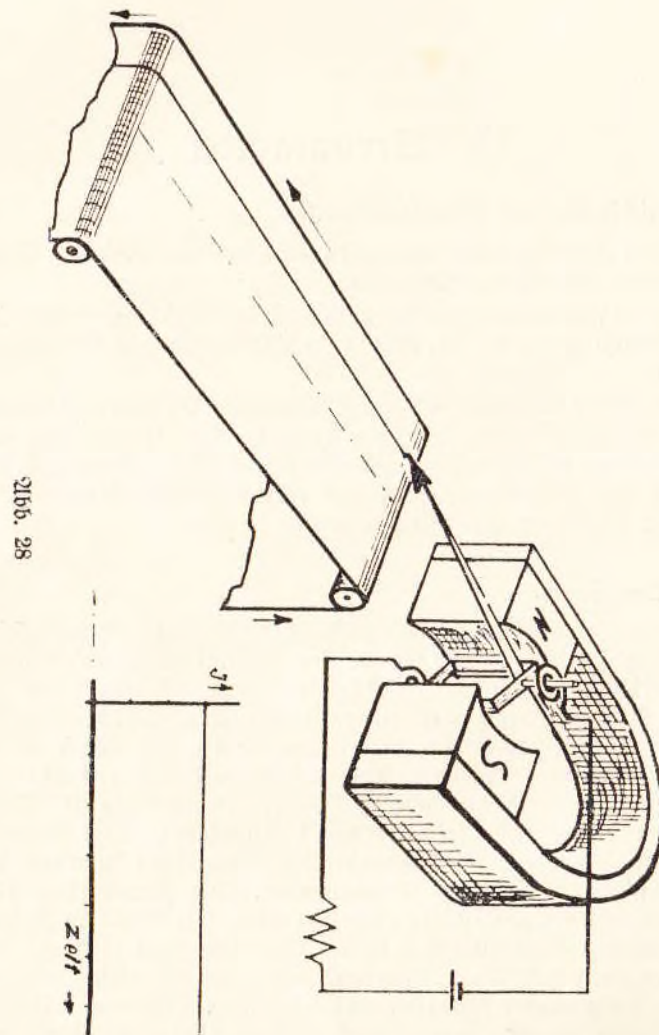
Einen elektrischen Strom, der dauernd in einer Richtung fließt, nennt man Gleichstrom (Abb. 28).

In der Fernmeldetechnik wird Gleichstrom häufig verwendet. In den Fernsprecheinrichtungen z. B. werden die Mikrophone mit Gleichstrom gespeist.

Als Gleichstromquellen dienen galvanische Elemente, Sammler und Gleichstrommaschinen (Generatoren). Zur Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom verwendet man Motor-Umformer, bestehend aus Motor und Generator oder Einankerumformer. Als ruhende Umformer sind Gleichrichter im Betrieb.

2. Wechselstrom.

Darunter versteht man einen elektrischen Strom, der dauernd seine Richtung und seine Stärke ändert. Der Verlauf des Wechselstromes ist in Abb. 29 dargestellt. Im Gegensatz zum Gleichstrom (Abb. 28) ist der Ausschlag des eingeschalteten Instrumentes nicht dauernd der gleiche, sondern der Strom ändert seine Stärke. Er wächst bis zu einem (positiven) Höchstwert oder Scheitelwert, dessen Größe von dem im Stromkreis vorhandenen Widerstand abhängig ist. Dann wird der Strom wieder schwächer und schließlich null. Das Amperemeter zeigt keinen Ausschlag mehr, der Zeiger steht dann auf der strichpunktierten Linie des Papierbandes. Der Strom fängt jetzt aber an, in entgegengesetzter Richtung durch den Draht zu fließen. Der Zeiger des Instrumentes schlägt dementsprechend auch nach der anderen Seite aus. Der Strom wird jetzt genau wie vorher langsam stärker, dann wieder schwächer und kehrt seine Richtung schließlich auch wieder um. So lange der Stromkreis geschlossen ist, wiederholt sich der Vorgang dauernd, er ist „periodisch“. Eine Periode besteht demnach aus einem positiven und einem negativen Stromstoß.



Die Anzahl der Perioden in der Zeiteinheit (Sekunde) nennt man „Frequenz“. Die Frequenz wird mit dem Buchstaben „f“ bezeichnet und in „Herz“ (Hz) gemessen. In Deutschland wird zur Licht- und Kräfteerzeugung Wechselstrom von 50 Hz benutzt. Die Dauer einer Periode des Stromes ist dabei also $\frac{1}{50}$ Sekunde. Eine Ausnahme macht der elektrische Bahnbetrieb; dort wird Wechselstrom von $16\frac{2}{3}$ Perioden verwendet. Die neuesten Versuche der Reichsbahn auf der Schwarzwaldbahn gehen aber dahin, auch beim Bahnbetrieb 50-periodigen Wechselstrom zu verwenden.

Die Frequenz des Wechselstromes ist durch die Drehzahl und Polzahl des Wechselstromerzeugers bestimmt. Die Form des Wechselstromes ist vom Bau der Maschine (Formgebung einzelner Teile, z. B. der Polschuhe) abhängig. Theoretisch folgt der Strom der Sinusfunktion. Der Verlauf eines sinusförmigen Wechselstromes ist in Abb. 29 b dargestellt. Zu einer Periode gehören zwei Polwechsel. Ein Wechselstrom von 50 Hz hat demnach $50 \cdot 2 = 100$ Wechsel in der Sekunde.

3. Messung des Wechselstromes.

Da ein Wechselstrom seine Stärke dauernd ändert, indem er dauernd zwischen einem Höchstwert und 0 schwankt, ist es schwieriger als beim Gleichstrom, die Stromstärke zu bestimmen. Der Höchstwert, das Maximum, wird in jeder Periode zweimal (in entgegengesetzter Richtung) nur für einen kurzen Zeitpunkt erreicht, während der ganzen übrigen Zeit liegt die Stromstärke unter diesem Werte. Genaue Berechnungen haben ergeben, daß der mittlere Wert eines Wechselstromes (sein Effektivwert) angenähert 70 v. H. des Höchstwertes beträgt.

Man sagt auch: Wechselstrom und Gleichstrom haben gleiche Stärke, wenn sie dieselbe Wärmewirkung haben.

Ein Strom erwärmt stets den Leiter, durch den er fließt. Die entwickelte Wärmemenge ist nur abhängig von der Stärke des Stromes, nicht aber von seiner Richtung. Man hat Meßinstrumente entwickelt, die direkt auf diese Wärmewirkung ansprechen, die sogenannten *Sidrahtinstrumente*. Bei diesen wird ein dünner Draht vom Strom durchflossen, wird erwärmt und dehnt sich daher aus. Diese Ausdehnung, die stets der erzeugten Wärmemenge entspricht, wird auf ein Zeigerwerk übertragen und eine in Volt oder Ampere geeichte Teilung gestattet unmittelbares Ablesen

Abb. 29a

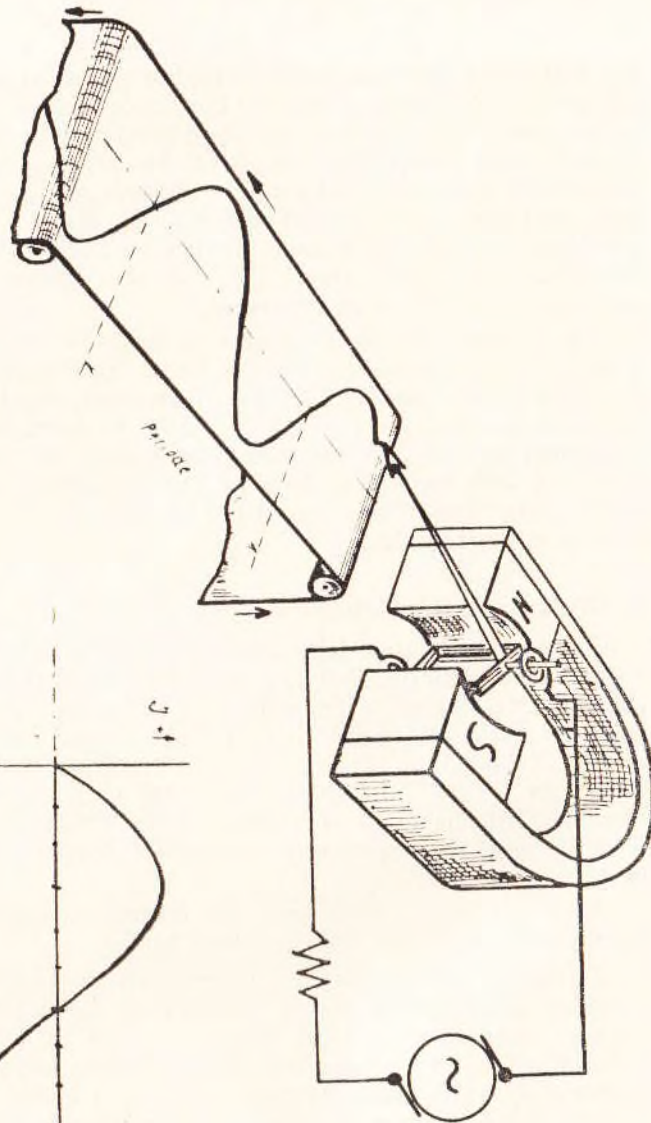
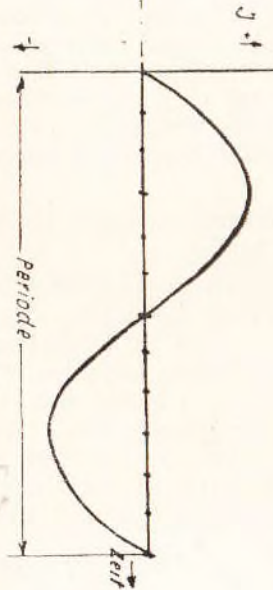


Abb. 29b



der Spannungs- und Stromwerte. Ein solches Instrument ist für Gleich- und Wechselstrommessungen geeignet.

Die vorher beschriebenen Drehspuleninstrumente sind für Wechselstrom nicht brauchbar, da die den Zeiger tragende Drehspule unter dem Einfluß eines Wechselstromes in dessen Frequenz dauernd hin- und herschwingen würde.

Außer den Siphoninstrumenten sind auch die sogenannten Weicheiseninstrumente und die Elektro-Dynamometer für Wechselstrommessungen zu benutzen. Die Beschreibung dieser Apparate sei aber für spätere Besprechung zunächst zurückgestellt.

Der Wechselstrom spielt in der Fernmeldetechnik eine weit größere Rolle als der Gleichstrom. Als hauptsächlichste Wechselstromquelle werden verwendet:

Die Induktionspule in Verbindung mit einem Mikrophon (Frequenzbereich der Sprache 200–2400 Hz); beim Rundfunk ist ein größerer Frequenzbereich erforderlich, 0 bis 10 000 Hz, um eine gute Übertragung der Musik zu gewährleisten.

Der Kurbelinduktor.

Der Polwechfler.

Die Rufmaschinen (mit 25 Hz).

Die Sonfrequenzrufmaschinen (mit 500 Hz).

Stromquellen für Prüf- und Meßzwecke wie Mikrophon-, Blatt- und Stimmgabelsummer und andere mehr.

Auf die wichtigsten dieser Apparate wird später näher eingegangen.

Unsere neuzeitlichen Fernsprechsaltungen bestehen aus vielen zum Teil recht verwickelt ineinandergreifenden Gleich- und Wechselstromkreisen. Wir verwenden z. B. zur eigentlichen Übermittlung der Sprache Wechselstrom einer mittleren Frequenz von 800 Hz, zum Anrufen der Teilnehmer einen solchen von 25 Hz und für die Mikrophonspeisung und die Signalisierung Gleichstrom. Diesen verschiedenen Strömen müssen in den Schaltungen durch entsprechende Schaltmittel Wege geöffnet und versperrt werden. Die wichtigsten dieser Schaltmittel sind Drosselspulen und Kondensatoren. Wir benutzen die Drosselspulen (oder auch Wicklungen mit Drosselwirkung), um einen Gleichstromweg für Wechselstrom zu sperren und Kondensatoren, um Wechselstromwege für Gleichstrom undurchlässig zu machen.

Die Grundlagen der Drosselspulen haben wir bereits im Abschnitt Selbstinduktion behandelt. Durch große Windungszahl und geschlossenen Eisenkörper erreichen wir eine so hohe Selbstinduktion, daß ein Wechselstrom in der Drosselspule einen sehr hohen Widerstand findet, denn die auf Induktivität beruhende Gegenwirkung der Spule wirkt wie ein Widerstand. Dieser, vielfach auch induktiver Blindwiderstand genannt, ist aber keine gleichbleibende Größe, sondern er ist abhängig von der Frequenz des Wechselstromes und steigt mit dieser. Bei der Berechnung des Wechselstromwiderstandes muß neben dem Wert der Selbstinduktion L auch die Frequenz f berücksichtigt werden. Aus rechnerischen Gründen vervielfacht man aber L (in Henry angegeben) nicht mit f , sondern mit dem 6,28fachen von f . Den Wert $6,28 \times f$ nennt man die Kreisfrequenz und bezeichnet diese mit dem griechischen Buchstaben ω (Omega). Die Formel zur Berechnung des Blindwiderstandes R_b eines Leiters lautet dann $R_b = \omega L$.

Wir wollen versuchen, hier eine leicht verständliche Erklärung des Begriffes Kreisfrequenz zu geben und greifen dazu auf die Spannungserzeugung in einer Dynamomaschine zurück. Die in einem Leiterabschnitt der Ankerwicklung erzeugte Spannung hängt ab von der Stärke des magnetischen Feldes, in dem der Draht bewegt wird, und von der Schnelligkeit der Bewegung, also von dem in jeder Sekunde im Feld zurückgelegten Weg. Dieser Weg verläuft auf einer Kreislinie, und deren Länge ergibt sich aus dem Durchmesser d des Kreises. Der Kreisumfang ist 3,14mal so lang als dieser und die Zahl 3,14 wird π (sprich Pi) genannt. Eine Kreislinie ist also gleich $d \times \pi$ oder, da der Radius r gleich $\frac{1}{2} d$ ist, $= 2 r \pi$. Soll der Wechselstrom die Frequenz 50 Hz haben, so muß der Leiterabschnitt in der Sekunde diesen Kreis 50mal beschreiben. Der dabei im Feld zurückgelegte Weg ist demnach $= 2 \times \pi \times r \times f$. Nimmt man den Radius als Maßeinheit und setzt ihn $= 1$, so vereinfacht sich die Formel zu $1 \times 2 \times \pi \times f = 2 \pi f$. Die danach berechnete Größe wird also bestimmt aus dem Kreis (2π) und der Frequenz f und daher Kreisfrequenz (ω) genannt; ω ist $= 2 \pi f$ und drückt die Geschwindigkeit aus, mit der ein bewegter Leiter ein ruhendes magnetisches Feld oder mit der ein bewegtes Feld einen ruhenden Leiter schneidet.

Eine Drosselspule und überhaupt jeder Leiter mit Selbstinduktion hat außer seinem Gleichstromwiderstand einen induktiven Widerstand $R_b = \omega L$. Ein Wechselstrom hat diese beiden zu überwinden.

Beide Werte dürfen aber nicht einfach zusammengezählt werden, sondern es ist die Summe ihrer Quadrate zu ermitteln und aus dieser ist die Wurzel zu ziehen, um den Gesamtwechselstromwiderstand (Scheinwiderstand) R_s zu erhalten. Die entsprechende Formel lautet:

$$R_s = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}.$$

Die Wirkungsweise einer Drosselspule im Wechselstromkreis kann man sich einfach auch wie folgt klarmachen:

Fließt eine positive Halbwelle durch die Spule, so baut sie ein magnetisches Feld entsprechender Stärke und Richtung auf. Die nachfolgende negative Halbwelle findet dieses Feld noch vor und sucht es umzukehren. Die Kraftlinien werden also mit Energie in den Leiter zurückgedrückt und erzeugen dabei in diesem einen Strom, der nach den Induktionsgesetzen die Richtung der vorhergehenden positiven Halbwelle hat. Die negative Halbwelle findet demnach nicht nur den Ohmschen Widerstand vor, sondern gleichzeitig einen entgegengerichteten Strom, sie wird also, wenn sie überhaupt den Gegenstrom (oder die Gegenspannung) überwinden kann, mindestens stark geschwächt, gedrosselt.

Wir wollen nur noch ein Beispiel geben für die Widerstandsverhältnisse in einer Drosselspule. Wir nehmen an, diese habe einen Ohmschen Widerstand $R = 200 \Omega$ und eine Induktivität $L = 5 \text{ H}$.

Dann hat sie für den Gleichstrom einen Widerstand von 200Ω , für Rufwechselstrom ($f = 25 \text{ Hz}$) ist ihr induktiver Blindwiderstand

$$R_b = \omega L = 2 \pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 5 = 785 \Omega.$$

R und R_b zusammen ergeben den Wechselstromwiderstand

$$R_s = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{200^2 + 785^2} = \sqrt{660000} = 812 \Omega.$$

Für Sprechwechselstrom einer mittleren Frequenz von 800 Hz ist

$$R_b = \omega L = 2 \pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 800 \cdot 5 = 25010 \Omega \text{ und}$$

$$R_s = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{200^2 + 25010^2} = 25125 \Omega.$$

Die Spule ist demnach für Sprechwechselstrom nahezu undurchlässig.

4. Der Kondensator.

Die Grundlagen des Kondensators haben wir in Bild I der Arbeitsunterlage „Grundwissen des Telegraphenbauhandwerkers“ bereits behandelt (S. 15 u. f.). Das Maß für die Kapazität ist das

Farad (F). Die Einheit 1 Farad hat ein Kondensator, der durch die Einheit der Elektrizitätsmenge 1 Coulomb (das ist die Menge, die ein Strom von 1 A in 1 Sekunde durch den Leiterquerschnitt befördert) auf die Einheit der Spannung, 1 Volt, gebracht wird.

$$\text{Farad} = \frac{\text{Coulomb}}{\text{Volt}} \text{ also: } 1 \text{ Farad} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}}$$

$$\text{oder } \frac{5 \text{ Coulomb}}{5 \text{ Volt}} \text{ oder } \frac{10 \text{ Coulomb}}{10 \text{ Volt}} \text{ usw.}$$

Für praktische Zwecke rechnen wir in der Fernmeldetechnik mit dem millionsten Teil dieser Einheit, dem Mikrofarad (μF).

Legen wir einen Kondensator an die Pole einer Batterie, so fließt ihm aus dieser eine seiner Kapazität entsprechende Elektrizitätsmenge zu, der sogenannte Ladestrom entsteht. Dieser dauert aber nur sehr kurze Zeit, bis der Kondensator die Spannung der Batterie angenommen hat. Dann haben wir in Batterie und Kondensator zwei Stromquellen mit gleicher aber einander entgegengerichteter Spannung. Sie heben sich daher auf, ein Gleichstrom kann nicht fließen (Abb. 30). Werden nun die Pole der Batterie umgekehrt

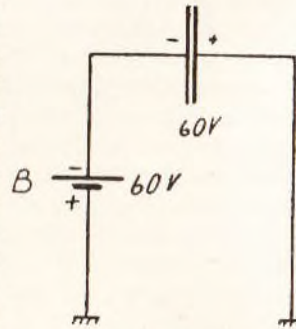


Abb. 30

angelegt (Abb. 31 a), dann ladet sich die Platte 1 positiv auf, stößt die positive Ladung der Platte 2 zur Erde hin ab und diese (Abb. 31 b) ladet sich negativ. Bei abermaliger Umkehrung wird 1 wieder negativ und 2 positiv. Wir sehen demnach, daß ein Wechselstrom (scheinbar) durch den Nichtleiter zwischen den Platten hindurchgeht. In Wirklichkeit ist das allerdings nicht der Fall, denn es handelt sich lediglich um sogenannte Influenz (Verteilung).

Wir wollen der Einfachheit wegen annehmen, daß der Kondensator einen Wechselstrom hindurchläßt. Dann werden wir auch einen Widerstand des Kondensators gegen den Strom annehmen müssen. Gegen Gleichstrom ist er so groß, daß er praktisch = unendlich gesetzt werden kann. Sein Wechselstromwiderstand (W) ist umgekehrt verhältnismäßig der Kapazität, d. h. er wird mit wachsender

Kapazität immer kleiner. Er ist auch im gleichen Sinne frequenzabhängig, fällt also bei steigender Frequenz.

Wir arbeiten auch hier wieder mit der Kreisfrequenz ω und erhalten die Formel:

$$R_c = \frac{1}{\omega C}$$

Dabei ist besonders zu beachten, daß der Wert für C nicht, wie meist angegeben, in μF , sondern in F einzusetzen ist; $2 \mu\text{F}$ also gleich $0,000002 \text{ F}$.

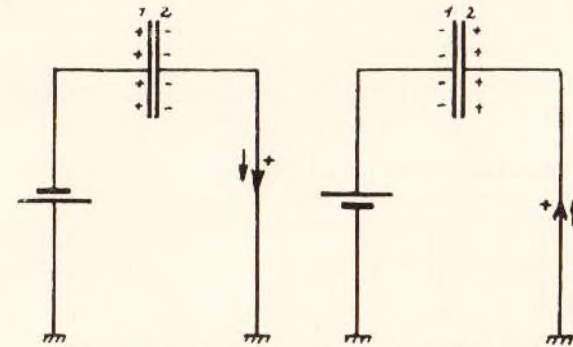


Abb. 31 a

Abb. 31 b

Ein Kondensator von $2 \mu\text{F}$ hat also gegen Rufwechselstrom von 25 Hz einen Widerstand

$$R_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 0,000002} = \frac{1000000}{2 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 2} =$$

$$\frac{1000000}{314} = 3180 \Omega.$$

Für Sprechstrom von 800 Hz ($\omega = \text{rd. } 5000$) fällt der Widerstand auf

$$R_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{5000 \cdot 0,000002} = \frac{1000000}{5000 \cdot 2} = 100 \Omega.$$

5. Schaltung von Kondensatoren.

Ebenso wie Widerstände kann man auch Kondensatoren hintereinander und nebeneinander schalten.

a) Nebeneinanderschaltung

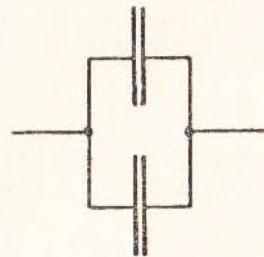


Abb. 32

Hierbei summieren sich die Oberflächen der Platten, damit wird die Kapazität vergrößert.

Die Gesamtkapazität ist gleich der Summe der Teilkapazitäten
 $C = C_1 + C_2$

b) Hintereinanderschaltung



Abb. 33

Die Kapazität wird kleiner.

Sind C_1 und C_2 gleich groß, so ist die Gesamtkapazität gleich der Hälfte der Kapazität eines Kondensators. Sind C_1 und C_2 verschieden groß, so berechnet sich die Gesamtkapazität zu:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

6. Glühkathoden-Gleichrichter.

Wo uns zur Energieentnahme nur ein Wechselstrom führendes Starkstromnetz zur Verfügung steht, fordert der Betrieb der Fernmeldeanlagen häufig die Umformung des Wechselstromes in Gleichstrom. Das kann maschinell geschehen durch Maschinensätze, aber auch durch die sogenannten Gleichrichter, von denen die wichtigsten die Glühkathoden- und Quecksilberdampf-Gleichrichter sind.

Bevor wir uns mit dem Bau und der Wirkung des Glühkathoden-Gleichrichters befassen, wollen wir auf einen sinnlich wahrnehmbaren Vorgang des täglichen Lebens eingehen.

Wenn wir eine Wassermenge erwärmen, dann bildet sich bei 100°C Wasserdampf. Physikalisch ist dieser Vorgang wie folgt zu erklären: Die kleinsten Wasserteilchen, die Moleküle, bewegen sich im Wasser mit großer Geschwindigkeit. Durch Wärmezufuhr wird diese Bewegung beschleunigt, und bei 100° ist sie so schnell geworden, daß ein Teil der Moleküle die Oberfläche des Wassers durchbricht und als Wasserdampf in die umgebende Luft eintritt. Das Wasser siedet.

Heizen wir den im luftleeren Glasgefäß untergebrachten Glühfaden einer elektrischen Glühlampe, so spielt sich ein ganz ähnlicher Vorgang ab; unter dem Einfluß der erzeugten Wärme siedet sozu-

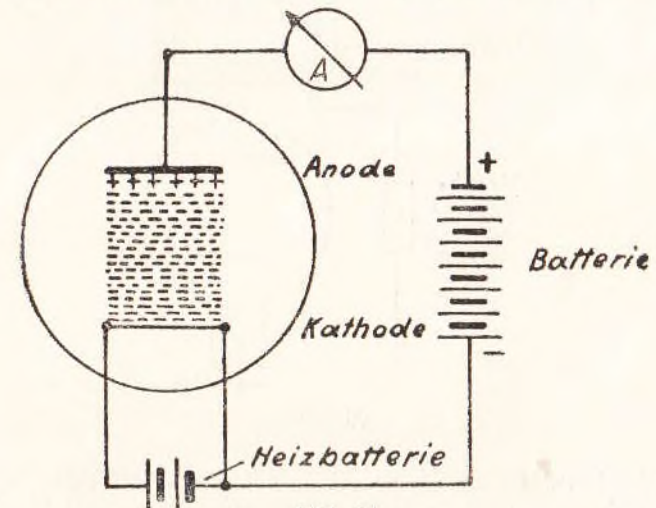


Abb. 34

sagen die Elektrizität, kleinste Teilchen negativer Elektrizität (Elektronen) werden vom glühenden Faden abgeschleudert und umgeben ihn wie eine Wolke negativer Elektrizität. Der Raum um den Heizfaden ist negativ elektrisch aufgeladen und diese negative Ladung wirkt abstoßend auf die noch im Faden befindlichen Elektronen, verhindert also deren weiteren Austritt. Schmelzen wir aber noch eine andere Elektrode in die Glashülle ein und legen eine Batterie so an, daß der Heizfaden Kathode, die zweite Elektrode Anode wird (bei einem Stromverbraucher nennt man die Eintrittsstelle des positiven Stromes Anode, die Austrittsstelle Kathode), dann werden die negativen Elek-

tronen vom Heizfaden zur positiven Anode hingezogen und geben dort ihre Ladung ab. Die Batterie sorgt aber dafür, daß die positive Spannung der Anode erhalten bleibt und führt dem Heizfaden dauernd neue negative Elektronen zu. Es fließt also ein positiver Strom aus der Batterie zur Anode, in der Röhre von dieser zur Kathode (dem Heizfaden) und von dort zur Batterie zurück. Dieser Strom kann im äußeren Kreis mit einem Strommesser nachgewiesen werden.

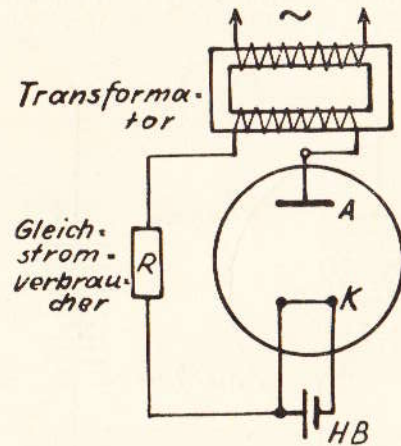
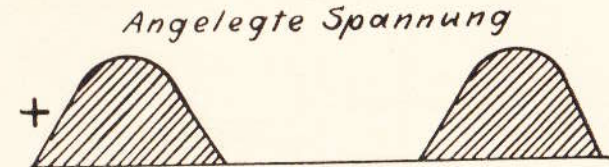
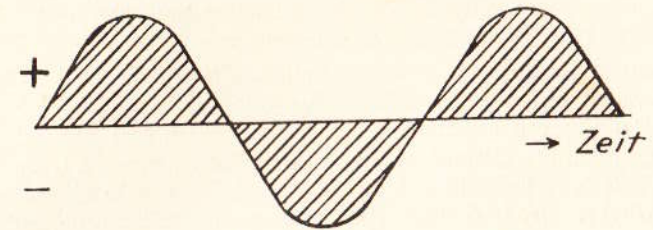


Abb. 35

Wir sehen in Abb. 34 die Röhre mit Anode und Kathode, die zum Heizen der Kathode dienende Batterie HB und die Anodenbatterie AB. Kehrt man nun die Pole der Batterie um, dann zeigt der Strommesser keinen Strom an, denn die bisherige Anode führt nunmehr negative Spannung, stößt demnach die vom Heizfaden ausgestrahlten Elektronen ab. Die Einrichtung wirkt demnach wie ein Ventil, das den positiven Strom nur in der Richtung von der kalten zur geheizten Elektrode fließen läßt, ihm in umgekehrter Richtung aber den Weg sperrt.

Diese Ventiltwirkung wird benutzt, um bei einem Wechselstrom die negative Halbwelle zu unterdrücken. Legt man wie in Abb. 35 mit Hilfe eines Transformators eine Wechselspannung zwischen Kathode und Anode, so kann nur immer die positive Halbwelle den Weg durch den Gleichrichter nehmen. Abb. 36 zeigt eine angelegte



Strom im Verbraucher

Abb. 36 und 37

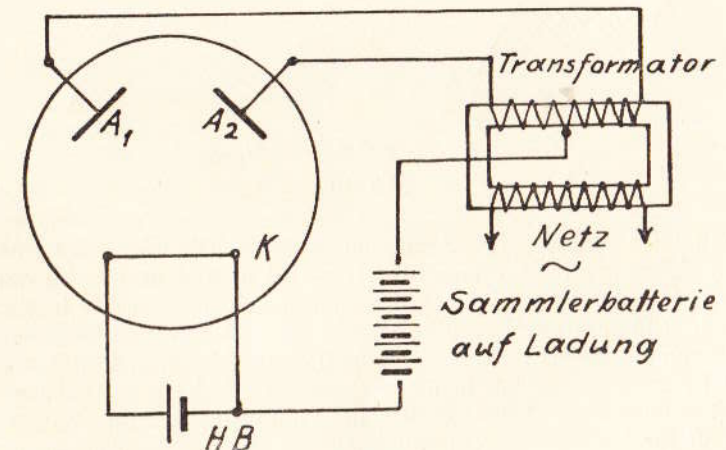
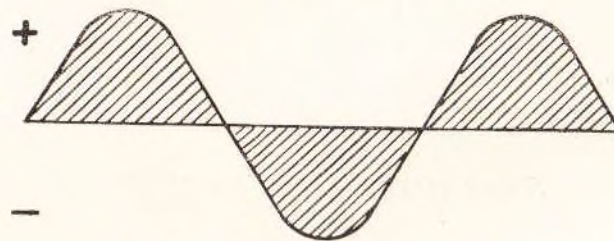


Abb. 38

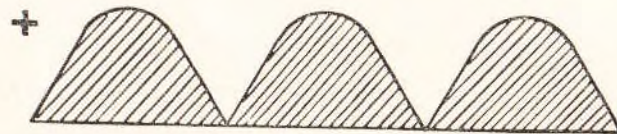
Wechselspannung, Abb. 37 die durch den Gleichrichter und seinen Stromkreis fließenden positiven Stromstöße.

Wirksamer ist der sogenannte Vollweggleichrichter, bei dem beide Halbwellen ausgenutzt werden. Der Glaskolben wird bei diesem mit zwei Anoden ausgerüstet (Abb. 38). Auch hier benutzen wir zum Anlegen der Wechselspannung einen Transformator, legen aber die Mitte der Zweitwicklung an die Kathode und beide Enden an je eine Anode. Der wirkenden Wechselspannung entsprechend wechseln



Angelegte Spannung

Abb. 39



Strom im Verbraucher

Abb. 40

dann beide Anoden ihre Spannung dauernd, stets aber wird eine von beiden positiv sein, während die andere negativ ist, und die geheizte Kathode sendet nunmehr die ausgestrahlten Elektroden immer der jeweils positiven Anode zu. Der in Abb. 39 dargestellten Wechselspannung entspricht dann ein zerhackter Gleichstrom nach Abb. 40. Dieser unterscheidet sich von dem primären Wechselstrom dadurch, daß er zwar dauernd seine Stärke, nicht aber seine Richtung ändert. Er ist für die meisten Verwendungszwecke eines Gleichstromes unbrauchbar, ist aber zum Laden von Sammelbatterien zu verwenden.

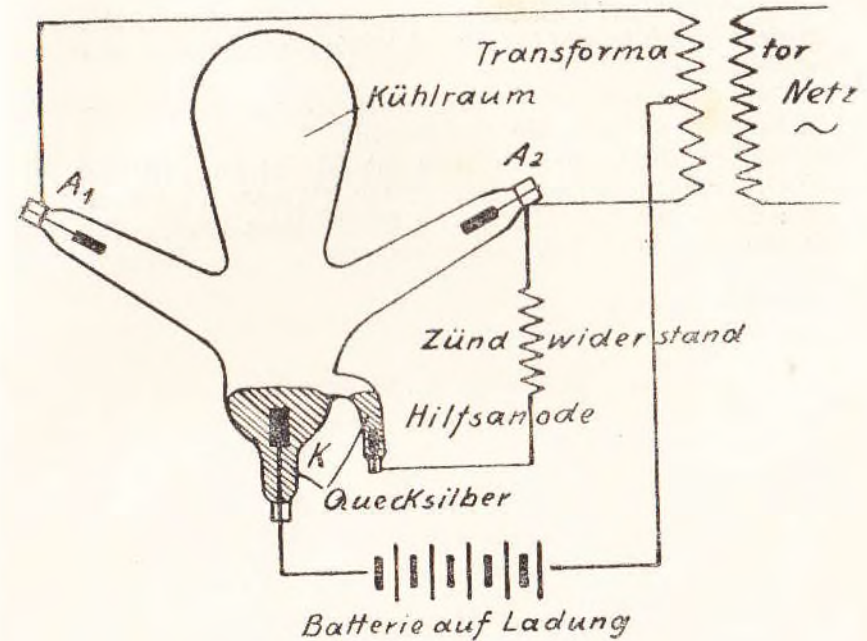


Abb. 41

Der Quecksilberdampf-Gleichrichter (Abb. 41) beruht auf ähnlichen Grundlagen, doch sendet hier nicht ein elektrisch geheizter Glühfaden die Elektronen aus, sondern eine Quecksilberkathode. Die eigentliche Kathode ist in einer im unteren Teil des luftleeren Glaskolbens befindlichen Vertiefung angebracht, die mit Quecksilber gefüllt ist. Quecksilber verdunstet bereits bei Zimmerwärme und füllt das Innere des Glaskolbens mit Quecksilberdampf. Bei Inbetriebnahme muß der Kolben zunächst gezündet werden. Das geschieht durch einen elektrischen Funken, der die Oberfläche der Quecksilberkathode trifft und sie an der Ubergangsstelle so stark erhitzt, daß Elektronen austreten; diese finden in dem Quecksilberdampf einen gut leitenden Weg zur jeweilig positiven Anode und sind als Lichtbogen wahrnehmbar. Dieser Lichtbogen erhält an der Quecksilberoberfläche die zum Aussenden der Elektronen notwendige Temperatur.

Quecksilberdampf-Gleichrichter werden zur Gleichrichtung dreiphasigen Wechselstromes (Drehstrom) häufig mit drei Anoden ausgerüstet.

Dem Glühkathoden-Gleichrichter ist er überlegen durch größere Leistung und geringeren Spannungsverlust.

Auf Einzelheiten des Betriebes und der Schaltung soll hier nicht eingegangen werden. Zweck der Ausführungen soll sein, die Entwicklung der Grundzüge für die Gleichrichtung von Wechselströmen durch Ventilröhren aufzuzeigen.

V. Ruffstromerzeuger

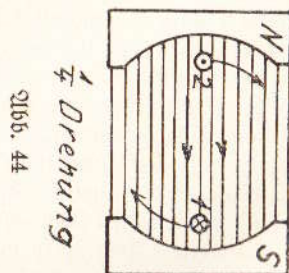
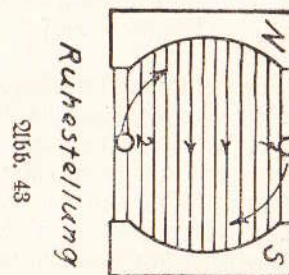
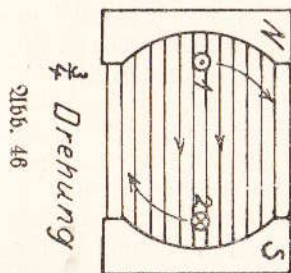
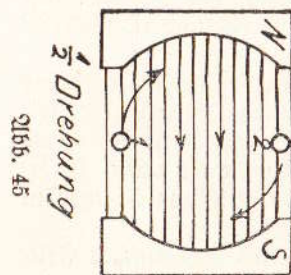
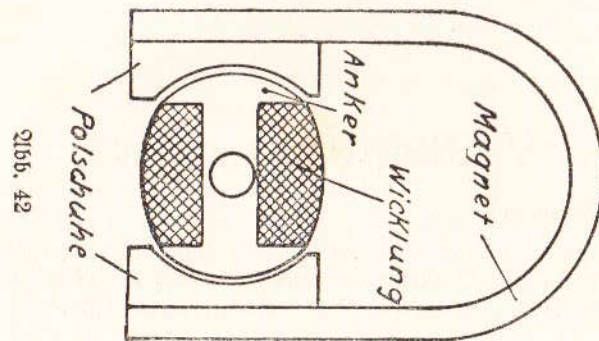
1. Der Kurbelinduktor.

Der Kurbelinduktor dient hauptsächlich zum Anrufen der Vermittlungsstelle in OB-Netzen, er wird aber auch bei Nebenstellenanlagen im ZB-Betrieb, bei Streckenfernsprechern usw. viel verwendet.

Er besteht aus einem starken magnetischen Magazin aus zwei oder drei kräftigen Stahlmagneten mit Polschuhen aus weichem Eisen, zwischen denen ein doppel-T-förmiger Anker mit möglichst geringem Abstand drehbar gelagert ist, der aus vielen Windungen bestehenden Ankerwicklung, dem Antrieb (Kurbel mit Zahnradübersetzung 1 : 5) und einer selbsttätigen Schaltvorrichtung (s. Abb. 42 bis 47).

Die Wicklung ist mit dem einen Ende am Eisenkörper des Ankers befestigt, das andere liegt an der sogenannten „isolierten Achse“. Die Ankerachse ist dazu auf der der Kurbel abgekehrten Seite ausgebohrt und nimmt in einer isolierenden Buchse ein etwa pilzförmiges Stahlstück auf, an dem das Ende der Wicklung liegt. Eine Schleiffeder vermittelt die Stromabnahme.

Zwischen den Polschuhen besteht ein starkes magnetisches Feld. Wird der Anker gedreht, dann schneiden die vielen Windungen der Wicklung die magnetischen Kraftlinien. In Abb. 43 u. 44 ist nur eine Windung eingezeichnet; Abb. 43 zeigt den Anker in Ruhelage. Wird er nach rechts hin in Drehung versetzt, so schneiden die Drähte 1 und 2 zunächst keine Kraftlinien, da sie sich parallel zu diesen bewegen. Im weiteren Verlauf der Bewegung werden Kraftlinien in steigender Zahl geschnitten bis zu der Stellung in Abb. 44, von der aus wieder eine Abnahme bis zu 0 einsetzt, bis eine halbe Umdrehung vollendet ist. Die Lage ist dann die in Abb. 45 angegebene. Die Wicklungsteile haben gegen Abb. 43 ihren Ort gewechselt, 1 liegt unten, 2 oben. Das Spiel wiederholt sich dann im Ablauf der zweiten Halbdrehung, aber mit dem Unterschied, daß der Leiterteil 1 das Feld während der ersten Halbdrehung in der Richtung von oben nach unten schneidet, bei der zweiten von unten



nach oben (Leiterteil 2 kehrt seine Bewegung zum Feld natürlich gleichfalls um). In dem Leiter wird demnach bei der Umdrehung eine Wechselspannung induziert. Ist der Stromkreis des Induk-

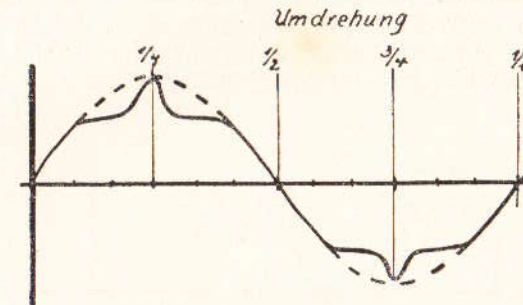


Abb. 47

tors außen geschlossen, so fließt ein Wechselstrom, dessen Richtung wir mit Hilfe der Dreifingerregel der rechten Hand leicht ermitteln können (s. Abb. 20).

Die Umkehrung der Stromrichtung erfolgt stets dann, wenn die Bewegungsrichtung sich ändert, also in der Stellung wie in Abb. 45, während in der Lage nach Abb. 46 die negativen und positiven Höchstwerte für Strom und Spannung erreicht werden.

Der Induktorwechselstrom verläuft aber nicht in einer so gleichmäßigen Wellenlinie, wie sie in Abb. 47 in der punktierten Linie dargestellt ist, sondern er weist starke Spitzen auf, die aus technischen Gründen nötig sind. Sie ergeben sich aus der Beeinflussung des

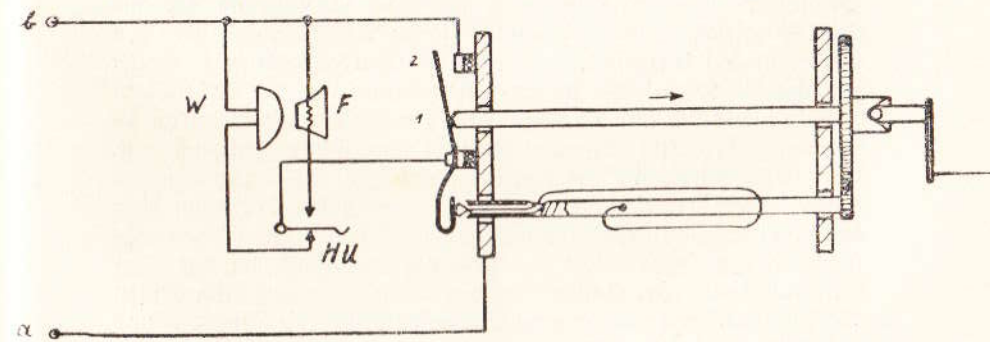


Abb. 48

magnetischen Feldes durch die Form des Ankers. Wird der Anker zu schnell gedreht, so können die Spitzen derartige Stärke erhalten, daß sie zur Gefahr für die Apparatbenutzer, besonders aber für die Vermittlungsbeamtin, werden. Die Betätigung des Induktors mit mehr als drei Kurbeldrehungen je Sekunde ist aus diesem Grunde verboten. Da die Uebersehung der Zahnräder im Verhältnis $1:5$ steht, ergibt sich die Frequenz des Induktorstromes zu $3 \times 5 = 15$ Hz.

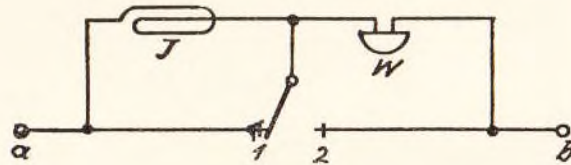


Abb. 49

Die Ankerwicklung des gewöhnlichen Induktors der Fernsprechanlage hat bei rd. 2200 Windungen einen Widerstand von 200Ω . Damit wird bei der vorgeschriebenen Umdrehungszahl eine Spannung von 30–40 V erzeugt. Die Stromstärke ist vom Außenwiderstand abhängig; sie beträgt bei 500Ω etwa 55, bei 1500Ω rund 26 mA.

Da der Ankerwiderstand von 200Ω die Sprechverständigung ungünstig beeinflussen würde, ist der Induktor mit einer selbsttätigen Schaltvorrichtung versehen, deren einfachste Ausführung wir aus Abb. 48 ersehen. Im Ruhezustand ist die Ankerwicklung über den Ruhekontakt 1 kurzgeschlossen. Wird die Kurbel betätigt, so gleitet zunächst die Kurbelachse in der Pfeilrichtung vor, der Arbeitskontakt 2 schließt sich und legt das Ende der Ankerwicklung an die b-Leitung. Kontakt 1 öffnet und hebt den Ankerkurzschluß auf. Gleichzeitig wird bei 2 der eigene Wecker bzw. bei abgenommenem Hörer dieser kurzgeschlossen (Abb. 49), so daß der Rufstrom diese beiden nicht durchfließen kann. Der Zweck dieser Schaltungsmaßnahme ist der Schutz beider Apparate vor dem Rufstrom, das Vermeiden des nutzlosen Ansprechens des eigenen Weckers beim Rufen des Amtes oder einer anderen Sprechstelle und die Verringerung des Widerstandes im Rufstromkreis.

2. Der Polwechslер.

Für Rufstromzwecke werden im Fernmeldebetrieb bei größeren VB-Vermittlungsstellen und Nebenstellenanlagen Polwechslер verwendet. Die Polwechslер werden mit Gleichstrom betrieben und liefern durch einfache Umformung Wechselstrom von 25 bis 60 Volt Spannung und 25 bis 35 Hz. Abb. 50 zeigt die Grundsaltung (Polwechslер arbeiten mit Selbstunterbrechung). Die Arbeitsweise ist folgende: Wird der außerhalb des Polwechslер befindliche Kon-

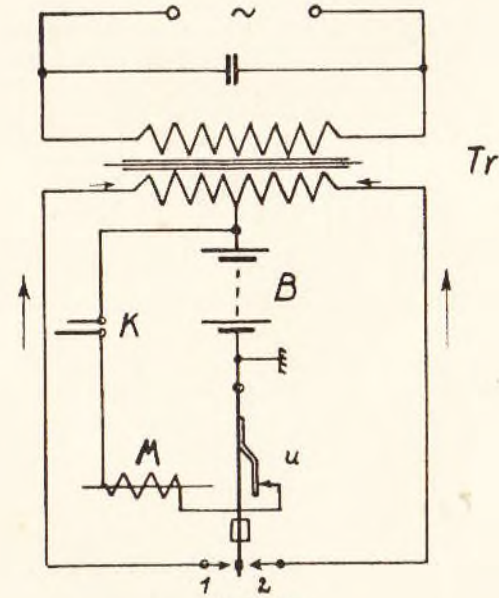


Abb. 50

takt K geschlossen, dann kommt M unter Strom. M zieht seinen Anker an, der als Pendel mit Selbstunterbrechung ausgebildet ist. Dabei wird der Kontakt 1 geschlossen, u unterbricht, M wird stromlos, der Anker schwingt zurück, schließt die Kontakte 2 und u, M wird wieder erregt usw. Das Pendel schließt dabei in rascher Folge die Kontakte 1 und 2 und bei jedem Kontaktschluß fließt aus der Batterie B ein Stromstoß durch eine Hälfte der Erstwicklung des Transformators Tr. In der Zweitwicklung wird durch diese Stromstöße eine Wechselspannung induziert von 25–35 Hz und etwa 60 V. Der Rufstrom

wird durch einen parallel zur Zweitwicklung liegenden Kondensator abgeflacht und geglättet.

Auf die Rufstromaschinen größerer Vermittlungsstellen soll hier nicht eingegangen werden.

3. Die Wecker.

Bei den Weckern unterscheiden wir Gleichstrom- und Wechselstromwecker.

a) Gleichstromwecker.

Wir befestigen einen Eisenanker vor den Polen eines Elektromagneten mit Hilfe einer Blattfeder so, daß er eine bestimmte Ruhe-

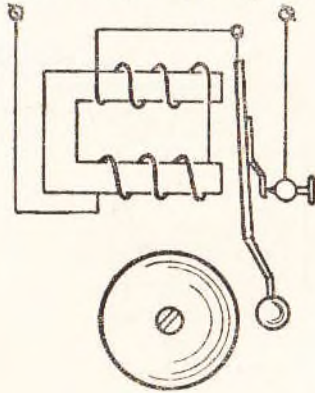


Abb. 51

lage vor den Polen erhält, aus der er schwingende Bewegungen ausführen kann. Verlängern wir nun den Anker durch einen Klöppel und bringen eine Glockenschale so an, daß sie von diesem angeschlagen werden kann, dann werden wir in einem Glockenton ein hörbares Signal erhalten, wenn wir einen Gleichstrom durch die Elektromagnetwicklung senden. Dieser einmalige kurze Anschlag beim Stromschluß stellt aber kein besonders betriebssicheres Signal dar. Um ein solches zu erreichen, muß der Anker durch wiederholte Stromunterbrechung mehrmals in die Ruhelage zurückgeführt und aus dieser durch Stromschluß erneut angezogen werden. Diese Unterbrechungen des Stromkreises läßt man den Wecker selbsttätig ausführen, indem man ihn mit einem Selbstunterbrecher ausrüstet (Abb. 51). Man versteht darunter einen Ruhekontakt, der mit der

Elektromagnetwicklung in Reihe liegt und der beim Anziehen des Ankers geöffnet wird. Der Anker kehrt dann nach dem Anschlagen der Glocke in die Ruhelage zurück, schließt den Kontakt wieder, wird erneut angezogen usw., und wir erhalten auf diese Weise ein dauerndes akustisches Signal.

Der Unterbrecher ist die Ursache mancher Störung. Der beim Öffnen des Kontaktes auftretende Funke verbrennt leicht die Kontaktstellen, auch lösen die Stromunterbrechungen im Weckerstromkreis in benachbarten Kreisen leicht unangenehme Induktionswirkungen aus.

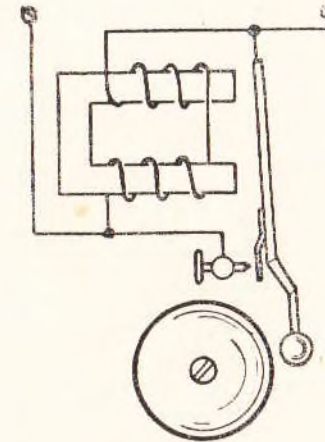


Abb. 52

Diese Störungen vermeidet der in Abb. 52 dargestellte Gleichstromwecker mit Spulenkurzschluß. Bei dieser Schaltung wird die Elektromagnetwicklung bei angezogenem Anker durch Kurzschluß stromlos, wie aus der Abbildung ohne weitere Erläuterung ersichtlich ist. Dabei findet keine Unterbrechung des Stromes statt, es entsteht also kein Öffnungsfunke und induktive Störungen treten nicht auf. Die Schaltung hat aber den Nachteil, daß im Augenblick des Kurzschlusses bei kurzen Leitungen ein starker Strom entsteht, u. U. sogar Kurzschluß der Batterie. Wecker mit Spulenkurzschluß werden daher nur selten und dann nur in Leitungen mit größerem Widerstand verwendet.

Für Wechselstrom sind Gleichstromwecker nicht geeignet, da die Anker für Wechselstrom über 20 Hz zu träge sind.

b) Wechselstromwecker.

Der Wechselstromwecker ist ein polarisierter Wecker, d. h. seinem Eisenkreis, bestehend aus den durch ein Eisenjoch verbundenen Spulenkernen und dem Anker, wird durch einen Dauermagneten ein bestimmter Magnetismus mitgeteilt. Den Unterschied zwischen neutralen und polarisierten Elektromagneten haben wir bereits bei der Besprechung des Magnetismus kennen gelernt.

Der Anker ist meist in der Art eines Waagebalkens vor den Magnetpolen so aufgehängt, daß er sich vor den Polen wie ein solcher bewegen kann. Die Anordnung ist aus Abb. 53 zu ersehen.

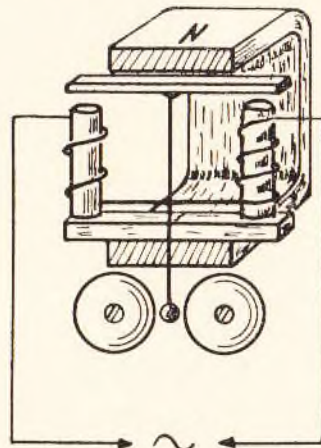


Abb. 53

Die mit „N“ und „S“ bezeichneten schraffierten Flächen deuten die Pole des polarisierenden Magneten an. Beide Kerne des Elektromagneten erhalten also gleichstarken Südmagnetismus. Der Anker wird durch magnetische Verteilung auf seiner unteren Seite nordmagnetisch, auf der oberen südmagnetisch. Um eine möglichst einfache Erklärung für die Arbeitsweise des Wechselstromweckers zu erhalten, wollen wir annehmen, daß zwei Südpole mit gleicher Kraft auf die nordmagnetische Unterseite des Ankers wirken. Der Anker bleibt dabei im Gleichgewicht.

Die beiden Spulen der Elektromagnetwicklung sind so miteinander verbunden, daß ein Gleichstrom beide Eisenkerne entgegen-

gesetzt umfließt. Er erzeugt also bei der in Abb. 53 angenommenen Richtung im linken Kern einen Nordpol, im rechten einen Südpol. Der den Schenkeln durch den polarisierenden Magneten mitgeteilte Südmagnetismus wird also durch das magnetische Feld der Wicklung im rechten Schenkel gestärkt und im linken geschwächt. Der auf der Unterseite nordmagnetische Anker wird dann nach rechts hin angezogen und der mit ihm verbundene Klöppel schlägt an die linke Glockenschale. Kehren wir nun die Stromrichtung um, so wird der Südmagnetismus im linken Schenkel gestärkt und im rechten geschwächt, der Anker wird umgelegt und bringt die rechte Schale zum Tönen. In dieser Form folgt auch der Anker den entgegengesetzten Halbwellen eines Wechselstromes.

Die Wechselstromwecker sprechen bereits auf sehr schwache Ströme an und arbeiten, da sie keine Kontakte brauchen, in hohem Maße betriebsicher.

Die Wecker der ZB-Apparate werden während eines Gesprächs in der Regel nicht abgeschaltet, sondern bleiben parallel zum Mikrophon und Fernhörer liegen.

Sie müssen daher für den Mikrophonspeisestrom (Gleichstrom) gesperrt werden; das geschieht durch Zuschalten eines Kondensators. Sie müssen aber auch für den Sprechwechselstrom undurchlässig sein und deshalb hohe Selbstinduktion besitzen.

Ein Wechselstromwecker ZB zu $2 \times 500 \Omega$ z. B. hat für Sprachfrequenz einen Wechselstromwiderstand von $19\,200 \Omega$ bei einer Empfindlichkeit für Ruffstrom von 5 mA ,

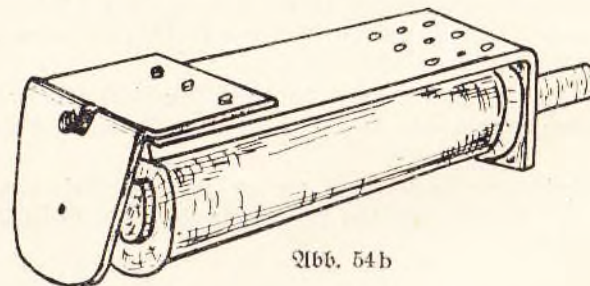
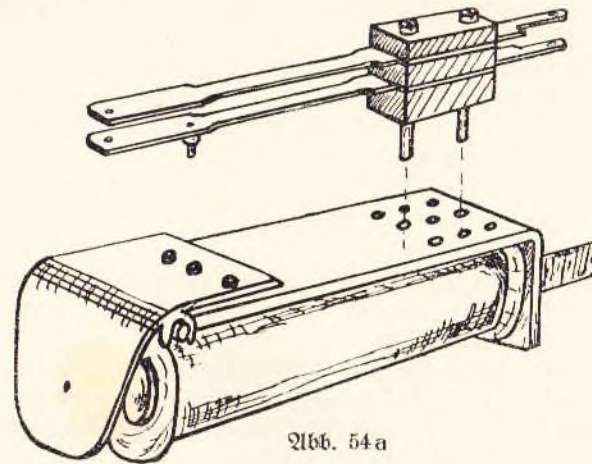
ein Wecker ZB zu $2 \times 300 \Omega$ hat einen Wechselstromwiderstand gegen Sprachfrequenz von $12\,000 \Omega$ bei einer Empfindlichkeit von 4 mA .

An Wechselstromwecker ZB werden so hohe Anforderungen nicht gestellt, da sie ja durch den Hakenumschalter beim Gespräch abgeschaltet werden.

4. Fernsprechrelais.

Die Relais sind, von Ausnahmen abgesehen, elektromagnetisch betriebene Schalter. Sie bestehen aus einem Elektromagneten, der (u. U. über eine lange Leitung) durch einen elektrischen Strom erregt wird. Die Ankerbewegung wird benutzt, um Kontakte zu betätigen, Stromkreise zu öffnen oder zu schließen, Umschaltungen auszuführen, Spannungen oder Erde an- oder abzuschalten usw.

Für die Fernsprechrelais hat sich allmählich eine bestimmte Grundform entwickelt, die den Forderungen auf geringsten Raumbedarf an den Gestellen (Befestigung in der Längsachse) und leichte Zugänglichkeit aller Kontakte und Lötswänze am besten entspricht. Die meist erforderliche große Induktivität ist durch hohe Windungs-



zahlen und möglichst geschlossenen Eisenkreis (bis auf den Luftspalt zwischen Pol und Anker) erreicht. Nach der Bauart unterscheidet man Rund- und Flachrelais; letztere finden bei neueren W-Netzen Verwendung. Sie sind zwecks Baustoff- und Raumersparnis mit flachen Spulen ausgerüstet und weichen auch in der übrigen Bauart von den Rundrelais ab, nicht aber in ihrer Arbeitsweise.

Bei den Rundrelais unterscheidet man grundsätzlich zwei Arten:

- a) Relais mit Achslagerung,
- b) Relais mit Schneidenanker.

Die ersteren werden überall da angewendet, wo es auf genaue Übertragung von Stromstößen ankommt, so z. B. bei den Amtsschaltungen für den W-Betrieb. Im übrigen werden Schneidenankerrelais verwendet. Abb. 54 a zeigt schematisch die Achslagerung, Abb. 54 b die Lagerung bei Schneidenankerrelais. Die Relais unterscheidet man auch nach der mechanischen Ausbildung des Magnet systems, so gibt es z. B. ein- und zweischentlige Relais und Topfrelais. Bei den letztgenannten wird der magne-

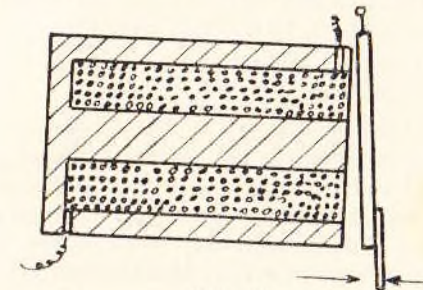


Abb. 55

tische Kraftlinienschluss durch einen Eisenkörper sichergestellt, der Kern und Spule topfförmig umgibt (Abb. 55).

Der Betrieb der Wählämter erfordert bei dem schnellen Ablauf verwickelter Schaltvorgänge auch Relais, die Schaltvorgänge mit genau bemessener Verzögerung einleiten. Es kann z. B. notwendig werden, daß ein zeitlich vor anderen erregtes Relais seine Kontakte erst nach den später erregten betätigen darf. Derartigen Zwecken dienen die sogenannten Verzögerungsrelais. Solche werden gebaut für Anzug- und für Abfallverzögerung.

Anzugverzögerung läßt sich durch die sogenannte Differentialwicklung erreichen, die wir in ihren Grundzügen bereits auf S. 19/20 besprochen haben. Man gibt dem Relais zwei Wicklungen mit verschiedener Windungszahl oder verschiedenem Widerstand, die entgegengesetzt vom Strom durchflossen werden. Sie wirken dann mit dem Unterschied ihrer Amperewindungszahlen auf den Kern. Dieser Unterschied muß selbstverständlich groß genug sein, um das Relais

mit Sicherheit bis zum Ansprechen zu erregen. Ein in dieser Weise „differential“ erregtes Relais wird im Ansprechen verzögert.

Auch durch schaltungstechnische Maßnahmen läßt sich dasselbe Ergebnis erreichen, z. B. durch die sogenannte Stufenschaltung. Man läßt zunächst ein Relais erregen, über dessen Kontakt spricht ein zweites an, dieses bringt ein drittes und dann erst leitet vielleicht das vierte den beabsichtigten Schaltvorgang ein. Stellt man die Kontakte dieser Relais recht weit ein, so kann eine beachtliche Verzögerung für die Betätigung des Kontaktes der letzten Stufe erreicht werden.

Abfallverzögernde Relais verlieren ihren Magnetismus nicht im Augenblick der Stromunterbrechung. Die Verzögerungswirkung wird in der Hauptsache auf zwei Arten erreicht:

- a) durch besondere Bauart,
- b) durch Schaltmaßnahmen.

a) Relais besonderer Bauart.

Umgibt man den Eisenkern des Relais in seiner ganzen Länge oder teilweise mit einem Kupfer- oder Aluminiummantel, so entstehen in diesem bei jeder Strom- oder Feldänderung nach den uns bekannten Gesetzen Induktionsströme. Diese wirken zurückerregend auf den Eisenkern. Fällt nun beim Unterbrechen des Stromes die Stromstärke und damit die Stärke des magnetischen Feldes plötzlich auf Null, so entsteht in dem Kupfermantel ein kräftiger Induktionsstrom. Dieser erhält den Magnetismus des Eisenkernes verhältnismäßig lange. Die Dauer der Verzögerungswirkung ist u. a. abhängig von der Stärke des Kupfermantels, vom Ankerabstand und von der Vorspannung der Kontaktfedern, sie schwankt zwischen 0,1 bis 0,3 Sekunden.

b) Besondere Schaltmaßnahmen.

Dem Relais wird ein Widerstand parallelgeschaltet oder das Relais wird durch Kurzschließen statt durch Unterbrechen stromlos gemacht. Der Selbstinduktionsstrom, der sich über den Widerstand oder den Kurzschluß ausbildet, setzt den Strom noch eine Zeit fort, so daß der Magnetismus nur langsam verschwindet. Der Anker fällt deshalb erst nach einiger Zeit ab. Die Verzögerungswirkung ist jedoch nicht erheblich.

Verzögerungsrelais werden in den Schaltzeichnungen durch eine rechteckige Umrahmung kenntlich gemacht.

VI. Grundsätzliches aus der Lehre vom Schall

1. Wesen und Entstehung des Schalles.

Unter Schall versteht man alles, was man mit dem Gehör wahrnimmt. Der Schall entsteht durch eine schwingende Bewegung fester, flüssiger und luftförmiger Körper, die ihre Bewegung in Form von Luftwellen bis zum Ohr fortpflanzen. Die Verschiedenheit des Schalles hängt von der Zahl und von der Beschaffenheit der Schwingungen ab. Ein Schall, der aus einigen starken und raschen Schwingungen besteht, wird *Rausch* genannt. Eine unregelmäßige Aufeinanderfolge von Schwingungen heißt *Geräusch* und eine regelmäßige *Ton*.

2. Fortpflanzung des Schalles.

Ein Schall besteht für uns nur dann, wenn er in unser Ohr gelangt. Es geschieht dies, indem der schallende Körper einem anderen schwingungsfähigen Körper, der sowohl mit ihm als auch mit unserem Ohr in Verbindung steht, seine Schwingungen mitteilt. Es muß also ein Träger oder Leiter des Schalles zwischen seinem Entstehungsort und unserem Ohr vorhanden sein. Gewöhnlich pflanzt sich der Schall durch die Luft fort.

3. Geschwindigkeit des Schalles.

Zur Fortpflanzung des Schalles ist eine gewisse Zeit nötig; den Weg, welchen der Schall in einer Sekunde zurücklegt, nennt man seine *Geschwindigkeit*. Sie beträgt in Luft 333 m. Flüssige Körper leiten den Schall schneller fort als luftförmige und feste schneller als flüssige. So ist die Geschwindigkeit des Schalles in Eisen etwa 15mal, in Wasser rund 4mal größer als in der Luft.

Im Folgenden wollen wir uns mit der regelmäßigen Schwingung, dem **T o n**, näher befassen. Jeder Ton hat eine bestimmte Höhe und Stärke. Die Höhe des Tones ist von der Schwingungszahl, die Stärke von der Schwingweite abhängig. Das menschliche Ohr nimmt Töne von 20—40 000 Schwingungen wahr. Der Ton A, der zum Stimmen der Instrumente benutzt wird, hat z. B. 435 Schwingungen. Die menschliche Sprache umfaßt das Frequenzband von 300 bis 2400 Hz. Die Erzeugung des Tones erfolgt durch verschiedene Körper, Saiten des Klaviers und der Streichinstrumente, das sind stab- oder röhrenförmige Körper. Der Schall wird auch durch plattenförmige Körper erzeugt, z. B. Trommelfelle und in der Fernmeldetechnik vor allem durch die Membran des Fernhörers. Die Membran des Mikrophons wird beim Besprechen durch die auftreffenden Schallwellen in Schwingungen versetzt. Zweck des Mikrophons ist nun die Umwandlung dieser mechanischen in elektrische Schwingungen.

VII. Der Fernhörer

Der Fernhörer (Abb. 56) wird als Empfänger benutzt. Seine Hauptteile sind ein Dauermagnet mit Polschuhen aus weichem Eisen, eine dem System wie ein Anker vorgelagerte Platte aus dünnem Eisenblech, die Membran und zwei auf die winkelförmigen Polschuhe aufgeschobene Spulen mit vielen feindrähtigen Windungen, die an der Zuleitung liegen. Das zwischen Magnet und Anker (Membran) vorhandene Kraftfeld wird durch die aus der Leitung zur Wicklung des Fernhörers gelangenden Sprechwechselströme verändert, wodurch die Membran entsprechend der Feldänderung angezogen und wieder losgelassen wird, d. h. die Membran schwingt. Dadurch kommen auch die Luftteilchen in Schwingung. Diese Luftschwingungen nimmt das menschliche Ohr als Ton oder Sprache wahr.

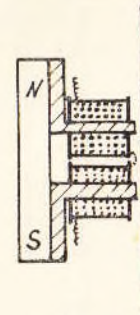


Abb. 56

Zu Anfang der Fernsprechtechnik benutzte man als Sender und Empfänger bei der Uebermittlung gesprochener Laute den Fernhörer.

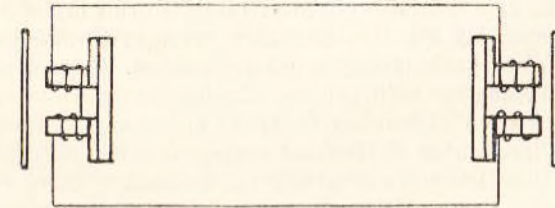


Abb. 57

Abb. 57 zeigt die Schaltanordnung. Spricht man gegen die Membran des sendenden Hörers, so gerät diese in Schwingungen, die sich auf das magnetische Feld des sendenden Hörers übertragen. Das

schwingende Feld schneidet die Wicklung der Spulen und induziert in diesen eine Wechselspannung, die sich als Sprechstrom über die Leitung und den empfangenden Hörer ausgleicht. Die dabei entstehende geringe Energie reicht aber zur Verständigung über nennenswerte Strecken nicht aus. Als Sender benutzte man deshalb später allein das Mikrophon. Der Fernhörer dient nur noch als Empfänger.

2. Das Mikrophon.

Die Ueberlegenheit des Mikrophons als Sender gegenüber dem Fernhörer ergibt sich aus dem Umstand, daß im Fernhörer beim Senden durch die Schwingungen der Membran die elektrische Energie erst erzeugt werden muß, während sie dem Mikrophon durch eine galvanische Batterie zugeführt wird. Die schwingende Membran braucht dann diese Energie nur noch zu ändern.

Das Mikrophon (Abb. 58) besteht grundsätzlich aus einem festen, also nicht an den Schwingungen teilnehmenden Kohlenkörper, einer in geringem Abstand vor diesem angebrachten Kohlenmembran, die die Schallschwingungen aufzunehmen hat und einer den Vertiefungen im festen Kohlenkörper entsprechenden Menge zerkleinerter Kohle in Form von Körnern, Grus oder Kügelchen.



Abb. 58

Die wirksamen Teile im Mikrophon bestehen also nur aus Kohle, und zwar deshalb, weil Kohle in der Reihe der sogenannten unvollkommenen Kontakte (das sind solche, deren Widerstand sich mit dem Kontaktdruck ändert) insofern eine besondere Stellung einnimmt, als bei Kohlekontakten geringen Druckänderungen erhebliche Widerstandsschwankungen entsprechen. Darauf aber beruht die Wirkung des Mikrophons. Sendet man einen Gleichstrom durch ein ruhendes Mikrophon, so setzt es diesem Strom einen seiner Bauart entsprechenden Widerstand entgegen. Schwingt die Membran unter dem Einfluß auftretender Schallwellen, dann wird der Raum für die kleinen Kohlenkörperchen bei anschwingender Membran verkleinert, der Druck wächst und der Widerstand fällt, bei abschwingender Membran wird der Druck ermäßigt, der Widerstand steigt. Der über das Mikrophon fließende Gleichstrom wird unter diesen Umständen wellenförmig und die Stromwellen entsprechen genau den Schwingungen der Membran und diese wieder den auf-

treffenden Schallwellen. Wir haben also Schallschwingungen im Mikrophon in Gleichstromwellen umgewandelt. Das Mikrophon erfüllt dabei die Aufgabe eines leicht veränderlichen von Schallwellen gesteuerten Widerstandes.

Ein gutes Mikrophon muß seinen Widerstand unter den Schwingungen der Membran bis 50 vH ändern.

Mikrophone für OB-Betrieb haben in Ruhe einen Widerstand von 10–40, für ZB-Betrieb einen solchen von 250–400 Ω . Dieser Unterschied ist durch die verschiedene Betriebsart bedingt.

Beim OB-Betrieb wird jeder Sprechstelle eine besondere Mikrophonbatterie zugeordnet. Diese besteht aus höchstens zwei Elementen, meist ist nur ein Element angeschaltet. Will man mit einem Element von 1,5 V Spannung eine ausreichende Stromstärke erzielen, so darf der Stromkreis nur geringen Widerstand haben. Angenommen, wir würden ein ZB-Mikrophon von 300 Ω verwenden, das seinen Widerstand zwischen 300 und 150 Ω ändert, so würde in Ruhe ein Strom fließen von $1,5 : 300 = 0,005$ A, der beim Besprechen zwischen diesem Wert und $1,5 : 150 = 0,010$ A, also zwischen 5 und 10 mA schwanken würde. Mit diesen geringen Werten ist keine Reichweite zu erzielen. Verwenden wir aber ein Mikrophon mit einem 10fach geringeren Widerstand, das also in Ruhe einen Widerstand von 30 Ω hat, der beim Besprechen bis auf 15 Ω fällt, dann ergibt sich ein Ruhestrom von $1,5 : 30 = 0,05$ A und eine Schwankung zwischen 50 und 100 mA.

Beim ZB-Betrieb wird der Mikrophonspießstrom der Amtsbatterie entnommen. Der Widerstand des Mikrophonkreises wird also durch den Leitungswiderstand erhöht. Außerdem wird im Amt allen Anschlußleitungen ein gleicher verhältnismäßig hoher Widerstand vorgeschaltet, um die Stromverteilung auf die Anschlußleitungen möglichst unabhängig vom Leitungswiderstand zu machen. Wir wollen daher den Gesamtwiderstand einer Anschlußleitung zu rund 1000 Ω annehmen. Würden wir in einen solchen Stromkreis ein OB-Mikrophon von 30 Ω Widerstand einsetzen, dann würden sich die beim Besprechen auftretenden Widerstandsschwankungen zwischen 30 und 15 Ω , im Gesamtkreis nur solche zwischen 1030 und 1015 Ω , auswirken; wir brauchen gar nicht erst zu rechnen, um zu erkennen, daß dieser Höchstwert keine nennenswerte Stromschwankung zur Folge haben kann. Verwenden wir aber ein ZB-Mikrophon, dessen Widerstand sich etwa zwischen 300 und 150 Ω ändert,

so erhalten wir Abänderungen des Gesamtwiderstandes zwischen 1300 und 1150 Ω und damit Stromschwankungen von genügender Stärke.

3. Induktionsspulen.

Induktionsspulen dienen dazu, wellenförmige Gleichströme oder Wechselströme aus einem Stromkreis auf einen andern zu übertragen, ohne daß eine metallische Verbindung zwischen beiden besteht. Eine Induktionsspule hat zwei Wicklungen auf einem Eisenkern. Die von dem zu übertragenden Strom durchflossene Wicklung nennt man Erstwicklung (primäre W), die von dieser induzierte Zweitwicklung (sekundäre W). Haben beide Wicklungen annähernd die gleiche Windungszahl, dann wird, abgesehen von den unvermeidlichen Verlusten, in der Zweitwicklung ein Wechselstrom induziert, der in bezug auf Spannung und Stärke gleich dem Erststrom ist. Es wird demnach in einer solchen Induktionsspule ein Wechselstrom unverändert übertragen; eine solche Spule, bei der sich die Windungszahlen angenähert wie 1 : 1 verhalten (Uebersetzung 1 : 1) nennt man Ue b e r t r a g e r.

Besteht ein wesentlicher Unterschied in den Windungszahlen, dann ist die Spannung an den Enden der Zweitwicklung eine andere, als die an der Erstwicklung. Vernachlässigen wir die Verluste, dann entnehmen wir der Induktionsspule zwar die gleiche Leistung, die wir der Erstwicklung zuführen, aber mit veränderter Spannung. Ein Beispiel soll das schnell klarmachen. Angenommen, eine Induktionsspule hat 100 Windungen primär und 1000 Windungen sekundär, dann hat sie eine Uebersetzung von 1 : 10. Fließt durch die Erstwicklung ein Wechselstrom von 5 A bei einer Spannung von 100 V, dann nimmt diese eine Leistung auf von $5 \cdot 100 = 500$ Watt. Dieselbe Leistung kann der Zweitwicklung entnommen werden, aber mit einer dem Uebersetzungsverhältnis 1 : 10 entsprechenden Spannung von $100 \cdot 10 = 1000$ V. Dann müssen sich, da ja die sekundäre Leistung die primäre nicht übersteigen kann, die Stromstärken umgekehrt wie 1 : 10, also wie 10 : 1 verhalten. Der von der Zweitwicklung abgegebene Strom beträgt demnach $\frac{5}{10} = 0,5$ A.

Machen wir die Zweitwicklung zur Erstwicklung, indem wir jetzt ihr (der Zweitwicklung) einen Strom von vielleicht 0,6 A mit 200 V Spannung zuführen, dann erhalten wir aus der (nun als Zweitwicklung dienenden) Erstwicklung bei dem Uebersetzungsverhältnis von nunmehr 10 : 1 bei 20 V 6 A.

Eine solche Induktionsspule mit verschiedenen Windungszahlen für beide Wicklungen nennt man U m f o r m e r oder T r a n s f o r m a t o r. Man kann damit auch einen wellenförmigen Gleichstrom niedriger Spannung in einen Wechselstrom höherer Spannung umformen oder transformieren (nicht aber einen Wechselstrom in einen Gleichstrom).

Die Schaltung von Mikrophon und Fernhörer bei OB- und ZB-Betrieb.

Beim Fernsprecbetrieb ist es nicht möglich, den einen Apparat als reinen Sender, den anderen als Empfänger zu bauen. Auch würde es zu unüberwindlichen Schwierigkeiten im Sprechverkehr führen, wenn etwa die Apparate durch besondere Schaltvorrichtungen vom Sprechen auf Hören umgeschaltet werden müßten. Mikrophon und Hörer müssen stets völlig unabhängig vom fremden Apparat ihre Aufgaben so erfüllen, daß selbst gleichzeitiges Sprechen beider Teilnehmer möglich ist. Deshalb müssen Hörer und Mikrophon während eines Gesprächs stets betriebsbereit an der Leitung liegen, und zwar bei beiden verbundenen Apparaten.

Beim OB-Betrieb wird ein von der Mikrophonbatterie von 1,5 bis höchstens 3 V Spannung durch das Mikrophon gesandter Strom beim Besprechen des Mikrophons wellenförmig gestaltet. Wollte man nun über Hin- und Rückleitung hinweg den empfangenden Hörer direkt in den Mikrophonkreis schalten, dann würde ausreichende Verständigung nur über sehr kurze Entfernung möglich sein, denn mit der Spannung von 1,5–3 V kann kein größerer Widerstand überbrückt werden. Hier hilft uns ein Transformator, mit dem wir den wellenförmigen Gleichstrom in einen Wechselstrom höherer Spannung umformen (Abb. 59).

Wir schalten in den Mikrophonkreis die primäre Wicklung einer Induktionspule von 1 Ω mit 300 Windungen, an der Leitung liegt die sekundäre Wicklung mit 200 Ω und 5300 Windungen. Das Uebersetzungsverhältnis ist demnach fast 1 : 18. Der aus einem Bündel dünner, geglähter Eisendrähte bestehende Kern schneidet in der Länge mit den Enden der Spule ab. Sie bildet also einen Transformator mit offenem Eisenkreis. Der verhältnismäßig hohe Widerstand der Zweitwicklung wirkt insofern ungünstig, als er bei dem empfangenden Apparat stets als nutzloser Widerstand vor dem Hörer liegt. Bei OB-Apparaten, die mit einem Handapparat versehen sind, hat man durch eine an dessen Griff angebrachte Taste die

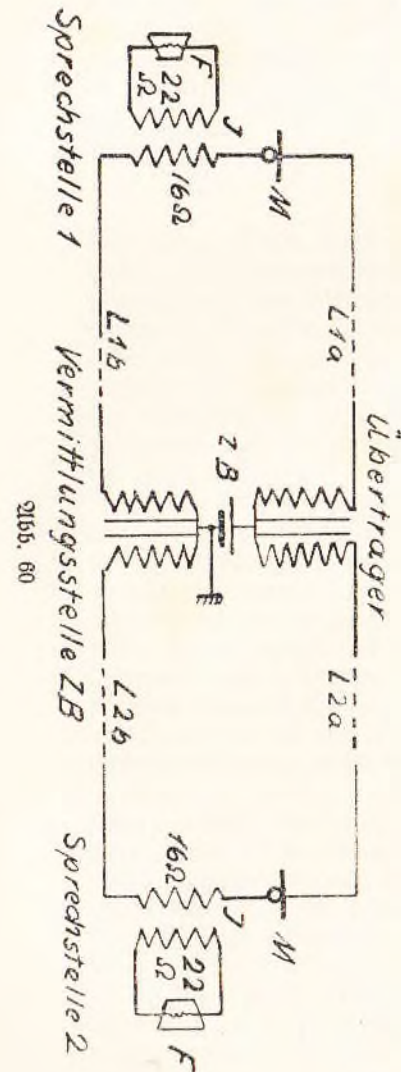


Abb. 58

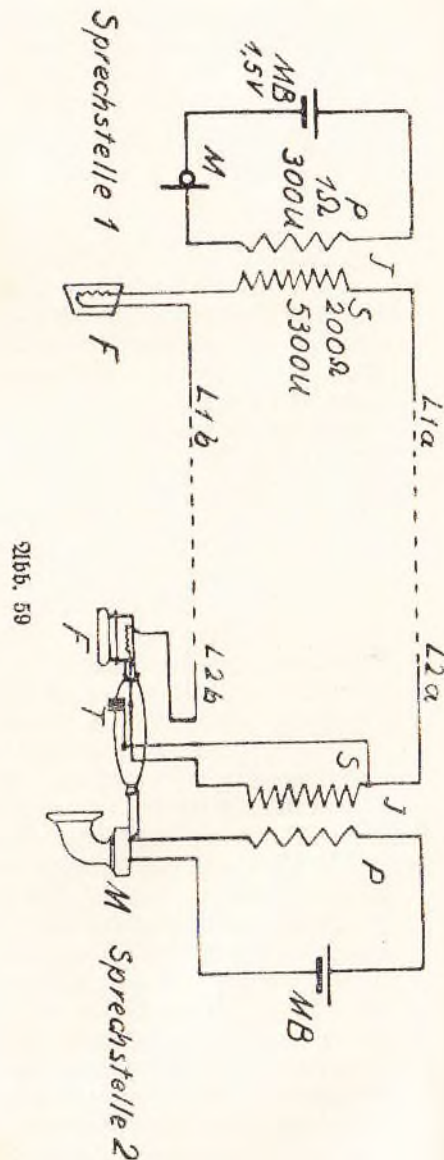


Abb. 59

Möglichkeit geschaffen, beim Hören die sekundäre Wicklung kurz zu schließen und dadurch die Verständigung zu verbessern (in Abb. 45 bei T₂ angedeutet). Später wurden neue Induktionsspulen VB entwickelt, die mit einem geschlossenen Eisenkreis aus Blechlamellen ausgerüstet sind und die trotz geringerem Baustoffbedarf eine größere Reichweite gewährleisten als die Spulen alter Art. Ihre Werte sind: Primär 1,6 Ω, 385 Windungen, sekundär 39 Ω, 1650 Windungen.

Die Uebersehung ist also nur noch = 1 : 4.

Das gleiche Verhältnis besteht bei einer weiteren Induktionsspule, die primär nur noch 1,4 Ω bei 300 Windungen und sekundär gar nur 29 Ω bei 1200 Windungen aufweist.

Beim VB-Betrieb (in seinen Grundzügen in Abb. 60 dargestellt) wird der Mikrophonspeisestrom der Akkubatterie entnommen, deren Spannung von 24 V (beim WB-Betrieb 60 V) zur Ueberwindung des Widerstandes im Mikrophonkreis, der jetzt beide Leitungsadern mit umfaßt, ausreichend ist. Es wäre dabei durchaus möglich, bei der Sprechstelle ohne jede Induktionsspule auszukommen, indem man den Hörer einfach in Reihe mit dem Mikrophon in die Leitung schaltet. Dabei müßte aber Vorsorge getroffen werden, daß der dann auch die Hörerspulen durchfließende Mikrophonspeisestrom (Gleichstrom) in diesen stets die Richtung hat, daß kein dem Dauermagnetismus des Hörers entgegengesetztes Feld erzeugt wird, denn dann würde der Hörermagnet allmählich seinen Magnetismus verlieren. Auch würden die Hörerschnüre, wenn sie von Gleichstrom durchflossen werden, den Betrieb sehr bald durch das sogenannte Rauschen stören.

Man zieht es daher vor, den Hörer überhaupt dem Einfluß des Gleichstromes zu entziehen, indem man ihn mit Hilfe einer Induktionsspule induktiv an die Leitung koppelt. Da die Spule in diesem Falle die Sprechwechselströme aus der Leitung unverändert auf den Hörerkreis übertragen soll, gibt man ihr das Uebersehungsverhältnis von angenähert 1 : 1, sie ist also ein Uebertrager. Die Induktionsspule z. B. 21 hat im Mikrophonkreis 1500 Windungen mit 29 Ω, im Hörerkreis 1100 Windungen mit 32 Ω.

4. Zähler.

Beim VB-Betrieb wird die sogenannte Strichzählung angewendet (Eintrag auf Formblatt). Beim VB-Betrieb ist jeder An-

schlußleitung ein Zähler zugeteilt. Die Zähler sind bei der Vermittlungsstelle untergebracht. Bei Handbetrieb (3B) wird der Zähler durch einen Tastendruck zum Ansprechen gebracht, beim Wählerbetrieb erfolgt die Zählung vollständig selbsttätig. Im Betrieb werden zwei verschiedene Arten von Zählern verwendet, der sog. Ankerangazähler und der Stoßklinkenzähler. Der Unterschied besteht in der Art der Fortbewegung der Ziffernräder. Abb. 61 und 62 zeigen schematisch den Grundgedanken. Beim Ankerangazähler werden die Räder durch Anziehen und Abfallen des Ankers um je $\frac{1}{2}$ Schritt bewegt; beim Stoßklinkenzähler wird beim Anziehen nur eine Feder gespannt. Erst beim Abfallen des Ankers stößt die Klinken das Zahnrad um einen Zahn weiter. Hinsichtlich

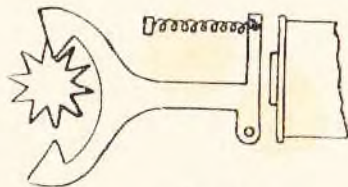


Abb. 61

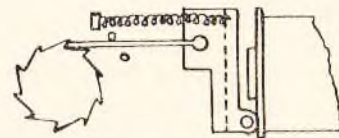


Abb. 62

ihres Verwendungszweckes werden unterschieden: Zähler für Handbetrieb (500/38 Ohm), Zähler für W-Betrieb (100 Ohm) und Einheitszähler für beide Betriebsarten (400/100/38 Ohm). Bei Amtsschaltungen werden durchweg heute Stoßklinkenzähler verwendet. Handamtszähler werden nicht mehr beschafft.

5. Fernsprechapparate und Schaltungen.

Damit die Sprechstellen miteinander verkehren können, sind sie durch eine Doppelleitung (Anschluß- oder Teilnehmerleitung) an eine Vermittlungsstelle (VSt) angeschlossen. Bei den Vermittlungsstellen unterscheidet man solche für Orts- und Fernverkehr.

Bei einer Sprechstelle müssen vorhanden sein:

1. Eine Einrichtung zum Sprechen (Mikrophon),
2. Eine Einrichtung zum Hören (Fernhörer),
3. Eine Einrichtung zum Anruf des Amtes (Induktor oder ähnliche Einrichtung),
4. Eine Einrichtung zum Anzeigen eines Rufes vom Amt (Wecker, Klappen).

Zu einer Sprechstelle gehören außerdem Nebenapparate, wie die Induktionspule, der Haken- oder Gabelumschalter, Kondensatoren usw., die alle zusammen mit den unter 1—4 erwähnten Teilen zu einer Einheit, dem Fernsprechapparat, zusammengefaßt sind.

Die Fernsprechtechnik benutzt die elektrische Energie in verschiedener Form.

Gleichstrom dient in erster Linie zur Speisung der Mikrophone, weiter zur Betätigung von verschiedenen Signalen (Anrufzeichen, Schlußzeichen usw.).

Wechselstrom wird in zwei Arten verwendet, als Ruffstrom und als Sprechstrom. Der Ruffstrom hat eine Frequenz von 15 bis 25, der Sprechstrom eine solche von 300—2800 Hz. Der Ruffstrom wird durch Wechselstromerzeuger, das sind der Kurbelinduktor, Polwechsler und Rufmaschinen, erzeugt.

Die Wechselzahl der Sprechströme hängt von der Schwingungszahl der einzelnen Sprachlaute ab. Mit dem Bau und der Wirkungsweise der Einzelapparate haben wir uns in dem vorliegenden Bändchen beschäftigt.

Wir unterscheiden grundsätzlich zwei Betriebsarten. Der Unterschied beruht auf der Art der Speisung der Mikrophone. Werden die Mikrophone der Sprechstellen aus einer bei jeder Sprechstelle aufgestellten örtlichen Batterie (Trockenelemente) gespeist, so nennt man diese Betriebsweise den Ortsbatterie-Betrieb, O B-Betrieb. Werden dagegen die Mikrophone aus einer bei der VSt aufgestellten für alle Anschlüsse gemeinsamen Batterie (Zentralbatterie) gespeist, so bezeichnet man diese Betriebsweise als 3B-Betrieb. Seit Einführung des Wählerbetriebes, welcher der Speisung nach 3B-Betrieb ist, sind die O B-Netze zum großen Teil schon verschwunden. Lediglich für Sonderdienste wird der O B-Betrieb, weil er rasch und billig eingerichtet werden kann, nach wie vor seine Bedeutung beibehalten. Es ist deshalb erforderlich, auch die Schaltungen dieser Betriebsart zu beherrschen.

