

Sammlung Göschen

Das Fernsprechwesen

Von

Dipl.-Ing. W. Winkelmann

I

Grundlagen und Einzelapparate
der Fernsprechtechnik

Mit 56 Abbildungen



Sammlung Göschen

Das Fernsprechwesen

Von

W. Winkelmann

Dipl.-Ing. in Berlin-Friedénau

1. Band

Grundlagen und Einzelapparate
der Fernsprechtechnik

Mit 56 Abbildungen

Neudruck



Berlin und Leipzig

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung G. m. b. H.

1918



Im Gegensatz hierzu steht die Methode der **direkten Nachrichtenübermittlung** des gesprochenen Wortes, welches vom Empfangenden gehört wird. Das Altertum kennt bereits die verschiedensten Hilfsmittel, um größere Entfernungen auf akustischem Wege zu überbrücken. Sprechtrichter, auch Megaphone genannt, werden in der Schifffahrt seit grauer Vorzeit bis auf den heutigen Tag benutzt, Sprachrohrleitungen, welche nicht nur den Schall weiter leiten, sondern auch eine **Geheimhaltung** des Gespräches gewährleisten, waren den alten Ägyptern bekannt und werden in der Renaissance vielfach benutzt. Aber auch ihre Reichweite ist eine allzu beschränkte, und damit bleibt die Anwendung nur zum innern Verkehr in Gebäuden oder Schiffen möglich, also in Bauten mit nur geringer Ausdehnung.

Es ist erklärlich, daß die epochemachende Erfindung des elektrischen Telegraphen eine andere in Vergessenheit geraten ließ, die ein bescheidener, seiner Zeit weit vorausschreitender Erfinder, Philipp Reis, geb. am 7. Januar 1834 zu Gelnhausen, gest. am 14. Januar 1874 zu Friedrichsdorf, machte, die Erfindung des elektrischen Fernsprechers.

Erst im Jahre 1876 wurde der bereits von Reis angegebene direkte Weg zur Übertragung der Sprache durch zwei amerikanische Erfinder, Graham Bell und Elisha Gray wieder beschrritten, und zwar mit einem glänzenden Erfolge.

Die Erfindung von Reis datiert aus dem Jahre 1861. Sein Apparat bestand aus 4 typischen Einzelteilen, nämlich:

1. dem Sender,
2. der Leitung,

3. einer galvanischen Batterie (Stromquelle),
4. dem Empfänger.

Ferner war noch eine telegraphische Anrufvorrichtung vorhanden, um die Empfangsstation von einem beabsichtigten Gespräch in Kenntnis zu setzen.

Der Sender bestand aus einer Schallplatte oder Membran, gegen welche mit Hilfe eines Schalltrichters gesprochen werden konnte. Auf der Membran war ein Stückchen Platinblech in deren Mitte aufgeklebt. Oberhalb dieses Plättchens, und zwar damit in nur loser Berührung, war eine Nadel gleichfalls aus Platin angebracht. Die Schallschwingungen, welche vom Sprechtrichter auf die Membrane gelangten, setzten diese in schwingende Bewegung und bewirkten so, daß in Übereinstimmung mit den Schwingungen der Membran die Berührung des Platinplättchens und des Stiftes bald eine innigere, bald eine weniger innige wurde. Die Anordnung war nun so getroffen, daß der Strom der oben erwähnten galvanischen Batterie diese Berührungsstelle passieren mußte, um zum Empfänger über die Leitung hinweg zu gelangen. Da eine solche Kontaktstelle einen wechselnden elektrischen Widerstand bei Schwankung des Kontaktdruckes zeigt, etwa analog der Erscheinung, die bei einer Wasserleitung auftritt, wenn man einen Wasserhahn bald mehr, bald weniger öffnet, und so den Wasserstrom verstärkt oder schwächt, so tritt auch eine Schwankung des elektrischen Stromes beim Sprechen gegen die Schallplatte des Senders auf. Man nennt derartige Kontaktstellen im weiteren Sinne Mikrophon-Kontakte und die ganze Sendereinrichtung ein Mikrophon. Die im Rhythmus der Sprache in ihrer Stärke schwankenden Ströme gelangten dann über eine Leitung aus Kupferdraht zu dem Empfänger, der eben-

so wie der Sender bereits im Prinzip die meisten noch heute beim Telefon notwendigen Einzelheiten aufwies. Der Strom durchfloß eine aus Kupferdraht aufgewickelte Spule, die einen länglichen Kern aus weichem Eisen enthielt. Dieser war mit seinen Enden auf einem Resonanzboden aus Holz gelagert. Die vom Mikrophon ausgehenden Sprechströme bewirkten eine wechselnde Magnetisierung des Kernes, der dadurch zu mechanischen Schwingungen angeregt wurde, die man durch den Resonanzboden verstärkte und dem Ohre dadurch wahrnehmbar machte. Die Verbesserungen, welche Bell und Gray vornahmen, betrafen im wesentlichen den Empfänger, von ihnen *Telephon* genannt. Zunächst ließ sich die Lautstärke dadurch erheblich erhöhen, daß vor dem Kern, und zwar in einem Abstände von 0,2 bis 0,6 mm eine dünne kreisförmige Membran aus Eisen angebracht wurde, die an ihrem Rande fest eingespannt war. Die durch die wechselnde Magnetisierung des Kernes beim Sprechen gegen die Membran des Mikrophons gleichfalls wechselnden magnetischen Kräfte zwischen Kern und Telephonmembran versetzten diese in schwingende Bewegung, und zwar derartig, daß die Stärke sowie die Anzahl der auf einen bestimmten Zeitabschnitt entfallenden Schwingungen ziemlich genau den Schwankungen der vom Mikrophon ausgesandten Sprechströme entsprachen. Hierbei machten sich die beiden Erfinder eine typische Eigenschaft von Membranen in glücklicher und geschickter Weise zunutze, nämlich die, auf alle möglichen Schwingungen fast beliebiger Anzahl pro Zeiteinheit anzusprechen.

Ferner fügten Bell und Gray im Hörer einen permanenten Magneten hinzu, der dem Kern einen gewissen Magnetismus auch ohne Einschaltung einer galvani-

schen Batterie verlieh. Ursprünglich hatte diese Anordnung wohl den Zweck, den Apparat auch als Sender geeignet zu machen, wobei dann die Batterie in Fortfall kommen konnte. Spricht man nämlich gegen die Membran eines solchen Telephons, so gerät diese in Schwingungen; infolgedessen tritt eine fortwährende Änderung des Abstandes zwischen Membran und Kern und damit auch eine Schwankung des Magnetismus ein, dessen Stärke im wesentlichen durch die Dicke des Luftspaltes zwischen Membran und Kern bestimmt wird. Durch den wechselnden Magnetismus des Kernes werden nun in den Windungen der ihn umgebenden

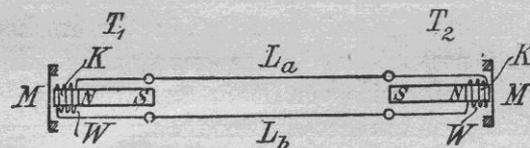


Abb. 1.
Einfache Fernsprechanlage.

Spule elektrische Ströme erzeugt, deren Stärke und Schwingungszahl in der Zeiteinheit mit den Sprachschwingungen übereinstimmen. Ein solches Telephon ist also zum Aussenden von Sprechströmen geeignet, die man wieder zu einem Empfänger leiten kann, der dem Sender in seiner Konstruktion gleicht.

Eine solche Anlage einfachster Art ist in Abb. 1 dargestellt. Zwei gleiche Telephone T_1 und T_2 sind durch die Leitungen L_a und L_b so miteinander verbunden, daß ihre Wicklungen W und die Leitungen einen geschlossenen Stromkreis bilden. Die Membranen sind mit M , die permanenten Magnete mit NS , die Kerne mit K bezeichnet.

Wenn auch eine solche Anlage in bezug auf Einfachheit nichts zu wünschen übrigließ, so waren einer allgemeinen Verwendbarkeit doch dadurch enge Grenzen gezogen, daß die vom Sender in die Leitungen gesandte elektrische Energie nur sehr gering ist; mithin muß diese Methode versagen, wenn es gilt, durch lange Leitungen mit erheblichem elektrischen Widerstand große Entfernungen zu überwinden, also eine universell brauchbare Anlage zu schaffen. Eine Steigerung der vom Sendetelephon erzeugten Energie durch Vergrößerung seiner Abmessungen führte nicht zum Ziele, da selbstredend zur Betätigung eines größeren Senders auch eine stärkere Lautwirkung der menschlichen Stimme notwendig sein würde, in dieser Beziehung jedoch eine natürliche Grenze gezogen ist. Es wurde daher die alte bereits von Reis angewendete Methode, einen Mikrophonkontakt als Sender zu benutzen, erneut aufgegriffen und diese so vervollkommnet, daß heute das Mikrophon allgemein als Sender benutzt wird.

An der Verbesserung des Mikrophons arbeitete besonders D. E. Hughes (1877), der als Kontaktmaterial Kohle einführte, welche die Eigenschaft hat, entsprechend dem Druck der Membran auf die Kontaktstelle den elektrischen Widerstand zu verändern. Dadurch wurde eine weit vollkommenere Umsetzung der Sprache in elektrische Schwingungen wie bei dem mit Platinkontakten versehenen Sender von Reis erreicht.

Weitere Verbesserungen mehr konstruktiver Natur nahmen Gower, Berliner, Edison, Blake, sowie Mix und Genest vor, so daß schließlich einige wenige Normaltypen entstanden, die weiter unten beschrieben werden.

§ 2. Der Fernhörer (Telephon).

Während das bereits beschriebene ursprüngliche Telephon von Bell einen Stabmagneten enthielt, auf dessen einem Pol der Kern aus weichem Eisen mit der Spule befestigt war, ging dieser Erfinder später ebenso wie W. v. Siemens, zu der Verwendung von Hufeisenmagneten über, deren Pole zwei Kerne aus weichem Eisen trugen und mit zwei hintereinander geschalteten

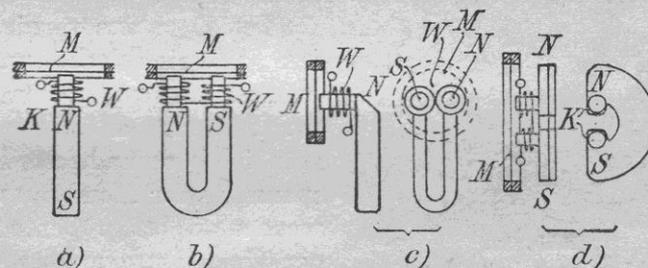


Abb. 2.
Verschiedene Typen von Fernhörern.

Spulen versehen waren. Es ließ sich durch diese Maßnahme ein stärkeres Magnetfeld zwischen den Kernen und der Membran erreichen, so daß die Lautstärke derartiger Apparate größer ist als bei der älteren Konstruktion. In Abb. 2 sind unter a bzw. b schematisch solche Fernhörer dargestellt, während Abb. 3a das Äußere erkennen läßt. Derartige Hörer erfreuen sich in den Vereinigten Staaten von Amerika sowie in England besonderer Beliebtheit.

In Europa suchte man die Handlichkeit des Telephons dadurch zu verbessern, daß man die Kerne nicht mehr in die Verlängerung des Magnetschenkels legte, sondern senkrecht dazu, so daß eine löffelartige Gestalt

zustande kam. (Siehe Abb. 2c und 3b.) Ferner wurde der Abstand zwischen Membran und den Kernen regelbar gemacht, um die Tonstärke des Apparates einstellen zu können.

Das Bestreben, den Hörer möglichst handlich zu machen, führte schließlich zu der in Abb. 2d und 3c und d dargestellten Ausführung, dem Dosentelephon. Die Magnete sind aus Stahlblech gestanzt und in ihren Abmessungen so gehalten, daß sie sich bequem in einer

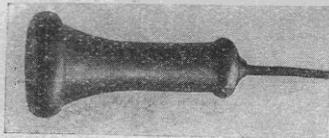


Abb. 3a.
Fernhörer nach Bell. Amerikanisches Modell.

flachen Dose aus vernickeltem Messingblech unterbringen lassen. Besondere Sorgfalt wird auf eine vollständig ebene und feste Einspannung der Membran verwendet, die bei größeren Typen einen Durchmesser von 80 bis 100 mm bei 0,4 bis 0,7 mm Dicke, bei kleineren Typen einen Durchmesser von 40 bis 70 mm bei 0,2 bis 0,4 mm Dicke aufweist. Die Magnete sind aus bestem Wolframstahl mit etwa 5,5% Wolfram und 0,4 bis 0,6% Kohlenstoff herzustellen und sorgfältig zu härten. Vor der Membran befindet sich die dem Ohre sich anpassende Hörmuschel, die dazu bestimmt ist, von außen kommende störende Geräusche fernzuhalten. Sie hat in der Mitte ein Loch, oder ist auch siebartig durchlöchert, um die Schallschwingungen der Membran zum Gehörgang gelangen zu lassen. In Räumen mit starkem Geräusch, wie Betriebsräumen von Schiffen, Werkstätten u. dgl., wird zwischen Ohr und Hörmuschel noch eine besondere Abdichtung, bestehend aus einem Filz- oder hohlen Gummiring, angewendet.

Häufig verbindet man zwei Dosentelephone durch einen Metallbügel, der sich der Kopfform anschmiegt, miteinander. Derartige Apparate sind dann zum Gebrauch in Telephonzentralen sehr zweckmäßig, da die Hände für Schaltmanipulationen frei bleiben (Kopffernhörer). Dosentelephone werden auch wohl mit einem Handgriff aus Holz oder Hartgummi ausgerüstet und heißen

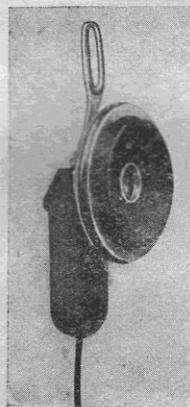


Abb. 3b.
Löffelfernhörer von Siemens.



Abb. 3c.
Dosenfernherörer.

dann Stieltelephone. An geeigneter Stelle tragen die meisten Fernhörer eine Aufhängeöse, um sie im Ruhezustande an den Stationen aufhängen zu können. Die Stromzuführung geschieht durch leicht bewegliche Schnüre, die im Innern 2 Adern aus feinen miteinander verseilten Kupferbändern enthalten.

Die Wicklungs- und Widerstandsverhältnisse der Spulen sind je nach den Schaltungsverhältnissen sehr verschieden. Stehen starke Sprechströme zur Verfügung, die meist eine niedrige Spannung aufweisen, so wählt

man Hörer mit Widerständen von 5 bis 30 Ohm, für schwächere Ströme dagegen solche mit 60 bis 200 Ohm. Dabei kommen mit Seide oder Emaille isolierte Drähte von 0,6 bis 0,10 mm Durchmesser in Anwendung. Für Meßzwecke kommen Widerstände von 1 Ohm, für Hörer der drahtlosen Telegraphie solche von 1000 bis 6000 Ohm vor.



Abb. 3d.
Doppel-Kopfbügel-Fernhörer.



Abb. 3e.
Stielfern Hörer der Reichspost.

Die Empfindlichkeit der Telephone hängt natürlich wesentlich von der Konstruktion sowie der Güte der Ausführung ab. In der nachstehenden Tabelle sind für einige bekanntere Typen neben anderen Daten auch die Empfindlichkeiten angegeben, und zwar ist als solche diejenige Stromstärke bezeichnet, bei der ein normales Ohr ein Gespräch deutlich vernimmt. Der Strom ist bei der Messung durch eine Wechselstrommaschine erzeugt worden, und zwar ist ein Strom mit 800 Perioden in der

Sekunde benutzt, eine Periodenzahl, die etwa den Mittelwert derjenigen Schwingungen darstellt, die als Schallwellen durch das Telephon übertragen werden. Die Sprache besteht bekanntlich darin, daß durch die menschlichen Sprechorgane Schallwellen ausgesandt werden, deren Träger die Luft ist; die Zahl der Doppelschwingungen pro Sekunde liegt zwischen 40 und 4000.

Bezeichnung	Anzahl Spulen	Widerstand, gesamt	Stromstärke, bei der ein Ton von 800 Perioden noch deutlich hörbar ist
Bell-Hörer	2	200	2×10^{-7} A
Löffelhörer	2	200	1×10^{-7} A
Stielhörer neues Postmodell . .	2	60	7×10^{-6} A
Dosenhörer neues Postmodell	2	60	6×10^{-6} A
Dosenhörer für drahtlosen Empfang. . . .	2	1000	5×10^{-8} A

Für die Umsetzung starker Sprechströme in Schallwellen hat man besondere Telephone, sogenannte Lautsprecher, konstruiert, die sich durch sehr große und dadurch starke Magnetsysteme auszeichnen. Man bezeichnet sie als lautsprechende Telephone. Die Lautwirkung solcher Apparate wird oft noch wesentlich durch einen vor der Membran befindlichen Schalltrichter, wie er bei den Grammophonen allgemein bekannt ist, verstärkt. Es gelingt auf diese Weise, den vom Lautsprecher erzeugten Schall auch in einem größeren Raume hörbar zu machen.

§ 3. Das Mikrophon.

Die Umsetzung der Sprache in Sprechströme wurde durch die bereits erwähnte Anordnung des Senders von Reis nur in unvollkommener Weise erreicht. Wenn auch die Schwingungszahl der den Schall aufnehmenden Membrane, also auch die der Sprache, bei guter Einregulierung der sich berührenden Kontakte richtig reproduziert wurde, so war die Unterbrechung und Wiedereinschaltung des Stromes doch eine plötzliche.

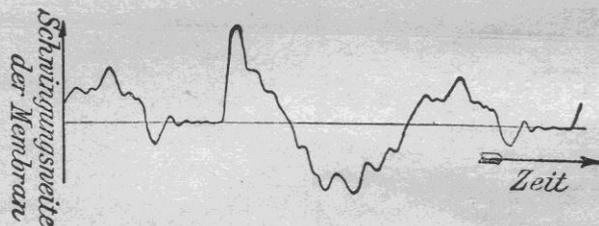


Abb. 4.
Zeitlicher Verlauf von Schallschwingungen.

Dagegen weisen die Schallschwingungen solche plötzliche Schwankungen in ihrem zeitlichen Verlauf keineswegs auf, sondern verlaufen in sanften Wellen (siehe Abb. 4).

Es galt also, zur Verbesserung der Wirkung das Ein- und Ausschalten des Stromes allmählich bei jeder Schwingung auszuführen. Dies wurde erreicht, indem man als Kontaktmaterial Kohle verwendete, und dafür sorgte, daß der Strom überhaupt nie gänzlich unterbrochen wurde, sondern seine Stärke lediglich entsprechend der Schallstärke änderte. Kohle erwies sich für diesen Zweck als besonders geeignet, da eine solche Kon-

taktstelle ihren Widerstand entsprechend dem Druck der Berührung ändert. Man brachte also die Aufnahme-membran in Berührung mit einem geeigneten Kohlekontakt und leitete über diesen den Strom einer galvanischen Batterie. Beim Sprechen gegen die Membran wird ein bei jeder Schallschwingung wechselnder Druck auf die Kontaktstelle ausgeübt und infolge des ständig sich ändernden Widerstandes ein Wellenstrom erzeugt, dessen zeitlicher Verlauf in Abb. 5 beispielsweise für den Vokal „a“ dargestellt ist. Man kann diesen Strom

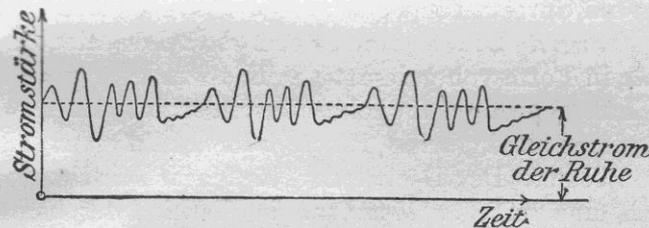


Abb. 5.
Zeitlicher Verlauf des Mikrophonstromes, wenn der Vokal „a“ hineingesprochen wird.

in einen Gleichstrom, der im Ruhezustand fließt, sowie einen beim Sprechen darüber gelagerten Wechselstrom zerlegen; beide ergeben durch Addition ihrer Momentanwerte den zeitlichen Verlauf des Mikrophonstromes.

Die ältesten praktisch brauchbaren Mikrophone von Gover und Mix & Genest hatten Holzmembranen, hinter denen zwei parallele Leisten aus gepreßter Kohle befestigt waren. In Löchern beider Leisten waren lose Kohlenstäbe gelagert, und zwar derartig, daß durch die Erschütterungen der Membran der Kontaktdruck zwischen den Leisten und den Stäben und damit auch der Widerstand der Kontaktstelle sich änderte. Nach der

Gestalt der Stäbe wurden diese Mikrophone Walzenmikrophone genannt. Da bei dieser Konstruktion nur wenige Berührungsstellen vorhanden waren, trat leicht bei einer etwas stärkeren Strombelastung oder bei langen Gesprächen dadurch ein Versagen ein, daß die wenigen Kontaktstellen verbrannten oder auch zusammenbackten. Man war daher in erster Linie bestrebt, die Anzahl der Kontaktstellen zu vermehren und damit die Strombelastungsmöglichkeit zu erhöhen. Die Folge davon war eine wesentliche Verbesserung der Lebensdauer und infolge der größeren Stromstärke eine Erhöhung der beim Sprechen in Form von Wechselströmen erzeugten Energie. Die Kontaktkörper bestehen hierbei aus Kohle in Form von griesartigen Körnern oder auch kleinen hart gepreßten Kugeln, die sich in Näpfchen befinden, deren Boden eine Platte oder Mulde aus harter Kohle bildet. Der Deckel des Näpfchens wird entweder durch eine mit der Membran in Verbindung stehende Kohleplatte gebildet, oder durch die Membran selbst, die dann häufig gleichfalls aus dünner gepreßter Kohle besteht. Bei einigen amerikanischen Konstruktionen sind der Boden der Kohlekammer und die Membran an einem schweren Teil aus Messing (solid back) befestigt, während die deutschen Konstrukteure alle Teile in einer flachen Dose aus gepreßtem Blech vereinigen. Die Stromzuführung geschieht einerseits durch einen isolierten Kontakt am Boden der Dose, andererseits durch die Dose selbst.

Man nennt diese dosenartigen Mikrophone Mikrophonkapseln oder Kapselmikrophone und unterscheidet zwei Typen:

1. mit Kugelfüllung,
2. mit Kohlegriß oder Pulverfüllung.

Mikrophone mit Kugelfüllung haben meist einen verhältnismäßig geringen Widerstand von 30 bis 50 Ohm. Sie lassen sich infolgedessen mit geringen Spannungen, also wenigen galvanischen Elementen betreiben (man wendet 1 bis 2 Braunsteinelemente, also 1,5 bis 3 Volt, an). Der Stromkreis, in den ein solches niederohmiges Mikrophon seinen Sprechstrom schickt, darf gleichfalls nur geringen Widerstand haben, wie an nachstehendem Beispiel erläutert ist:

Beispiel:

Mikrophonwiderstand in Ruhe = $R_1 = 30$ Ohm.
 Beim Auftreffen einer Schallwelle falle der Mikrophonwiderstand auf $R_2 = 15$ Ohm.
 Leitungswiderstand = $w' = 2$ Ohm.

Die Spannung der Stromquelle betrage $E = 3$ Volt. Spannung, Stromstärke und Widerstand eines Stromkreises hängen nun bekanntlich nach dem Ohmschen Gesetz miteinander zusammen, und zwar ergibt sich die Spannung als das Produkt aus Stromstärke mal Summe der Widerstände des betreffenden Stromkreises. Auf das Beispiel angewendet ist also: Für den Ruhezustand: Summe der Widerstände: $R_1 + w' = 30 + 2 = 32$ Ohm. Also nach dem Ohmschen Gesetz:

$$3 = \text{Stromstärke} \cdot 32 = J' \cdot 32.$$

$$\text{Stromstärke} = J' = 3 : 32 = 0,094 \text{ Ampere.}$$

Für den Fall, daß eine Schallwelle das Mikrophon trifft, ist der Gesamtwiderstand nur:

$$R_2 + w' = 15 + 2 = 17 \text{ Ohm.}$$

Also nach dem Ohmschen Gesetz:

$$\text{Stromstärke} = J'' = 3 : 17 = 0,177 \text{ Ampere}$$

Die Stromstärke hat also gegenüber dem Ruhezustand um den Betrag von

$$0,177 - 0,094 = 0,083 \text{ Ampere}$$

zugenommen, d. h. um 88% sich vergrößert. Die beim Sprechen auftretenden Wellenströme werden in ihren Momentanwerten etwa um diesen Betrag schwanken (siehe Abb. 6).

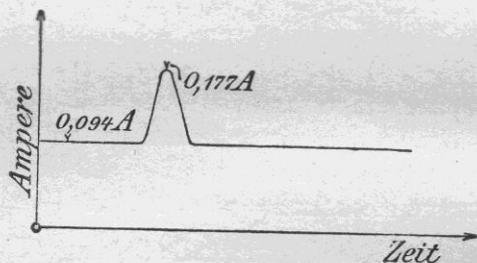


Abb. 6.
Schwankung der Stromstärke bei Beispiel 1.

Zum Vergleich sei ein zweites Beispiel betrachtet, in dem dasselbe Mikrophon an eine Leitung von wesentlich höherem Widerstande, nämlich $w' = 100 \text{ Ohm}$, angeschlossen ist.

Für den Fall der Ruhe:

Gesamtwiderstand:

$$R + w' = 30 + 100 = 130 \text{ Ohm.}$$

$$\text{Stromstärke } J' = 3 : 130 = 0,023 \text{ Ampere.}$$

Für den Fall, daß Schallwellen auftreffen:

Gesamtwiderstand:

$$R + w' = 15 + 100 = 115 \text{ Ohm.}$$

$$\text{Stromstärke } J'' = 3 : 115 = 0,026 \text{ Ampere}$$

Schwankung der Momentanwerte:

$$0,026 - 0,023 = 0,003 \text{ Ampere.}$$

Prozentuelle Zunahme um nur 13% des Wertes bei Ruhe (siehe Abb. 7).

Ein in die Leitung eingeschaltetes Telefon wird die Sprache offenbar um so lauter wiedergeben, je größer die relativen oder prozentuellen Schwankungen der Momentanwerte des die Leitung durchfließenden Stromes sind; deswegen wird das Telefon für die Verhältnisse im Beispiel 1 weit lauter sprechen als im Bei-

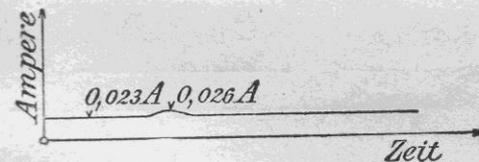


Abb. 7.
Schwankung der Stromstärke bei Beispiel 2.

spiel 2. Wollte man in letzterem Falle die Übertragung verbessern, so könnte dies dadurch geschehen, daß man ein Mikrophon von höherem Widerstande, z. B. 400 Ohm anwendet. Gleichzeitig wird zweckmäßig die Spannung auf 20 Volt erhöht. Der Widerstand dieses Mikrophones möge beim Sprechen auf 200 Ohm zurückgehen (also, wie im vorigen Beispiel, auf die Hälfte des Ruhewiderstandes).

Für den Fall der Ruhe wird dann:

Gesamtwiderstand:

$$R + w' = 400 + 100 = 500 \text{ Ohm.}$$

$$\text{Stromstärke } J' = 20 : 500 = 0,040 \text{ Ampere.}$$

Für den Fall, daß Schallwellen auftreffen:

Gesamtwiderstand:

$$R + w' = 200 + 100 = 300 \text{ Ohm.}$$

$$\text{Stromstärke } J'' = 20 : 300 = 0,067 \text{ Ampere.}$$

Schwankungen der Momentanwerte:

$$0,067 - 0,040 = 0,027 \text{ Ampere.}$$

Prozentuelle Zunahme um 67% des Wertes bei Ruhe.

Dieser Wert ergibt nach praktischen Erfahrungen eine sehr gute Sprechverständigung.

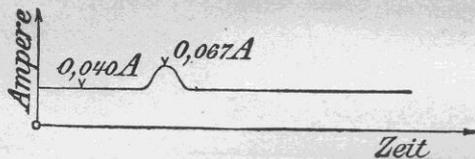


Abb. 8.

Schwankung der Stromstärke bei Beispiel 3.

Man kann nach den Widerständen die Mikrophone in zwei Gruppen einteilen:

1. Mikrophone mit ca. 30 bis 60 Ohm.

2. Mikrophone mit ca. 60 bis 500 Ohm.

Da die erste Gruppe meistens in den später zu beschreibenden Schaltungen mit lokaler Speisung angewendet wird, so nennt man sie: Mikrophone mit Lokal- oder Ortsbatterie-Speisung (in Abkürzung: LB oder OB-Mikrophone).

Die Mikrophone mit hohem Widerstand erfordern zu ihrer Speisung Spannungen von 10 bis 30 Volt. Da als Stromquellen in den meisten Fällen im Fernsprechteilnehmer aufgestellte, also zentralisierte und nicht wie bei den OB-Mikrophenen bei den Fernsprechteilnehmern be-

findliche Batterien angewandt werden, so nennt man diese Mikrophone: Mikrophone für Zentralbatterie-Speisung (in Abkürzung: ZB-Mikrophone).

Die Konstruktion der Mikrophone soll im folgenden an Hand der Abb. 9 erläutert werden.

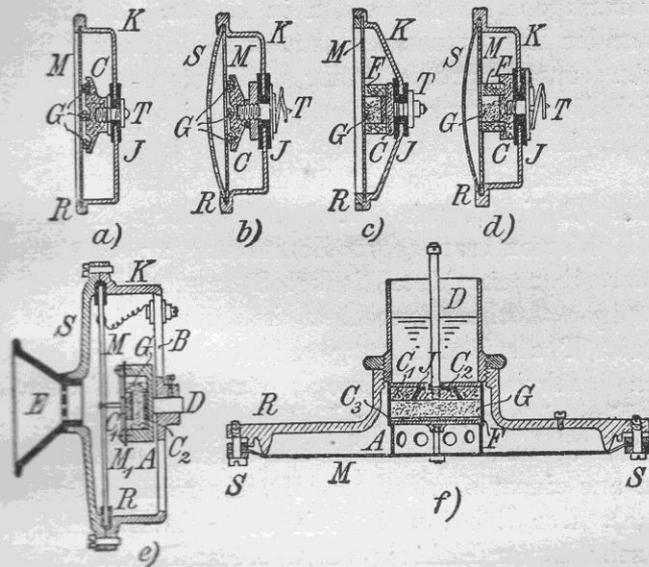


Abb. 9.

Mikrophonkonstruktionen.

Abb. 9a stellt eine OB-Mikrophon-Kapsel dar. Die aus gepreßter Kohle hergestellte Membran M ist durch Umbördeln des Randes R einer Messingkapsel K gehalten. Ein Kohleblock C ist durch eine Isolation J mit Hilfe des Bolzens T im Innern der Dose befestigt. Er trägt an der der Membran zugewandten Seite 7 kleine Höhlungen, in denen einige Kugeln G aus Kohle sich

befinden, die eine elektrische Verbindung zwischen der Membran und dem Kohleblock C herstellen. Treffen Schallwellen auf die Membran, so werden dadurch die Kohlekörner bald in festeren, bald in loseren Kontakt gebracht, und bewirkt, daß der elektrische Widerstand starken Schwankungen unterworfen ist.

Derartige Kapseln werden in Fassungen eingesetzt, die vor der Membran einen kurzen Trichter, den Sprechtrichter, zur Konzentrierung und besseren Zuleitung der Schallwellen tragen. Die Fassung ist an dem Deckel der Telephonstation befestigt.

Eine ähnliche Kapsel ist in Abb. 9b dargestellt. Um die nur 0,3 bis 0,5 mm starke und daher sehr empfindliche Kohlemembran gegen Zerstörung zu schützen, ist vor derselben ein Metalldeckel S angebracht, der mit siebartigen Löchern versehen ist. Außerdem ist der Kontakt T als Feder ausgebildet. Während bei den beiden beschriebenen Mikrophonen als schallempfindliche Kontakte solche aus Kohlekugeln dienen, zeigen die Abb. 9c und d Kapseln, bei denen ein kleiner Behälter aus einem elastischen Filzring gebildet ist (Filzring F). Der Behälter ist mit unregelmäßigen Stücken sehr harter Kohle gefüllt. Diese Kohle wird aus Anthrazit gewonnen, indem man die mineralischen Bestandteile aussondert und die Bitume durch Auswaschen mit Benzin und Glühen bei Luftabschluß entfernt. Die vielen feinen Spitzen der Kohlekörnchen geben sehr empfindliche und durch Schallschwingungen leicht zu beeinflussende Kontakte ab, so daß derartige Mikrophone noch besser als die mit Kugelfüllung zur Erzeugung von Sprechströmen geeignet sind, wenn alle Feinheiten der Sprache wiedergegeben werden sollen. Der Widerstand ist naturgemäß wegen der vielen und

feinen Kontaktstellen höher als bei den Kugelmikrophonen; man muß also zur Speisung etwas höhere Spannungen, etwa 3 bis 6 Volt, bei feinem Kohlegrieß 10 bis 30 Volt anwenden. Die letzteren werden vorzugsweise bei Anlagen mit zentraler Speisung aller Mikrophone aus einer gemeinsamen Batterie verwendet (ZB-Mikrophone). Ein besonderer Vorteil der Mikrophone mit Kohlegrießfüllung ist ihre Fähigkeit, selbst nach starker Benutzung brauchbar zu bleiben, da immer neue Kontaktstellen zur Verfügung stehen, namentlich, wenn man die Kapsel ab und zu schüttelt. Aus diesem Grunde sind bei vielen Telephonapparaten teils automatisch wirkende, teils von Hand zu betätigende Schüttelvorrichtungen angebracht.

Abb. 9e gibt das in Amerika viel gebräuchliche Solidback-Mikrophon im Prinzip wieder. Es hat seinen Namen von der soliden Brücke aus Messing (B), die an einem Zapfen D den Kohleblock C₂ trägt. Ihm gegenüber fest mit der Membran verbunden befindet sich ein gleicher Kohleblock C₁. Aus einem Metallringe A und einer dünnen Scheibe M₁ aus Glimmer ist der Behälter für den Kohlegrieß G gebildet. Die Membran M ist in einem Gummiring R gelagert, und wird vom Gehäuse K gehalten. Ein Trichter E dient zur Zuleitung des Schalles.

Will man sehr starke Sprechströme erzeugen, so muß man im Mikrophon einen verhältnismäßig starken Strom benutzen. Da nun solche Ströme erhebliche Wärmemengen an den Mikrophonkontakten, also besonders den Kohleteilen, welche die Zu- und Ableitung zum Kohlegries besorgen sowie auch in den Kohlekörnern selbst erzeugen, so sind die bisher beschriebenen Apparate solchen Belastungen nur auf kurze Zeit gewachsen. Bei längerer Dauer verbrennen die Kohleteilchen und das

Mikrophon wird unbrauchbar. Nur durch bessere Abführung der Wärme läßt sich dieser Übelstand beseitigen. Zu diesem Zwecke wendet man gekühlte Kohlekammern an und vergrößert außerdem die räumlichen Abmessungen. Das in Abb. 9f wiedergegebene sogenannte Starkton-Mikrophon der Schweden Egnér und Holmström möge als Ausführungsbeispiel dienen. Die sehr große Membran M aus dünnem Aluminium wird durch Spannschrauben S nach Art eines Trommelfells stark gespannt. Die Kohleblöcke C_1 und C_2 sind konzentrisch und isoliert auf dem Boden eines Kupferzylinders D angeordnet, der nach Bedarf mit Paraffin gefüllt werden kann, und dadurch vorzüglich die an den Kohlen entstehende Wärme ableitet, daß dieselbe zum Schmelzen des Paraffins gebraucht wird. Ein Ring aus Glimmer F sowie ein Boden A, der leicht im Ringe verschiebbar ist, bilden mit den Kohlen C_1 und C_2 zusammen den Behälter für das Kohlepulver G. Bei Schwingungen der Membran M übt der Kolben A einen variablen Druck auf das Kohlenpulver G aus und es tritt dadurch eine Schwankung des Übergangswiderstandes bei C_1 bzw. C_2 ein. Solche Mikrophone können mit Strömen von ca. 1 bis 2 Ampere dauernd belastet werden. Sie werden mit 10 bis 16 Volt Gleichstromspannung gespeist. Sie sind in erster Linie für lange Telephonlinien bestimmt, die mit normalen Apparaten nicht mehr betrieben werden können, werden aber auch mit Erfolg zum Betriebe von Lautsprechtelefonen in Kommandoanlagen verwendet. Zu bemerken ist noch, daß Mikrophone mit großen Membranen im allgemeinen nur dann in richtiger Weise funktionieren, wenn sie von kräftigen Schallwellen getroffen werden. Man muß also laut in solche Mikrophone hineinsprechen, um eine

gute Wirkung zu erzielen. Will man dagegen sehr leise Geräusche durch ein Mikrophon in Sprechströme umsetzen, so nimmt man am besten Mikrophone mit sehr dünnen Membranen und kleinen Abmessungen. Als Füllung wird feiner Kohlegrieß benutzt, so daß solche Lauschmikrophone Widerstände von etwa 400 Ohm im Ruhezustande haben. Sie sind in der Lage, aus Entfernungen bis zu 10 Metern Gespräche noch aufzunehmen.

Die Mikrophonkapseln werden an den Fernsprechern in besondere leicht lösbare Fassungen mit Schallaufnahmetrichtern eingesetzt, die eine schnelle Auswechslung schadhafter Kapseln ermöglichen.

§ 4. Das Mikrotelephon.

Da in einer Telephonstation zum Aussenden der Sprechströme ein Mikrophon, zum Hören ein Telephon notwendigerweise vorhanden sein müssen, um einen Verkehr in beiden Richtungen, einen Korrespondenzverkehr, zu ermöglichen, vereinigt man beide Apparate vielfach zu einem einzigen, den man dann als Mikrotelephon bezeichnet. Ein solches ist in Abb. 10 im Längsschnitt dargestellt. Ein Griff G aus Hartgummi oder einem anderen Isoliermaterial trägt oben mittels des Messingrohres R_1 ein Dosentelephon T, an seinem unteren Ende eine Dose D, in der sich die Mikrophonkapsel M befindet. Vor derselben ist ein Schallaufnahmetrichter S befestigt. Eine biegsame Leitungsschnur L mit 4 leitenden voneinander isolierten Adern ist durch den Kanal K mit dem Telephon sowie mit dem Mikrophon einerseits, andererseits mit der Telephonstation verbunden. Unter Umständen können im Griff

noch Schaltorgane untergebracht sein, die durch einen Handgriff, eine Taste, betätigt werden. Bei solchen Apparaten enthält die Leitungsschnur eine der Schaltung entsprechende Aderzahl.

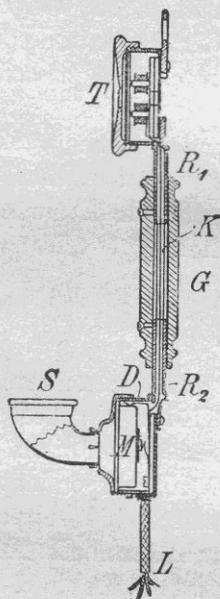


Abb. 10.
Mikrotelephon, schematisch.

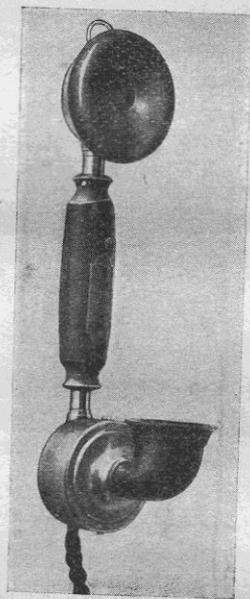


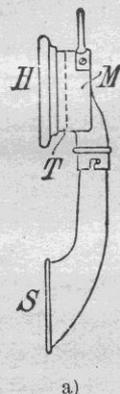
Abb. 11.
Mikrotelephon der Reichspost.

Die bequeme Handhabung hat dem Mikrofontelephon eine weite Verbreitung geschaffen, so daß beispielsweise die Deutsche Reichspost bei ihren Tischapparaten ausschließlich Mikrophone verwendet. So dann finden sie vielfach als Abfrageapparate in Telefonzentralen Anwendung.

Ein besonderer Vorteil ist der, daß beim Gebrauch

die Mikrofonkapsel ständigen Erschütterungen ausgesetzt ist, und so das Kohlepulver am Zusammenbacken gehindert wird.

Abb. 11 stellt die äußere Ansicht eines Mikrotelephons der Reichspost dar; der Hörer hat zwei Spulen mit insgesamt 60 Ohm Widerstand, das Mikrophon ist



a)



b)

Abb. 12.
Mikrotelephone, französische Modelle.

für Zentralbatteriebetrieb bestimmt und hat einen Widerstand von ca. 300 Ohm im Ruhezustande.

Eine besonders einfache Konstruktion erhält man, wenn Mikrophon und Telephon in einer einzigen Kapsel angeordnet werden. In Abb. 12a ist in einer Kapsel vorne ein Telephon T, hinten durch eine Scheidewand davon getrennt ein Mikrophon M eingebaut. Die Hör-

muschel H des Telefons legt man ans Ohr, die Schallwellen der eigenen Sprache werden dem Mikrophon durch den Trichter S zugeführt. Eine in Frankreich gebräuchliche Ausführung stellt Abb. 12b dar. Diese

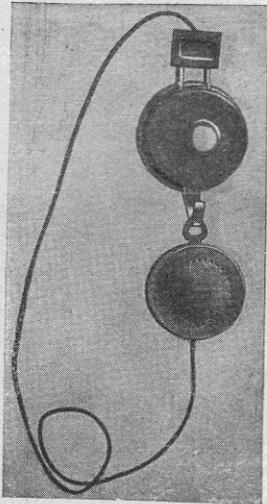


Abb. 13.
Mikrotelephon „Mirakel“
von Mix & Genest.

Apparate sind besonders in hygienischer Beziehung günstiger als die der Abb. 11, da die Öffnung des Trichters beim Sprechen nach der Seite oder nach unten gerichtet ist.

Wird das Mikrophon besonders empfindlich ausgebildet (Lauschmikrophon), so kann man den Trichter S ganz fortlassen und die Schallwellen lediglich mit der zum Festhalten dienenden hohlen Hand auffangen. Ein solcher sehr handlicher und kleiner Apparat ist in Abb. 13 dargestellt. Er ist als Wohnungstelephon bestimmt. Seine Anschlußschnur besitzt am Ende einen Stecker, um den Apparat an verschiedenen Stellen der Wohnung, z. B. dem Druckknopf einer Klingeleitung, anschließen zu können.

§ 5. Induktionsspulen.

Bei Besprechung der Mikrophone wurde bereits (s. S. 20) auf den großen Einfluß hingewiesen, den der Leitungswiderstand des Mikrophonstromkreises auf die Güte der Sprechverständigung ausübt. Um eine möglichst günstige Wirkung zu erzielen, muß man dafür

sorgen, daß die Widerstandsschwankungen, die im Mikrophon beim Sprechen entstehen, einen Stromkreis beeinflussen, der im Vergleich zu den Widerstandsschwankungen nur noch geringe andere Leitungswiderstände enthält. Aus diesem Grunde ist die in Abb. 14

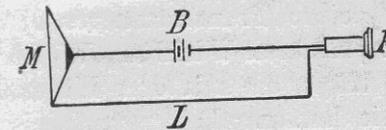


Abb. 14.

Direkte (Reihen-)Schaltung von Mikrophon und Telefon.

dargestellte direkte Schaltung, bei der Mikrophon M, Batterie B, Fernsprecher F und Leitung L in einen Stromkreis hintereinander geschaltet sind, nur für kurze Leitungen bis zu einigen Kilometern, also in der Hauptsache für internen Verkehr zu gebrauchen.

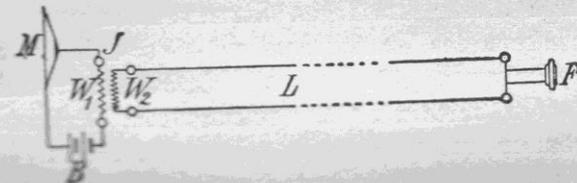


Abb. 15.

Prinzip der indirekten Schaltung mit Induktionsspule.

Ein wirksames Mittel zur Erhöhung der Reichweite ist in Abb. 15 im Prinzip wiedergegeben, und besteht darin, daß man den Mikrophonstromkreis auf den Ort der Station lokalisiert und nicht den gesamten Speisestrom, sondern nur Sprechwechselströme über die Leitungen zur korrespondierenden Station sendet. Man bezeichnet eine solche Anordnung als lokale Speisung

oder Speisung aus einer Ortsbatterie, die Stationen werden OB- oder LB-Stationen genannt (Stationen für Orts- oder Lokal-Batterie-Betrieb).

Ein Mikrophon M wird aus einer Batterie von einem oder zwei galvanischen Elementen gespeist und sendet beim Sprechen starke Stromschwankungen durch Drahtwindungen W_1 eines Transformators J , dessen Eisenkern außer der primären Wicklung W_1 noch eine zweite Wicklung W_2 trägt, die mit dem Hörer F der Gegenstation über die Leitung L verbunden ist. Die Wicklung W_1 besteht aus wenigen Windungen starken Drahtes, hat also nur einen kleinen Widerstand, dagegen besteht W_2 aus vielen Windungen dünnen Drahtes. Der Widerstand des Mikrophonstromkreises ist also in der Hauptsache durch den Widerstand des Mikrophons selber unabhängig vom Widerstand der Leitung L bestimmt, mithin können sehr kräftige Sprechströme die Primärwicklung W_1 des Transformators J durchfließen.

Infolge dieser kräftigen Stromschwankungen wird der Eisenkern des Transformators einer mit der Stärke des Sprechstromes ständig wechselnden Magnetisierung unterworfen, mithin in der sekundären Wicklung W_2 ein Strom induziert, der in seinem zeitlichen Verlauf den primären Stromschwankungen entspricht, zum Unterschiede vom Primärstrom jedoch kein Wellenstrom, sondern ein reiner Wechselstrom ist, also den im Ruhezustande das Mikrophon durchfließenden Gleichstrom nicht mehr enthält. Die zeitlichen Verläufe beider Ströme sind unter vereinfachenden Voraussetzungen in Abb. 16 dargestellt. Kurve a stellt den primären Strom, Kurve b die sekundäre Wechselstromspannung dar.

Man wählt nun die Wicklungsverhältnisse der beiden

Spulen derart, daß W_1 aus wenigen Windungen, W_2 dagegen aus vielen Windungen besteht. Bei solchen Transformatoren wird die Spannung im Verhältnis der Windungszahlen umgesetzt, es tritt also an der mit der Leitung verbundenen Wicklung W_2 eine im Verhältnis der Windungen W_2 zu W_1 erhöhte Spannung auf. Da nach einfachen theoretischen Überlegungen die

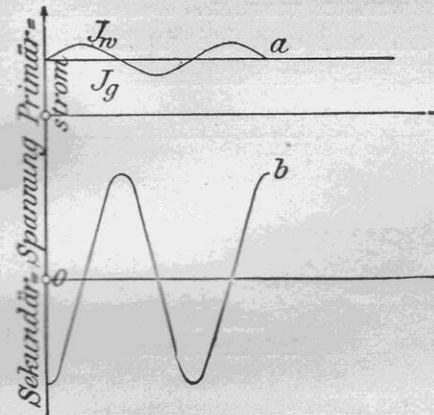


Abb. 16.

Zeitlicher Verlauf von Primärstrom und Sekundärspannung bei indirekter Schaltung.

Reichweite einer Leitung bei Annahme eines bestimmten Verlustes mit dem Quadrat der Spannung an der Leitung wächst, so ist es einleuchtend, daß die Einfügung des Transformators oder, wie er in der Telephonie genannt wird, der Induktionsspule, die Reichweite wesentlich vergrößern wird.

Die Induktionsspulen zeigen im Gegensatz zu den in der Starkstromtechnik gebräuchlichen Transformatoren keinen geschlossenen Eisenkern, sondern als solcher

dient ein Bündel gerader Eisendrähte (5 bis 12 cm lang, Kerndicke etwa 8 bis 12 mm). Ein offener Kern muß deswegen angewandt werden, weil bei einem geschlossenen durch den in Abb. 16 mit Jg bezeichneten Gleichstrom der Ruhe eine so starke Magnetisierung hervorgerufen wird, daß die durch die Sprache bewirkten Stromschwankungen J_w keine merkliche Änderung der fast bis zur Sättigungsgrenze gesteigerten Magnetisierung des Kernes bewirken würden. Bei einem offenen Kern wird dieser Zustand erst bei praktisch nicht vorkommenden weit größeren Stromstärken erreicht; jede



Abb. 17.
Induktionsspule.

Schwankung des primären Sprechstromes wird also getreu im sekundären Strome wieder zu finden sein.

Abb. 17 stellt eine Induktionsspule dar. Die Primärwicklung W_1 hat bei 380 Windungen einen Widerstand von 1 Ohm, die sekundäre bei 2600 Windungen 200 Ohm. Die Drahtstärken sind 0,47 und 0,14 mm.

Vielfach sind auch Induktionsspulen im Gebrauch, die weniger dem Zwecke der Spannungserhöhung dienen, als vielmehr dazu benutzt werden, zwei Stromkreise miteinander zu verbinden, ohne daß sie mit ihren Leitungen galvanisch zusammenhängen. Zu diesem Zwecke wird der eine Stromkreis mit der primären Spule verbunden, der andere mit der sekundären, die etwa die

gleiche Windungszahl wie die primäre hat. Die durch die primären Wechselströme in dem Eisenkern erzeugten Kraftlinien induzieren dann in den sekundären Windungen Spannungen etwa gleicher Höhe, wenn W_1 etwa gleich W_2 genommen wird. Im Gegensatz zu einer unmittelbaren Verbindung der beiden Stromkreise be-

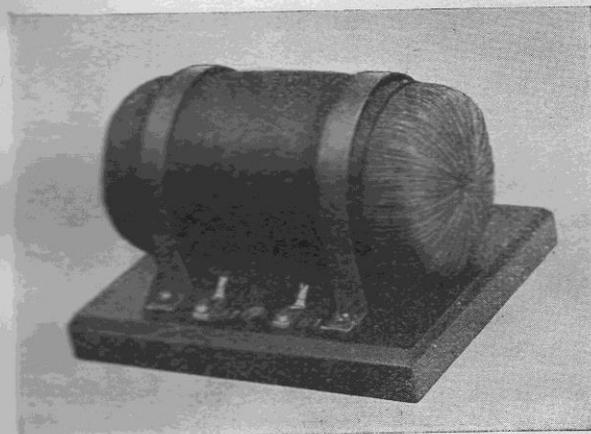


Abb. 18.
Übertrager, sog. Igeltype. Die Kerndrähte sind nach außen umgelegt und umgeben mantelartig die Spulen.

zeichnet man eine solche Anordnung als induktive Kopplung, da als Mittel die magnetische Induktion des einen Stromkreises auf den andern dient. Solche auch Übertrager genannte Apparate werden beispielsweise angewendet, wenn man den Übertritt von Gleichstrom aus dem einen Kreis in den andern zwar verhüten will, dagegen Wechselströme übertragen will. Da nämlich ein Gleichstrom zwar eine Magnetisierung des Eisenkernes bewirkt, die jedoch einen konstanten Betrag

hat, Sekundärströme aber nur auftreten, wenn die Magnetisierung des Kernes schwankt, so kann ein Gleichstrom zwar im Zeitpunkte seines Entstehens oder Verschwindens einen sekundären Strom induzieren, nicht aber während der Zeit seines Fließens; ein Übertrager wirkt also sperrend auf einen Gleichstrom.

Die Anwendung der Übertrager soll weiter unten bei Besprechung der einzelnen Schaltungen erläutert werden. In ihrer Ausführung gleichen die Übertrager häufig den Induktionsspulen mit nicht geschlossenem Eisenkern, falls sie von Gleichstrom durchflossen sind, zeigen jedoch einen geschlossenen Eisenkern, wenn sie nur von Wechselströmen durchlaufen werden. Ein solcher Übertrager mit geschlossenem Eisenkreis, der in diesem Falle aus einem Eisenkern mit Eisenmantel, innerhalb dessen die Spulen liegen, besteht, ist in Abb. 18 dargestellt.

Manche Schaltungen der Telephonie erfordern Apparate, die im Gegensatze zu dem Übertrager zwar einen Gleichstrom passieren lassen, dagegen einem Wechselstrom einen beträchtlichen Widerstand entgegensetzen. Man bezeichnet solche als Drosselspulen. Eine Drosselspule besteht aus einem möglichst gut geschlossenen, aus einzelnen dünnen Drähten oder Blechen bestehenden Eisenkern, der eine Wicklung aus Kupferdraht trägt. Ein Gleichstrom findet in dieser Wicklung nur einen Widerstand, der lediglich durch den des Kupferdrahtes gegeben ist. Durchfließt dagegen ein Wechselstrom die Drosselspule, so bewirkt er eine zeitlich wechselnde Magnetisierung des Eisenkernes. Da nun bei jeder wechselnden Magnetisierung eine Gegenspannung erzeugt wird, so entstehen in den Windungen der Spule elektromotorische Kräfte, die der jeweiligen Spannung

des Wechselstromes entgegengesetzt sind. Um den Betrag dieser Selbstinduktionsspannung erscheint demnach die ursprüngliche Wechselstromspannung vermindert, so daß der die Spule durchfließende Strom ebenfalls kleiner erscheint, als er ohne Vorhandensein der Selbstinduktion, also bei Gleichstrom, nach dem Ohmschen Gesetze, sein würde. Eine Drosselspule setzt also einem Wechselstrom einen erhöhten Widerstand entgegen, doch ist diese Widerstandserhöhung nicht bei Wechselströmen jeder Stärke und sekundlichen Periodenzahl konstant, vielmehr von beiden Faktoren abhängig.

Bezeichnet man:

Periodenzahl pro Sekunde = ν ,

von der Selbstinduktion herrührenden Widerstand = W_s ,

einen Faktor, den Selbstinduktionskoeffizienten, = L ,

so ist:

$$W_s = L \cdot 2\pi\nu \quad (\pi = 3,14).$$

Die Größe L , der Selbstinduktionskoeffizient, ist bei nicht zu starken Drähten und Periodenzahlen bis hinauf zu 2000 pro Sekunde sowie Spulen ohne Eisen oder bei nur schwach mit Magnetismus gesättigtem Eisen ziemlich konstant, also unabhängig von der Periodenzahl und der die magnetische Sättigung bedingenden Stromstärke, muß dagegen bei stärkeren magnetischen Sättigungen, starken Drähten und höheren Perioden von Fall zu Fall durch Messung bestimmt werden. Die Einheit des Induktionskoeffizienten wird im elektromagnetischen Maßsystem mit „Henry“ bezeichnet. Praktisch gebräuchliche Induktionsspulen weisen 0,5 bis 12 Henry auf.

Der Gesamtwiderstand W einer Drosselspule setzt sich zusammen aus dem Widerstand, der bei Gleichstrom vorhanden sein würde, den man als Ohmschen Widerstand R bezeichnet und dem Selbstinduktionswiderstand W_s , und zwar nach dem Gesetz, nach dem die beiden Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks die Hypotenuse ergeben (Lehrsatz des Pythagoras, geometrische Addition im Gegensatze zur algebraischen). Es wird:

$$W^2 = R^2 + W_s^2$$

oder

$$W = \sqrt{R^2 + W_s^2},$$

setzt man den oben angegebenen Wert für W_s ein:

$$W = \sqrt{R^2 + L^2 \cdot (2\pi\nu)^2}$$

Von großem Interesse ist nun das Verhalten einer Drosselspule bei verschiedenen Periodenzahlen des durchfließenden Stromes, das am besten an Hand eines Beispiels erläutert wird:

Die Induktionsspule habe folgende Daten:

Ohmscher Widerstand $R = 200$ Ohm,

Selbstinduktionskoeffizient $L = 5$ Henry.

1. Sei angenommen, daß ein Gleichstrom die Spule durchfließt; dann wird

$$W_s = 0,$$

also

$$W = R = 200 \text{ Ohm.}$$

2. Durchfließe ein Wechselstrom langsamer Periodenzahl, nämlich $\nu = 25$ pro Sekunde, die Spule. Dann wird:

$$W_s = L \cdot 2\pi\nu = 5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 25 = 785 \text{ Ohm.}$$

$$W = \sqrt{R^2 + W_s^2} = \sqrt{200^2 + 785^2} = \sqrt{660000} = 812 \text{ Ohm.}$$

3. Ein Wechselstrom von der bei Sprechströmen als mittlere Frequenz zu betrachtenden Periodenzahl von 800 pro Sekunde durchfließe die Spule:

$$W_s = L \cdot 2\pi\nu = 5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 14 \cdot 800 = 25010 \text{ Ohm.}$$

$$W = \sqrt{R^2 + W_s^2} = \sqrt{200^2 + 25010^2} = 25015 \text{ Ohm.}$$

Aus dem Beispiel geht hervor, daß eine Drosselspule den stets hohe Periodenzahlen aufweisenden Sprechströmen einen sehr großen Widerstand entgegensetzt, während Gleichströme und Wechselströme niedriger Periodenzahl nur geringe Widerstände erfahren. Von dieser Eigenschaft wird mit Vorteil in allen denjenigen Fällen Gebrauch gemacht, in denen es gilt, einen Sprechstrom am Fließen zu hindern, dagegen einen Gleichstrom oder einen Wechselstrom niedriger Periodenzahl, den man beispielsweise zur Signalisierung benutzen will, passieren zu lassen. Die wichtigste Anwendung ist die als Speisedrosselspule in Anlagen mit Betrieb der Mikrophone aus einer zentralen Batterie (ZB-Betrieb), die weiter unten erläutert werden soll.

In Abb. 19 ist die Ansicht einer bei der Reichspostverwaltung in Anwendung befindlichen Drosselspule dargestellt. Die Spule enthält einen gut geschlossenen Eisenkern von 9×9 mm Querschnitt, der aus einzelnen 0,5 mm starken Eisenblechen besteht. Um das Auftreten von sogenannten Wirbelströmen im Kern zu ver-

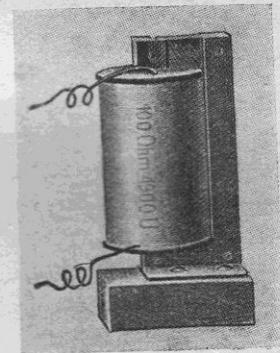


Abb. 19.
Drosselspule, Modell der Reichspost.

hindern, die eine beträchtliche Verringerung der Selbstinduktion veranlassen würden, ist jedes Blech mit einer dünnen Papierschicht belegt. Dadurch werden die einzelnen Bleche voneinander isoliert, so daß die Wirbelstrombildung herabgesetzt wird. Die Wicklung besteht aus 4900 Windungen Kupferdraht, der einen Durchmesser von 0,25 mm hat und einfach mit Seide besponnen ist. Der Widerstand der Spule mit Gleichstrom gemessen, soll 100 Ohm betragen; die Selbstinduktion einer solchen Spule ist etwa 3 Henry.

Außer den beschriebenen sind in der Telephonie noch Spulen im Gebrauch, die man als Kombinationen aus Drosselspulen und Übertragerspulen auffassen kann, da sie den Zwecken beider dienen. Ferner sind Induktionsspulen mit mehreren sekundären oder primären Wicklungen in Anwendung, vermittels derer man beispielsweise mehrere Telephone durch Anschluß an die verschiedenen Wicklungen einschalten kann, die von einer einzigen primären Wicklung induziert werden.

§ 6. Kondensatoren.

Wir hatten bereits die Induktionsspule mit 2 Wicklungen als ein Mittel kennen gelernt, um Wechselströme von einem Stromkreis auf einen anderen zu übertragen, dagegen Gleichstrom zu sperren. Ein anderer wichtiger Apparat mit ähnlichen Eigenschaften ist der Kondensator. Er besteht bei der in der Fernsprechtechnik gebräuchlichen Ausführung aus zwei langen, schmalen Streifen aus Zinnband (Stanniol), die unter Zwischenlage von einem doppelten Papierbande isoliert voneinander aufgewickelt sind. Das Papierband ist mit Paraffin oder auch mit Zeresin getränkt, um die Isolation zu

erhöhen und dauerhaft zu machen. Zu jeder Belegung fährt eine mit einer Klemme oder einer Lötöse versehene zum Anlöten der Drähte dienende Zuleitung. In seiner Wirkungsweise entspricht ein solcher Kondensator der bekannten Leidener Flasche, die allerdings als Isolation ihrer Belegungen oder, wie man sagt, als Dielektrikum meist Glas enthält.

Die Wickel aus Zinnfolie und Papier werden in Becher aus Blech oder aus Papier, welches in Lack getränkt ist, eingebaut und luftdicht vergossen. Die Isolation soll mindestens 100 Megohm pro μF (1 Megohm = 1 000 000 Ohm) betragen. Sie ist stark von der Temperatur abhängig, und zwar fällt sie mit wachsender Temperatur. Die Isolation ist in ihrer Stärke so bemessen, daß die Kondensatoren eine Gleichstromspannung von 350 Volt 2 Minuten lang ertragen können, ohne durchzuschlagen. Kapazität und Isolation sind stark von der bei der Messung verwendeten Spannung und Periodenzahl abhängig, so daß hierfür bestimmte Werte zu benutzen sind. Die Deutsche Reichspost schreibt z. B. für die Messung der Kapazität eine Spannung von 10 Volt, der Isolation von 100 Volt vor.

Das Dielektrikum läßt als guter Isolator einen Gleichstrom nicht passieren, dagegen entsteht eine eigentümliche Wirkung, wenn man einen Wechselstrom an die Belegungen legt. Bei der Induktionsspule hatten wir gesehen, daß ein Wechselstrom eine ständige Änderung des magnetischen Feldes des Kernes bewirkt. In ähnlichem Sinne kann man bei einem Kondensator von einer ständigen Änderung des elektrischen Zustandes des Dielektrikums sprechen, in dem man ein elektrisches Feld annimmt. Während bei der Induktionsspule das

magnetische Feld als Überträger der elektrischen Energie vom primären zum sekundären Stromkreise dient, wird beim Kondensator das elektrische Feld des Dielektrikums hierzu benutzt.

Die Einschaltung eines Kondensators in einen Wechselstromkreis bewirkt eine Zunahme des Widerstandes, die mit W_k bezeichnet werden möge.

Ein Faktor, der von den Abmessungen des Kondensators abhängt, werde als Kapazität = C bezeichnet.

Die Periodenzahl des Wechselstromes sei = ν pro Sek.

Die Theorie ergibt dann, daß bei sinusförmigem Wechselstrom der Widerstand des Kondensators um so größer ist, je kleiner die Periodenzahl und die Kapazität sind. Man kann also schreiben:

$$W_k = 1 : 2\pi\nu \cdot C \quad (\pi = 3,14).$$

Die Kapazität wird im elektromagnetischen Maßsystem in Farad gemessen; die in der Telephonie gebräuchlichen Typen weisen Kapazitäten von 0,1 bis 4millionstel Farad auf. Ein millionstel Farad bezeichnet man als Mikrofarad (μF), so daß die genannten Kondensatoren 0,1 bis 4 μF Kapazität haben. Bei Rechnungen ist die Kapazität in Farad stets einzusetzen.

Beispiel:

1. Ein Kondensator von 2 Mikrofarad werde in einen Wechselstromkreis von einer Periodenzahl von $n = 25$ eingeschaltet.

Der Wechselstromwiderstand W_k wird dann:

$$W_k = 1 : 2\pi\nu \cdot 2 \cdot 10^{-6}; \quad (2\mu F. = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Farad})$$

$$W_k = 1\,000\,000 : 3,14 \cdot 100 = 3180 \text{ Ohm.}$$

2. Schaltet man denselben Kondensator in einen Wechselstromkreis mit 800 Perioden ein, so wird:

$$W_k = 1 : 2\pi \cdot 800 \cdot 2 \cdot 10^{-6}$$

$$W_k = 1\,000\,000 : 10\,000 = 100 \text{ Ohm.}$$

Einen Wechselstrom von $\nu = 25$ pflegt man in der Telephonie zum Anrufen der Teilnehmer zu benutzen; die Periodenzahl von $\nu = 800$ entspricht etwa im Mittel der beim Sprechen auftretenden. Beide Ströme werden, wie das Beispiel zeigt, in einem Kondensator von $2\mu F$ durchaus verschiedene Widerstände finden. Wollte man bei dem Rufstrom von 25 Perioden einen geringeren Kondensatorwiderstand haben, so müßte man die Kapazität wesentlich erhöhen. Es folgt ferner aus dem Beispiel, daß die Sprechströme von dieser Kapazität gut, d. h. ohne allzu hohen Widerstand zu finden, geleitet werden.

Schaltet man in einen Wechselstromkreis, dessen Periodenzahl ν pro Sekunde betragen möge, außer einem Kondensator von der Kapazität C Farad einen Ohmschen Widerstand R ein (als Ohmscher Widerstand wird ein kapazitäts- und selbstinduktionsfreier Widerstand verstanden), so zeigt der betreffende Stromkreis einen scheinbaren Widerstand W , der sich berechnen läßt:

$$W = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(2\pi\nu)^2 \cdot C^2}} = \sqrt{R^2 + W_k^2}.$$

Tritt ein Selbstinduktionswiderstand W_s mit einem Selbstinduktionskoeffizienten L Henry hinzu, so wird der scheinbare Widerstand dieses Stromkreises:

$$W = \sqrt{I_s^2 + (W_s - W_k)^2}$$

oder wenn man W_s und W_k ausrechnet:

$$W = \sqrt{R^2 + \left(2\pi\nu \cdot L - \frac{1}{2\pi\nu \cdot C}\right)^2}$$

Ein interessanter Fall tritt ein, wenn die beiden Glieder der unter dem Wurzelzeichen stehenden Klammer gleich werden: wenn also ist:

$$2\pi\nu \cdot L = \frac{1}{2\pi\nu \cdot C} \text{ oder } W_s = W_k$$

Für diesen Fall wird der Wert der Klammer $(W_s - W_k)^2$ gleich 0, d. h. der scheinbare Widerstand W wird gleich R . Trotz des Vorhandenseins der Selbstinduktion und der Kapazität wird also der Widerstand des gesamten Kreises lediglich durch den Ohmschen Widerstand R bestimmt und wird ein Minimum.

Bei bestimmten Werten von L und C tritt der Fall der Gleichheit

$$2\pi\nu \cdot L = \frac{1}{2\pi\nu \cdot C}$$

natürlich nur für eine ganz bestimmte Periodenzahl n auf, die man aus der Gleichung (Thomsonsche Formel) berechnen kann; nämlich dann, wenn:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \text{ wird.}$$

Diesen Zustand eines Stromkreises bezeichnet man als Resonanz. Schaltet man in einen solchen Stromkreis einen Strommesser ein, so zeigt dieser für den Fall der

Resonanz ein Maximum seines Ausschlages an gegenüber den Fällen, in denen keine Resonanz vorhanden ist, konstant bleibende Spannung vorausgesetzt. Man hat also die Möglichkeit, den scheinbaren Widerstand durch Einschalten einer Selbstinduktion oder eines Kondensators, durch Herstellung der Resonanz, so zu beeinflussen, daß er ein Minimum wird.

Der Fall der Resonanz spielt namentlich eine große Rolle, wenn Telefonströme lange Kabelleitungen zu durchlaufen haben. Da die Kabel eine verhältnismäßig große Kapazität besitzen, so muß man in langen Kabeln diese durch Einschaltung von Selbstinduktionen ausgleichen. Näheres hierüber wird in § 13 angegeben werden.

In Abb. 20 ist ein gebräuchlicher Kondensator dargestellt,

der in einem Blechbecher eingebaut ist. Die äußeren Abmessungen eines solchen Kondensators mit einer Kapazität von $2\mu\text{F}$ ist $35.45.50 \text{ mm}^3$. Die Belegungen bestehen aus 2 Stanniolbändern von $0,007 \text{ mm}$ Dicke und 36 mm Breite, die unter Zwischenlage von je 2, also im ganzen 4 Papierstreifen von je 43 mm Breite und $0,016 \text{ mm}$ Dicke aufgewickelt sind. Nach dem Wickeln werden die Bänder mit bestem Paraffin von ca. 60° Schmelzpunkt imprägniert und dann in 4 kantige Formen gepreßt. Die so entstandenen Wickel werden gut isoliert in die Blechbecher eingebaut und mit geeigneter Vergußmasse gegen Eindringen von Feuchtigkeit geschützt.

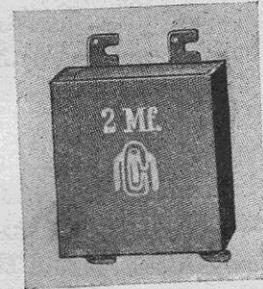


Abb. 20.
Kondensator 2 Mikrofara-
d, Modell der
Reichspost.

§ 7. Schaltorgane.

Man braucht in der Telephonie eine Reihe von Schaltorganen, die man nach der Art ihrer Betätigung in zwei Gruppen einteilen kann, nämlich:

1. von Hand betätigte Schaltorgane,
2. durch Elektromagnete betätigte Schaltorgane.

Zu der ersten Gruppe gehören eine Reihe von Apparaten, die in ihrer Konstruktion sehr verschieden sind und von denen nachstehend einige Typen beschrieben werden.

Die zweite Gruppe umfaßt die meistens als Relais bezeichneten Organe sowie die hauptsächlich in den automatischen Zentralen benutzten Wählerwerke.

Die in der Starkstromtechnik gebräuchlichen Handschalter würden für die Zwecke der Telephonie zu groß und schwerfällig sein, da hier weit geringere Stromstärken zu schalten sind, die Schaltung jedoch möglichst schnell auszuführen ist. Es kommt hinzu, daß vielfach nicht nur ein Stromkreis, sondern mehrere gleichzeitig durch dieselbe Schaltbewegung zu verbinden oder zu trennen sind. Aus diesem Grunde wendet man sogenannte Federsätze an, die durch Anpressen gewisser Federn oder durch Auseinanderpressen derselben betätigt werden. Die Federn bestehen aus sehr hartem Neusilber (Nickelin), oder auch aus Phosphorbronze, bisweilen aus Stahl, das, um Verrosten auszuschließen, mit einem elektrolytisch niedergeschlagenen Überzuge von Kupfer, besonders für den Gebrauch in den Tropen, versehen ist.

In Abb. 21 sind mehrere gebräuchliche Typen von Schaltern dargestellt. Einen Schalter nach Abb. 21a bezeichnet man als Drucktaste. An einem Metallkör-

per s sind durch zwischengelegte Hartgummi- oder Glimmerstücke J gegeneinander isoliert die Kontaktfedern f_1 , f_2 , f_3 und f_4 durch gleichfalls isolierte Schrauben S befestigt. Oberhalb des Federsatzes befindet sich ein Druckknopf K, der durch eine Feder F nach oben gepreßt wird. Drückt man ihn nach unten,

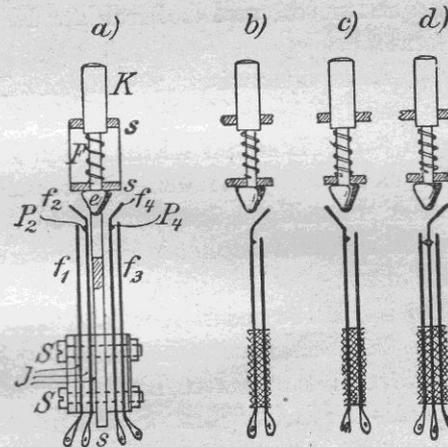


Abb. 21.

Drucktasten. a) Doppelschließkontakt, b) Schließkontakt, c) Trennkontakt, d) Umschalt- oder Morsekontakt.

so legt sich ein mit K verbundener Kegel e aus Isolationsmaterial so zwischen die Federn f_2 und f_4 , daß diese nach außen, also mit ihren Kontaktspitzen P_2 und P_4 gegen die Federn f_1 bzw. f_3 gepreßt werden. An den Berührungsstellen sind diese Federn gleichfalls wie die andern mit kleinen Plättchen eines edlen Metalles, wie Platin, Silber oder aus einer Legierung von Platin mit Silber, bisweilen auch Gold mit Silber, versehen. Die besten Erfahrungen hat man mit hartem Platin ge-

macht, das in Form kleiner Niete mit dem unedlen Material der Federn verbunden wird. Ein Auflöten der Platinkontakte ist unzuverlässig bezüglich seiner mechanischen Festigkeit. Neuerdings scheint auch Wolfram in Form von Plättchen, die auf kleinen Eisennieten aufgeschweißt sind, Verwendung zu finden, doch ist zu befürchten, daß dies Material leicht oxydiert, wenn Funken auftreten, und dadurch der Kontaktwiderstand zunimmt.

Damit der Kontakt zwischen den einzelnen Federn selbst unter ungünstigen Verhältnissen, d. h. bei Erschütterungen oder für den Fall, daß sich kleine Staubteilchen auf den Federn befinden, ein zuverlässiger ist, müssen alle Federn mit genügendem Druck aufeinander liegen. Bei den in der Telephonie gebräuchlichen Apparaten rechnet man:

Kontaktdruck für jeden Kontakt eines von Hand betätigten Schalters mindestens 30 Gramm.

Kontaktdruck für jeden Kontakt eines elektromagnetisch betätigten Schalters mindestens 20 Gramm.

Das eine Kontaktniet wird als Platte, das andere als schwach verrundete Spitze ausgebildet.

Die Anzahl der in einem Schalter verwendeten Federn kann je nach dem Zwecke eine ganz verschiedene sein; ferner ist zu unterscheiden, ob die Federn bei der Betätigung Kontakte schließen oder öffnen. In ersterem Falle spricht man von Schließkontakten, in letzterem von Trennkontakten; ist eine Feder derartig angeordnet, daß sie einen Kontakt trennt und einen andern schließt, so wird die Einrichtung als Morsekontakt bezeichnet. Im Prinzip sind diese 3 Arten in Abb. 21b bis d dargestellt. Die Figuren geben die Ruhestellungen der Federn

wieder. Werden die Knöpfe hineingedrückt, so tritt bei dem Schließkontakt b ein Schließen der Federn, beim Trennkontakt c eine Trennung der Federn und beim Morsekontakt Trennung auf der einen Seite und Schluß auf der andern Seite ein. Abb. 21a stellt einen Druckkontakt mit zwei gleichzeitig betätigten Schließkontakten dar.

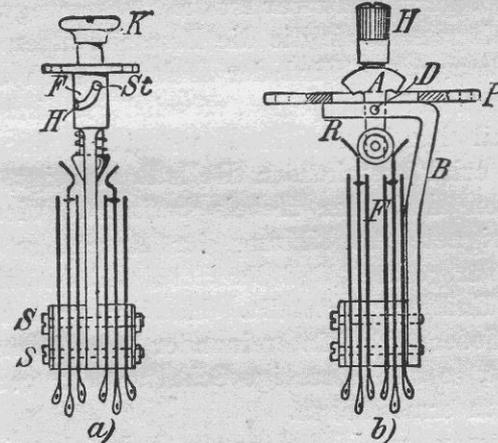


Abb. 22.

a) Doppel-Morse-Drucktaste, b) Kellog-Schalter (Hörschlüssel).

Während die eben beschriebene Einrichtung nur so lange ihre Arbeitsstellung einnimmt, als man auf den Knopf drückt, gibt Abb. 22a eine Taste wieder, bei der mit dem Knopf K ein in einer Führung F gleitender Stift St verbunden ist. Drückt man den Knopf K nieder, so kann der Stift St in seiner tiefsten Stellung in eine Aussparung H der Führung F einhaken und bleibt infolgedessen in dieser Stellung stehen, bis man durch eine Drehung an dem Knopfe eine Auslösung bewirkt und so die Taste in die Ruhestellung zurückführt.

An Stelle von Druckknöpfen finden auch vielfach kleine Hebel zur Betätigung der Federsätze Anwendung. Solche Schalter werden Hebelschalter, Hörschlüssel oder nach ihrem Erfinder auch Kellog-Schalter genannt. Ein Eisenbügel B (siehe Abb. 22b) trägt unter Zwischenlage von Isolationen den Federsatz F. Ein Hebel H ist im oberen Teile von B um eine Achse D drehbar gelagert, und zwar ist die Drehbewegung durch die Anschläge A sowie die die Bezeichnungen tragende Platte P begrenzt. Wird der Hebel H nach der einen oder anderen Seite umgelegt, so wird der eine oder der andere Teil des Federsatzes F mittels der aus Isolationsmaterial bestehenden Rolle R betätigt, die sich am anderen Ende des Hebels befindet. Vielfach ist durch geeignete Ausbildung der Anschläge und der Federn dafür gesorgt, daß der Hebel sich in beiden oder in einer Endlage feststellt. Häufig werden 2 oder mehrere Federsätze hintereinander oder übereinander angeordnet, so daß derartige Schalter sehr verwickelte Schaltungen ermöglichen.

Oft müssen auch Schaltungen, beispielsweise durch Abnehmen des Hörers einer Fernsprechstation, automatisch betätigt werden. Diesem Zwecke dient ein in Abb. 23 dargestellter Hebelschalter. In der Ruhelage hängt der Fernhörer an dem Haken H. Alsdann sind die Federn 1 und 2 getrennt, 3 und 4 geschlossen, 4 und 5 getrennt. Wird der Hörer abgenommen, so werden 1 und 2 geschlossen, 3 und 4 getrennt, 4 und 5 geschlossen. K und J sind Isolationstücke. J bewirkt die Isolation gegenüber dem Hebel H, K dient als Kupplung der beiden Federn 1 und 4.

Eine besondere Gruppe von Schaltern bilden diejenigen, bei denen ein und derselbe Schaltvorgang

mehrere Male hintereinander wiederholt wird, also beispielsweise ein Stromkreis 9 mal unterbrochen und geschlossen wird. Solche Schalter werden zum Auswählen der Teilnehmer in der Telephonie mit automatischen Ämtern gebraucht. Ein solcher Nummernschalter ist in Abb. 24 wiedergegeben.

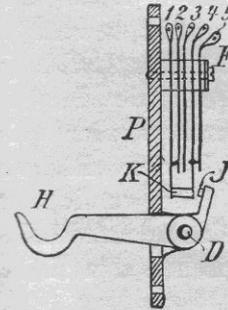


Abb. 23.
Hebel oder Hakenshalter einer
Fernsprechstation.



Abb. 24.
Nummernschalter für 1 bis 9
Stromstöße von R. Bosse & Co.,
Berlin.

Oberhalb des Deckels einer Dose befindet sich eine Scheibe, die mit einer Achse gemeinsam gedreht werden kann, indem man mit dem Finger in eins der Löcher fährt und den Finger bis zu einem Anschläge bewegt. Durch diese Bewegung wird eine Feder im Innern des Gehäuses gespannt, welche die Scheibe in ihre Ruhelage nach Loslassen des Fingers zurückzieht. Durch eine nur beim Rückgange wirksame Mitnehmerkupp-

lung wird ein Zahnrad mitgenommen und dadurch eine zweite Achse in Umdrehungen versetzt. Diese trägt an ihrem Ende ein Isolationsstück, welches bei jeder Umdrehung 2 Kontaktfedern schließt und öffnet. Damit die Geschwindigkeit des Ablaufes eine einigermaßen konstante ist, wird durch einen Schneckentrieb eine Zentrifugalbremse bekannter Konstruktion angetrieben. Durch die verschiedene Länge des Weges, den die Scheibe bis zu ihrer Ruhelage beschreibt, wenn man sie in der beschriebenen Weise betätigt, und beispielsweise einmal den Finger in Loch 2, das andere

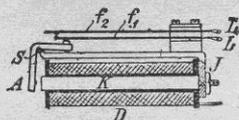


Abb. 25.
Relais mit Schließkontakt.

Mal in Loch 9 steckt, bewirkt man, daß die Scheibe den Lochbezeichnungen entsprechende Bögen beschreibt, wodurch wieder bei geeigneter Wahl der Räderübersetzung des Werkes erreicht wird, daß einmal 2, das andere Mal 9 Berührungen zwischen den Kontakt-

federn zustande kommen.

Die zweite Gruppe von Schaltern, bei denen die Kontakte nicht unmittelbar von Hand, sondern durch Elektromagnete betätigt werden, bezeichnet man auch als Relais. Einige Formen sind nachstehend beschrieben (siehe Abb. 25). An einem Joche aus weichem Eisen J ist ein Eisenkern K verschraubt. Das Joch trägt um die Schneide S drehbar gelagert einen Eisenanker A. Auf dem Kern K befindet sich eine Wicklung aus Kupferdraht D, die den Kern magnetisiert, sobald man einen Strom durch die Windungen schickt. Der Anker A wird dann angezogen und drückt dabei die Kontakte der beiden oben auf dem Joche J befestigten Federn f_1 und f_2 dadurch gegeneinander, daß er die

untere Feder f_1 hochhebt. Den die Windungen D durchfließenden Strom pflegt man aus größerer Entfernung einzuschalten. Seine Stärke richtet sich nach der Bauart des Relais, dann aber auch besonders nach der Anzahl der zu betätigenden Federn, die je nach den Erfordernissen eine sehr verschiedene sein kann.

Die magnetische Zugkraft, welche der Kern auf den Anker auszuüben hat, muß natürlich um so stärker gewählt werden, je mehr Federn zu betätigen sind und je größer die Kraft sein soll, mit der die Federn aufeinander gepreßt werden. Will man eine bestimmte Relaisart entwerfen, so muß man also den magnetischen Zug allen vorkommenden Federsätzen entsprechend einrichten. Die magnetische Zugkraft ist bei einer gegebenen Kern- und Ankerkonstruktion von den Amperewindungen, d. h. dem Produkt aus der Windungszahl und dem Strom, welcher diese Windungen durchfließt, abhängig. Die Zahl der Amperewindungen schwankt bei verschiedenen Konstruktionen sehr erheblich, man kann jedoch im Mittel bei den gebräuchlichen Relais etwa 80 Amperewindungen für den ersten Schließkontakt, für jeden weiteren 30 Amperewindungen beim ersten Entwurf rechnen, falls die magnetischen Verhältnisse dem Relais der Abb. 25 entsprechen. Dabei sind angenommen:

Kernlänge	70 mm
Kerndurchmesser	8 mm
Ankerdicke	3 mm
Ankerabstand vom Kern	2 mm
Federstärke	0,4 mm
Federbreite	8 mm
Freie Federlänge	50 mm.
Federmaterial:	extra hartes Nickel (Neusilber).

Gänzlich von der Verwendungsart ist die Wahl des Spulenwiderstandes eines Relais abhängig. Soll das Relais mit einer geringen Spannung oder mit anderen Apparaten in Reihe ansprechen, so wird man eine Bewickelung von geringem Widerstande wählen, soll das Relais aber durch sehr schwache Ströme und dagegen größere Spannungen als im ersteren Falle betrieben werden, so wählt man einen höheren Widerstand. Gebräuchliche Widerstände sind:

0,5 bis 1,5, 10, 30 Ohm,

60, 80, 100, 150, 200, 500, 1000, 2000 Ohm.

Vielfach wird die Wicklung auch in 2 oder mehrere Gruppen unterteilt, die von verschiedenen Strömen durchflossen werden können. Häufig dient die eine Gruppe zum Anziehen, die andere zum Festhalten des Ankers, wenn die erstere ausgeschaltet wird. Ein solches heißt Relais mit Haltewicklung.

Als Bewicklungsmaterial werden Kupferdrähte mit einfacher oder in einzelnen Fällen auch doppelter Seidenbespinnung verwandt, deren für den Konstrukteur wichtigste Daten in der nachstehenden Tabelle niedergelegt sind. Neuerdings finden durch dünne Lack-schichten isolierte Drähte immer mehr Eingang, die eine bessere Raumausnutzung, d. h. die Unterbringung einer größeren Anzahl von Windungen bei vorgeschriebenem Widerstand in einem gegebenen Raume gestatten.

Von größter Wichtigkeit ist die Beschaffenheit des Eisens. Wird ein Stück Eisen der magnetisierenden Wirkung von stromdurchflossenen Drahtwindungen ausgesetzt, und zwar mit zunehmender Stromstärke in der Spule, so wächst allmählich der Magnetismus, dessen Stärke man als magnetische Induktion bezeichnet, wenn man den Magnetismus von einem Quadratcentimeter des

Aufstellung über Kupfer- und Nickelindrähte.

1. Kupferdrähte. (Einfach mit Seide besponnen.)

Durchmesser mm		Querschnitt qmm	Wider- stand Ohm pro m	Länge pro Ohm in m	Gewicht in g pro m	Windungen pro qcm Querschnitt
blank	bespon- nen					
0 05	0,06	0,00071	24,7	0,0404	0,01	27500
0 05	0 08	0,00196	8,94	0,112	0 02	15700
0 07	0 10	0,00385	4,55	0,22	0 03	9000
0 10	0 125	0,0079	2,0	0,50	0,07	6400
0 12	0,145	0,0113	1,55	0,645	0,10	4750
0 13	0,170	0,0135	1,32	0,757	0,115	3460
0 15	0,180	0,0177	1,0	1,0	0,162	3100
0 18	0,21	0,0254	0,70	1,43	0 226	2250
0 20	0,23	0,0314	0,56	1,78	0,28	1890
0 25	0,30	0,049	0,358	2,60	0,43	1110
0 30	0,34	0,071	0 247	4,05	0,61	930
0 35	0,40	0,096	0,182	5,50	0,87	625
0 40	0,45	0,126	0 139	7,18	1,18	494
0 50	0 55	0,197	0,039	11,2	1,87	330
0 60	0,65	0,282	0,062	16,1	2,58	236
0 70	0,75	0,385	0 0455	22,0	3,50	178
0 80	0,85	0,503	0,035	28,6	4,46	138
0 90	0,95	0,638	0,0275	36,3	5,70	111
1 00	1,05	0,785	0,0193	50,5	6,75	90
1 50	1,57	1,77	0,0093	102	15,7	40
2 00	2,07	3,14	0,0055	182	27,9	23
2 50	2,57	4,91	0,0035	286	43,6	15
3 0	3 07	7,07	0,0025	400	62,8	10
3 5	3 57	9,62	0,0018	555	85,3	8
4 0	4,07	12,57	0 0014	714	111,6	6

2. Nickelindrähte. (Doppelt mit Seide besponnen.)

0 10	0 17	0,0079	44	0,0227	0,07	3460
0 15	0 22	0,0177	22,6	0,0442	0,16	2065
0 20	0 27	0 0314	12,66	0 079	0,27	1370
0 30	0 37	0,071	6,2	0,161	0,62	730
0 40	0 47	0,126	3,33	0,3	1,15	452
0 50	0 57	0,197	2,21	0,45	1,71	307

Eisenquerschnittes betrachtet. Trägt man nun in einem Schaubilde (Abb. 26) die magnetische Induktion B des Eisens in Abhängigkeit von den Amperewindungen $m \cdot i$ auf, so entsteht die Kurve a , die bei weiterer Zunahme der magnetisierenden Kraft $m \cdot i$ schließlich den Punkt M erreicht. Verringert man nun allmählich die magnetisierende Kraft, so wird nicht etwa die Kurve a rück-

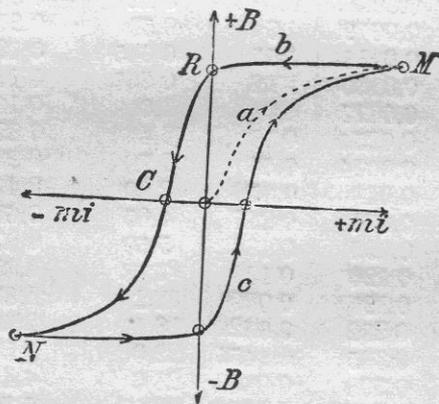


Abb. 26.

Verlauf der Magnetisierung in Abhängigkeit von den Ampere-Windungen.

wärts durchlaufen, sondern der Magnetismus nimmt in weit schwächerem Maße als die magnetisierende Kraft ab und durchläuft die Linie b . Schaltet man den Strom aus, so bleibt eine restliche magnetische Induktion RO übrig, die man als remanenten Magnetismus und die Strecke RO selbst als Remanenz bezeichnet. Jetzt werde der Strom in umgekehrter Richtung durch die Spule gesandt, und zwar wieder in allmählich ansteigender Stärke, also mit umgekehrter magnetisierender Kraft.

Trotzdem bleibt die magnetische Induktion anfänglich, und zwar bis zum Punkte C , positiv gerichtet. Erst in diesem Punkte erreicht sie den Wert Null, um in ihrem weiteren Verlaufe der Linie CN folgend negativ zu werden. Um also die positive magnetische Induktion RO zu Null zu machen, bedarf es eines gewissen Aufwandes an magnetisierender Kraft, die durch die Strecke OC dargestellt ist. Diese wird als Koerzitivkraft bezeichnet. Mit abnehmenden negativen Amperewindungen wird dann eine Linie c durchlaufen, bis der Punkt M wieder erreicht ist.

Die mannigfache Verwendung des Eisens in der Schwachstromtechnik fordert zwar die verschiedensten Eigenschaften von denselben, doch kann man wohl allgemein folgende Anforderungen in magnetischer Hinsicht stellen:

1. Der Verlauf der Magnetisierungskurve soll so beschaffen sein, daß das Eisen selbst einen möglichst geringen Aufwand an Amperewindung zu seiner Magnetisierung erfordert.
2. Die Remanenz OR soll so gering wie möglich sein, um bei ausgeschaltetem Strome ein Kleben des Ankers zu vermeiden.
3. Die Koerzitivkraft OC soll klein sein, damit die Zugkraft des Magneten von der Stromrichtung in der Spule möglichst unabhängig wird.

Die in Abb. 26 dargestellte, aus zwei einzelnen Magnetisierungskurven b und c zusammengesetzte Figur bezeichnet man als Hysteresisschleife des Eisens. Die für die Ummagnetisierung des Eisens aufzuwendende Arbeit ist der von b und c eingeschlossenen Fläche der Hysteresisschleife proportional.

Die Verluste durch Hysteresis sind besonders dann von Nachteil, wenn die Spulen von Wechselströmen durchflossen werden, da diese eine ständige Ummagnetisierung bewirken. Man muß aus diesem Grunde Eisensorten mit niedrigen Werten der Koerzitivkraft und Remanenz wählen.

Ein geeignetes Eisen ist sog. schwedisches Weich-eisen bester Qualität mit einer Remanenz von weniger als 8000 Einheiten und einer Koerzitivkraft von weniger als 2 Einheiten.

Bei Spulen, die von Wechselströmen durchflossen werden, kommen fast durchweg aus Blechen zusammengesetzte Eisenkerne und Joche zur Anwendung, um die in den massiven Kernen und Jochen sonst entstehenden Wirbelströme nach Möglichkeit einzuschränken. Auch diese Bleche sollen mindestens die oben angegebenen Werte aufweisen.

Bisweilen werden die Relais mit Verzögerungseinrichtungen versehen, welche bewirken, daß das Ein- oder Ausschalten durch das Relais erst gewisse Zeit nach dem Einschalten oder Ausschalten des Relaisstromes geschieht. Es werden hierzu Laufwerke, auf elektrischen Prinzipien beruhende Einrichtungen sowie Luftpuffer verwendet. Solche Apparate bezeichnet man als Zeit- oder Verzögerungsrelais.

Als eine dritte Gruppe von Schaltorganen sind diejenigen zu betrachten, welche maschinell, z. B. durch Elektromotoren, Druckluft oder sonstwie mechanisch betätigt werden. Des Raummangels wegen soll hierauf jedoch nicht eingegangen werden.

§ 8. Verbindungsorgane.

Diese können als eine Unterabteilung der Schaltorgane aufgefaßt werden, seien hier jedoch ihrer Wichtigkeit wegen besonders betrachtet.

Das einfachste Verbindungsorgan ist ein Stöpsel, der nach Bedarf in eine Buchse eingesteckt wird. Der Stöpsel ist aus Messing und mit einem Ende durch eine Schnur aus biegsamem Metall zu der Leitung geführt, die mit der an der Stöpselbuchse, der sog. Klinke, angeschlossenen Leitung verbunden werden soll. Will man die beiden Leitungen voneinander trennen, so wird der Stöpsel aus der Buchse gezogen (siehe Abb. 27).

Will man gleichzeitig mehrere Leitungen, z. B. 2 oder 3, mit entsprechenden verbinden, so macht man die Stöpsel 2- oder 3 teilig. Solche Stöpsel sind in Abb. 28 schematisch, in Abb. 29 in Ansicht wiedergegeben.

Häufig sollen solche Klinken und Stöpsel außer der Verbindung der Leitungen noch Nebenfunktionen übernehmen, z. B. das Anschließen oder Trennen von Hilfsleitungen. Die Kontaktfedern der Klinke sind dann entsprechend ausgebildet (Abb. 28c).
Klinken werden in ausgedehntem Maße zur Verbindung der Teilnehmer untereinander in den von Hand bedienten Fernsprechämtern angewendet. Sie müssen zur Vermeidung einer vorzeitigen Abnutzung aus den besten Materialien hergestellt sein. Die Federn und

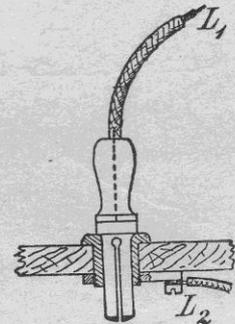
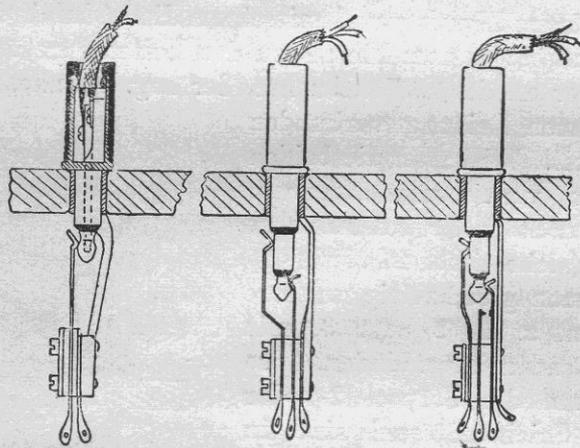


Abb. 27.
Stöpsel mit Buchse
zur Verbindung von
L₁ mit L₂.

Buchsen bestehen aus federhart gezogenem Nickelin, einer dem Neusilber ähnlichen Nickel-Kupferlegierung von hoher Elastizität und großer mechanischer Festigkeit. Die Federsätze sind bei neueren Ausführungen durch Glimmer isoliert. Die Buchsen sind entweder aus dem Vollen gedreht und die Löcher gebohrt, oder sie



a) 2poliger Stöpsel b) 3poliger Stöpsel mit Klinke c) 3poliger Stöpsel mit Trennklinke

Abb. 28.

sind als Rohr gezogen und genau auf einen bestimmten Durchmesser aufgerieben, der um einige tausendstel Millimeter größer ist als der äußere Durchmesser des Stöpselhalses. Dieser besteht aus hartem Messing von etwa 72% Kupfer und 28% Zink ohne wesentliche Bleibemischungen. Die Spitze der Stöpsel ist meistens aus mittelhartem Werkzeugstahl hergestellt, da sie besonders der Abnutzung unterworfen ist. Als Isolation wird Vulkanfaser, Glimmer, Hartgummi und Zelluloid ange-

wendet. Alle Teile müssen fest ineinander passen. Die Anschlußsnur wird durch kleine Klemmschrauben im Innern des Stöpsels mit dessen einzelnen Teilen verbunden. Da beim Hineinstecken des Stöpsels in die Klinken die Schnur eine starke Biegung erleidet, wenn die Bedienung nicht sehr sorgfältig erfolgt, so werden

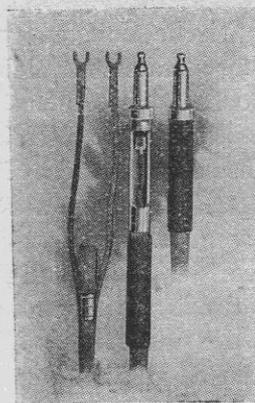
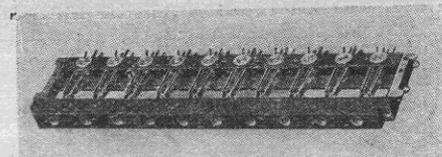
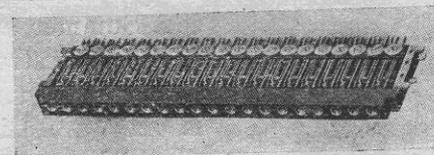


Abb. 29.

Stöpsel, links Ende der Schnur mit 2 Polschuhen und Abfangöse zur Entlastung der Adern und Polschuhe gegen Zug auf e.



a)



b)

Abb. 30.

Klinkenstreifen. a) 10teilig, b) 20teilig.

die Stöpsel zweckmäßig mit einem Schnurschutz ausgerüstet, der in einer kurzen mit dem Stöpselgriff verbundenen Spirale aus Stahldraht besteht, die eine scharfe Knickung der Schnur wirksam verhindert.

Häufig werden 10 oder 20 Klinken zu einem Klinkenstreifen vereinigt. Zu diesem Zwecke werden die einzelnen Klinken in nebeneinander liegenden Löchern eines Hartgummistreifens befestigt. Diese lassen sich in be-

liebiger Anzahl leicht in einen Vermittlungsschrank einbauen. Abb. 30 stellt einen 10- und einen 20-teiligen Klinkenstreifen dar.

§ 9. Akustische Anruforgane.

Um einen Teilnehmer auf ein Telefongespräch aufmerksam zu machen, muß man ihn anrufen. Dies kann sowohl durch akustische wie auch optische Zeichen geschehen. Als erstere kommen elektrische Glocken oder Signalhörner, sog. Hupen, und zwar für Gleichstrom- oder Wechselstrombetrieb in Frage. In einigen Fällen werden auch sog. Summer angewendet.

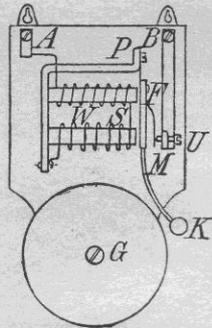


Abb. 31.
Gleichstromwecker.

1. Gleichstromwecker (Abb. 31). Ein Gleichstrom tritt durch die Klemme A ein, durchfließt die Windungen W des Elektromagneten S, gelangt dann über den Festpunkt P des Eisenankers M zu einer Feder F. Diese Feder steht im Ruhezustande in Berührung mit einer einstellbaren Kontaktschraube U, von der aus der Strom zu seiner Quelle über die Klemme B zurückfließt. Der Elektromagnet S zieht seinen Anker M an; der mit dem Anker verbundene Klöppel K wird also gegen die Glockenschale G schlagen. Durch diese Bewegung des Ankers wird jedoch der Kontakt zwischen F und U aufgehoben, der Strom dadurch unterbrochen, der Elektromagnet stromlos gemacht und der Anker M kann wieder in seine Ruhelage zurückkehren. Dadurch tritt F wieder in Kontakt mit U, der Strom wird wieder geschlossen und

das Spiel des Ankers beginnt von neuem. Diese mit Gleichstrom betriebenen Wecker werden auch Unterbrecherwecker genannt. Ihre Anordnung ist eine sehr verschiedenartige; so wird in der Telephonie eine Type mit Vorliebe angewendet, bei der sich das ganze Werk unter der Schale der Glocke befindet (Dosenwecker). Unterbrecher und Federung des Ankers sind bei besseren Ausführungen einstellbar ausgeführt. Die Wecker können bei geeigneter Bauart auch mit Wechselstrom betrieben werden, doch ist dann eine stärkere Funkenbildung an dem Unterbrecher wahrzunehmen.

Die Unterbrecher werden in den meisten Fällen mit kleinen Kontaktplättchen aus Silber oder Palladium ausgerüstet. Bei besseren Weckern wird auch wohl Platin angewendet.

Der Widerstand der Wicklung richtet sich nach der durch die Konstruktion bedingten Empfindlichkeit sowie nach der Höhe der Betriebsspannung. Er schwankt zwischen 20 und 200 Ohm, die Amperewindungszahl schwankt zwischen 60 bis 100 Amperewindungen, die erforderliche Stromstärke beträgt z. B. bei einem 20 Ohm-Wecker mit einer Glockenschale von 7 cm Durchmesser 0,05 Ampere. Da der Gleichstrom durch die Wirkung des Unterbrechers fortwährend unterbrochen wird, so kommt zur Berechnung des Stromes aus der Spannung nicht nur der Ohmsche Widerstand der Bewicklung in Frage, sondern die Selbstinduktion der Spulen und die Periodenzahl der Unterbrechung spielen eine große Rolle.

2. Während man die Gleichstromwecker namentlich in einfachen Haustelexphonanlagen anwendet, kommen bei größeren Entfernungen zwischen den Stationen, wie solche in Ortsfernsprechnetzen vorkommen, meistens

Wecker für Wechselstrombetrieb in Betracht, denen man leicht eine sehr große Empfindlichkeit geben kann. Diese wird durch Verwendung polarisierter Systeme erreicht (Abb. 32). Zwei Kerne P aus weichem Eisen oder noch besser aus aufeinander geschichteten Blechen von 0,5 mm Dicke tragen zwei Spulen Kupferdraht W, die hintereinander geschaltet sind, und durch welche der Rufwechselstrom fließt. Den Polen P gegenüber befindet sich um zwei Spitzenschrauben B leicht drehbar

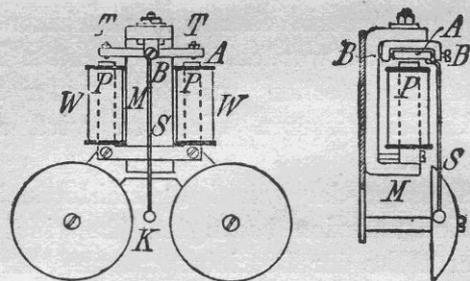


Abb. 32.
Polarisierter Wechselstromwecker.

ein mit dem Klöppelstiel S fest verbundener Anker A aus weichem Eisen, dessen Schwingungen durch die einstellbaren Anschlagschrauben T leicht begrenzt werden können. Den Anker und die Polkerne umfassend ist ein U-förmiger permanenter Magnet M angebracht, der den beiden Polen P eine bestimmte magnetische Polarität erteilt. Durchfließt nun Wechselstrom die Wicklungen W, so wird die durch den Magneten M hervorbrachte Polarität der Pole derartig beeinflusst, daß bald der eine Pol geschwächt und der andere verstärkt, bei Umkehrung der Stromrichtung, also nach $\frac{1}{2}$ Periode, der erstere verstärkt und der zweite geschwächt wird.

Der Anker A und mit ihm der Klöppel K gerät also in der Periodenzahl des Wechselstromes entsprechende Schwingungen, und die beiden Glockenschalen, gegen welche der Klöppel schlägt, werden ertönen. Derartige polarisierte Wecker haben eine bedeutende Empfindlichkeit und eignen sich daher vorzüglich zum Anrufen eines Teilnehmers über große Entfernungen. Sie werden daher in allen ausgedehnteren Fernsprechnetzen angewendet. Den Spulen gibt man einen verhältnismäßig hohen Widerstand von 300 bis 2000 Ohm, sie erhalten also viele Windungen dünnen Drahtes. Hierdurch erreicht man gleichzeitig eine große Selbstinduktion der Wecker, die es mit sich bringt, daß der Wecker den Sprechströmen einen hohen Wechselstromwiderstand entgegengesetzt und infolgedessen für den Fall, daß er während des eigentlichen Gespräches parallel zum Fernhörer liegen bleibt, keine bedeutende Schwächung des Sprechstromes verursacht. Die zum Wecken benutzten Ströme haben eine niedrige Periodenzahl von 15 bis 25 Perioden pro Sekunde, können den Wecker also verhältnismäßig leicht passieren. Die Widerstände, welche in einem Wecker einmal bei Sprechströmen, das andere Mal bei Weckströmen auftreten, seien an einem Beispiel erläutert:

- Wecker: Ohmscher Widerstand = $R = 1800$ Ohm
 Selbstinduktionskoeffizient = $L = 10$ Henry
 Periodenzahl der Sprechströme im Mittel
 800 pro Sekunde
 Periodenzahl des Weckstromes im Mittel 20
 pro Sekunde
 Wechselstromwiderstand bei Sprechströmen
 = W_1

Wechselstromwiderstand bei Weckstrom
 $= W_2$.

Es gilt dann die Beziehung:

Wechselstromwiderstand $= \sqrt{R^2 + (2\pi\nu)^2 L^2}$ (s. S. 38).

1. Sprechströme:

$$2\pi\nu = 2\pi \cdot 800 = 5000$$

$$W_1 = \sqrt{R^2 + (2\pi 800)^2 L^2} = \sqrt{1800^2 + 5000^2 \cdot 10^2} \\ = 50000 \text{ Ohm.}$$

2. Weckströme:

$$2\pi\nu = 2\pi \cdot 20 = 126$$

$$W_2 = \sqrt{R^2 + (2\pi 20)^2 L^2} = \sqrt{1800^2 + 126^2 \cdot 10^2} \\ = 2200 \text{ Ohm.}$$

Der Widerstand für Sprechströme ist also etwa 23 mal größer als für Weckströme der angegebenen Periodenzahl. Natürlich gilt diese Beziehung nur für das vorliegende Beispiel und bei Annahme einer mittleren Periodenzahl von 800 pro Sekunde, eine Zahl, die jedoch praktischen Verhältnissen gut entspricht und mit der man bei solchen Vergleichen zu rechnen pflegt.

Vielfach ist es erwünscht — namentlich bei vielen parallel geschalteten Weckern — den Wechselstromwiderstand gegen Sprechströme noch weiter zu steigern. Dies kann durch Erhöhung der Selbstinduktion geschehen, und zwar dadurch, daß man den Eisenkern des Weckers aus einzelnen Blechen von je 0,5 mm Dicke zusammensetzt. Es wird dann ein Selbstinduktionskoeffizient von 27 Henry bei etwa 1500 Ohm und 22 000 Windungen erreicht.

Häufig will man mehrere akustische Anruforgane nach ihrem Klange unterscheiden. Man kann dann entweder verschieden tönende Glockenschalen anwenden,

oder noch besser einen Wecker mit Glockenschalen und einen zweiten, jedoch ohne Glockenschalen. Diesen letzteren, der bei Betätigung ein schnarrendes Geräusch gibt, nennt man Schnarrer. Ferner werden in Ausnahmefällen trompetenartige elektrisch betätigte Apparate angewendet, die man unter der Bezeichnung elektrische Hupen zusammenfaßt. Bei diesen werden, soweit solche für Gleichstrom eingerichtet sind, Membranen durch Selbstunterbrecher wie bei den Gleichstromweckern zum Schwingen gebracht; der Ton der Membran wird durch einen Schalltrichter wesentlich verstärkt. Bei Wechselstrombetrieb kann man den Unterbrecher fortlassen und mit Vorteil polarisierte Systeme ähnlich einem Telephon, jedoch mit einem Schalltrichter, gebrauchen.

§ 10. Optische Anruforgane.

Man unterscheidet eine große Anzahl optischer Anruforgane. Während das Verwendungsgebiet der akustischen Anruforgane mehr bei den Teilnehmerstationen zu suchen ist, wo es gilt, einen Teilnehmer meistens aus größerer Entfernung, z. B. aus einem Nachbarzimmer herbeizurufen, sind die optischen Anruforgane mehr in Telephonstationen und -Zentralen mit ständiger Bedienung am Platze.

Das älteste Anruforgan ist die Fallklappe (Abb. 33). Ein Kern A aus weichem Eisen ist in der Mitte eines Eisenrohres B und gleichzeitig an einer sog. Frontschiene G befestigt. Eine Drahtspule M füllt den Raum zwischen Mantel und Kern möglichst aus. Durchfließt ein Strom die Windungen dieser Spule, so wird unter dem Einfluß des dann entstehenden Magnetismus ein Anker C aus weichem Eisen, der in einer geeigneten

Lagerung hängend vor der Spule angebracht ist, angezogen. Mit diesem Anker C ist ein Haken F fest verbunden, der in der Ruhestellung eine an der Frontschiene G um ein Scharnier drehbar befestigte Klappe H festhält. Wird nun der Anker bei Stromdurchgang durch die Spule angezogen, so hebt sich die Nase O des Hakens F und die Klappe H kann in die punktiert gezeichnete Stellung herunterklappen. Die Bewegung des Ankers C ist gegenüber dem Kern durch eine verstellbare Anschlagschraube E begrenzt. Beim Anzug des

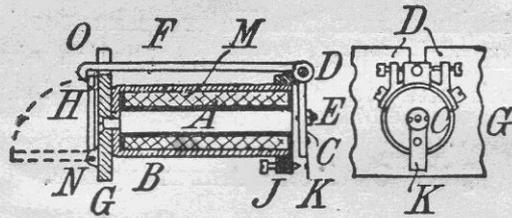


Abb. 33.

Fallklappe im Längsschnitt und Rückansicht.

Ankers wird ein Kontakt zwischen der Schraube J und einer Feder K hergestellt, wodurch ein Wecker eingeschaltet werden kann, solange der Strom die Spule durchfließt (Zeitkontakt). Das optische Signal ist durch das sehr auffällige Fallen der Klappe gegeben. Nachdem das Signal bemerkt ist, stellt die Bedienung durch Aufrichten der Klappe den Ruhezustand wieder her.

Wünscht man nicht nur ein kurzes akustisches Anrufsignal während des Stromdurchflusses zu erhalten, so wird ein Weckerkontakt unterhalb der Klappe angebracht, der den Wecker so lange einschaltet, wie die Klappe sich im gefallenem Zustande befindet (Dauerkontakt).

Häufig kann es bei unsachgemäßer Bedienung vorkommen, daß eine Klappe nicht wieder zurückgestellt wird. Um dies auszuschließen und ferner die Bedienung wesentlich zu erleichtern, hat man Einrichtungen getroffen, bei denen die Bedienung der Klappe automatisch geschieht. Dies kann natürlich entweder rein mechanisch durch besondere Druckknöpfe oder durch die ohnehin notwendige Bedienung der Verbindungsstöpsel er-

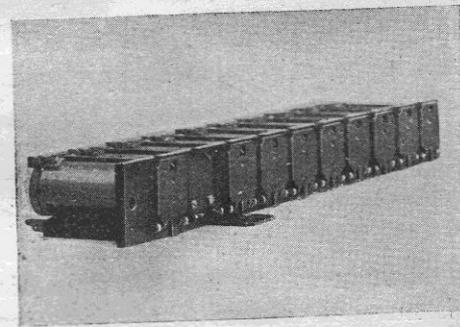


Abb. 33 a.

10 teiliger Klappenstreifen.

folgen, oder auch auf elektrischem Wege, indem die Klappe durch einen Elektromagneten aufgerichtet wird. (Rückstellklappen, automatische Rückstellung.)

Die Wicklungsverhältnisse der Klappenspulen schwanken je nach den Schaltungen, in denen die Klappen verwendet werden. Durchschnittlich kommt man mit etwa 20—30 Amperewindungen aus. Übliche Widerstände sind 150—600 Ohm.

Für Klappen zum Anschluß an Fernleitungen werden Konstruktionen gewählt, die eine große Ansprechempfindlichkeit haben, deren Abmessungen daher größer

sind als die normalen. Neuerdings werden zu diesem Zwecke vielfach Klappen mit lamelliertem Eisen benutzt (Fernklappen).

Besonderes Augenmerk ist darauf zu richten, daß die in den Telephonzentralen stets nahe beieinander liegenden Klappen sich infolge magnetischer Streuung nicht beeinflussen. Durch Anwendung einfacher, gut geschlossener magnetischer Kreise oder durch Kapselung der einzelnen Klappen mittels Hüllen aus weichem Eisen ist meistens ein hinreichender Schutz gegen dies sog. Übersprechen gegeben. Die in Abb. 33 dargestellte Mantelklappe zeigt das Beispiel einer gut gekapselten Klappe.

Wenngleich es gelungen ist, durch Beschränkung der Abmessungen den Raumbedarf einer Klappe wesentlich gegenüber älteren Konstruktionen einzuschränken, sodaß man in der Lage war, einem Arbeitsplatze bis zu 200 Klappen zuzuordnen, so bedeutete diese Raumerparnis doch nur bei solchen Zentralen einen Erfolg, die eine verhältnismäßig geringe Gesprächsdichte besitzen. Bei großer Gesprächsdichte nimmt das Wahrnehmen des Fallens der Klappe und das Wiederaufrichten derselben eine zu große Zeit in Anspruch. Deswegen sind bei diesen kleine Glühlampen als optische Anrufzeichen in Anwendung, die durch Relais ein- und ausgeschaltet werden. Die Glühlampen geben beim Aufleuchten ein sehr auffälliges und daher deutliches Anrufzeichen. Diese Lampen werden mit 12 bis 30 Volt aus einer Akkumulatorenbatterie gespeist. Es werden Kohlefadenlampen von etwa 6 Watt Energieverbrauch verwendet. Die Stromstärke ist bei 24 V etwa 0,25 A.

Die Lampen lassen sich in geeignete Fassungen ein-

schieben, die in Gruppen zu je 10 zu Streifen zusammengefaßt sind. An der Vorderfront haben die Streifen kleine häufig mit der Teilnehmernummer versehene Fenster oder auch Linsen aus gefärbtem Glas, hinter denen sich der Glühfaden der Lampe befindet (siehe Abb. 34).

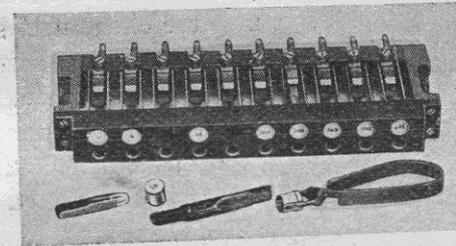


Abb. 34.

Glühlampenstreifen. unten von links nach rechts: eine Lampe, Lampenkappe, Lampenzange zum Herausnehmen und Einsetzen und Kappen-zange.

Die vorstehend aufgeführten Anruforgane lassen sich in weitgehendem Maße abändern, doch würde es hier zu weit führen, alle abweichenden Typen aufzuzählen.

§ 11. Überwachungsorgane.

Besondere Organe, sog. Überwachungsorgane, sind geschaffen worden, um das Besetzt- oder Freisein von Leitungen zu kennzeichnen. In solchen Zentralen, die mit Glühlampen anrufen arbeiten, werden zweckmäßigerweise auch Glühlampen unter Zuhilfenahme von Relais zu diesem Zwecke benutzt. In anderen Anlagen wendet man sog. Schauzeichen an. Der Strom durchfließt ein Spulensystem, welches einen leichten Anker aus Eisen

anzieht, an dem eine Schaufahne befestigt ist, die hinter einem kleinen Fenster spielen kann. Durch ihre auffallende Färbung macht sich die Fahne bei Stromdurchgang leicht dem Auge bemerkbar, ist dagegen verdeckt, wenn die Spulen stromlos sind. Das in Abb. 35 wiedergegebene Schauzeichen hat einen aus lamelliertem Eisen (Blechen) bestehenden gut geschlossenen Eisenkern, um eine hohe Selbstinduktion zu erreichen, und so Sprech-

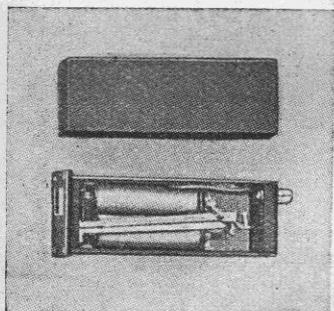


Abb. 35.

Drosselschauzeichen von Mix & Genest, oben Schutzkappe dazu.

strömen einen hohen Widerstand zu bieten. Es wird Drosselschauzeichen genannt. Bei 500 Ohm Widerstand, 2 Spulen mit je 250 Ohm und je 6500 Windungen, einem Selbstinduktionskoeffizienten von ca. 5 Henry spricht dieses Schauzeichen bereits mit einem Gleichstrom von 0,005 A. an.

Schließlich kann man in vielen Fällen Fallklappen als Schauzeichen anwenden. Auch Systeme, bei denen eine Schaufahne durch den Anker eines polarisierten Weckers betätigt wird, sind namentlich zur Kontrolle von Rufwechselströmen in Benutzung.

Während die erwähnten Apparate lediglich das Vorhandensein eines Stromes in einer Leitung anzeigen, können sie nicht eigentlich zur Messung von Strömen dienen. Hierzu sowie zur Bestimmung von Spannungen, Widerständen, Isolationsfehlern usw. finden die allgemein in der Starkstromtechnik gebräuchlichen Apparate Verwendung.

§ 12. Stromquellen für Fernsprechanlagen.

Es werden für die Speisung der Mikrophone sowie die Stromversorgung der Relaisstromkreise Gleichstrom, für den Anruf in Hausanlagen vielfach Gleichstrom, für andere Rufzwecke meistens Wechselstrom gebraucht.

Ursprünglich wurde jedes Mikrophon durch eine besondere Stromquelle gespeist. Da der Energiebedarf eines Mikrophons nur ein geringer ist, ferner große Ruhepausen zwischen den einzelnen Gesprächen liegen, haben sich als Stromquellen hierfür galvanische Elemente bestens bewährt. Besonders die Braunsteinelemente nach Leclanché und ihre Varianten führten sich teils in Form von nassen, teils als Trockenelemente ein.

Die Braunsteinelemente enthalten als negative Elektrode einen Stab oder besser einen Zylinder aus amalgamiertem Zink. Im Innern des Zylinders steht ein Stab aus Bogenlampenkohle, der mit einem Gemisch aus Graphit und Braunstein umgeben ist. Dieses Gemisch wird unter Zusatz von Chlorammonium (Salmiak), Chlorzink und Chlormagnesium zu einem Zylinder um die Kohle gepreßt und mit einem Beutel aus Nessel umgeben. Die Braunsteinmasse — der Depolarisator — hat die Aufgabe, bei Stromentnahme dafür zu sorgen, daß der infolge elektrolytischer Vorgänge an der Kohle entstehende Wasserstoff durch den im Braunstein in reichem Maße enthaltenen Sauerstoff zu neutralem Wasser gebunden wird, wodurch das Element in den Stand gesetzt wird, einen einigermaßen konstanten Strom abzugeben. Die Güte des Elements richtet sich in erster Linie nach der Menge des im Braunstein enthaltenen

wirksamen Körpers, des Mangansuperoxyds, in zweiter Linie nach der Mahlung des Braunsteins und der Leitfähigkeit des Graphits, ein Körper, der besonders für die Größe des inneren Widerstandes des Depolarisators von Bedeutung ist. Im allgemeinen wird Braunstein von ca. 90—95% Reingehalt und Graphit von 88—90% Kohlenstoffgehalt gute Resultate ergeben.

Derartige Elemente geben bei Beginn der Entladung eine Spannung von 1,5 Volt; die Entladung wird meistens bei 0,7 Volt als beendet angesehen. Schließt man ein Element durch ein Amperemeter von niedrigem Widerstand kurz, so wird die Kurzschlußstromstärke des Elements angezeigt, die um so größer ist, je kleiner der innere Widerstand ist, also einen ungefähren Rückschluß auf diesen gestattet. Die Kurzschlußstromstärke soll bei guten Elementen möglichst hoch sein. Sie soll beispielsweise bei einem Element von 16 cm Höhe etwa 10—20 Ampere betragen. Nach den Mengen des Depolarisators und des Zinkes richtet sich bei einer bestimmten Benutzungsweise die Lebensdauer des Elements. Man prüft eine bestimmte Type durch eine Probeentladung, und zwar am besten unter Bedingungen, die der im telephonischen Betriebe vorkommenden Beanspruchung einigermaßen entsprechen.

Da hierbei kurze Beanspruchungen mit längeren Betriebspausen abzuwechseln pflegen, so schreibt beispielsweise die deutsche Reichspost eine Entladung zum Zwecke der Prüfung vor, bei der abwechselnd das Element 5 Minuten lang über einen Widerstand von 5 Ohm entladen, dann 10 Minuten ausgeschaltet wird. Man beobachtet die Entladestromstärke fortlaufend und erhält so ein Bild von der Leistung. Auch die Spannung wird aufgezeichnet und die Entladung für praktische

Zwecke als beendet angesehen, wenn diese auf 0,7 V. gesunken ist. Man bildet dann das Produkt aus der mittleren Stromstärke und der Entladezeit, während der das Element mit dem Widerstande verbunden war, und erhält so die Elektrizitätsmenge in Amperestunden, die dem Element entnommen wurde. Die Reichspost verlangt bei einem Trockenelement von 25 cm Höhe und quadratischem Querschnitt von 7,5 . 7,5 cm eine Kapazität von 150 Amperestunden. Ein solches Element ist in der Lage, mehrere Jahre den Betriebsstrom eines Mikrophons zu liefern.

Eine einfachere und der Schnelligkeit wegen in den meisten Fällen vorzuziehende Prüfmethode verzichtet auf die intermittierende Entladung. Das Element wird durch einen festen Widerstand von 10 Ω ohne Ruhepausen entladen, Strom und Spannung beobachtet, bis letztere auf 0,7 V. gesunken ist.

Die wirksamen Elektroden, also Zink und Depolarisator mit der Kohle befinden sich bei den sog. nassen Elementen in einer Lösung aus Chlorammonium (Salmiak) in Wasser. Man nehme die Lösung nicht zu konzentriert, da sonst leicht Kristallbildung auftritt. Etwa 5—6% Chlorammonium ist zweckmäßig, dem man etwa 1—2% Chlorzink zusetzt. Gegen Verdunsten des Wassers ist das Element am besten durch einen Glasdeckel zu schützen.

Zweckmäßiger sind die Trockenelemente, die vollkommen verschlossen sind und bei denen sich die Elektroden in einem gallertartigen Elektrolyt befinden, der meistens aus Stärke oder Mehl unter Zusatz von Chlorammonium und sonstigem Stoffe besteht, die dazu bestimmt sind, den inneren Widerstand herabzusetzen. Gute Trockenelemente sind den nassen Elementen in be-

zug auf ihre Kapazität gleichwertig und deswegen besonders zu empfehlen, weil sie besser transportabel sind und eine Beschädigung der Apparate, in denen sie eingebaut sind, durch verschüttete Flüssigkeit oder Dämpfe weniger leicht vorkommen kann, wie bei nassen Elementen.

Abb. 36 gibt ein Trockenelement im Schnitt wieder. Oberhalb des eigentlichen Elements befindet sich eine Kammer, welche mit stark lufthaltigen Körpern, wie z. B. Häcksel, ausgefüllt wird und die dazu bestimmt ist, den sich im Gebrauch aus dem Element entwickelnden Gasen Raum zu bieten.

Für den Gebrauch in den Tropen oder bei solchen Elementen, die größere Transporte und lange Lagerung durchzumachen haben, wird eine den Trockenelementen ähnliche Konstruktion gewählt, bei der jedoch an Stelle des gallertartigen Elektrolyten ein Gemisch aus sehr gut getrockneter Stärke und Salmiak im Raum zwischen Zink und Depolarisator vorhanden ist. Das Element wird durch einen Pfropfen aus Kork oder Gummi dicht verschlossen und so transportiert und gelagert. Vor dem Gebrauch wird Wasser hineingegossen, das mit der Stärke und dem Salmiak Gallerte bildet, wodurch das Element gebrauchsfähig wird. Das überflüssige Wasser kann abgegossen werden. Auch diese Elemente sind in gleicher Güte wie die Trockenelemente im Handel (auffüllbare Elemente).

Zum Gebrauche werden die Elemente entweder einzeln oder zu mehreren zusammen geschaltet. Man unterscheidet hierbei entweder Reihen- oder Hintereinanderschaltung, Parallelschaltung oder eine Schaltung, bei der einzelne Gruppen parallel geschalteter Elemente in Reihe verbunden sind.

1. Einzelschaltung. Spannung etwa 1,5 bis 0,7 Volt. (Der letztere Wert gilt für das Ende der Entladung.) (Abb. 37a.)
2. Reihenschaltung. Ist n die Anzahl der in Reihe geschalteten Elemente, so ist die Gesamtspannung der ganzen Batterie $= n \cdot 1,5$ bis $n \cdot 0,7$ Volt. (Abb. 37b.)

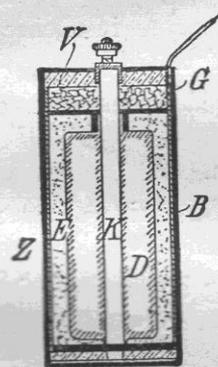


Abb. 36.
Galvanisches Trockenelement
im Schnitt.

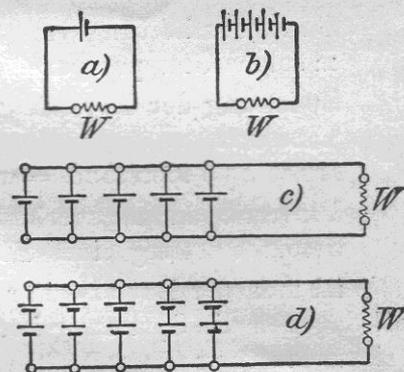


Abb. 37.
Schaltungen von Elementen.
a) Einzelschaltung, b) Reihenschaltung, c) Parallelschaltung, d) Gruppenschaltung.

Beträgt der innere Widerstand eines Elements $= w$ Ohm, so hat die ganze Batterie einen inneren Widerstand von $= n \cdot w$ Ohm.

Die zulässige Stromstärke der Batterie ist abhängig von der Größe des Einzelements.

3. Parallelschaltung von n -Elementen. (Abb. 37c.)
Spannung der Batterie gleich der eines Elements. Innerer Widerstand der Batterie $= w : n$, also wesentlich geringer als bei hintereinandergeschal-

teten Elementen. Infolgedessen ist auch der innere Spannungsverlust bei Stromentnahme nur $J \cdot w/n$, wenn J die der gesamten Batterie entnommene Stromstärke ist.

Strombelastung eines Elements nur J/n , oder bei gleicher Strombelastung des Einzelements kann man der Batterie n mal soviel Strom entnehmen als bei Einzelschaltung oder Reihenschaltung.

4. Gruppenschaltung von n -Elementen in Reihe und m solche Gruppen parallel. (Abb. 37d.)

Spannung der Batterie gleich dem n -fachen eines Elements,

Innerer Widerstand = $w \cdot n/m$.

Innerer Spannungsverlust der Batterie = $J \cdot w \cdot n/m$.

Strombelastung eines Elements = J/m .

Will man der Batterie nur wenig Strom entnehmen, soll dagegen die Spannung hoch sein, so wählt man die Reihenschaltung.

Soll die Stromstärke groß sein, die Spannung dagegen gering, und zwar gleich der eines Elements, so wählt man Parallelschaltung. Soll die Spannung und Stromstärke hoch sein, so wählt man die Gruppenschaltung.

An solchen Plätzen, an denen eine Beaufsichtigung möglich ist und an denen Starkstromnetze vorhanden sind, wird als Gleichstromquelle zweckmäßig eine Akkumulatorenbatterie gewählt. In den meisten Fällen kommen Bleiakkumulatoren in Anwendung, mehr und mehr führen sich Nickeleisenzellen ein.

Bei den ersteren befinden sich Platten aus Blei und Bleiverbindungen in verdünnter Schwefelsäure vom spez. Gewicht 1,15. Leitet man einen Gleichstrom durch

eine solche Zelle, so tritt an der positiven Elektrode eine Oxydation, an der negativen eine Reduktion der Bleiverbindungen ein. An der $+$ -Platte bildet sich infolge des Stromdurchganges Bleisuperoxyd von tiefbrauner Farbe, an der $-$ -Platte graues metallisches Blei. Die Schwefelsäure nimmt dabei an spez. Gewicht zu. Ist an den $-$ -Platten die gesamte Masse der Bleiverbindungen zu Blei reduziert, und verbindet man die $+$ -Platten mit den $-$ -Platten durch einen äußeren Widerstand, so beobachtet man jetzt, daß der Akkumulator einen Strom liefert, und zwar solange, bis sich der ursprüngliche Zustand der Platten wieder hergestellt hat.

Die Spannung des Akkumulators ist im Gegensatz zu der eines Braunsteinelements sehr konstant und fällt während der Entladung allmählich von 2 auf 1,8 Volt. Zu der Ladung ist eine langsam von 2 auf 2,6 Volt ansteigende Spannung erforderlich. Wenn man als Wirkungsgrad das Verhältnis der bei der Entladung entnommenen, zu der bei der Ladung hineingeschickten elektrischen Energie bezeichnet, so findet man etwa 80 bis 85%, das Verhältnis der bei der Entladung entnommenen Amperestunden zu den bei der Ladung aufgewendeten ist 85—90%. Die Aufspeicherung der elektrischen Energie in Form von chemischer und die Rückverwandlung dieser in elektrische ist also nur von geringen Verlusten begleitet, so daß auch in dieser Hinsicht der Akkumulator günstig ist.

Besonders der geringe Spannungsabfall während der Entladung, sowie der in Vergleich mit galvanischen Elementen sehr kleine innere Widerstand, der die Klemmenspannung fast unabhängig von der entnommenen Stromstärke macht, lassen den Akkumulator als ideale

Stromquelle für die Speisung ausgedehnter Telephonanlagen erscheinen.

Die Ladung einer Akkumulatorenbatterie geschieht meistens durch einen besonderen Ladeumformer, der aus einer der Spannung der Akkumulatoren angepaßten Gleichstromnebenschuß-Dynamo besteht, welche durch einen Elektromotor aus einem Starkstromnetze angetrieben wird. Die Spannung der Dynamo muß durch einen Nebenschlußregler innerhalb der Grenzen regelbar sein, die sich aus dem schon beschriebenen Verhalten der Akkumulatoren bei der Ladung ergeben. Eine Batterie für beispielsweise 24 Volt Entladespannung, wie sie vielfach vorkommt, würde aus 12 einzelnen Zellen bestehen. Bei der Ladung beträgt im Anfange die Spannung einer Zelle 2,2 Volt, also die Batteriespannung $12 \cdot 2,2 = 26,4$ V. Die Spannung einer Zelle steigt gegen Ende der Ladung auf 2,6 V, also die der ganzen Batterie auf $2,6 \cdot 12 = 31,2$ V. Die Dynamomaschine muß bei voller Ladestromstärke die Regulierung der Spannung von 26—32 V gestatten. Dabei ist es erforderlich, daß die Antriebsmotoren keinen zu großen Tourenabfall zwischen Leerlauf und Vollast aufweisen, da sonst leicht Schwierigkeiten in der Regulierung entstehen; die Modelle der Maschinen sind also nicht zu klein zu wählen.

Die Antriebsmotoren können entweder für Gleichstrom oder auch für Wechsel- oder Drehstrom eingerichtet sein. Dies richtet sich ebenso wie ihre Spannung nach dem vorhandenen Starkstromnetz.

In Ausnahmefällen wird die Ladedynamo auch von anderen Motoren, z. B. von Dampfmaschinen oder Verbrennungsmotoren, angetrieben, jedoch nur dann, wenn ein Starkstromnetz nicht benutzt werden kann.

Zur Vermittlung der nötigen Verbindungen, Überwachung der Maschinen und des Ladestromkreises, Regelung der Ladung dienen Schaltanlagen, die in ihrer Ausführung den bei Starkstromanlagen üblichen ähnlich sind und nach den dabei geltenden Bestimmungen

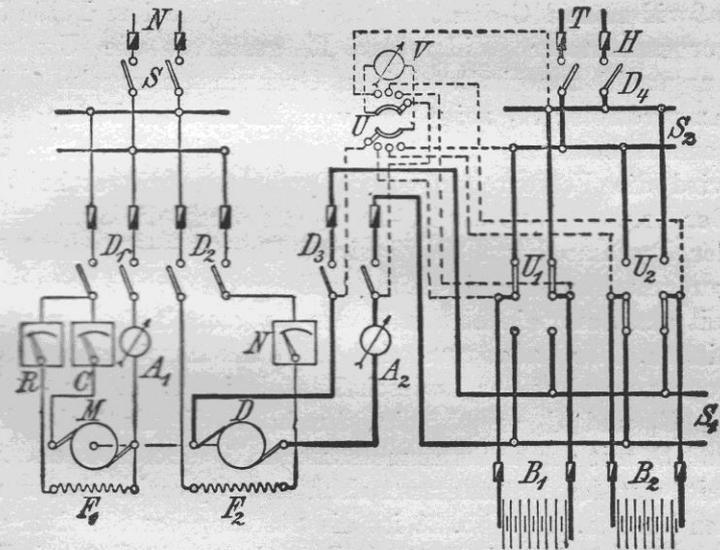


Abb. 38.
Schaltung zur Ladung und Entladung von 2 Fernsprech-Akkumulatorenbatterien mittels Ladeumformer.

ausgeführt werden. (Bestimmungen des Verbandes deutscher Elektrotechniker.)

In Abb. 38 ist das Schema einer Schaltanlage für die Ladung und Entladung von zwei Akkumulatorenbatterien, die eine Fernsprechanlage speisen sollen, angegeben. Der Betrieb wird stets durch die eine Batterie gespeist, während die andere entweder geladen wird

oder nach Beendigung der Ladung als Reserve dient. Bei der Bemessung der Batteriegröße sind die Verbrauchsverhältnisse in Rechnung zu ziehen.

Aus dem Starkstromnetze N werden über den Schalter S und die Sicherungen D_1 der Anker M und die Feldmagnete F_1 des Antriebsmotors gespeist. Ein Anlaßwiderstand C dient zum Anlassen, ein dem Felde F_1 vorgeschalteter Widerstand R gestattet die Umdrehungszahl innerhalb einiger Grenzen zu regeln. Ein Amperemeter A_1 zeigt den vom Motor dem Netze entnommenen Strom an. Durch einen zweiten Schalter D_2 wird die Felderregung der Dynamo D eingeschaltet. Der Erregerstrom des Feldes F_2 und damit die Spannung der Dynamo kann durch einen Regulierwiderstand N geregelt werden. Ein Schalter D_3 gestattet die Dynamo mit den Sammelschienen S_1 der Ladeschalttafel zu verbinden. Der Ladestrom wird durch das Amperemeter A_2 gemessen. Auf der Ladeschalttafel sind zwei Umschalter U_1 und U_2 angebracht, durch die die Batterien B_1 und B_2 mit den Ladesammelschienen S_1 einerseits, andererseits mit den Entladesammelschienen S_2 verbunden werden können. In Abb. 38 ist die Stellung der Schalter so angedeutet, daß die Batterie B_1 entladen, die Batterie B_2 geladen wird. Von den Sammelschienen S_2 führt eine Leitung T über Sicherungen H und den Schalter D_4 zu der zu speisenden Telephonanlage.

Zur Prüfung der Spannungen ist ein Voltmeter V mit Voltmeter-Umschalter U vorhanden. In Stellung 1 wird die Maschinenspannung, in Stellung 2 und 3 die der Batterien B_1 und B_2 gemessen. Bei Stellung 4 kann man die Spannung der Sammelschienen S_2 ablesen. Ist die Spannung einer Batterie auf weniger als 1,85 Volt pro Zelle gesunken, so muß geladen werden. Die

Stromversorgung hat dann die Reservebatterie zu übernehmen.

In vielen Fällen kommt man ohne den immerhin die Kosten der Anlage verteuern Ladeumformer aus, und zwar im allgemeinen dann, wenn bei vorhandenem Gleichstromnetz nur kleine Leistungen der Batterien in Frage kommen, also nur geringe Ladestromstärken verlangt werden. Man wendet dann einen regelbaren Widerstand

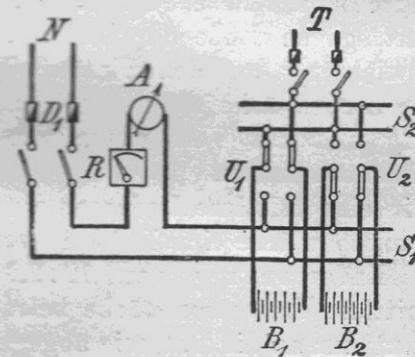


Abb. 39.

Schaltung zur Ladung zweier Batterien aus einem Gleichstromnetz über einen Ladewiderstand.

an und die zu ladende Batterie wird über einen solchen mit dem Starkstromnetz verbunden. In Abb. 39 ist das Schema einer solchen Anlage wiedergegeben. Ein Regulierwiderstand R ist der zu ladenden Batterie vorgeschaltet. Er ist so zu bemessen, daß er die Ladestromstärke der Batterie dauernd aushalten kann, ohne beschädigt zu werden, und daß er eine Spannung vernichtet, die der Differenz zwischen Netzspannung und Spannung der Batterie entspricht. Dieser Widerstand kann folgendermaßen berechnet werden:

Beispiel:

Netzspannung	220 Volt.
Ladestromstärke	5 Ampere.
Batteriespannung	24 Volt.
Zu vernichtende Spannung	$220 - 24 = 196$ Volt.
Widerstand R	$= 196/5 = 39,2$ Ohm.

Zweckmäßigerweise wählt man den Widerstand etwas größer, also 50Ω und macht einen Bereich von $35-50$ Ohm durch eine Kurbel regulierbar. Man hat so die Möglichkeit, gegen Ende der Ladung, wenn eine starke Gasentwicklung an den Platten der Batterie stattfindet, die Stromstärke zu erniedrigen und so die Gasentwicklung und das Verspritzen von Säure aus der Batterie einzuschränken.

Nehmen wir eine mittlere Ladespannung pro Zelle von $2,2$ Volt an, so würde eine Batterie von 12 Zellen eine mittlere Ladespannung von $12 \cdot 2,2 = 26,4$ Volt haben. Die mittlere Ladestromstärke betrage 5 A. Es werden dann nutzbar an die Batterie abgegeben:

Nutzleistung: $26,4 \cdot 5 = 132$ Watt.

Dem Netz entnommen: $220 \cdot 5 = 1100$ Watt.

Im Widerstand in Wärme umgesetzt $1100 - 132 = 968$ Watt.

Zur Ladung ausgenutzte % der Netzleistung:
 $132/1100 = 12\%$.

Würde man anstatt des Ladewiderstandes einen Umformer anwenden, so ließe sich ein Wirkungsgrad von etwa $50-60\%$ im Gegensatz zu 12% beim Ladewiderstand erreichen. Da jedoch sehr häufig, namentlich bei kleineren Anlagen, die Einfachheit und niedriger Preis wichtiger sind als eine gute Ausnutzung der zur Ladung dienenden Energiequelle, so wählt man bei solchen An-

lagen meistens Ladewiderstände, zumal auch deren Bedienung leichter durch angeschultes Personal möglich ist, als die einer Maschinenanlage.

Ladewiderstände sind natürlich nur bei Gleichstromnetzen anwendbar. Bei Wechsel- und Drehstromnetzen sind Umformer, die den Wechselstrom in Gleichstrom verwandeln für größere Leistungen, für kleinere Leistungen Gleichrichter in Anwendung. Diesen Apparaten liegen verschiedene Prinzipien zugrunde. Man unterscheidet:

1. Gleichrichter, bei denen durch mechanisch schwingende Einrichtungen eine Gleichrichtung des Wechselstroms bewirkt wird,
2. Elektrolytische Gleichrichter,
3. Lichtbogen-Gleichrichter.

Die mechanischen Gleichrichter besitzen einen schwingenden Anker, der angetrieben durch den gleichzurichtenden Wechselstrom in der Periodenzahl des betr. Wechselstromes schwingt. Dieser Anker steuert nun einen Kontaktsatz derartig, daß eine ständige Umschaltung stattfindet, so daß die negative Welle des Wechselstromes positive Richtung enthält in bezug auf den Ladestromkreis der Akkumulatoren. Ein derartiger Gleichrichter ist in Abb. 40 im Schema gezeichnet. Ein polarisiertes System, ähnlich dem bei den Wechselstromweckern beschriebenen, wird aus einem permanenten Magneten M, einem mit Spulen versehenen Eisenkern E und einem Anker A gebildet, der unter dem Einflusse des aus dem Netze N kommenden, die Spulen W durchfließenden Wechselstromes in Schwingungen gerät, die synchron (zeitlich übereinstimmend) erfolgen. Dadurch wird eine mit dem Anker fest verbundene Zunge Z an-

getrieben, die nun abwechselnd die Kontakte C_1 und C_2 öffnet und schließt. Der eine Pol der Batterie B ist an die Mitte der Wicklung W bei F angeschlossen, der andere ist über E mit dem schwingenden Anker in Verbindung, wird also jeweils an den einen oder anderen Leiter des Wechselstromnetzes gelegt. Dieses Umlegen

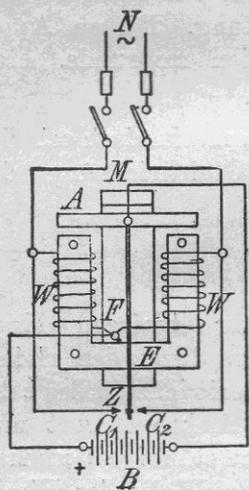


Abb. 40.

Mechanisch schwingender Gleichrichter.

geschieht derartig, daß die Zunge Z immer beispielsweise an dem Pole der Wechselstromleitung liegt, der jeweils negativ ist. Die Wicklung W dient als Spannungsteiler derart, daß F ein neutraler Punkt gegenüber den Spulenden wird, dessen Spannung gegen E stets positiv ist. In Abb. 41 ist durch $a b c d e$ eine Periode des Wechselstroms in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt. Durch die Umschalteneinrichtung des Gleichrichters wird die eine Hälfte $c d e$ umgeschaltet, also die Kurve $a b c f e$ erzeugt.

Es ist einleuchtend, daß bei hoher Netzspannung nicht un-

mittelbar durch eine solche Einrichtung ein Ladestrom niedriger Spannung erzielt wird, doch ist es möglich, durch geeignete Wicklungen leicht jede gewünschte Ladespannung zu erhalten. Ein derartiger Apparat stellt dann die Kombination eines Transformators, wie er in der Starkstromtechnik bekannt ist, mit einem Gleichrichter dar. Zuverlässige Gleichrichter, die sich im Dauerbetriebe bewährt haben, werden

z. B. nach Angaben von Falkenthal von den Deutschen Telephonwerken, Berlin, hergestellt. Transformator und Gleichrichterwicklungen sind dabei in geschickter Weise auf einem Kern untergebracht, so daß bei nur kleinen Abmessungen verhältnismäßig große Leistungen erzielt werden.

Die elektrolytischen Gleichrichter machen sich die Eigenschaft zunutze, daß (nach Angaben von Grätz) gewisse Kombinationen von Metallplatten in Flüssigkeiten, z. B. Aluminiumplatten einerseits, andererseits Blei- oder Eisenplatten in einer Lösung von Natrium-

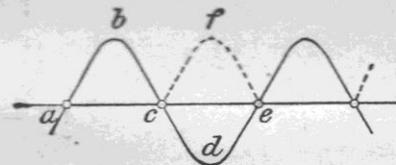


Abb. 41.

Gleichrichtung eines Wechselstroms.

bikarbonat in Wasser einen Strom nur in der einen Richtung durchlassen, dagegen in der anderen nicht. Man bezeichnet diese Eigenschaft als Ventilwirkung. Eine Kombination von 2 oder 4 derartigen Zellen gestattet, einen Wechselstrom gleich zu richten. Abb. 42 zeigt 4 solche Zellen $a b c d$; zum Zwecke der Regulierung des Ladestromes A ist ein Regulierwiderstand W nötig. Bei Abb. 43 liefert ein Transformator T die in Gleichstrom umzuformende Niederspannung und 2 Zellen a und b besorgen die Gleichrichtung. Das Schema entspricht etwa dem in Abb. 40 dargestellten, jedoch ist der mechanische Umschaltemechanismus durch die beiden Ventilzellen ersetzt.

Derartige Gleichrichter haben sich verhältnismäßig wenig eingeführt, da die elektrolytischen Zellen ziemlich hohe Energieverluste aufweisen und der Flüssigkeit wegen wenig beliebt sind; auch wird eine Formierung der Platten ab und zu erforderlich.

Als dritte Art kommen Lichtbogengleichrichter in Frage. An Stelle der elektrolytischen Zelle werden

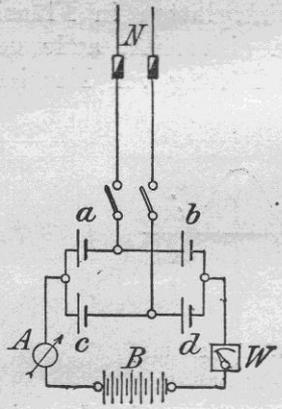


Abb. 42.

Anordnung von 4 Ventilzellen zur Ladung einer Sammlerbatterie aus einem Wechselstromnetz.

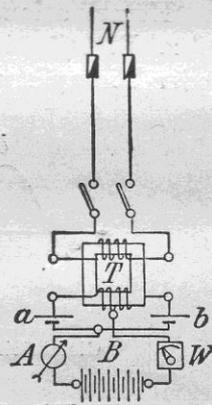


Abb. 43.

Anordnung von 2 Ventilzellen zur Ladung einer Sammlerbatterie aus einem Wechselstromnetz.

Quecksilberdampf lampen oder neuerdings auf dem Prinzip der glühenden Kathode beruhende Ventilröhren (nach Prof. Donath) verwendet, die gleichfalls eine Ventilwirkung besitzen. Die Lichtbögen werden in einem fast luftleeren Rohre aus widerstandsfähigem Glase zwischen Quecksilber- und Eisenelektroden erzeugt. Der Wirkungsgrad ist ein guter, und zwar um so höher, je größer die zu erzeugende Ladespannung ist. Solche

Apparate, und zwar für Wechselstrom wie für Drehstromnetze, werden in guten Ausführungen von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft sowie von der Westinghouse Mf. Co. in den Handel gebracht und haben sich im Dauerbetriebe bewährt. Die Lebensdauer eines Glaskörpers kann über 3000 Brennstunden betragen.

Neben dem Gleichstrom gebraucht man bei großen Anlagen bisweilen Ströme intermittierenden Charakters, die im allgemeinen aus Gleichströmen erhalten werden, indem man durch motorisch angetriebene rotierende Unterbrechereinrichtungen bald die betreffenden Leitungen an die Gleichstromquelle anschließt, bald abtrennt und diesen Vorgang periodisch wiederholt.

Von besonderer Wichtigkeit sind die Wechselstromerzeuger, die zur Erzeugung des Anrufstromes dienen. Man unterscheidet hierbei die von Hand angetriebenen Magnetinduktoren und die meistens in den Zentralen befindlichen Wechselstromerzeuger, die man in rotierende und schwingende einteilen kann.

Die magnetischen Induktoren haben einen durch Drehen einer Kurbel mit Hilfe einer Zahnradübersetzung in Umdrehung zu versetzenden Anker A von doppelt-T-förmigem Querschnitt, dessen Steg mit isoliertem Kupferdraht W bewickelt ist (Abb. 44). Der Anker kann sich mit geringem Spiel (0,2—0,3 mm) innerhalb der Polschuhe P eines oder mehrerer permanenter Magnete M drehen. Bei den Umdrehungen wirkt nun fortwährend wechselnder Magnetismus auf den Kern des Ankers und damit auf die Windungen ein, und es entstehen daher in den Windungen W Wechselströme, die bei einer Umdrehung des Ankers jedesmal eine ganze Periode durchlaufen. (W. v. Siemens, 1857.)

Diese Spannung zeigt den Verlauf eines Wechselstromes, weicht jedoch von der Sinuskurve ziemlich erheblich ab, da in den Zeitpunkten, in denen die Ankerhörner die Polschuhe verlassen, sehr plötzliche Änderungen des Magnetismus im Anker und damit hohe Spitzen in der Spannungskurve auftreten. Der zeitliche Verlauf der Spannung eines Induktors während einer Ankerumdrehung, also einer Periode, ist in Abb. 45 dargestellt.

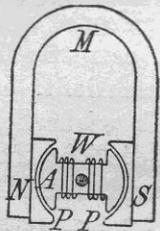


Abb. 44.

Magnetinduktor mit Doppel-T-Anker von Siemens.

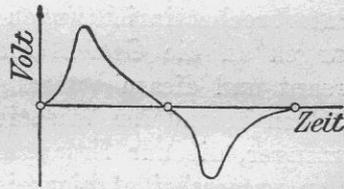


Abb. 45.

Zeitlicher Verlauf der Spannung eines Induktors mit Doppel-T-Anker.

Die Abmessungen der gebräuchlichen Induktoren werden so gewählt, daß dieselben je nach ihrer Größe 5—30 Watt über einen induktionsfreien Widerstand leisten können. Die Spannung ist 35—45 Volt, bei Induktoren für sehr lange Linien, z. B. Eisenbahnen, 75 bis 150 Volt. Dabei kommen Ankerwiderstände von 100 bis 800 Ohm vor. Der Anker wird zweckmäßigerweise aus einzelnen Blechen zusammengesetzt, um die sonst in massiven Eisenkörpern auftretenden Wirbelströme und die dadurch bedingten Energieverluste gering zu machen. Der Antrieb erfolgt mit Hilfe eines Zahnradvorgeleges, dessen größeres Rad durch eine kleine Hand-

kurbel gedreht wird. Das kleinere Rad befindet sich auf der Ankerachse; die Übersetzung des Rädervorgeleges beträgt etwa 1 : 5 bis 1 : 7, so daß bei 3 Umdrehungen der Kurbel die Ankerachse etwa 15—21 Umdrehungen in der Sekunde macht, die Periodenzahl des gelieferten Stromes also auch 15—21 ist. Man verwende besonders konstante Magnete, und zwar werden 2—6 Magnete von etwa 10.20 qmm Querschnitt benutzt.

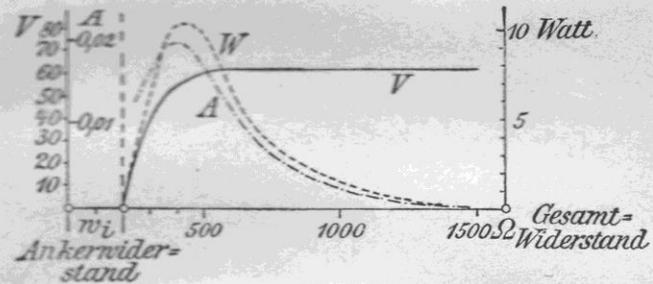


Abb. 46.

Spannung, Strom und Watt eines Induktors, abhängig von der Belastung.

Die Abnahme des Stromes erfolgt durch das Lagermetall der Ankerwelle einerseits, andererseits durch eine Schleiffeder. Durch Drehen der Kurbel wird automatisch eine Umschalteneinrichtung betätigt, deren Funktion später bei den Fernsprechanlagen erläutert werden soll. Sie besteht aus einigen Federn, deren Schaltungsbewegung durch eine geringe axiale Verschiebung der Kurbelwelle bewirkt wird, die beim Drehen unter Einwirkung einer Führung eintritt.

Zum Zwecke der Prüfung wird der Induktor mit konstanter Tourenzahl angetrieben, und mit einem in-

duktionsfreien variablen Widerstand belastet. Strom, Spannung und Wattleistung werden gemessen und in Abhängigkeit vom äußeren Widerstand aufgetragen. Abb. 46 gibt die Meßresultate an einem Induktor mittlerer Größe mit 3 Magneten vom Querschnitte 10 mal 20 qmm und 230 mm Länge, einem Ankerdurchmesser von 35 mm, einer Eisenlänge des Ankers von

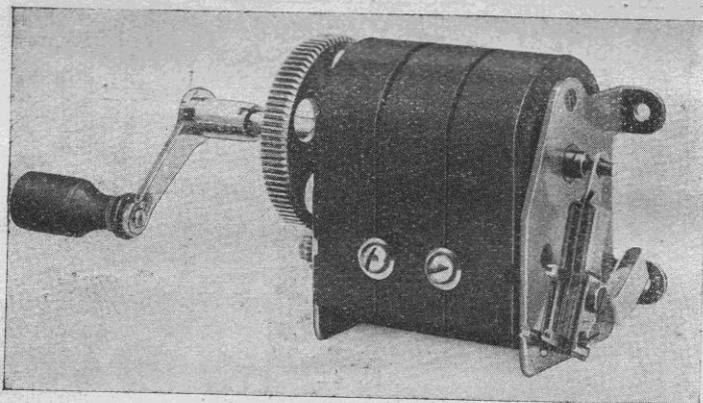


Abb. 47.

Wechselstrominduktor für 45 Volt und ca. 5 Watt von Mix & Genest.

70 mm bei 20 Umdrehungen pro Sekunde wieder. Der Widerstand des Ankers war 200 Ohm, die Wicklung bestand aus 2000 Windungen eines Drahtes von 0,17 mm Durchmesser.

Als Wechselstromquelle kommen ferner bisweilen Apparate in Anwendung, die man als Umkehrungen der in Abb. 40 dargestellten Gleichrichter auffassen kann, die also unter Zuhilfenahme eines pendelnden Ankers den Strom einer Gleichstrombatterie derartig umschalten, daß er bald in der einen, bald in der andern Rich-

tung in die Leitung fließt. Der Antrieb des Pendels geschieht wie bei einem Gleichstromwecker durch einen Selbstunterbrecher. Die Schwingungsdauer des Pendels ist durch geeignete Bemessung der Länge und der Richtkraft so bestimmt, daß die übliche Periodenzahl von 15—25 pro Sekunde zustande kommt. Diese Apparate werden als Polwechsler bezeichnet. Die Form ihrer Wechselstromkurve kann wesentlich verbessert werden, wenn ein Transformator zwischengeschaltet wird, der entweder mit dem Antriebselektromagneten vereinigt oder getrennt davon angebracht ist. Abb. 48 stellt einen solchen Wechselstromerzeuger dar.

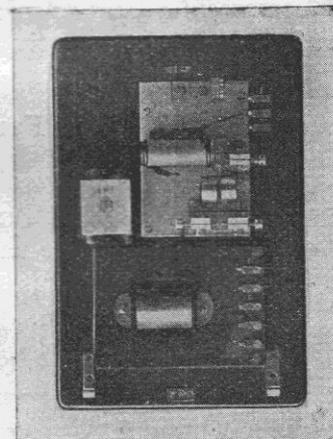


Abb. 48.

Wechselstromerzeuger (Polwechsler) von Bosse. Rechts oben das Pendel, unten der Transformator.

In ähnlicher Weise wirken die sogenannten Summer, bei denen allerdings die Anker weit schnellere Schwingungen als bei den eben beschriebenen Polwechslern vollführen; dementsprechend werden also Wechselströme hoher Periodenzahl entstehen, die im Telephon ein summendes oder pfeifendes Geräusch erzeugen. Bei Verwendung dieser Summer als Rufstromquelle kann man also ein besonderes Anruforgan, z. B. einen Wecker, sparen; der Anruf ist als lautes Summen oder Pfeifen im Hörer zu vernehmen. Auch bei den Summern wird häufig eine Transformation des unterbrochenen Gleich-

stroms vorgenommen, um eine der Sinuslinie ähnlichere Kurve des erzeugten Wechselstromes und so einen reineren Ton zu erhalten, als dies ohne Transformation möglich wäre. Gleichzeitig bietet sich so ein bequemes Mittel, die verhältnismäßig niedrige primäre Spannung durch geeignete Wahl des Übersetzungsverhältnisses des Transformators zu erhöhen und den Apparat auch für lange Leitungen geeignet zu machen.

§ 13. Die Fernsprechleitungen.

Zur Verbindung von Fernsprechstationen untereinander und mit Vermittlungszentralen dienen metallische Leitungen, die man je nach der Art ihrer Verlegung in 2 Gruppen teilen kann, nämlich:

1. Freileitungen.
2. Kabelleitungen.

Die ersteren sind dadurch gekennzeichnet, daß meistens blanke Metalldrähte an oberirdischen Gestängen befestigt sind, und zwar unter Zuhilfenahme von Isolatoren aus Porzellan, Glas oder Hartgummi.

Die Kabel enthalten Metalladern, die ihrer ganzen Länge nach dicht nebeneinander geführt sind und die durch fortlaufende Streifen oder Mäntel von Isolierstoffen voneinander elektrisch isoliert sind.

Die Freileitungen werden an Gestängen aus Holz oder Eisen aufgehängt. Damit das Holz den Einflüssen der Witterung und der Fäulnis in der Erde einen möglichst großen Widerstand entgegengesetzt, wird es mit konservierenden und meistens giftigen Metallsalzen oder teerartigen Stoffen getränkt, die unter starkem Druck durch das Zopfende hineingepreßt werden. Im Erdreich wird außerdem ein Anstrich mit Kreosotöl, Karbo-

lineum oder mit Steinkohlenteer eine größere Lebensdauer gewährleisten. Die Isolatoren werden fast durchweg auf Eisenstützen mit Hilfe von Werg oder besser geöltem Papier befestigt. Sie sind derartig ausgebildet, daß an einem Kopf der Leitungsdraht sich leicht durch einen Bindedraht befestigen läßt, der in seiner Lage durch eine Rille im Isolator gehalten wird. Der untere Teil besteht aus mehreren konzentrischen Mänteln, die nach unten offene Hohlräume zwischen sich aufweisen, um die Bildung leitender Schichten durch Feuchtigkeit zwischen der Leitung und der Stütze nach Möglichkeit zu verhindern. Die Reichspostverwaltung verwendet 3 Modelle aus Porzellan, die sich durch verschiedene Abmessungen unterscheiden:

Reichsmodell 1,	Höhe 140 mm,	Durchm. 90 mm,	Gewicht 1050 g
„ 2,	„ 100 „	„ 70 „	„ 450 „
„ 3,	„ 88 „	„ 60 „	„ 210 „

Die Reichsmodelle enthalten einen inneren und einen äußeren Mantel. Sie bestehen aus bestem, hartgebranntem Porzellan mit glatter rißfreier Glasure. Die größeren Modelle sind für schwere Leitungen bestimmt, also für solche, bei denen große Drahtquerschnitte und lange Spannweiten angewendet werden.

Die Spannweiten richten sich nach den örtlichen Verhältnissen, der Festigkeit und Spannung des Leitungsmaterials und der Anzahl der Leitungen, die an einem Maste aufgehängt werden. Bei den meistens angewendeten Holzmasten rechnet man mit einer Entfernung von 40—70 Metern. Die Stangen haben eine Höhe von 7—10 Metern und werden auf 1,5—2 Meter in den Boden eingegraben. Bei nur wenigen Leitungen werden einfache Stangen, bei vielen Doppelgestänge verwendet, deren Teile durch Streben und Zuganker gegeneinander

abgestützt sind. In Kurven, in denen natürlich ein starker Seitenzug auftritt, und besonders bei Abspannmasten an den Enden von Leitungen ist die Verankerung sehr sorgfältig auszubilden.

Als Leitungsmaterial findet neben dem auf untergeordneten kurzen Strecken bisweilen verwendeten galvanisierten Eisendraht hauptsächlich harter Kupferdraht, sogenannter Siliziumbronzedraht, Anwendung. In der nachstehenden Tabelle sind für die gebräuchlichen Abmessungen die Widerstände in Ohm für den Kilometer Einfachleitung angegeben:

Drahtdurchmesser in mm	6	5	4,5	4	3	2	1,5
Verzinkt. Eisendraht Ohm	4,65	6,72	8,26	10,47	18,6	—	—
Siliziumbronzedraht „	0,67	1,02	1,19	1,51	2,67	6,02	14,4

(Die Werte gelten für 15 Grad Celsius.)

Aus dem Unterschiede der Widerstände pro Kilometer erkennt man schon die große Überlegenheit des Bronzedrahtes gegen den Eisendraht, wenn es sich darum handelt, der Leitung einen möglichst geringen Widerstand zu geben, eine bei langen Fernsprechleitungen sehr wichtige Forderung.

Im Gegensatz zu den Telegraphenleitungen werden Fernsprechleitungen fast immer als Doppelleitungen ausgeführt, d. h. sie weisen eine Hin- und eine Rückleitung auf, benutzen also nicht zur Rückleitung die Erde. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß die zwischen weit entfernten Stellen der Erde stets vorhandenen an sich stark schwankenden Potentialdifferenzen bei Verwendung der Erde als Rückleitung störende Ströme (Erdströme) durch die Telephone senden, die ein fortwährendes Knacken und Sausen in den Hörern erzeugen, so daß meistens die Verständigung dadurch wesentlich erschwert, ja bisweilen unmöglich gemacht

wird. Aber nicht nur die Erdströme zwingen zum Bau der Doppelleitungen, sondern auch von andern Leitungen, beispielsweise Starkstromleitungen herrührende Einflüsse machen die Verwendung der Erde als Rückleitung heute bei der großen Ausdehnung der Überlandzentralen mit ihren hohen Spannungen unmöglich.

Auf den Telephonämtern werden die Leitungen sorgfältig auf ihren Isolationszustand sowie auf ihre sonstigen elektrischen Eigenschaften durch Meßinstrumente und Prüfschaltungen überwacht. Ferner sind Einrichtungen getroffen, durch die man beliebige Hin- und Rückleitungen in dem Falle kombinieren kann, wenn einzelne gestört sind. Derartige Vorrichtungen nennt man Leitungsumschalter.

Im allgemeinen gehören also 2 Leitungen zusammen, von denen die eine die Hin-, die andere die Rückleitung darstellt. Diese Doppelleitung wird mit möglichst geringem Abstände der beiden Drähte geführt und die einzelnen Drähte außerdem in Abständen von 1—2 Kilometern gekreuzt, derartig, daß, wenn vor der Kreuzung die Leitungen in der Reihenfolge La—Lb am Gestänge lagen nach der Kreuzung die Reihenfolge Lb—La wird, beide Leitungen also ihre räumliche Lage vertauscht haben. Durch diese Maßnahme wird der induktive Einfluß benachbarter Telegraphenleitungen aufgehoben, der beim Nichtvorhandensein der Kreuzungen sich störend bemerkbar machen würde, da dann wegen der im allgemeinen verschieden großen Entfernung von La und Lb von einer Telegraphenleitung desselben Gestänges auch verschieden starke Spannungen in La und Lb durch die Telegraphierströme induziert werden, die sich über die Hörer ausgleichen und so Knackgeräusche erzeugen. Durch die Kreuzungen wird dagegen die gleiche Lage

beider Fernsprechleitungen einer Telegraphenleitung gegenüber gewährleistet, so daß keine Induktionsströme über die Hörer fließen können. Sind Starkstromleitungen in der Nähe oder gar an demselben Gestänge geführt, so kreuzt man die Leitungen bei jedem 3. bis 5 Mast, also etwa alle 150—200 Meter. Die Kreuzung kann entweder auf der freien Strecke oder am Mast erfolgen. In letzterem Falle werden Kreuzungskonsolen mit 4 Isolatoren benutzt.

Bisweilen begnügt man sich nicht nur mit der Kreuzung oder Verdrillung zweier zusammengehöriger Leitungen, sondern verdrillt alle Leitungen eines Gestänges, wie dies bei den langen schwedischen Telephonlinien nach Angaben von Egnér durchgeführt ist. Man gleicht auf diese Weise Ungleichheiten in der Kapazität der einzelnen Leitungen gegen Erde und gegen dritte Leitungen aus, die sonst wegen des verschiedenen Abstandes von der Erde auftreten würden, erreicht also dadurch, daß die Kapazitäten der Leitungen unter sich und gegen Erde gleich sind, wenn Drähte von gleichem Durchmesser und gleicher Länge verwendet werden.

Die Leitungen sind naturgemäß den Temperaturschwankungen der Atmosphäre ausgesetzt, die oft 60 bis 70 Grad Celsius betragen. Eine im Winter gespannte Leitung wird also im Sommer sich stark längen und ihren Durchhang vergrößern. Andererseits werden im Winter Schneelast und Rauhreifbehang die ohnehin bereits stärker als im Sommer gespannte Leitung noch weiter auf Zug beanspruchen. Allen diesen Faktoren ist beim Bau der Leitung Rechnung zu tragen. Man bemißt daher den Durchhang derartig, daß bei einer Temperatur von -25 Grad nur eine Beanspruchung des Drahtes auf $\frac{1}{4}$ seiner Bruchfestigkeit auftritt.

Nimmt man an, daß die Aufhängepunkte in gleicher Höhe liegen, so kann man folgende Annäherungsformel benutzen:

Es bezeichne:

$$\begin{aligned} l &= \text{Drahtlänge bei } t \text{ Grad Cels. in m} \\ l_0 &= \text{Drahtlänge bei } 0 \text{ Grad Cels. in m} \\ a &= \text{linearer Ausdehnungskoeffizient des Drahtmaterials} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{zwischen} \\ \text{2 Aufhänge-} \\ \text{punkten} \end{array} \right\}$$

Dann ist:

$$l = l_0 \cdot (1 + a \cdot t).$$

Ferner sei:

Spannweite = A in Metern.

Durchhang = d in Metern.

Dann ist:

$$d = \sqrt{\frac{3 \cdot A (l - A)}{8}}$$

Bezeichnet:

G = Gewicht von 1 Meter Draht in kg.

k = Zugbeanspruchung des Drahtes in kg/qmm,

so ist: $k = \frac{G \cdot A}{8 d}$. (K soll $\frac{1}{4}$ der Bruchfestigkeit nicht überschreiten.)

Für Siliziumbronze ist einzusetzen:

$$a = 0,000\,017 \text{ m pro m Länge.}$$

Die Gewichte in kg pro Meter sind bei Bronzedrähten:

Durchmesser	6	5	4,5	4	3	2	1,5	mm
G	0,254	0,173	0,143	0,112	0,064	0,028	0,0158	kg/m

Als Bruchfestigkeit ist bei Siliziumbronzedraht mit einer Leitfähigkeit von ca. 98% des reinen Kupfers etwa 40—45 kg/qmm zu rechnen, so daß k einen Wert von 10—11 nicht überschreiten soll.

Während man bei langen Überlandleitungen auch noch heute der geringeren Baukosten wegen Freileitungen bevorzugt, werden in größeren Städten diese immer mehr durch unterirdisch geführte Kabelleitungen ersetzt, die zwar in der Herstellung weit teurer, dagegen in der Unterhaltung billiger sind als die ersteren. Die Freileitungen sind naturgemäß weit mehr den Einflüssen der Witterung ausgesetzt, als Kabel, und daher in höherem Grade bei Gewittern, Schneefällen und Rauhreif gefährdet, als eine unterirdische Leitung, ein Umstand, der natürlich bei der Beurteilung der Betriebssicherheit des Fernsprechnetzes eine wesentliche Rolle spielt.

Die Konstruktion der Telephonkabel ist kurz folgende: Ein Kupferdraht von 0,6—2 mm Durchmesser wird mit einem Streifen Papier umwickelt, und zwar derartig, daß zwischen Draht und Papierhülle ein ziemlich beträchtlicher Luftraum bleibt. Das Papier umgibt als breites Spiralband den Leiter. Zwei solche Leitungen, von denen die eine die Hin-, die andere die Rückleitung bildet, werden mit sehr langem Schlage miteinander verseilt. Sodann werden viele solcher Doppeladern nebeneinander verseilt und in einer gemeinsamen Papierhülle eingeschlossen. Das ganze Kabel wird in der bei Starkstromkabeln üblichen Weise mit einem Bleimantel (eventuell mit 5% Zinnzusatz), nahtlos umpreßt, um die Leiter gegen Feuchtigkeit zu schützen. Es werden bis zu 500 Doppeladern zu einem Kabel zusammengefaßt. Von einer besonderen äußeren Armierung sieht man deswegen ab, weil die Kabel nicht frei im Boden, sondern in Kanälen verlegt werden, in denen sie gegen mechanische Beschädigungen bestens geschützt sind. Diese Kabelkanäle bestehen aus Blöcken

von Beton, in denen Längslöcher für die einzelnen Kabel vorgesehen sind.

In gewissen Abständen sind unterirdische Verteilerkästen aus Gußeisen angeordnet, in denen die Kabel münden und von denen aus dünnere Kabel zu den einzelnen Teilnehmern geführt werden. Alle diese Anschlüsse an das Hauptkabel müssen natürlich wasserdicht sein, damit keine Feuchtigkeit in das Kabel eindringen kann. Auf dem Telephonamte werden die einzelnen Leitungspaare zu einem sogenannten Sicherungsgestell geführt und hier an isolierte Metallteile angelötet, die man als Lötösen bezeichnet.

Bei der Herstellung und Verlegung der Kabel ist allergrößte Sorgfalt darauf zu verwenden, daß jede Feuchtigkeit vom Kabel ferngehalten wird, damit zwischen den einzelnen Adern und gegen den Mantel eine möglichst hohe Isolation aufrecht erhalten bleibt. Um das Eindringen von Wasser nach der Verlegung zu verhindern, hat man mit Erfolg das Innere des Kabels mit einer Einrichtung zur Erzeugung trockener Druckluft in Verbindung gebracht.

Innerhalb der Gebäude werden gleichfalls Kabel angewendet, die entweder mit Papier, häufig jedoch mit Faserstoffen, wie Jute, Baumwolle oder auch mit Gummi isoliert sind. An Stellen, an denen beispielsweise zu einzelnen Zimmern Abzweigungen gemacht werden sollen, werden Klemmenleisten angebracht, an denen die Leitungen zu dem Zimmer einerseits, andererseits die des Kabels durch Lötung oder durch Anklebmen vermittels Schrauben befestigt sind.

Kommen nur wenige Leitungen in einem Gebäude zur Verlegung, so werden miteinander verseilte Doppeldrähte benutzt, die entweder auf Isolierrollen oder besser

in den aus der Starkstromtechnik bekannten Isolierrohren aus Gummi oder Papiermasse verlegt sind. Die Drähte werden zu Klemmenkästen oder rosettenartigen Dosen geführt, in denen sie mit den Zuleitungen zu den Apparaten verbunden werden.

Die mit den Leitungen verbundenen Apparate bedürfen natürlich eines Schutzes gegen störende Spannungen, die aus den bereits genannten Ursachen in den Leitungen auftreten können (Sicherungen).

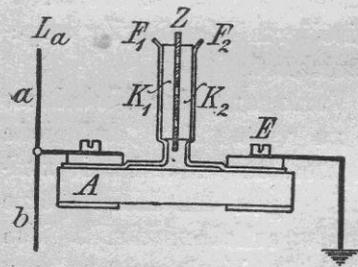


Abb. 49.

Überspannungssicherung.
(Kohleblitzableiter.)

haben in ihrer Konstruktion gemeinsam, daß Stellen in der Leitung gebildet werden, die bei einer Spannung von 300—400 Volt durchschlagen werden. Dabei muß die Anordnung derartig getroffen sein, daß nach erfolgtem Ausgleich der Überspannung die Sicherung sofort wieder betriebsbereit ist, daß also z. B. ein Lichtbogen oder ein Verschmelzen an der Überschlagsstelle nicht eintritt.

Eine viel gebrauchte und gut bewährte Überspannungssicherung ist in Abb. 49 schematisch dargestellt. Eine Leitung L_a , die von a kommend gedacht ist, wird zu einer Klemme A geführt. Von hier geht sie weiter

Die Sicherungen sollen zunächst solche Überspannungen zur Erde ableiten, welche die Isolation der Kabel und Apparate gefährden, also namentlich atmosphärische Entladungen unschädlich machen. Sie werden als Überspannungsschutz oder nach älterer Benennung als Blitzableiter bezeichnet. Alle

zu dem bei b angeschlossenen Fernsprecher. Eine Feder F_1 , die mit A verbunden ist, drückt gegen eine andere mit der Erde bei E verbundene Feder F_2 zwei Kohleklötze K_1 und K_2 , die durch eine dünne Schicht Z aus Papier, Glimmer oder nicht entflammarem Zellulose gegeneinander isoliert sind. Die Isolierschicht enthält eine Anzahl kleiner Löcher. Die Stärke der Isolierschicht Z , welche den Abstand der Kohlen bedingt, wird nun so bemessen, daß der Luftraum der Löcher bei ca. 400 Volt durchschlagen wird, so daß Überspan-

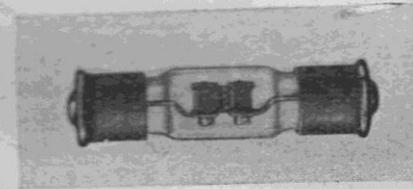


Abb. 50.

Luftleerblitzableiter von Siemens & Halske.

nungen, die diesen Betrag erreichen oder übersteigen, zur Erde abgeleitet und dadurch unschädlich gemacht werden.

Sollte bei sehr häufigem Ansprechen eine starke Verbrennung der Kohlen eintreten, so wird trotzdem ein dauernder Schluß zwischen K_1 und K_2 wenig wahrscheinlich sein, da die Verbrennungsprodukte der Kohle gasförmig sind und ein Zusammenschmelzen, das bei Verwendung von Metallen wahrscheinlich wäre, bei Kohlen nicht erfolgen kann.

Bei einer andern Type sind die Kohleelektroden in etwas größerem Abstände einander gegenüber gestellt worden. Um jedoch zu erreichen, daß die Sicherung

trotzdem bei etwa 300 Volt anspricht, werden die Kohlen in einem Glasrohre untergebracht, das bis auf einen geringen Druck evakuiert ist. Zwei Kappen an den Enden vermitteln den Anschluß der Leitungen. Diese Sicherungen sprechen zwar anfänglich bei niedrigen Spannungen an, da jedoch das Vakuum sich nach wiederholtem Funktionieren ändert, so ändert sich auch allmählich die Spannung, bei der ein Überschlagen erfolgt. Andererseits haben solche Vakuumsicherungen den Vorteil, daß nicht so leicht, wie bei den Kohlesicherungen ohne Vakuum, ein Schluß zwischen Leitung und Erde durch Feuchtigkeit eintreten kann.

Zum Schutz gegen starke Ströme niedriger Spannung werden Schmelzsicherungen eingeschaltet, die aus dünnen Metallfäden bestehen, welche in Glasröhren untergebracht sind. Werden sie von einem Strom durchflossen, dessen Stärke die Betriebsstromstärke wesentlich übersteigt, so schmelzen die Fäden und das zu schützende Leitungsstück wird abgetrennt bzw. es werden die angeschlossenen Apparate stromlos gemacht. Bei einigen Konstruktionen wird beim Durchreißen des Schmelzdrahtes ein Kontakt geschlossen, der irgendeine Signaleinrichtung bzw. einen Wecker, einschaltet und dadurch das Durchschmelzen der Sicherung anzeigt.

Die letztgenannten Sicherungen bezeichnet man als Grobsicherungen im Gegensatz zu den Feinsicherungen. Diese sollen gegen schwächere Ströme sichern, die jedoch längere Zeit andauern und so Schädigungen der Apparate verursachen können, während die Grobsicherungen starke Ströme von kurzer Dauer ausschalten. Die Feinsicherungen bestehen aus einer kleinen Spule, die mit einer Bewickelung dünnen Drahtes versehen ist, dem man einen hohen Widerstand gibt. Im Innern der Spule

ist ein kleines Gefäß angebracht, in dem durch etwas leicht schmelzendes Woodsches Metall ein Stift festgehalten wird. Es ist einleuchtend, daß eine bestimmte Wärmemenge erforderlich ist, um das Woodsche Metall zum Schmelzen zu bringen. Ein kurzer Stromstoß genügt nun nicht zum Hervorbringen dieser Wärmemenge, vielmehr muß der Strom eine gewisse Zeit andauern, um das Metall zu schmelzen. Tritt dieser Fall ein, so bewirkt die Schmelzung ein Lockerwerden des Stiftes,

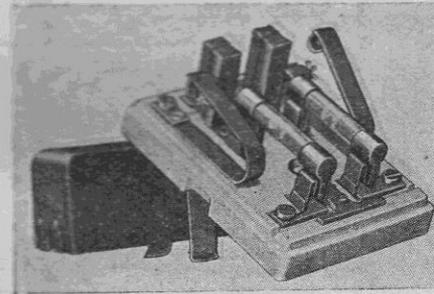


Abb. 51.

Vereinigte Schmelz-, Fein- und Überspannungssicherung für 2 Leitungen
von E. Zwitusch & Co.

der dann durch eine Feder aus der Spule herausgerissen wird und den Stromkreis unterbricht. Gleichzeitig kann wieder ein Signalkontakt geschlossen werden. Besonders verbreitet ist eine Konstruktion der Firma E. Zwitusch, Berlin, bei der der Stift nicht herausgerissen wird, sondern beim Schmelzen des Metalles durch Einwirkung einer Feder ein Rädchen um $\frac{1}{6}$ seines Umfanges gedreht wird, wodurch der Strom unterbrochen wird. Nach Auflegen der Feder auf einen anderen Zahn des Rädchens kann die Sicherung wieder betriebsfähig gemacht werden (siehe Abb. 51).

Ganz besondere Sicherungsmaßnahmen müssen getroffen werden, wenn es sich um Anlagen handelt, die in der Nähe von Hochspannungsleitungen geführt sind, oder gar an demselben Gestänge mit diesen verlaufen. Die Leitungen werden nach einer Anordnung der A.-G. Mix & Genest, Berlin-Schöneberg (siehe Abb. 52), zunächst zu einem Trennschalter T geführt, der in der

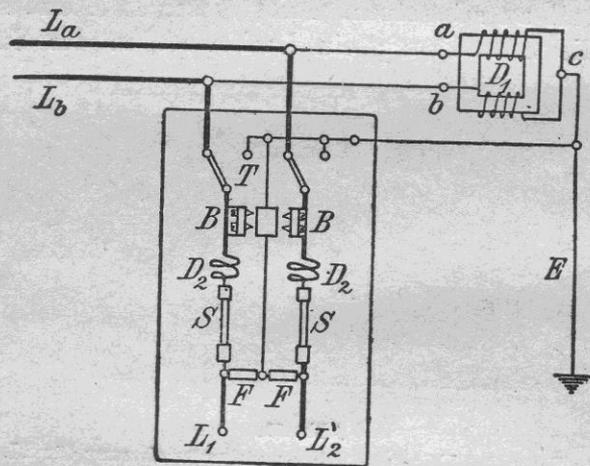


Abb. 52.

Hochspannungssicherung und Erdungsdrosselspule.

einen Lage die Sicherungstafel einschaltet, in der anderen diese an Erde legt. Dies soll immer dann geschehen, wenn an der Tafel oder der an sie angeschlossenen Station gearbeitet wird. Hinter dem Schalter führen zwei Abzweigungen zu einer Erdungsdrosselspule D_1 . Diese besteht aus einem Eisenkern, welcher aus dünnen Blechen zusammengesetzt ist, der zwei Wicklungen trägt, die so gewickelt sind, daß zwischen den Klemmen a und b eine hohe Selbstinduktion entsteht, also Sprech-

ströme nicht über die Windungen fließen werden (s. S. 37). Die beiden Wicklungen sind bei c miteinander und Erde E verbunden. Treten nun infolge Einwirkung der Hochspannungsleitungen in den beiden Fernsprechleitungen starke Fremdströme auf, so können diese über die beiden Spulen ac und bc nach Erde E abfließen, da in dieser Richtung keine wesentliche Magnetisierung des Eisenkernes, also auch keine Selbstinduktion auftritt, und zwar, weil die magnetisierende Wirkung der einen Spule die der andern aufhebt. Durch Anschalten einer solchen Erdungsdrosselspule kann man also schädliche Überspannungen beseitigen. Diese Drosselspulen versagen jedoch, wenn es sich darum handelt, sehr schnelle elektrische Schwingungen zu beseitigen, wie sie etwa bei Schaltvorgängen oder Kurzschluß in benachbarten Hochspannungsleitungen auftreten. Zu diesem Zwecke ist in jeder Leitung je eine Drosselspule D_2 eingeschaltet, die aus einigen Windungen starken Drahtes ohne Eisenkern besteht. An einer solchen Drosselspule, die natürlich wegen ihrer sehr geringen Selbstinduktion den Sprechströmen keinen wesentlichen Widerstand entgegengesetzt, werden schnelle elektrische Schwingungen reflektiert, d. h. vor jeder Drosselspule bildet sich eine besonders hohe Spannung aus, der man nun Gelegenheit gibt, sich über die Überspannungssicherung B gegen Erde auszugleichen. Hinter den Drosselspulen sind zwei Schmelzsicherungen S geschaltet. Außerdem sind zur Beseitigung kleiner Spannungen Vakuumsicherungen F eingebaut. Die Klemmen L_1 und L_2 dienen zum Anschluß der Fernsprechstation.

In sehr engem Zusammenhange mit den Leitungen steht die Frage der Güte der telephonischen Verständigung, die im allgemeinen um so besser wird, je kleiner

die Leitungslänge ist. Aber nicht allein diese ist maßgebend, sondern auch andere Faktoren spielen eine wichtige Rolle, die teils aus dem Material, teils aus der Konstruktion der Leitung sich herleiten lassen.

Eine aus einer Hin- und einer Rückleitung bestehende Doppelleitung hat 4 Eigenschaften, welche für die Fortleitung eines Sprechstromes maßgebend sind, nämlich:

1. Einen Ohmschen Widerstand R , gemessen in Ohm, in erster Linie bedingt durch die Abmessungen und das Material des Leiters, sowie in zweiter Linie durch die Temperatur der Umgebung.
2. Einen Koeffizienten der Selbstinduktion L , gemessen in Henry, bedingt durch die Lage der Drähte zueinander und ihre Länge.
3. Eine Kapazität C der Hin- und Rückleitung gegeneinander, in dem Sinne, daß man sich beide Leitungen als Beläge eines Kondensators von der Größe C vorstellen kann, dessen Dielektrikum die Isolationen sind, welche die beiden Leiter voneinander trennen. Sie ist in ihrer Größe abhängig von den Abmessungen der Leiter, dem Abstände derselben voneinander und der Natur des Dielektrikums zwischen beiden, in zweiter Linie auch von der Temperatur. Die Kapazität wird in Farad (F) gemessen.
4. Eine Ableitung S , gemessen in Siemens (S), die man sich vorstellen kann, wenn man bedenkt, daß infolge von unvollkommener Isolation beider Leitungen gegeneinander eine Ableitung von Strom von einer Leitung zur andern längs der ganzen Leitung eintritt. Als Ableitung wird die Leitfähigkeit aller dieser Isulationsfehler und des

Dielektrikums, das gleichfalls nie vollkommen isoliert, bezeichnet; sie ist gleich dem reziproken Werte des Isolationswiderstandes der Hin- und Rückleitungen gegeneinander.

Denken wir uns am Anfange der Leitung einen Wechselstrom bestimmter Spannung, ferner das Ende der Leitung mit einem Telephon belastet, so kann man folgende Betrachtung anstellen:

Infolge des Ohmschen Widerstandes R wird die Spannung vom Anfange der Leitung gegen das Ende abfallen, und am Hörer deswegen kleiner sein als am Anfange der Leitung.

Infolge der Selbstinduktion der Leitung entsteht eine der aufgedrückten Spannung entgegengesetzte elektromotorische Kraft, die gleichfalls ein Sinken der Spannung gegen das Ende der Leitung bewirkt.

Die Kapazität der Leitung kann man sich in einzelne gleichmäßig über die Leitung verteilte kleine Teilkapazitäten zerlegt denken, die jede für sich einen kleinen Teil des Stromes von einem Leiter zum andern leiten, so daß nicht mehr der gesamte am Anfang in die Leitung hineingeschickte Strom am Ende erscheint, sondern ein kleinerer, der sich aus dem Anfangstrom vermindert um den durch die kleinen Kondensatoren abgeleiteten ergibt.

Die Ableitung bewirkt gleichfalls ein Überfließen von Strom von einem Leiter zum andern unter Umgehung des Hörers, so daß nicht der volle Betrag des hineingeschickten Stromes am Hörer ankommt.

Man hat also zwei typische Eigenschaften einer Fernsprech-Doppelleitung zu beachten:

1. Die am Anfang an der Leitung herrschende Spannung fällt längs der Leitung infolge Einflusses

des Ohmschen Widerstandes R und des Selbstinduktionskoeffizienten L ab, und ist am Ende kleiner als am Anfange,

- Die am Ende der Leitung verfügbare Stromstärke ist nicht wie bei kurzen Leitungen dieselbe, wie die am Anfange hineingeschickte, sondern infolge der Kapazität und Ableitung kleiner.

In der Tat machte man bei Versuchen, über lange Leitungen zu telephonieren, die Erfahrung, daß alle die erwähnten Faktoren ihre Einflüsse auf die telephonische Verständigung ausübten, und lernte schließlich aus praktischen Versuchen und einer inzwischen entwickelten sehr sinnreichen Theorie, die Leitungen so zu bauen, daß heute Entfernungen bis zu 4000 Kilometern erfolgreich durch den Fernsprecher überbrückt werden. Diese Untersuchungen fußen auf den Arbeiten von W. Thomson und Kirchhoff, welche bereits 1855 bis 1857 die Vorgänge in langen Telegraphenkabeln untersuchten und namentlich auf den Einfluß der Kapazität hinwiesen. In neuerer Zeit sind besonders umfangreiche Arbeiten von Breisig, Krarup und Pupin epochemachend gewesen, teils durch Entwicklung einer lückenlosen Theorie, teils infolge von Vorschlägen zur Vergrößerung der Reichweite durch Verbesserungen der Kabel und Freileitungen auf Grund der durch die Theorie gewonnenen Erkenntnis.

Zunächst nun wurden gewisse das ganze Problem vereinfachende Annahmen gemacht, so daß sich verhältnismäßig einfache Formeln ergaben, nach denen sich die Strom- und Spannungsverhältnisse längs den Leitungen darstellen ließen. So kann man beispielsweise bei Kabeln, deren Isolationen sich sehr sicher und dauerhaft herstellen lassen, die Werte für die Ableitung S im all-

gemeinen vernachlässigen; ebenso ist im allgemeinen bei der Periodenzahl der Sprechströme, die man im Mittel zu etwa 800 pro Sek. annimmt, der Selbstinduktionswiderstand eines Kabels gewöhnlicher Konstruktion klein gegen den Ohmschen Widerstand. Z. B. hat ein Kabel von 1 mm Drahtdurchmesser einen Widerstand von

$$R = 46 \text{ Ohm pro km Doppelleitung.}$$

Der Koeffizient der Selbstinduktion L pro km beträgt 0,0006 Henry. Bei 800 Perioden ist die Kreisfrequenz $\omega = 800 \cdot 2 \cdot \pi = 5000$. Der Selbstinduktionswiderstand (s. S. 37) also:

$$= 5000 \cdot 0,0006 = 3 \text{ Ohm,}$$

also eine im Verhältnis zum Ohmschen Widerstand kleine Zahl, die gegenüber dem Einflusse der Kapazität und des Ohmschen Widerstandes vernachlässigt werden möge.

Bezeichnen wir nun den Strom am Anfange der

Leitung mit J_1 ,

die Länge der Leitung in km mit l ,

die Stromstärke am Ende der Leitung l mit J ,

so ergibt die Theorie für unsern speziellen Fall als Zusammenhang des Endstromes J mit dem Anfangsstrom J_1 die Beziehung:

$$J = 2 \cdot J_1 \cdot e^{-\beta l} = \frac{2 J_1}{e^{\beta l}}$$

darin ist e die Basis des natürlichen Logarithmen-systems, also gleich 2,718.

β ist eine Größe, die man als spezifischen Dämpfungsfaktor bezeichnet und die von den obenerwähnten Konstanten der Leitung sowie von der Kreisfrequenz abhängig ist.

βl wird als Dämpfungsexponent der Leitung bezeichnet und erhalten, indem man den spezifischen Dämpfungsfaktor β mit der Leitungslänge l in km multipliziert.

Für den angegebenen Sonderfall des Kabels kann man β leicht durch die Leitungskonstanten ausdrücken, und zwar ergibt die Rechnung:

$$\beta = \sqrt{\frac{\omega \cdot C \cdot R}{2}} \text{ wo } \omega = 2\pi\nu \text{ ist.}$$

Beispiel:

Es soll untersucht werden, wie sich der Endstrom zum Anfangsstrom bei einem Kabel von 50 km Länge und einem Leiterdurchmesser von 1 mm verhält, wenn der Ohmsche Widerstand pro km 46 Ohm, die Kapazität 0,037 Mikrofaraad beträgt (Doppelleitung vorausgesetzt). Als Periodenzahl sei $\nu = 800$, also $\omega = 2\pi \cdot 800 = 5000$ angenommen.

Es ist also:

$$R = 46, C = 0,037 \cdot 10^{-6} \text{ Farad.}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{5000 \cdot 0,037 \cdot 10^{-6} \cdot 46}{2}} = \sqrt{0,0426} = 0,065$$

Daraus ergibt sich der Dämpfungsexponent:

$$\beta \cdot l = 0,065 \cdot 50 = 3,25.$$

Aus der Formel für den End- und Anfangsstrom, die oben gegeben wurde, können wir das Verhältnis dieser beiden Ströme bilden:

$$\frac{J}{J_1} = \frac{2}{e^{\beta l}} = \frac{2}{2,718^{3,25}} = \frac{2}{25,7} = \frac{1}{12,9}$$

Der am Ende der Leitung zur Verfügung stehende Strom ist also nur 1/12,9 des hineingeschickten.

Wenn man nun praktische Verhältnisse annimmt, also einerseits mit normalen Mikrofonen am Anfange der Leitung, andererseits mit normalen Hörern am Ende der Leitung rechnet, so kann man die Güte der Sprachverständigung vom Betrage des Dämpfungsexponenten abhängig betrachten, und es werden dann bei normalen Mikrofonen am Anfange und normale Hörer am Ende der Leitung durch Messungen folgende Werte gefunden:

βl	Verständigung:
2,0	ausgezeichnet
2,5	sehr gut
3,0	gut
3,5	ausreichend
4,5	mangelhaft
5,0	kaum möglich.

Wenn nach dieser Tabelle die Sprechverständigung über das im Beispiel betrachtete Kabel kritisiert wird, so findet man eine solche, die zwischen gut und ausreichend liegt. Hieraus kann entnommen werden, daß eine Vergrößerung der Länge des Kabels auf über 50 km nicht gut angängig ist, da sich sonst bald eine mangelhafte Sprechverständigung ergeben würde. Wollte man größere Entfernungen überbrücken, so müßte man bestrebt sein, den Dämpfungsexponenten β durch eine andere Konstruktion des Kabels zu verkleinern. Es bieten sich hierzu verschiedene Wege:

1. indem man die Kapazität C verringert dadurch, daß man die Leiter des Kabels durch einen größeren Abstand voneinander trennt,

2. indem man den Ohmschen Widerstand R durch Vergrößerung des Leiterquerschnittes reduziert. Beide Wege sind jedoch entweder durch die Kosten oder durch Konstruktionsschwierigkeiten begrenzt, so daß man tatsächlich ca. 60 Kilometer als diejenige Entfernung ansehen muß, die sich noch durch Kabel ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel überbrücken läßt, ohne daß die Sprache allzusehr geschwächt wird.

Anders liegen nun die Verhältnisse bei Freileitungen, bei denen meist stärkere Leiter als in Kabeln Verwendung finden, und bei denen infolge der weit größeren Entfernung der Leiter voneinander die Kapazität C geringer ist als bei Kabeln. Bei Freileitungen kommt ferner stets eine mehr oder weniger große Selbstinduktion vor, welche die Dämpfung unter Umständen wesentlich verkleinert, und daher nie ganz vernachlässigt werden darf. Aus diesem Grunde gestalten sich auch die Formeln etwas verwickelter:

Vernachlässigt man die Ableitung S , so wird für eine Freileitung:

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Diese Formel gilt jedoch nur, wenn ωL groß gegen R ist.

Wird die Ableitung berücksichtigt, so erhält man die Formel:

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{S}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\text{Formel von Breisig})$$

Diese beiden Formeln enthalten die Periodenzahl der Sprechströme nicht mehr, man kann also erwarten, daß eine Leitung, bei der der Selbstinduktionswiderstand

groß ist gegen den Ohmschen, Töne hoher Periodenzahl ebenso rein wie Töne niedriger Periodenzahl überträgt. Dies ist in der Tat angenähert der Fall, so daß derartige Leitungen für die Fernübertragung außerordentlich viel besser geeignet sind, als gewöhnliche Kabelleitungen.

Trotzdem ist ein geringer Einfluß der Periodenzahl vorhanden, der darin begründet liegt, daß die Formel für β um so genauer stimmt, je größer ωL gegen R ist, ein Fall, der um so näher verwirklicht ist, je höher die Periodenzahl und damit ω wird.

An einem Beispiel seien die Verhältnisse erläutert:

Eine Freileitung von 900 km Länge = 1 möge aus zwei Drähten von je 4 mm aus Bronze hergestellt sein. Die Drähte seien in einem Abstände von 25 cm voneinander gezogen.

Der Ohmsche Widerstand pro km ist $R = 3,0$ Ohm
 der Selbstinduktionskoeff. „ „ $H = 2,0 \cdot 10^{-3}$ Henry
 die Kapazität „ „ $C = 0,0115 \cdot 10^{-6}$ Farad
 die Ableitung „ „ $S = 1 \cdot 10^{-6}$ Siemens.

Zunächst ist zu prüfen, ob die Bedingung ωL groß gegen R erfüllt ist:

ω werde = 5000 angenommen, dann ist $\omega L = 5000 \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} = 10$ gegen $R = 3$ also gleich dem ca. dreifachen Wert von R . Dieser Wert ist ausreichend, um die Formel benutzen zu können, wenigstens für Annäherungswerte. Man erhält dann:

$$\beta = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{0,0115 \cdot 10^{-6}}{2,0 \cdot 10^{-3}}} + \frac{1 \cdot 10^{-6}}{2} \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^{-3}}{0,0115 \cdot 10^{-6}}} =$$

$$\frac{3}{2} \cdot 0,0024 + \frac{1}{2} \cdot 0,00042 = 0,0036 + 0,00021 = 0,0038.$$

Die Dämpfung der ganzen Leitung wird dann:

$$\beta \cdot l = 0,0038 \cdot 900 = 3,41.$$

Die Verständigung über diese Leitung wird also allenfalls ausreichend, jedoch nicht gut sein. Die Mittel zur Verbesserung der Sprachübertragung gehen aus der Formel für β klar hervor, und zwar können wir die einfachere Formel ohne Berücksichtigung der Ableitung benutzen, da, wie auch das Beispiel ergibt, der Einfluß der Ableitung nur sehr gering ist. Die Formel lautet:

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Um den Wert von β klein zu halten, kann man folgende Wege beschreiten:

1. Der Ohmsche Widerstand R muß so gering wie möglich gemacht werden. Deshalb werden Fernleitungen mit Drahtstärken bis zu 6 mm gebaut. Als Material wird Siliziumbronze mit ca. 94% der Leitfähigkeit des reinen Kupfers benutzt.
2. Da jedoch so starke Leitungen einmal an sich teuer sind, ferner ein schweres und daher teures Gestänge erfordern, so muß man darnach trachten,

die Größe $\sqrt{\frac{C}{L}}$ so klein wie möglich, oder, was dasselbe bedeutet, L gegen C so groß als möglich machen. Dieser letztere Weg wurde zuerst von dem Amerikaner Pupin planmäßig erörtert (Trans. Inst. El. Eng. 1899 und 1900).

Eine in ihrer Durchführung andere Methode, die jedoch gleichfalls eine Erhöhung der Selbstinduktion benutzt, wurde 1902 von dem dänischen Ingenieur Krarup angegeben.

Um die Selbstinduktion der Leitung zu erhöhen, werden nach dem Vorschlage von Pupin in gewissen Abständen Spulen eingeschaltet, die aus einem gut geschlossenen Eisenkern mit einer Bewickelung aus Kupferdraht bestehen, die also eine gewisse Selbstinduktion besitzen, um welchen Betrag die Selbstinduktion der Leitung erhöht wird. Schematisch ist die Einschaltung solcher Pupinspulen in Abb. 53 dargestellt. Zwei Fernsprechstationen A und B sind durch eine

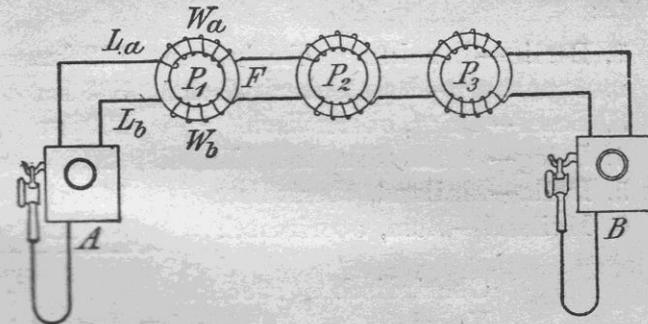


Abb. 53.

Leitung mit erhöhter Selbstinduktion. (Pupinspulen.)

Doppelleitung L_a und L_b miteinander verbunden, in denen die Pupinspulen $P_1, P_2 \dots P_n$ eingeschaltet sind. Diese bestehen aus Eisenkernen F , um die herum zwei Windungsgruppen W_a und W_b gewickelt sind, die in L_a und L_b eingeschaltet werden.

Die Abmessung der Spulen sowie ihre Konstruktion haben sehr umfangreiche Arbeiten der Firma Siemens & Halske, Berlin, erforderlich gemacht, und zwar lagen die Schwierigkeiten einmal darin, eine genügende Konstanz der elektrischen Eigenschaften dieser Spulen zu erzielen, andererseits die Konstruktion so zu gestalten,

daß ein leichter Einbau möglich war. Beide Aufgaben sind glänzend gelöst und dadurch Fernleitungen geschaffen, die gestatten, Entfernungen von Berlin bis Rom, also 2000 km, telephonisch in noch wirtschaftlicher Weise zu überbrücken.

Im Nachstehenden soll diese wohl längste Fernsprechlinie Europas beschrieben werden:

Nach dem Archiv für Post und Telegraphie 1914 S. 501—511, zerfällt die Linie Berlin—Rom in 6 Abschnitte:

1. Berlin—Frankfurt, oberirdisch	562 km
2. Frankfurt—Basel, oberirdisch,	333 km
3. Basel—Brieg, oberirdisch	290 km
4. Brieg—Iselle (Simplon), Kabel	22,25 km
5. Iselle—Mailand, oberirdisch	141 km
6. Mailand—Rom, oberirdisch	660 km

Oberirdisch	1986 km
Kabel	22,25 km
Summe ca.	2008 km.

Das Kabel durch den Simplontunnel war vorhanden. Es war von der Firma Felten & Guilleaume, Köln, geliefert und nach Angaben von Krarup gefertigt. Die Bauart Krarup bewirkt eine wesentliche Erhöhung der Selbstinduktion dadurch, daß die Kupferleiter mit einer Umspinnung aus dünnem Eisendraht versehen werden. Hierdurch lassen sich die Eigenschaften der Kabel bedeutend verbessern, wenn auch die Resultate, die man durch Einbau von Pupinspulen neuerdings erlangt, nicht erreicht werden. Das Simplonkabel besteht aus 7 Doppeladern, deren Einzelleiter aus je 3 miteinander verseilten Kupferdrähten zusammengesetzt sind. Die

Einzelleiter sind mit Eisendraht besponnen. Dann folgt eine Papierisolation, dann 2 durch Asphalt isolierte Bleimäntel und eine Eisenbewehrung.

Die Konstanten des Kabels ergaben sich:

$$\begin{aligned} R &= 7,45 \text{ Ohm pro km,} \\ C &= 0,05 \text{ Mikrofarad pro km,} \\ L &= 0,0086 \text{ Henry pro km,} \\ S &= 1 \cdot 10^{-6} \text{ Siemens pro km.} \end{aligned}$$

Daraus berechnet sich ein Dämpfungsexponent $\beta \cdot l = 0,385$ für das Kabel allein.

Als Freileitung wurde eine solche mit Bronzedrähten von 4,5 mm Durchmesser verlegt und in Abständen von 10 km Pupinspulen eingebaut. Diese wiesen folgende Konstanten auf:

$$\begin{aligned} \text{Induktionskoeffizient} & 0,2 \text{ Henry} \\ \text{Gleichstromwiderstand} & 2,2 \text{ Ohm} \\ \text{Kapazität } L_a \text{ gegen } L_b & 0,00208 \text{ Mikrofarad} \\ \text{Isolation } L_a \text{ gegen } L_b & 25 \text{ 900 Megohm} \\ \text{Ableitung gegen Wechselstrom} & 0,17 \cdot 10^{-6} \text{ Siemens.} \end{aligned}$$

Bei einer Leitungsisolation von 2 Megohm pro km ergab die Messung nach dem Einbau der Pupinspulen:

$$\beta = 0,001247,$$

so daß die 1986 km Freileitung eine Dämpfung

$$\beta \cdot l = 0,001247 \cdot 1986 = 2,47 \text{ aufweisen.}$$

Unter Einrechnung der Kabeldämpfung ist also die Gesamtdämpfung:

$$\beta \cdot l = 2,47 + 0,385 = 2,86,$$

so daß eine gute Sprachübertragung gewährleistet ist

Die Freileitungen sind nicht unmittelbar mit dem Simplonkabel verbunden, sondern es sind sogenannte Übertrager eingeschaltet, d. h. die Enden der Leitungen sind mit den Primärspulen je eines Transformators verbunden, während die Enden des Kabels an die Sekundärspulen angeschlossen sind. Der Grund für diese Maßnahme ist folgender: An der Verbindungsstelle der Freileitung mit dem Kabel tritt eine plötzliche Änderung der elektrischen Eigenschaften der Leitung ein, da die

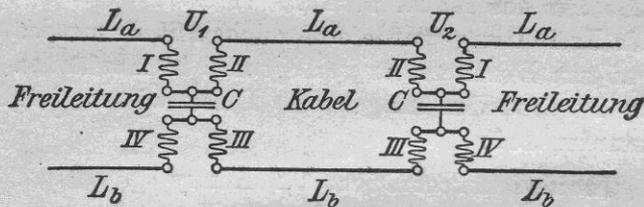


Abb. 54.

Überführung von Kabel in Freileitung am Simplontunnel.

4 Größen, nämlich R , L , C und S der Freileitung andere Werte haben als die des Kabels. Die Folge ist eine starke Reflektion der Sprechströme an diesen Stellen, ähnlich, wie wenn ein Lichtstrahl von einem Medium in ein anderes eintritt und dabei reflektiert wird, also einen Teil seiner Lichtstärke einbüßt. Man kann nun die Übertrager so einrichten, daß durch geeignete Bemessung ihrer Konstanten der plötzliche Übergang vermieden wird. Die beim Simplonkabel angewendeten Spulen weisen ferner noch Kondensatoren auf, die einen Anruf der entfernteren Stationen mittels Gleichstroms ermöglichen. Die Schaltung ist in Abb. 54 dargestellt. Die Wicklungsverhältnisse sind folgende:

Wicklungen 1 und 4 je 1900 Windungen, 4,72 Henry
Wicklungen 2 und 3 je 950 Windungen, 1,19 Henry.
Der Wirkungsgrad eines derartigen Übertragers ist ca. 90%, der Dämpfungsexponent 0,07.

Durch Verwendung einer erhöhten Selbstinduktion ist es nicht nur möglich geworden sehr große Entfernungen zu überbrücken, sondern man hat auch näher gelegene Verkehrszentren durch Kabel miteinander verbinden können. Dadurch wird der Fernsprechverkehr von Einflüssen befreit, die bei oberirdischer Leitungsführung nur allzuoft eine Störungsquelle bilden, nämlich von Beschädigungen der Leitungsanlage durch Sturm, Eis und Rauhreif. Sodann werden bei einem Kabel alle diejenigen Störungen ausgeschaltet, die infolge von Schwankungen der Ableitung und Kapazität bei feuchter Witterung eintreten, und die in unangenehmer Weise die Sprechverständigung beeinflussen. Endlich fallen auch elektrische Ladungen infolge atmosphärischer Störungen, durch Ströme in benachbarten Telegraphenleitungen oder durch Ströme in der Nähe liegender Starkstromleitungen fast ganz fort, so daß im ganzen genommen der Verkehr unter Benutzung eines Kabels bedeutend an Sicherheit einem Betriebe durch Freileitungen gegenüber gewinnt. Eine solche lange Kabelleitung soll künftig Berlin mit dem Rheinlande und seinen Großstädten verbinden.

Die längste Fernsprechlinie der Erde, die zwischen New York und San Francisco (Entfernung 5419 km), befindet sich zurzeit im Bau. Es werden dazu 5,5 m lange Stangen aus Sandelholz von 10 cm Zopfstärke und 20 cm Fußstärke benutzt; davon sind im ganzen 130 000 Stück erforderlich. Es werden 2 Doppelleitungen von 4,2 mm hartgezogenem Kupferdraht ge-

zogen, die zu einer Doppelsprechleitung zusammengesaltet werden können, so daß im ganzen 3 Leitungen zur Verfügung stehen, die wegen des großen Zeitunterschiedes der beiden Endpunkte nur während einer gemeinsamen Geschäftszeit von 5 Stunden starken Verkehr zeigen werden. Die 4 Drähte wiegen ca. 7 000 000 kg. In Abständen von ca. 13 km sind Pupinspulen eingebaut außerdem werden Lautverstärkerrelais angewandt. Der Tarif ist: für die ersten 3 Minuten 86,94 Mark, jede weitere Minute 28,35 Mark.

Konstanten von Leitungen.

I. Ohmscher Widerstand pro km Doppelleitung = R Ohm.

d = Durchmesser des Drahtes in mm.

q = Querschnitt des Leiters in qmm.

s = Spez. Widerstand des Leitermaterials bei 20° Cels.

Material	Eisen	Kupfer	Siliz. Bronze	Aluminium
s =	0,11	0,0175	0,02	0,04

(1)

Für runde Drähte ist:

$$q = d^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0,784 \cdot d^2 \text{ qmm.} \quad (2)$$

Allgemein ist:

$$R = 2000 \cdot \frac{s}{q} \text{ Ohm} \quad (3)$$

Bei einer Temperaturzunahme um 1° wächst der Widerstand bei Kupfer um 0,37% an.

Für Freileitungen gebräuchlicher Drähte gilt:

Draht-durchmesser d	6	5	4,5	4	3	2	1,5	mm
R { Verzinkter Eisendraht	4,65	6,72	8,86	10,5	18,6			Ohm (4)
Siliz. Bronzedraht	0,67	1,02	1,19	1,51	2,67	3,02	14,4	Ohm

Für Kabel mit Doppelleitung aus verzinnem Kupfer:

Draht-durchmesser d	0,8	1,5	2	mm
R { Kupfer verzinkt	74	20	11,6	Ohm

(5)

II. Selbstinduktionskoeffizient pro km Doppelleitung = L Henry.

e = 0 05 · d = Radius des Drahtquerschnittes in cm.

a = Abstand der Drahtmitten des Hin- und Rückleiters in cm. (d in mm.)

Für Freileitungen aus Kupfer oder Bronze gilt:

$$L = (0,92 \log \frac{a}{e} + 0,1) \cdot 10^{-3} \text{ Henry.} \quad (6)$$

Tabelle der Selbstinduktion von Freileitungen (Doppelleitungen) pro km.

Leiter-Durchmesser d mm	a = Abstand der Drahtmitten in cm		
	25	50	75
L Henry { 1	0 00 260	0,00286	0,00308
2	0 00 232	0,00260	0,00274
3	0 00 214	0,00242	0,00258
4	0 00 204	0,00232	0,00248
5	0 00 194	0,00222	0,00238
6	0,00186	0,00214	0,00230

(7)

Für Kabel gewöhnlicher Bauart:

$$L = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ Henry bis } 0,62 \cdot 10^{-3} \text{ Henry.} \quad (8)$$

Für Kabel nach Krarup:

Kabel Fehmarn—Laaland: Kupferleiter: ein Drahtd. 3,5 mm Durchmesser, um den 3 Kupferbänder von 3,7 × 0,8 mm gewickelt sind. Dieser Leiter ist mit 3 Lagen Eisendraht von 0,14 mm besponnen:

$$L = 10 \cdot 10^{-3} \text{ Henry.} \quad (9)$$

Kabel durch den Simplontunnel:

Kupferleiter: 3 verseilte Adern von je 1 mm Durchmesser mit einer Lage Eisendraht 0,3 mm besponnen:

$$L = 8,65 \cdot 10^{-3} \text{ Henry.} \quad (10)$$

III. Kapazität pro km Doppelleitung = C Farad.

Für Freileitungen:

a = Abstand beider Leiter in cm.

e = 0,05 d = Radius des Drahtquerschnittes in cm.

$$C = \frac{0,012 \cdot 10^{-6}}{\log \frac{a}{e}} \text{ Farad} \quad (11)$$

(d in mm!)

Tabelle der Kapazität von Freileitungen.

$\frac{a}{e}$	25	50	75	100	150	200	300	400
Kapazität in 10^{-6} Farad	0,0165	0,014	0,013	0,012	0,011	0,0105	0,007	0,002

(12)

Zur Rechnung sind diese Werte mit 10^{-6} zu multiplizieren!

Für Kabel gelten folgende Werte als Normalien:
(Reichspost.)

Bezeichnungen	Kupfer-Durchmesser mm	Kapazität in 10^{-6} Farad
Hauptkabel (Papierisolier.)	0,8	0,037
„	1,5	0,040
„	2,0	0,043
Anschlußkabel	0,8	0,055
Faserstoffkabel	0,8	0,2

(13)

Zur Rechnung sind diese Werte mit 10^{-6} zu multiplizieren!

Krarup-Kabel Fehmarn—Laaland (s. 9):

$$C = 0,042 \cdot 10^{-6} \text{ Farad.}$$

IV. Ableitung pro km Doppelleitung = S Siemens.

Für Freileitungen:

$$S = 0,5 \text{ bis } 1 \cdot 10^{-6} \text{ Siemens,}$$

durchschnittlich etwa:

$$S = 0,65 \cdot 10^{-6} \text{ Siemens.}$$

Bei gewöhnlichen Papierkabeln:

$$S = \text{ca. } 3 \cdot 10^{-6} \text{ Siemens.}$$

Man kann nach J. A. Fleming mit einiger Annäherung setzen:

$$S/C = 80.$$

Näheres: The Electrician, London, Vol. LXV. s. 609 und

Vol. LXVI. s. 3.5 417.

419 589 und 615 (1910 und 1911).

(In den vorstehenden Tabellen sind die Konstanten verschiedener Leitungen aufgeführt. Sie können zu einer

Berechnung der Dämpfung nach den angegebenen Formeln benutzt werden. Man kann sich danach leicht ein Bild von der Reichweite machen, wenn man die Angaben der Tabelle auf S. 113 berücksichtigt.)

Ist es durch die Verwendung von Leitungen mit erhöhter Selbstinduktion auch gelungen, Entfernungen durch das Telephon zu überbrücken, die mehrere tausend Kilometer betragen, so werden trotzdem die Bemühungen fortgesetzt, die Entfernung noch weiter zu steigern, ohne daß diese Bestrebungen allerdings über das Versuchsstadium hinaus gediehen sind. Als Mittel hierzu werden Lautverstärker oder Telephonrelais benutzt, Einrichtungen, die in eine Leitung eingeschaltet, einen schwachen Telephonstrom derartig verstärken, daß zwar seine Stärke erheblich zunimmt, dagegen der Charakter des Sprechstromes nicht geändert wird.

Es sind mannigfache Erfindungen bekannt geworden, die dem genannten Zwecke dienen sollten, nur wenige haben jedoch bei Versuchen im Laboratorium sich bewährt. Alle leiden an dem Übelstande großer Kompliziertheit oder Empfindlichkeit bei ihrer Handhabung.

Eine viel versuchte Anordnung benutzt zur Verstärkung schwacher Telephonströme ein sehr empfindliches Telephon, dessen Membrane mit einem empfindlichen Mikrophon gekuppelt ist. Durchfließen die Windungen des Telefons schwache Sprechströme, so wird die Membran in Schwingungen versetzt, die nun ihrerseits die Membran des Mikrophons erschüttern und dadurch Widerstandsänderungen im Mikrophon erzeugen, die in der bei der Besprechung der Mikrophone ange deuteten Weise neue Sprechströme aussenden. Es tritt also bei geeigneter Bauart eine quantitative Verstärkung der Sprechströme ein, die z. B. bei dem Relais von

Brown eine 30fache des ursprünglichen Sprechstromes sein soll.

Abb. 55 stellt ein Relais nach Brown dar. Ein U-förmiger permanenter Magnet NS trägt auf seinen Polen Eisenkerne E_1 und E_2 , die mit Kupferhülsen umgeben sind. Oben auf diesen Kernen sind Polschuhe H angebracht, deren Wicklung von den zu verstärkenden Telephonströmen aus den Leitungen L_a und L_b durchflossen wird. Über den Polschuhen befindet sich eine

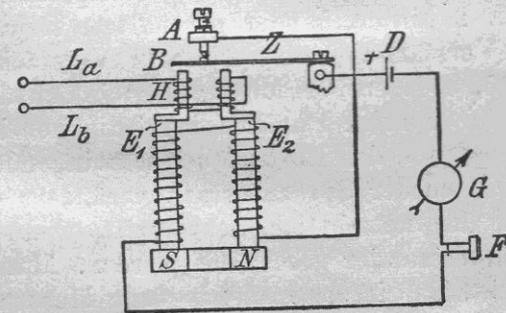


Abb. 55.
Telephonverstärker nach Brown.

Stahlzunge Z, die an ihrer Spitze einen Kontakt B trägt, der leicht den Gegenkontakt A einer Einstellschraube berührt. Dieser sehr empfindliche Kontakt ist in Reihe mit einem Trockenelement D, einem Strommesser G, einem Fernhörer F und der Bewicklung der Kerne E geschaltet. Wird die Bewicklung der Kerne H von schwachen Sprechströmen durchflossen, so ändert sich der Kontaktdruck zwischen A und B. Infolgedessen wird auch die Stromstärke im Hörer F sich ändern, und zwar um so mehr, da die Zunge Z nicht nur dem Einflusse der Ströme aus L_a und L_b unterliegt, sondern ein

zusätzlicher Einfluß durch die Wicklung der Kerne E ausgeübt wird. Die Folge ist, daß die geringfügigsten Stromschwankungen in La Lb starke Stromschwankungen in F auslösen, so daß ein solches Relais eine 20 bis 30fache Verstärkung der Telephonströme bewirkt. Das Wesentlichste des Relais, der Kontakte AB, besteht bei einer neueren Ausführung aus Iridium und Gold innerhalb eines Öltropfens.

Durch Hintereinanderschaltung mehrerer solcher Relais kann man die Wirkung stark steigern. So würden theoretisch 2 hintereinander geschaltete Relais mit je 20facher Verstärkung eine gesamte Verstärkung von $20 \cdot 20 = 400$ ergeben. Versuche zeigen jedoch, daß solche Relais nicht in allen Punkten befriedigende Resultate ergeben, da durch den Einfluß der schwingenden Zunge die Klangfarbe der Sprache stark verändert wird, ein Übelstand, der namentlich hervortritt, wenn mehrere Relais hintereinander geschaltet werden. Man war daher bestrebt, Relais ohne schwingende Massen zu konstruieren, bei denen naturgemäß auch deren Einfluß fortfallen muß. In Abb. 56 ist ein solches Relais nach De Forest wiedergegeben. Es wird als Audion bezeichnet.

Das Audion besteht aus einer Glasbirne G, die soweit evakuiert ist, daß zwischen den Elektroden Kathodenstrahlen auftreten können. Im Inneren befindet sich ein Faden aus Tantal oder Wolfram F, der durch eine Batterie H zur Weißglut erhitzt wird. Ein Mantel aus Nickelblech N umgibt den Faden. Eine zweite Batterie B ist nun einerseits mit dem — Pole mit dem glühenden Faden, andererseits durch ein Telephon T mit N verbunden. Die Potentialdifferenz zwischen F und N erzeugt einen kräftigen Strom von elektrisch geladenen

Teilchen, sogenannten Elektronen, die negative Elektrizität von F nach N transportieren, so daß ein Strom durch den Hörer fließt. Zwischen F und N befindet sich nun ein Drahtgebilde S, und zwar in etwa 1 bis 1,5 mm Entfernung von F, welches einerseits unter Zwischenschaltung einer Induktionsrolle J mit der Leitung La—Lb in Verbindung steht. Der andere Pol der Induktionsrolle J ist direkt oder unter Zwischenschal-

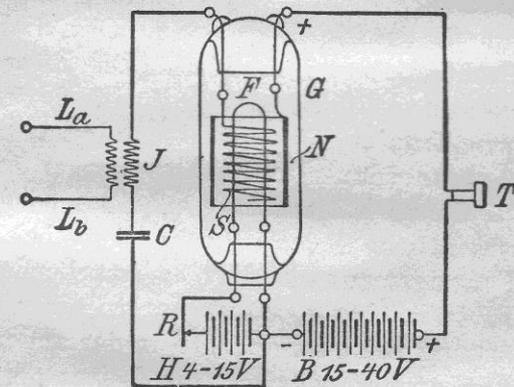


Abb. 56.

Lautverstärker „Audion“ von De Forest.

tung eines Kondensators C an F gelegt. Fließen in J keine Fernsprechströme, so schirmt die Siebelektrode S einen Teil der von F ausgehenden Elektronen ab, so daß diese nicht nach N gelangen können. Treten dagegen infolge von Fernsprechströmen Potentialstörungen an S auf, so bewirken diese je nach ihrer Stärke und Richtung bald eine starke oder weniger starke Absorption von Elektronen bei S, also eine Schwankung der von F nach N transportierten Elektrizitätsmenge, und damit der Stromstärke im Hörer T. Diese Schwankungen sind

in ihrer Periodenzahl und Wellenform sehr gut mit denen der Sprechströme in Übereinstimmung und wegen der äußerst geringen Masse der Elektronen weit besser geeignet, die Klangfarbe der Sprache zu übertragen, als dies bei mechanisch schwingenden Teilen der Fall ist.

Eine ähnliche Konstruktion nach den Patenten von v. Lieben und Reis wird auch von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft hergestellt. Eine mit Kalziumoxyd (nach Wehnelt) überzogene glühende Elektrode ist an Stelle von F getreten. Das Sieb besteht aus durchloctem Aluminiumblech. Die Röhre ist mit verdünntem Quecksilberdampf gefüllt, dessen Druck durch einen Tropfen Quecksilberamalgam selbst bei langer Benutzungsdauer und schwankender Außentemperatur auf der richtigen Höhe erhalten wird.

Eine wesentliche Schwierigkeit liegt bei dem Gebrauch derartiger quantitativ verstärkender Relais darin, daß ein solcher Apparat nur in einer Richtung die Verstärkung bewirkt, dagegen in der andern keinerlei Wirkung ausübt oder gar die Leitung sperrt. Es ist daher nur in einer Richtung ein Sprechen möglich. Ein Telefongespräch bedingt jedoch ein Sprechen in beiden Richtungen oder, wie man sagt, ein Gegensprechen. Ohne Lösung des Gegensprechproblems würde die Verwendung des Telephonrelais nur eine Verbesserung der Verständigung in einer Richtung bedeuten, eine universelle Anwendung wäre jedoch nur denkbar, wenn eine Verstärkung in beiden Richtungen unter Verwendung einer Gegensprechschaltung gefunden wird. Die diesbezüglichen Bemühungen haben zwar eine Menge Erfindungen gezeitigt, die jedoch teilweise nur unbefriedigende Resultate gegeben haben, teils wohl noch zu wenig erprobt sind, um sich in der Praxis einzubürgern.

Abgesehen von der Schwierigkeit des Gegensprechens haben alle Telephonrelais den großen Übelstand, daß sie nicht nur die Sprechschwingungen, sondern die in jeder Leitung auftretenden Nebengeräusche gleichfalls verstärken, so daß auch aus diesem Grunde ihre Verwendung nur bei solchen Leitungen erfolgen sollte, die an sich eine reine Sprachübertragung geben, also frei von Nebengeräuschen an sich sind.

Eine dritte Methode zur Vergrößerung der Reichweite ist die Anwendung sehr starker Sendeenergien durch Verwendung sogenannter Starktonmikrophone, die auf S. 23 (Abb. 9) beschrieben sind.

Sachverzeichnis.

- Abfrageapparat siehe Mikrotelephon 27—30.
 Abfrageschalter siehe Hörschlüssel 49.
 Ableitung der Sprechströme von Leitungen 108—125.
 Akkumulatoren 78—85.
 Akkumulatoren-Ladeeinrichtungen 80—89.
 Akustische Anruforgane 62—67.
 Amperewindungen von Spulen 53.
 Anker von Induktoren 90.
 Anrufklappen 67—69.
 Anruflampen 70—71.
 Anruforgane 62—71.
 Anrufrelais 70.
 Antriebsmotoren für Ladedynamos 80.
 Auffällbare Elemente 76.
 Audion von De Forest 129.
 Batterien 73—79.
 Bell 6, 8, 11.
 Berliner 10.
 Bewegliche Leitungsschnüre 59—60.
 Blake 10.
 Bleimantel von Kabeln 100.
 Braunsteinelement 73 bis 77.
 Breisig 110, 114.
 Bruchfestigkeit von Leitungsdrähten 99.
 Chlorverbindungen im Element 73.
 Dämpfungsexponent einer Leitung 108 bis 125.
 Dämpfungsfaktor 108 bis 125.
 Dauerkontakt 63.
 Depolarisator 73—77.
 Dielektrikum 41—44.
 Doppeladerkabel 100, 125.
 Doppelleitung, Eigenschaften derselben 108—125.
 Doppelleitungen, Konstanten derselben 122 bis 125.
 Dosentelephon 13.
 Drahttabelle 55.
 Drosselschaltzeichen 71 bis 72.
 Drosselspule 36—40.
 Druckknopfschalter 46 bis 49.
 Drucklufttrocknung von Kabeln 101.
 Drucktasten 49.
 Durchhang von Freileitungen 99.
 Edison 10.
 Egnér 26, 98.
 Eigenschaften von Doppelleitungen 108—125.
 Eigenschaften des Eisens 57.
 Eigenschaften von Membranen 11—17.
 Einfluß des Leitungswiderstandes bei Mikrofonen 19—22.
 Einfluß der Periodenzahl bei Kapazität 42 bis 44.
 Einfluß der Periodenzahl bei Selbstinduktionen 37—40.
 Eisenkern bei Drosselspulen 35, 39.
 Eisenkern bei Induktionsspulen 32.
 Eisenmantel bei Übertragern 35.
 Elektrolyt von Elementen 73, 76.
 Elektrolytischer Gleichrichter 85, 87.
 Elektronenstrom 129.
 Elemente, galvanische 73—78.
 Elementeschaltungen 77.
 Emailliedraht siehe Lackdraht 54.
 Empfindlichkeit von Fernsprechern 15.
 End- und Anfangsstrom einer Doppelleitung 112.
 Entladung eines Akkumulators 9.
 Entladung von Elementen 74—75.
 Erdungsdrosselspulen 106—107.
 Erfindung des Fernsprechers 6—10.
 Erhöhung der Selbstinduktion bei langen Leitungen 114—116.
 Falkenthal-Gleichrichter 87.
 Fallklappe 67—70.
 Farad 42.
 Faserstoffkabel 101, 125.
 Federmaterial 46.
 Federsatz 47.
 Feinsicherungen 104 bis 105.
 Fernhörer 11—15.
 Fernklappen 70.
 Fernleitungen 116—122.
 Fernsprechleitungen 94 bis 131.
 Fernsprechrelais 126 bis 131.
 Festigkeit von Freileitungen 99.
 Freileitungen 94—100.
 Galvanisierter Eisendraht 96.
 Gegensprechschaltung bei Fernsprechrelais 130.
 Geschlossener Eisenkern bei Drosselspulen 36 bis 40.
 Gestanzte Magnete 12.
 Gleichrichter 85—89.
 Gleichstromquellen 73 bis 84.
 Gleichstromwecker 62 bis 63.
 Glühlampen als Anrufsignale 70—71.
 Glühlampenstreifen 71.
 Gover 10.
 Graphit für galvanische Elemente 74.
 Gray 8.
 Grobsicherungen 104.
 Güte der telephonischen Verständigung 113.
 Hakenumschalter 50 bis 51.
 Haltewicklung bei Relais 54.
 Handschalter 46—52.
 Hebelschalter 50.
 Henry 37.
 Hochspannungseinflüsse auf Freileitungen 106.
 Holmström 26.
 Holzgestänge 94.
 Hörmuschel 12.
 Hörschlüssel 49.
 Hughes 10.
 Hupenanruf 67.
 Hysterese des Eisens 56 bis 58.
 Imprägnieren von Leitungsgestängen 94.
 Indirekte Schaltung 31 bis 32.
 Induktionserscheinungen in Leitungen 97 bis 99.
 Induktionsspulen 30—40.
 Induktiver Widerstand siehe Selbstinduktion 37—40.
 Induktoren 90—92.
 Innerer Widerstand von Akkumulatoren 79.
 Innerer Widerstand von Elementen 74—78.
 Isolation von Kabeln 108—125.
 Isolation von Kondensatoren 43.
 Isolatoren von Freileitungen 95.
 Kabelkanäle 100—101.
 Kabelleitungen 100 bis 125.
 Kapazität von galvanischen Elementen 74 bis 75.
 Kapazität von Freileitungen 108—125.
 Kapazität von Kabeln 114—125.
 Kapazität von Kondensatoren 41—45.
 Kirchhoff 110.
 Klappenstreifen 68—69.
 Klinken 59.
 Klinkenstreifen 61.
 Koerzitivkraft des Eisens 57.
 Kohle als Kontaktmaterial in Mikrofonen 10, 17, 23.
 Kohleblitzableiter 102.
 Kohleblock 17—23.
 Kohlefadenlampe als Anrufsignal 70—71.
 Kohlegrieß in Mikrofonen 25.
 Kohlekugelmikrophone 25—27.
 Kohlemembran 18.
 Kondensatoren 40—45.
 Kontaktdruck bei Schaltorganen 48.
 Kontaktmaterialien 47 bis 48.
 Kopffernhörer 14.
 Krarup 116.
 Krarupkabel 118.
 Kreuzung von Leitungen 97—98, 106.
 Kugelfüllung bei Mikrofonen 25.
 Kühlung von Mikrofonkontakten 26.
 Lackdraht 54.
 Ladeeinrichtungen 81 bis 89.
 Ladeumformer 84—89.
 Ladewiderstand 83—84.
 Ladung eines Akkumulators 80.
 Lange Fernsprechleitungen 108—122.
 Lauschmikrophon 27.
 Lautsprechende Telephone 15.
 Lautverstärker 126—131.
 Leclanché-Element 73.
 Leitungsanordnung zur Vermeidung von Induktion 97.
 Leitungskonstanten 122 bis 125.
 Lichtbogen-Gleichrichter 83.
 Löffeltelephon 11.
 Lokalbatterie Mikrophon 22.
 Lokalstromkreis des Mikrophones 31—33.
 Magnetinduktor 89—92.
 Magnetische Induktion 34.
 Magnetische Induktion im Eisen 56.
 Magnetisierungskurve von Eisensorten 57 bis 58.
 Membran von Mikrofonen 7, 16—27.
 Membran von Telefonen 8, 11—15.
 Mikrofarad 42—45.
 Mikrophon 16—27.
 Mikrophon-Batterie 32.
 Mikrophon-Fassung 27.
 Mikrotelephon 27—30.
 Morsekontakt 48.
 Nickelinfedern und Buchsen 46, 60.
 Nummernschalter für Selbstanschlußstationen 51.

- Oberirdische Leitungen 94—100.
 Offener Eisenkern von Induktionsspulen 34.
 Ohmscher Widerstand von Drähten 55.
 Ohmscher Widerstand von Leitungen 108, 122—123.
 Ohmscher Widerstand in Mikrofonkreisen 19—22.
 Ohmscher Widerstand in Wechselstromkreisen 38, 44.
 Optische Anruforgane 69—71.
 Ortsstromkreis von Mikrofonen 31—33.
- Papierkabel 100, 125.
 Paraffinkondensator 40.
 Parallelschaltung von Elementen 77.
 Permanenter Magnet im Fernsprecher 8, 11.
 Platinkontakte 47.
 Polarisierter Wecker 64 bis 66.
 Polschuhe von Fernsprechern 11.
 Polschuhe von Induktoren 89.
 Polwechsler 93.
 Porzellanisolatoren 95.
 Primärwicklung von Induktionsspulen 32.
 Prinzip der Fernleitung von Sprechströmen 108 bis 122.
 Prinzip des Fernsprechers 1—10.
 Prinzip des Fernsprechrelais 126.
 Prinzip der indirekten Schaltung 31—33.
 Prinzip des Mikrophons 16—22.
 Prüfung von galvanischen Elementen 74 bis 75.
 Pulverfüllung von Mikrofonen 18.
 Pupin 116.
- Pupinspulen in Fernleitungen 117—122.
 Quecksilber in Verstärkerrohren 130.
 Quecksilberdampf-Gleichrichter 88—89.
- Rauhreifbehang von Freileitungen 93.
 Reflexionserscheinungen in Fernsprechleitungen 120.
 Reichweite der teleph. Verständigung 113.
 Reihenschaltung von galvanischen Elementen 77.
 Reis, Erfinder des Fernsprechers 6—8.
 Relais 52—58.
 Remanenz von Eisen 56 bis 57.
 Resonanz in Wechselstromkreisen 44.
 Rückstellklappen 69.
 Rufstromquellen 89 bis 94.
- Sättigung des Eisens bei Induktionsspulen 34.
 Schallaufnahmetrichter 27.
 Schallschwingungen 16.
 Schaltorgane 46—58.
 Schaltung von Fernsprechrelais 127—129.
 Schaltung von Gleichrichtern 86—89.
 Schaltungen von Ladeeinrichtungen 80—84.
 Schaltungen der Mikrophone 31.
 Schauzeichen 72.
 Schließkontakt 47.
 Schnarrer 67.
 Schmelzsicherungen 104.
 Schnurschutz 61.
 Schutz gegen Starkströme 102—107.
 Schwefelsäure in Akkumulatoren 78.

- Sekundärwicklung von Induktionsspulen 32.
 Selbstinduktion 37.
 Selbstinduktionskoeffizient von Induktionsspulen 37—40.
 Selbstinduktionskoeffizient von Leitungen 123.
 Selbstinduktionskoeffizient von Weckern 65 bis 66.
 Selbstunterbrecher bei Gleichstromweckern 62.
 Sicherungen 102—107.
 Siemens, Werner v. 13, 89.
 Silber als Kontaktmaterial 47.
 Siliziumbronze-Draht 96 bis 99.
 Simplon-Kabel 118.
 Solid back-Mikrofon 25.
 Spannung von Akkumulatoren 79—80.
 Spannung von galvanischen Elementen 74 bis 79.
 Spannung von Induktoren 90—93.
 Spannweite von Freileitungen 95—99.
 Spezifische Dämpfung 111—122.
 Sprachrohre 6.
 Sprechströme 7, 16, 22.
 Sprechströme in langen Leitungen 108—122.
 Sprechverständigung, Güte derselben 113.
 Starktonmikrofon 23 bis 26.
 Stielhörer 14.
 Stöpsel 59—60.
 Stöpselbuchsen 59.
 Störungen bei Freileitungen 96.
- Tabelle der Abmessungen isolierter Drähte 55.
- Tabelle von Fernhörern 15.
 Tabelle von Freileitungsdrähten 96.
 Tabelle der Güte der Verständigung 113.
 Tabelle von Isolatoren 95.
 Tabelle von Leitungskonstanten 122—125.
 Tasten 47—49.
 Telephon 6—15.
 Telephonkabel 100—101, 112—114.
 Temperatureinfluß auf die Kapazität 43.
 Temperatureinfluß auf den Leitungswiderstand 122.
 Theorie der Fernsprechdoppelleitung 110 ff.
 Thomson, W. 44, 110.
 Thomsonsche Formel der Resonanz 44.
 Transformatoren für Sprechströme 30—36.
 Trennkontakt 47.
 Trockenelemente 76 bis 77.
 Trocknung von Kabeln 101.
- Überspannungsschutz 102—104.
 Übertrager 35—36.
 Übertrager im Simplonkabel 120.
 Überwachungsorgane 71 bis 72.

- Vakuumfernsprechrelais 129—130.
 Vakuum-Überspannungssicherung 104.
 Ventilwirkung bei Gleichrichtern 87 bis 89.
 Verbesserung der Sprachübertragung 116, 126—131.
 Verbindungsorgane 59 bis 62.
 Verdrillung von Leitungen 97, 100.
 Verstärkung von Fernsprechströmen 126 bis 131.
- Walzenmikrofon 17 bis 18.
 Wechselstromerzeuger 90—94.
 Wechselstromgleichrichter 85—89.
 Wechselstromwecker 64 bis 66.
 Wechselstromwiderstand 37, 41, 43, 44.
 Wechselstromwiderstand von Weckern 66.
 Wecker für Gleichstrom 62—63.
 Wecker für Wechselstrom 63—67.
 Wehnelt-Kathode 130.
 Wellenstrom eines Mikrophons 16—22.
- Wicklung von Induktionsspulen 34.
 Wicklung von Relais 53.
 Widerstand von Drahtwicklungen 55.
 Widerstand von Drähten in Wechselstromkreisen 38.
 Widerstand von Fernhörern 15.
 Widerstand von Freileitungen 96.
 Widerstand von Kondensatoren in Wechselstromkreisen 42.
 Widerstand von Leitungen 122.
 Widerstand im Resonanzfall 44.
 Widerstand von Wechselstromkreisen mit Ohmschem Widerstand, Selbstinduktion und Kapazität 42.
 Wirbelströme im Anker von Induktoren 90.
 Wirbelströme in Eisenkernen 58.
 Witterungseinflüsse auf Freileitungen 98.
 Wolfram als Kontaktmaterial 48.
- Zahnradübersetzung von Induktoren 91.
 Zeitkontakt 68.
 Zeitlicher Verlauf von Sprechströmen 16—18.

Berichtigungen und Ergänzungen.

- Seite 28: ausschließlich Mikrotelephone statt Mikrophone.
- „ 38: $W = L \cdot 2\pi v$ statt $L \cdot 2\pi n$ zu setzen.
- „ 39: 25120 statt 25010 Ohm und 25125 statt 25015 Ohm.
- „ 42: statt n in der drittletzten Zeile: v .
- „ 45: statt in 4 kantige Formen: in vierkantige Formen.
- „ 47: In Abb. 21c sollte der Kontakt geschlossen gezeichnet sein.
- „ 48: 10 g Kontaktdruck genügen bei Platin. 20 g sind nicht immer zu erreichen.
- „ 52: Der Kontakt soll in Abb. 25 offen sein.
- „ 55: Erste Ziffer links in der Tabelle soll 0,03 sein.
- „ 56: Im Mittelpunkt der Abbildung 26 fehlt die Bezeichnung des Punktes O .
- „ 85: Neuerdings werden Versuche mit Gleichrichtern an gestellt, bei denen die Ventilwirkung von Glühdrähten (s. S. 128) ausgenutzt wird.
- „ 96: statt den Kilometer — das Kilometer.
- „ 99: statt $k = \frac{G \cdot A}{8 d}$ ist zu setzen $k = \frac{G \cdot A^2}{8 d}$.
- „ 121: Die Linie New York — San Francisco ist durch eine etwa 1000 km längere quer durch Kanada inzwischen übertroffen worden.
-