Einleitung.

Nachdem Hertz durch seine bahnbrechenden Untersuchungen über die Strahlen elektrischer Kraft die elektromagnetischen Schwingungsvorgänge geklärt und Marconi den experimentellen Nachweis erbracht hatte, daß auf diese Erscheinungen sich ein neues, technisches Verfahren der Nachrichtenübermittlung aufbauen läßt, nachdem weiterhin die ersten Erfolge klar erwiesen hatten, daß hier eine Erfindung vorlag, die, wenn sie auch nicht die alten Telegraphensysteme verdrängen, so doch eine wesentliche Ergänzung vorhandener Einrichtungen darstellen würde, sind den hierbei neu auftauchenden Problemen eine große Zahl wissenschaftlich-technischer Mitarbeiter erstanden, deren wechselseitigem Zusammenwirken es möglich wurde, in kurzer Zeit Außerordentliches zu leisten. So kam es, daß sich in den verschiedenen Ländern die verschiedensten Systeme herausbildeten, die zumeist den Namen desjenigen führen, dem die Hauptarbeit ihrer Entwicklung zuzuschreiben ist, obwohl keine der ausgeführten Anlagen als in allen Teilen originell bezeichnet werden kann. Alle benutzen neben Eigenem mehr oder weniger Einzelgeräte, Schaltungseinrichtungen und Betriebsverfahren, die fremden Ursprungs sind, deren Anwendung jedoch nicht zu umgehen ist. Oft liegen die Fortschritte des betreffenden Systems allein auf konstruktivem Gebiete, ein Umstand, der jedoch niemals unterschätzt werden darf. Anfangs nämlich bauten sich die Anlagen aus lauter Einzelteilen auf, die den verschiedensten Gebieten der Wissenschaft und Technik entnommen waren. Erst in jüngster Zeit hat man sich von diesen Überlieferungen frei zu machen gesucht; das Bedürfnis schuf eine Konstruktionstechnik der Hochfrequenzgeräte.

Noch auf einen anderen Gesichtspunkt, der den Wert der einzelnen Systeme angeht, sei in diesem Zusammenhang hingewiesen. Auf keinem Gebiete der Technik tritt die Verknüpfung wissenschaftlicher Erkenntnis mit geschäftlicher Spekulation so vielseitig zutage, wodurch der Unterschied zwischen Zukunftshoffnungen und wirklich Erreichbarem vielfach völlig verwischt wird. Aus diesem Grunde ist zunächst ganz allgemein festzustellen, daß es kein System gibt, das allen anderen in jeder Beziehung überlegen ist. Vielmehr besitzt jede Sende- und Empfangseinrichtung ihre besonderen Vorzüge und Nachteile, deren Wichtigkeit nur im Rahmen der Gesamtanlage beurteilt werden kann.

Auch die Zahl der nach einem Systeme ausgeführten Anlagen gibt noch nicht ohne weiteres einen Maßstab für den technischen Wert desselben ab, da hier vielfach rein geschäftliche Gesichtspunkte ausschlaggebend sind. Wenn trotzdem im folgenden öfters von bestimmten Systemen gesprochen wird, so muß man stets im Auge behalten, daß hierdurch keine Beschränkung beabsichtigt ist, sondern nur der Anschaulichkeit halber die Anlehnung an bestimmte Stationseinrichtungen vorgenommen wurde. Von diesen ist den in Deutschland gebräuchlichen deshalb der Vorzug gewährt, weil hier die Möglichkeit vorlag, durch zahlreiche Abbildungen das Eindringen in das Wesen der Vorgänge zu erleichtern.

I. Die Sendeseite.

1. Das System Braun-Slaby-Arco. Ausgehend von der ältesten Anordnung Marconis, bei der die Antenne mit Hilfe einer in sie eingeschalteten Funkenstrecke in Schwingungen versetzt wurde, führte das Streben nach Vergrößerung der Reichweiten und Erhöhung der Abstimmfähigkeit auf der Empfangsseite zu der Vereinigung eines geschlossenen Erregerkreises mit der Antenne, wodurch einmal ein größerer Leistungsumsatz möglich wurde, und zweitens ein allmähliches Abklingen der Schwingungen in der Senderantenne eintrat. Freilich haften auch dieser Anordnung noch eine große Reihe von Mängeln an, die hauptsächlich darin bestehen, daß infolge der Kopplung der beiden in Resonanz befindlichen Schwingungskreise zwei Hauptwellen entstehen, von denen nur eine für den Empfang nutzbar gemacht werden kann. Mit dem Wegfall der Eintönigkeit der Wellenstrahlung vermindert sich gleichzeitig infolge des periodischen Hin- und Herpendelns der Leistung zwischen Antenne und Erregerkreis die Stärke der elektromagnetischen Strahlung und die Schärfe der Abstimmung in solchem Maße, daß als Empfangsindikator zweckmäßig kein integrierender Detektor, sondern ein auf einen Stoß ansprechender Wellenanzeiger (Fritter) Verwendung fand. Die hierdurch bedingte besondere Arbeitsweise der Anlagen besitzt somit folgende Übelstände: Einmal ist der verfügbare Wellenbereich eines Senders wegen der an der Antenne auftretenden Höchstspannungen nur ein beschränkter, und weiter sind beim Eintreten atmosphärischer Störungen die Zeichen auf der Empfangsseite nicht mehr durchzuhören. Die Nachteile, die diesem nur noch bei Störsendern verwendeten Systeme anhaften, mußten nun bei der Weiterentwicklung der radiotelegraphischen Fernübertragung beseitigt werden. Demgemäß bewegte sich der Fortschritt hauptsächlich nach zwei Richtungen hin. Zunächst wurde die Funkenzahl und damit die Senderleistung gesteigert, was auf der Empfangsseite die Verwendung eines integrierenden Detektors nötig machte. Gleichzeitig wurde angestrebt, die Anordnung so zu treffen,

daß die Entladungszahl in der Sekunde der Periode eines gut hörbaren Tones entspricht, also zwischen 500 und 2000 liegt. Damit ist bei einwandfreiem Betriebe die Möglichkeit gegeben, die Zeichen der Sendestelle als musikalischen Ton aus den zeitweilig auftretenden atmosphärischen Störgeräuschen herauszuhören.

2. Das System „Telefunken". Alle diese Fortschritte sind in dem Systeme der „tönenden Löschfunken" (Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H., Berlin) vereinigt, bei dem durch Verwendung der Wienschen Stoßerregung gleichzeitig die Mehrwelligkeit der Antennenstrahlung, die dem alten Systeme anhaftete, beseitigt ist. Die Verteilung der Gesamtleistung auf eine große Zahl von Einzelentladungen vermindert die Größe der Höchstspannungen des Luftleiters gegen Erde, wodurch eine Steigerung des Wellenbereiches möglich wird. Weiterhin bedingt die Ausschaltung der dauernden Verluste im Erregerkreis eine wirtschaftliche Umsetzung der Primärleistung, was für den Umfang und das Gewicht der Maschinenanlagen vorteilhaft ist. Freilich setzt das Prinzip der Wienschen Stoßerregung die Beibehaltung zweier scharf aufeinander abgestimmter Kreise voraus, wodurch bei gewünschter stetig veränderlicher Wellenlänge die Bedienung der Anlage mehr Handgriffe erfordert oder einen verwickelteren Aufbau nötig macht.

3. Das Poulsensche Lichtbogensystem. Die einfachste Anordnung besitzt in dieser Beziehung das Poulsensche Lichtbogensystem (Telephon-Fabrik A.-G. vorm. J. Berliner, Wien; C. Lorenz A.-G., Berlin; Syndikat für Poulsen Radio-Telegraphie A.-G., Kopenhagen), das auf die alte Marconischaltung zurückgreift und die Stromquelle unmittelbar in die Antenne einfügt. Dies bedeutet völlige Einwelligkeit der Energiestrahlung und die Möglichkeit, mit Hilfe von Variometern und Drehkondensatoren die Wellenlänge schnell und einfach zu verändern. Die geringen Höchstwerte der Spannung gestatten weiterhin die Erzeugung von Wellenlängen solcher Größe, wie sie kein Funkensender hervorzubringen imstande ist. Dieser Umstand ist nicht nur in militärischer Hinsicht wichtig, sondern auch in allen den Gegenden (Tropen) von Wert, in denen erfahrungsgemäß mit längeren Wellen größere Reichweiten erzielt werden. Da die entstehenden Schwingungen ungedämpft sind, d.h. eine gleichbleibende Scheitelwerte aufweisen, ist die Abstimmung auf der Empfangsseite außerordentlich scharf und damit die Möglichkeit gegeben, bei störendem Dazwischenarbeiten fremder Sender durch Anwendung einer Reihe von aufeinander abgestimmten Zwischenkreisen und Einstellung losester Kopplung zwischen Antenne und Empfänger alle nicht gewünschten Impulse auszuschließen. Dieser Umstand war ursprünglich um so wichtiger, als die ausgesandten Zeichen nicht als durchdringende, charakteristische Töne, sondern als Geräusche aufgenommen werden konnten. Denn da die Ströme, die in dem Empfangs-

gerät entstehen, ungedämpft sind, muß, um sie im Telephon hörbar zu machen, eine Einrichtung benutzt werden, die die Gleichförmigkeit der Wellen zerstört. Dies wird mit Hilfe eines Unterbrechers (Ticker) bewirkt, der, wie später näher dargelegt ist, eine periodische Verstimmung der Kreise verursacht. Wie bei den alten Funkensendern müssen jedoch auch beim Tickerempfang atmosphärische Störungen die Zeichenaufnahme erschweren. Der für ungedämpfte Schwingungen jetzt allgemein verwendete Überlagerungsempfang und das Tonrad haben diese Schwierigkeit wesentlich verringert.

Aus der Tatsache heraus, daß die Aufnahme der Zeichen, die von der Senderseite ausgehen, nur dann auch von fremden Stellen erfolgen kann, wenn diese entsprechende Empfangseinrichtungen hinsichtlich des notwendigen Wellenbereiches und der eigentlichen Aufnahmegeräte besitzen, geht nicht nur der Wert der ungedämpften Schwingungen in militärischer Hinsicht hervor, sondern dürfte auch ihre Bedeutung für den Betrieb von Großstellen besonders klar zutage treten. Werden nämlich derartige Riesenanlagen mit tönenden Sendern ausgerüstet, die mit abklingenden Schwingungen arbeiten, so ist es für die im nächsten Umkreis liegenden kleineren Stationen, falls nicht jeder Sender und Empfänger eine ausgesprochene Richtfähigkeit besitzt, nicht möglich, einen einwandfreien Betrieb während des Arbeitens der betreffenden Großstelle untereinander aufrechtzuerhalten. Hier können, wie die Erfahrung gezeigt hat, nur die ungedämpften Schwingungen mit ihrer scharfen Abstimmung und ihren für die gewöhnlichen Empfangseinrichtungen unhörbaren Zeichen einen störungsfreien Verkehr anderer Anlagen gewährleisten. Vereinigt man außerdem die Sende- und Empfangsseite mit einem Schnellgeber und Schnellschreiber, so ist damit eine Stationsform geschaffen, die besonders für gewerbliche Zwecke einen weiten Anwendungsbereich besitzt. Endlich wird als Vorzug der ungedämpften Schwingungen der angesprochen, daß die Energieabsorption in dem die Wellen übertragenden Medium geringer ist, als bei den mit gedämpften Impulsen arbeitenden Systemen. Jedoch fehlen hierüber noch ausreichende Erfahrungen. Auf der anderen Seite verursacht die unmittelbare Einschaltung des Lichtbogengenerators in die Antenne zuzeiten gewisse Betriebsschwierigkeiten, die in der Aufrechterhaltung einer vorzüglichen Isolation des Luftleiters bestehen. Läßt diese infolge ungünstiger Witterungsverhältnisse nach, wächst also die Antennendämpfung über das zulässige Maß, so ist die Erzeugung eines vollkommenen ungedämpften Schwingungszustandes unter Umständen in Frage gestellt.

4. Das Goldschmidtsche Hochfrequenzmaschinensystem. Schon früh tauchte der Gedanke auf (Tesla), die ungedämpften Wechselströme hoher Frequenz nicht mit Hilfe eines Funken-Lichtbogens zu er-

zeugen, sondern die Aufgabe auf maschinellem Wege zu lösen. Die besonderen Schwierigkeiten jedoch, die hierbei auftraten, und von denen an späterer Stelle die Rede sein wird, haben die Herstellung einer betriebstechnisch brauchbaren Maschine lange Zeit verhindert. Das gewünschte Ziel wurde zuerst erreicht, nachdem es auf Grund einer von R. Goldschmidt (C. Lorenz A.-G., Berlin) angegebenen Schaltung gelang, die Grundperiode einer Wechselstrommaschine durch entsprechend abgeglichene,am Läufer und Ständer angeschlossene Schwingungskreise so zu vervielfachen, daß ihre Verwendung in der Radiotelegraphie möglich wurde. Die Wirkungsweise dieser Stromquelle ist S. 58 kurz erläutert. Hier sei nur darauf hingewiesen, daß alles, was beim Poulsen-System von den ungedämpften Schwingungen gesagt wurde, auch für die Hochfrequenzmaschine sinngemäß gilt. Während jedoch eine schnelle und einfache Wellenveränderung bei Verwendung eines Lichtbogengenerators keine Schwierigkeiten verursacht, kann bei der Maschine die Lösung dieser Aufgaben nicht in so einfacher Weise erfolgen. Da weiterhin die auf mechanischem Wege erzeugte Periode stets mit der Eigenschwingung der Antenne in Resonanz sein muß, bedeutet die Erhaltung dieser Abstimmung eine Erschwerung dem Lichtbogensystem gegenüber, die jedoch durch die Möglichkeit der Erzielung größter Leistungen aufgewogen wird.

5. Die Hochfrequenzstromquelle der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie. Auf einem neuen Wege hat die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie die Aufgabe, große Hochfrequenzleistungen zu gewinnen, erfolgreich einer durch außerordentliche Betriebssicherheit ausgezeichneten Lösung zugeführt: Eine Wechselstrommaschine gewöhnlicher Bauart liefert Ströme mittlerer Frequenz, die durch ruhende Frequenzwandler auf die für Sendezwecke erforderliche hohe Wechselzahl gesteigert wird.

6. Das Vieltonsystem. Das Bestreben, den von der Gebestelle ausgesandten Zeichen eine erhöhte Selektionsfähigkeit zu sichern, führte in der Weiterentwicklung der Systeme zu dem auf den Schaltungen von Burstyn und v. Lepel aufgebauten und von Rein ausgebildeten Vieltonsender (C. Lorenz A.-G., Berlin; Telephon-Fabrik A.-G. vorm. J. Berliner, Wien), dessen Besonderheit darin besteht, daß die Morsezeichen in einem beliebigen Tonrhythmus telegraphiert werden können. Da somit die Zeichen der Senderstelle nicht nur durch die angewandte Wellenlänge gekennzeichnet sind, sondern auch eine akustische Eigenart aufweisen, kann jetzt auf der Empfangsseite bei Verwendung von Monotelephonen zu der elektrischen Abstimmung noch die akustische treten. Auch gestattet der mittels Klaviatur erfolgende schnelle und einfache Tonwechsel, bestimmte Signale, einfache Tonrhythmen und ähnliches radiotelegraphisch zu übertragen, was für viele Betriebe zur Ergänzung

der Morsezeichen von großem Werte ist. Technisch wurde diese Aufgabe gelöst, indem man mit einer in idealer Stoßerregung arbeitenden Entladestrecke noch einen weiteren Schwingungskreis, den Tonkreis, nebeneinanderschaltet, dessen Kapazitäts- und Selbstinduktionswerte derart abgeglichen sind, daß seine Eigenschwingung der eines hörbaren Tones entspricht. Durch diese Anordnung wird einmal die selbsttätige Steuerung der Hochfrequenzleistungen im Sinne dieses Tonrhythmus, sowie der weitere Vorteil erzielt, daß die Höhe des Tones sowohl von der Periodenzahl der Maschine, wie von der der Hochfrequenzschwingungen praktisch unabhängig ist, eine Erscheinung, die besonders bei kleinen Stromerzeugungsanlagen von Wichtigkeit ist, deren Umlaufszahl gleichbleibend zu halten Schwierigkeiten bereitet. Infolge der engen Kopplung des Stoßkreises mit der Antenne und der verwendeten idealen Stoßerregung braucht die Abstimmung der beiden Hochfrequenzkreise nicht scharf zu sein, was den Bau der Geräte und deren Betrieb sehr vereinfacht. Weiterhin gestattet dieses Verfahren die Anwendung ganz beliebiger, auch sehr stark strahlender Antennen, ohne daß hierdurch die Schärfe der Abstimmung auf der Empfangsseite oder die Reinheit des Tones eingebüßt wird. Diesen vielseitigen Vorzügen steht der Nachteil gegenüber, daß die Verluste in der Entladestrecke infolge der notwendigerweise schnell aufeinanderfolgenden Stöße größer sind als bei kleinen Funkenzahlen, wenn auch berücksichtigt werden muß, daß die Entionisierungsarbeit für jede einzelne Entladung im ersteren Falle viel geringer ist. Weiterhin findet auch die Wellensteigerung zwar nicht aus Spannungsrücksichten, wohl aber durch den Umstand eine obere Grenze, daß die einzelnen Entladungsgruppen bei kleineren Periodenzahlen sich zu überlappen beginnen und damit, sofern man die Aufnahme der Morsezeichen nicht mit Hilfe des Tickers, sondern mit dem Kontaktdetektor oder der Ventilröhre bewirkt, eine Verwischung und damit Unreinheit der Töne eintritt. Je schwächer gedämpft der Luftleiter ist, um so mehr macht sich diese Erscheinung geltend.

7. Röhrensender. Die neueste Senderanordnung beruht auf der Verwendung von Kathodenstrahlenröhren, deren Bau in den letzten Jahren auf eine hohe Stufe der Vollkommenheit gebracht ist. Die Röhren liefern als Stromerzeuger Schwingungen mit gleichbleibenden Scheitelwerten von einer seither nicht erreichten Gleichmäßigkeit, deren Periodenzahlen sich in einfachster Weise beliebig einstellen lassen. Theorie und experimentelle Untersuchung dieser neuen Stromquelle sind in kurzer Zeit so gefördert worden, daß es heute möglich ist, eine Röhre wie eine Maschine vorauszuberechnen und den verschiedensten Anforderungen anzupassen. Ist auch die Leistung, die eine einzelne Röhre liefern kann, nicht sehr groß (etwa 1,5 Kilowatt), so können durch Nebeneinanderschalten mehrerer Röhren schon jetzt Leistungen gewonnen werden, mit denen sich außer-

ordentliche Entfernungen überbrücken lassen, zumal da durch Verbindung der neuen Verstärker und der Überlagerungsempfänger die Reichweite des Röhrensenders schon bei kleinen Leistungen eine seither für unmöglich gehaltene Steigerung erfahren hat.

II. Die Empfangsseite.

Mit der Umgestaltung der Senderanlagen mußte naturgemäß die Entwicklung der Empfangseinrichtungen Hand in Hand gehen, soweit die Wahl des Wellenanzeigers und seiner Schaltung von der Art der einfallenden Schwingungen bestimmt wird. Da der alte Funkensender einen Stromstoß mit schnell abklingenden Scheitelwerten erzeugt und diese zeitlich langsam aufeinanderfolgen, war hier die Verwendung des Fritters am Platze, der, von Wellen bestrahlt, ein Relais auslöst, das einen Morseschreiber in bekannter Weise betätigt. Zu reinem Hörempfang diente ursprünglich der Magnetdetektor. Die stoßartige Reizung beider Indikatoren bringt es mit sich, daß eine scharfe Abstimmung zwischen den Stationen nicht vorhanden sein konnte und daher jede fremde Störung den gegenseitigen Verkehr beeinträchtigte, ja völlig zu unterbinden vermochte. Dieser Umstand war die Veranlassung, auf der Senderseite möglichst schwach gedämpfte Wellenzüge zu erzeugen und gleichzeitig in den Empfangskreisen Leistungsdetektoren (elektrolytische Zelle, Kristalldetektoren) zur Anwendung zu bringen, welche auf dem Integralwert der ankommenden Schwingungen ansprechen. Bei loser Kopplung zwischen Luftleiter und Empfangskreis konnten dadurch die Störungen der Atmosphäre oder fremder Sender immer mehr unwirksam gemacht werden. Am vollkommensten ist dieser Zustand bei den ungedämpften Schwingungen erreicht, bei denen erst nach einer gewissen Zeit, in der die Scheitelwerte sich im Empfänger auf einen hohen Wert hinaufgeschaukelt haben, die Höreinrichtung selbsttätig angeschlossen wird. Hierbei müssen jedoch die gleichmäßigen Wellenzüge, die nicht unmittelbar mit den vorher genannten Wellenanzeigern sich aufnehmen lassen, durch einen Ticker in Gruppen zerhackt werden, die im Hörer ähnliche Geräusche hervorrufen wie die Funkensender.

Viel ausgiebiger aber ist die Ausnutzung der Vorzüge ungedämpfter Wellen durch das Tonrad von Goldschmidt und den jetzt weitverbreiteten Überlagerungsempfang. Der Umstand, daß bei diesen beiden Empfangsverfahren die Zeichen wieder als Töne vernommen werden und kein anderer Empfänger eine gleichgroße Selektivität aufweist, hat sie zu einem besonders wirksamen Schutz gegen Störungen gemacht. Sehr wesentlich ist die Verbesserung, die der Überlagerungsempfang neuerdings durch Benutzung des Röhrensenders als Hilfsstromquelle an Stelle eines Lichtbogengenerators erfahren hat.

Gleichzeitig hat auch der Bau von Verstärkern durch die Kathodenstrahlenröhren mit hohem Vakuum eine befriedigende Lösung gefunden, durch die die Reichweite von Sendern für ganz geringe Leistungen außerordentlich vergrößert werden konnte und der Empfang mit der sog. Rahmenantenne ermöglicht wurde, der fast frei ist von atmosphärischen Störungen.

Aus dieser Entwicklungsübersicht erkennt man weiterhin, wie man vom anfänglichen Schreibempfang abkam und fast allgemein zum Hörempfang überging, eine Erscheinung, die auch in der Leitungstelegraphie bis zu einem gewissen Grade sich zeigt.

In neuester Zeit jedoch wird auch dem Bau von Schreibern wieder erhöhtes Interesse entgegengebracht, da die sich anbahnende Entwicklung zur Schnelltelegraphie ein derartiges Hilfsmittel unbedingt nötig machte. Hier fand man zunächst in dem schon längere Zeit bekannten, jedoch nur selten verwendeten Lichtschreiber eine Ausgangsform, auf die die fortschreitende Technik aufbauen konnte.

Die neuen, zuverlässig arbeitenden Röhrenverstärker und Gleichrichter ermöglichen jetzt auch weniger empfindliche Geräte, z. B. schnellaufende Morseschreiber, Typendrucker und den bewährten Schnellschreiber von Siemens & Halske oder den Parlograph, zu verwenden.

A. Hilfsgeräte.

I. Stromquellen.

1. Stromquellen für mittlere Frequenzen (100—6000 Per./sek.).

Die Aufgabe, eine Wechselstromquelle zu beschaffen, die den vielseitigen Anforderungen der Meßtechnik genügt, hat in neuester Zeit durch den Bau der Kathodenstrahlenröhren eine nach jeder Richtung hin befriedigende Lösung gefunden. Das neue Hilfsmittel ist berufen, eine wesentliche Verfeinerung der Meßverfahren der Hochfrequenztechnik anzubahnen. Trotzdem werden die seither benutzten Wechsel-

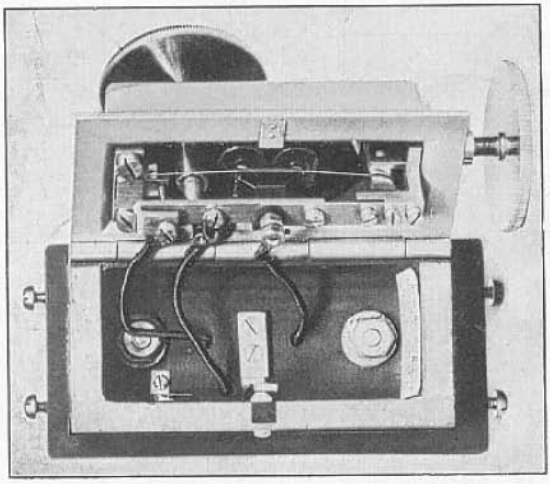

Abb. 1. Saitensummer (Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, Berlin). $^3/_4$ wirkl. Größe.

stromquellen ihre Bedeutung nicht verlieren. Die Lebensdauer einer Röhre ist begrenzt, ein Umstand, der immer dann, wenn die Preisfrage Berücksichtigung fordert, zur Verwendung der leicht herstellbaren Summer insbesondere in Verbindung mit der Eichhornschen Schaltung und einfacher Ausführungsformen von Lichtbogengeneratoren führen wird. Dazu kommt, daß Übungen in der Handhabung der verschiedenen Wechselstromquellen das Verständnis der für die Radio-

telegraphie wichtigen Hochfrequenzerscheinungen ungemein erleichtern. Hauptsächlich gilt dies für die Lichtbogengeneratoren. Die folgende Zusammenstellung, die gleichzeitig ein Bild von der Entwicklung der Wechselstromquellen geben soll, durfte daher etwas ausführlicher gehalten werden.

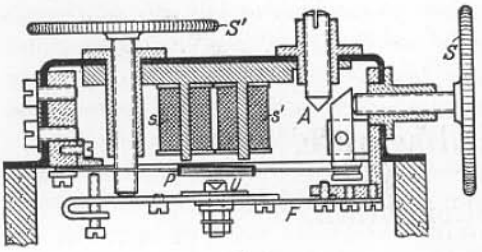

Abb. 2.

a) Saitensummer. Verzichtet man auf die Verwendung von rein sinusförmigen Wechselströmen, was bei vielen Messungen zulässig ist, so kann zur Stromerzeugung ein sogenannter Summer benutzt werden.

Eine der bekanntesten Ausführungsformen ist der Saitensummer der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie. Ein schleifenförmig gespannter, 0,3 mm dicker Stahldraht (Abb. 1 und 2) trägt in der Mitte eine dünne Eisenplatte P, die sich über den Polen eines kleinen Elektromagnets befindet. Mit dessen Wicklung ss', die einen Widerstand von etwa 3 Ohm besitzt, ist ein Platinunterbrecher U und als Stromquelle eine Batterie von etwa 4 Volt in Reihe geschaltet. Im Nebenschluß zur Spule oder der Unterbrechungsstelle liegt ein Widerstand von etwa 50 Ohm oder ein Kondensator von 2 Mf., der ein gleichmäßiges Arbeiten des Summers bewirkt. Durch mehr oder weniger starkes Spannen der Saite mittels der mit einer Teilung versehenen Scheibe S kann die Unterbrechungszahl zwischen 500 und 1000 verändert werden. Der Anschlag A verhindert zu starkes Spannen der Saite. Der Spielraum des an der Feder F befestigten Kontaktes U läßt sich durch die Scheibe S verändern. Die Unterbrechungen sind bei richtiger Einstellung von S' so regelmäßig, daß in einem an die Summerwicklung angeschlossenen Telephon ein reiner Ton entsteht.

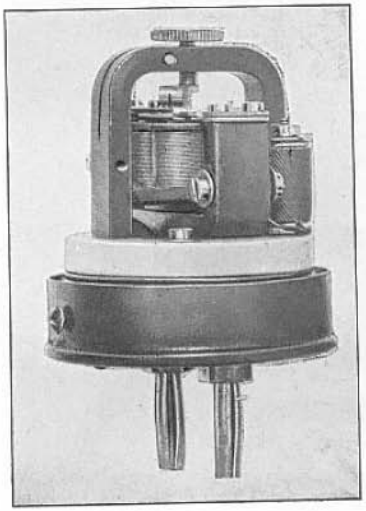

Abb. 3. Topfsummer (Blattfedersummer) (Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, Berlin). $^4/_5$ wirkl. Größe.

Zur Entnahme von Wechselströmen schaltet man die Spule des Elektromagnets hintereinander mit der Primärwicklung eines kleinen Transformators, dessen Sekundärspule mit der Meßvorrichtung z. B.

einer Wheatstoneschen Brücke verbunden wird oder man versieht den Elektromagnet mit einer Sekundärwicklung.

An Stelle der Saite wird jetzt vielfach eine Blattfeder benutzt, wodurch der Summer wesentlich kleinere Abmessungen erhält, wie Abb. 3 zeigt, die einen sog. Topfsummer darstellt.

b) Mikrophonsummer. Ein mehr sinusförmiger Verlauf der Ströme ergibt sich, wenn die vollständigen Stromunterbrechungen, die bei diesen Saitensummern entstehen, ersetzt werden durch Widerstandsänderungen, die proportional sind den Schwingungsweiten einer Saite oder Membran. Man erreicht dies dadurch, daß man an Stelle des Platinunterbrechers ein kleines Beutelmikrophon benutzt.

α) Summer von Dolezalek. Abb. 4 stellt den nach diesen Gesichtspunkten gebauten Summerumformer von Dolezalek dar. Die Telephonmembran P trägt ein kleines Beutelmikrophon m. Dieses ist umgeben von einem magnetisierten Stahlrohr R, dessen oberer Rand in geringer Entfernung von der Membran liegt. Über dem Rohr befindet sich eine Spule S, die mit der Sekundärwicklung w_2 des kleinen Transformators T und einem zwischen a und b liegenden Widerstand von 100 Ohm in Reihe geschaltet ist. Seine Enden a, b stellen die Pole der Wechselstromquelle dar; an sie ist der Meßkreis anzulegen. Statt dessen kann zwischen a und b auch die Primärwicklung eines zweiten Transformators eingeschaltet werden, mit dessen Sekundärwicklung der Meßkreis verbunden wird. Sind a und b nicht in der einen oder anderen Art überbrückt, so spricht der Summer nicht an. Die Widerstandsänderungen, die durch die Schwingungen der Membran entstehen, rufen Stromänderungen in der Primärwicklung w_1 des Transformators T hervor, durch die die Schwingungen der Membran dauernd aufrecht erhalten und in w_2 nahezu sinusförmige Wechselströme erregt werden.

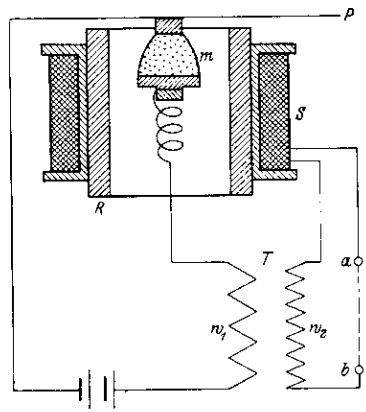

Abb. 4. Mikrophonsummer von Dolezalek (Siemens & Halske, Siemensstadt-Berlin).

Der Widerstand zwischen a und b bedingt ein gleichmäßiges Arbeiten des Summers und ermöglicht sein Ansprechen auch dann, wenn die Meßanordnung abgeschaltet ist. Die Periodenzahl beträgt meist 550. Sie läßt sich durch Auswechseln der Membran gegen eine von anderer Dicke zwischen 300 und 650 verändern, wozu einige Übung gehört. An Stelle des Widerstandes kann zwischen a und b auch ein Kondensator gelegt werden. Bringt man durch passende Wahl seiner Kapazität die Eigen-

frequenz des Sekundärkreises in Resonanz mit der Eigenschwingungszahl der Membran, so erhält man sehr kräftige, sinusförmige Wechselströme. Ändert man die Kapazität des Kondensators, so müssen erzwungene Schwingungen entstehen. Die Frequenz des Wechselstromes läßt sich dadurch ebenfalls ändern. Der Meßkreis wird mit dem Kondensator entweder nebeneinander oder in Reihe geschaltet.

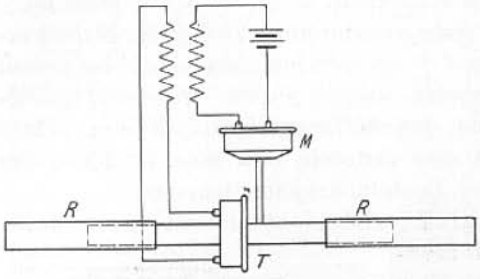

Abb. 5. Mikrophonsummer von Larsen (Dänische Telegraphenfabrik A.-G., Kopenhagen).

β) Mikrophonsummer von Larsen. Dieser Summer, der eine ähnliche Wirkungsweise aufweist, hat den Vorzug, daß er sich leicht zusammenstellen läßt. Auf beiden Seiten eines Dosentelephons T (Abb. 5 und 6), dessen Rückseite durchbohrt sein muß, werden gleiche, ausziehbare Röhren RR angebracht. Die eine trägt dicht bei dem Telephon einen seitlichen Ansatz, auf den ein Mikrophon M gesteckt wird. Das Mikrophon ist mit zwei Trockenelementen und der Primärwicklung eines Transformators in Reihe geschaltet und dessen Sekundärwicklung mit der Telephonspule verbunden. Beim Schließen des Mikrophonkreises gerät die Membran des Fernhörers in Schwingungen, deren

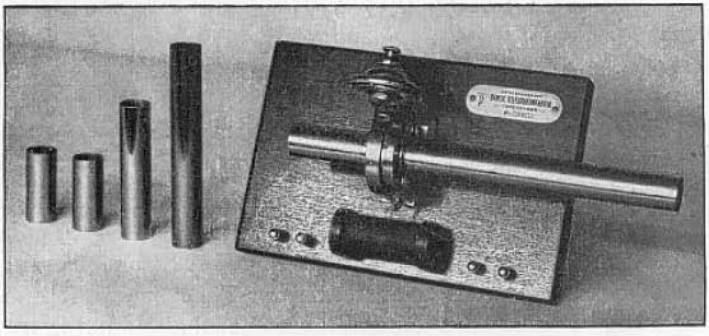

Abb. 6. Mikrophonsummer von Larsen (Dänische Telegraphenfabrik A.-G., Kopenhagen).

Zahl durch Ausziehen der Röhren sich verändern läßt. An den Sekundärklemmen des Transformators kann ein Wechselstrom von 600 bis 1200 Perioden abgenommen werden, den man durch einen zweiten Transformator auf die für die besonderen Meßzwecke geeignete Spannung bringt. Einige Zeit nach dem Einschalten stellt sich eine bis auf 0,2% gleichbleibende Periodenzahl ein.

c) Wechselstrommaschinen. Höheren Anforderungen als diese Summer genügt die Wechselstrommaschine von Siemens & Halske (Abb. 7), die sinusförmigen Strom von 750 bis zu 5000 Per./sek. liefert. Ihre Leistung beträgt bei 3000 Perioden etwa 7 Watt in einem Schließungswiderstande von 200 Ohm. Der Läufer der Maschine hat einen Durchmesser von 20 cm und besteht aus einem Paket dünner, voneinander isolierter Bleche, die durch einen Ring aus Isolierstoff zusammengehalten sind und an ihrem Umfang 100 Zähne tragen. Er bewegt sich vor den Polen eines ebenfalls aus Eisenblechscheiben hergestellten, hufeisenförmigen Elektromagneten, dessen Pole schneidenför-

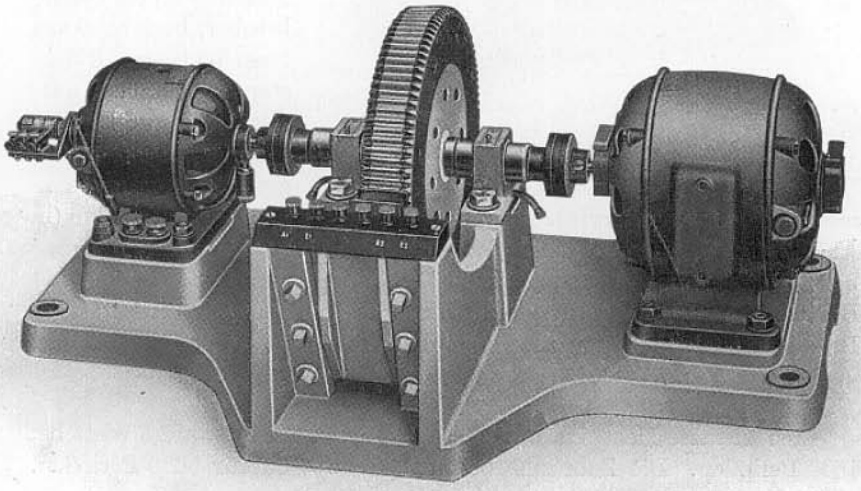

Abb. 7. Wechselstrommaschine von Siemens & Halske, Siemensstadt-Berlin.

mig zugespitzt sind. Der Erregerstrom für die Elektromagnetwicklung beträgt 1,5 Amp. Auf den Polen des Elektromagnets liegen zwei weitere Wicklungen, die nebeneinander oder in Reihe geschaltet werden können und in denen beim Umlauf des Läufers Wechselströme entstehen. Etwa auftretende Oberschwingungen lassen sich dadurch unschädlich machen, daß man in den Maschinenkreis einen Kondensator schaltet, dessen Kapazität so gewählt wird, daß Resonanz zwischen der Periodenzahl der Maschine und der Eigenperiodenzahl des Maschinenkreises entsteht. Dadurch werden die Oberschwingungen geschwächt, die Grundschwingung verstärkt. Dieses Hilfsmittel wird auch bei anderen Anordnungen vielfach mit Vorteil verwendet, um aus einer verzerrten Wechselstromkurve eine rein sinusförmige Schwingung herauszusieben. Zur Abstimmung dient ein sprungweise von 0,001 bis

1 Mikrofarad veränderbarer Glimmerkondensator und ein mit Paraffinöl gefüllter Drehkondensator für stetige Kapazitätsänderungen von 0,0002 bis 0,004 Mikrofarad. Beide sind nebeneinander geschaltet.

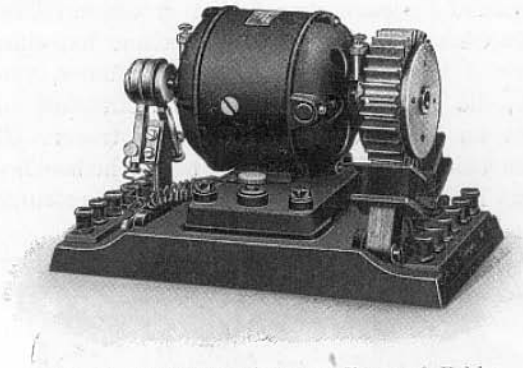

Abb. 8. Wechselstromsirene von Siemens & Halske, Siemensstadt-Berlin.

Der Läufer wird angetrieben durch einen Gleichstrommotor (in Abb. 7 rechts), dessen Drehzahl auf 3000 gesteigert werden kann. Auf der Achse dieser Maschine ist ein Unterbrecher, bestehend aus einer Walze und 3 Bürsten angebracht, mittels deren zur Ermittlung der Periodenzahl ein Zungenfrequenzmesser angeschlossen wird. Durch eine zweite Gleichstrommaschine (in Abb. 7 links), die auf einen Widerstand arbeitet, kann der Motor belastet und damit auch bei kleinen Veränderungen in der Lager- und Bürstenreibung eine völlig gleichbleibende Umlaufszahl erzielt werden. Da jedem Umlauf 100 Perioden entsprechen, beträgt die Periodenzahl bei der höchst zulässigen Drehzahl $\frac{3000}{120} \cdot 2 \cdot 100 = 5000$.

Eine kleinere Maschine dieser Art (Abb. 8) liefert etwa 2,5 Watt bei 1500 Perioden. Die Zahnzahl beträgt 30 bzw. 60 für 3000 Perioden.

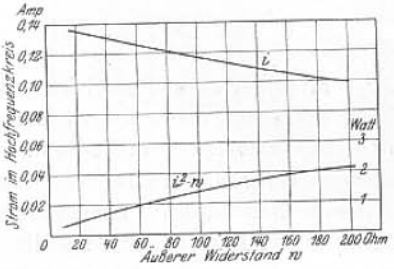

Abb. 9.

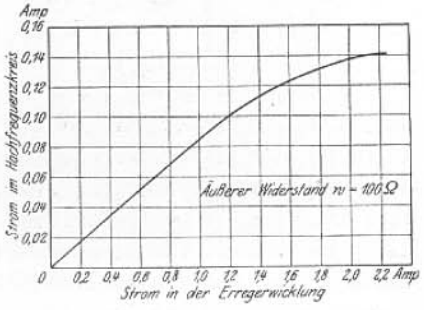

Abb. 10.

Der Gleichstrommotor ist mit Schleifringen versehen zur Entnahme von Wechselstrom für Bremszwecke und zum Anschluß eines Frequenzmessers. Abb. 9 stellt Ankerstrom i und Leistung $i^2 \cdot w$ dieser Maschine in Abhängigkeit von dem Belastungswiderstand w, Abb. 10 den Anker-

strom in Abhängigkeit von der Erregerstromstärke für einen Belastungswiderstand von 100 Ohm dar. Bei der Aufnahme der Kurven wurde nur eine Ankerspule benutzt, die Periodenzahl betrug 1500, der Maschinenkreis war auf diese Periodenzahl abgestimmt.

Auch die Firma Hartmann & Braun baut derartige Maschinen in vorzüglicher Ausführung.

d) Wechselstromerzeuger von Vreeland. Einfache Handhabung, sinusförmiger Verlauf der Wechselströme und völliges Gleichbleiben der Periodenzahl, die leicht auf verschiedene Werte gebracht werden kann, sind die Vorzüge dieser Stromquelle, die sich bezüglich der Periodenzahlen zwischen die Summer und die Hochfrequenzstromquellen einreiht. Abb. 11 zeigt die Schaltung. Der Apparat besteht in der Hauptsache aus einer Quecksilberdampflampe besonderer Bauart. Q ist die Quecksilberanode, zu der vollkommen symmetrisch links und rechts die Kohleelektroden K_1 und K_2 angeordnet sind. Zur Speisung der Lampe dient eine Gleichstromquelle von 110 Volt, zum Zünden die Hilfselektrode H. D_1 und D_2 sind Drosselspulen von genau gleichem Widerstand.

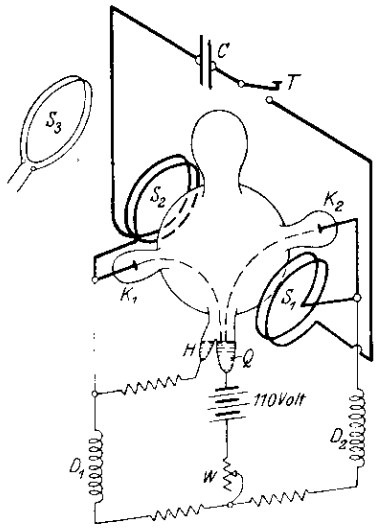

Abb. 11. Oszillator von Vreeland.

Ist durch leichtes Schütteln des Gefäßes der Lichtbogen zwischen H und Q gebildet, so bleibt er dauernd erhalten zwischen der Elektrode Q einerseits und den beiden Elektroden K_1 und K_2 andererseits.

Mittels des Widerstandes W wird alsdann der Lampenstrom auf 3,5 bis 8 Ampere eingestellt. Zwischen K_1 und K_2, d. h. im Nebenschluß zum Lichtbogen, liegt ein Schwingungskreis, bestehend aus dem Kondensator C und den beiden gleichgebauten Spulen S_1 und S_2. Sie haben den gleichen Selbstinduktionskoeffizienten L und gleichen Widerstand und können nebeneinander oder in Reihe geschaltet werden. Die Achsen von S_1 und S_2 fallen mit der Senkrechten auf der Mitte der Verbindungslinie von K_1 und K_2 zusammen. Beim Schließen von T entsteht in dem Schwingungskreis ein Wechselstrom. Im Rhythmus dieses Stromes erfährt der Lichtbogen zwischen Q und den Anoden K_1 und K_3 Ablenkungen und damit Widerstandsänderungen, durch die der Wechselstrom dauernd aufrecht erhalten wird. Der entstehende Wechselstrom verhält sich wie die Schwingungen III. Art eines Lichtbogengenerators (vgl. S. 35). Die wirksame Stromstärke ist gleich

dem $\sqrt{2}$ fachen Betrag des nach jeder Anode fließenden Gleichstromes. Die Schwingungen setzen erst ein, wenn $C > 0{,}16$ Mikrofarad. Von der zugeführten Gleichstromleistung werden jedoch nur 2,5 % als Wechselstromleistung gewonnen, der Wirkungsgrad ist also sehr gering.

Die Periodenzahl des Wechselstromes hängt nur ab von C und L und berechnet sich zu

$$\nu = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{\frac{C_{cm} \cdot L_{cm}}{2}}}$$

wenn S_1 und S_2 nebeneinander geschaltet sind und L_{cm} in elektromagnetischen, C_{cm} in elektrostatischen Einheiten eingesetzt wird. Bei Reihenschaltung der Spulen sinkt ν auf die Hälfte. Eine weitere Veränderung der Periodenzahl kann durch stufenweise Änderung von C vorgenommen werden. Hierzu dienen Schaltscheiben, die ermöglichen etwa in Zehnerstufen die Periodenzahlen zwischen 200 und 3000 einzustellen. Der Meßstrom wird von den Klemmen einer dritten, mit S_1 magnetisch gekoppelten Spule S_3 abgenommen. Die Windungen von S_3 sind unterteilt und nach den Kontakten eines Kurbelschalters geführt, der eine stufenweise Veränderung des Meßstromes ermöglicht. Eine feinere Einstellung läßt sich erreichen durch Verschieben von S_3 auf einem Schlitten und ferner durch Drehen um eine senkrechte Achse. Der Drehungswinkel kann auf einer Kreisteilung abgelesen werden.

Die Ströme i und Spannungen e, die S_3 entnommen werden können, sind für verschiedene Periodenzahlen ν in beistehender Zahlentafel zusammengestellt.

i in Milliampere	e in Volt bei ν = 200	1000	2000	3000
0	9	25	45	50
40	9	23,5	43,5	47
80	8,8	20,6	33,5	37,5
120	8,5	15,8	20,5	19,0
160	8,2	10,0	5,0	—
200	7,5	—	—	—
280	5	—	—	—

2. Hochfrequenzstromquellen.

Von den seither beschriebenen Stromquellen ermöglicht der Vreelandoszillator mit etwa 6000 Perioden die höchste Frequenz zu erzeugen. Darüber hinaus kommen mit ihm Schwingungen nicht mehr oder nur sehr schwer zustande.

Genügen diese Periodenzahlen nicht, so muß man zu den Verfahren greifen, die bei den Sendern der drahtlosen Telegraphie zur Erzeugung der Hochfrequenzströme dienen.

Sofern man mit kleinen Leistungen und Wechselströmen mit abnehmenden Scheitelwerten auskommt, eignet sich für viele Zwecke die Eichhornsche Summerschaltung. Größere Leistungen dieser Art erhält man mit den Anordnungen, die den Namen Löschfunkenerreger führen, während mit dem Duddellbogen und den aus ihm hervorgegangenen Lichtbogengeneratoren, endlich mittels Hochfrequenzmaschinen besonderer Bauart (Goldschmidt, Heyland) und durch Frequenzwandler Wechselströme mit gleichbleibenden Scheitelwerten gewonnen werden.

Weit besser aber als diese Stromquellen eignen sich für Meßzwecke die in den letzten Jahren zu großer Vollkommenheit gebrachten Kathodenstrahlenröhren, durch die die Hochfrequenzmeßtechnik eine sehr wesentliche Förderung erfahren hat.

a) Die Eichhornsche Summerschaltung. Eines der am meisten verwendeten Verfahren zur Erzeugung von Hochfrequenzströmen für Meßzwecke beruht auf einer von Eichhorn angegebenen Anordnung. Sie liefert in einem geschlossenen Schwingungskreis, der aus einem Kondensator von der Kapazität C und einer Spule mit dem Selbstinduktionskoeffizienten L besteht, Wechselströme mit mehr oder weniger stark abnehmenden Scheitelwerten (gedämpfte Wechselströme), deren Periodenzahl ν hinreichend genau mittels der Kirchhoff-Thomsonschen Gleichung $\nu = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C_{\mathrm{cm}} \cdot L_{\mathrm{cm}}}}$ berechnet werden kann.

Die Hochfrequenzleistungen, die mittels dieses Verfahrens erzielt werden können, sind etwa von der Größenordnung 0,05 Watt, also verhältnismäßig klein. Sie reichen jedoch für viele Messungen vollständig aus.

Zur Erzeugung der Wechselströme wird ein mit zwei Trockenelementen betriebener Unterbrecher U (Abb. 12), am besten einer der S. 10 beschriebenen Summer, mit einem aus einer Spule L und einem Kondensator C bestehenden Schwingungskreis verbunden. Wird jetzt durch den Summer die Verbindung mit der Gleichstromquelle unterbrochen, so muß das magnetische Feld der Spule verschwinden. Die in ihr aufgespeicherte elektromagnetische Arbeit geht, bis auf die kleinen Verluste in den Widerständen des Kreises, in Form von elektrischer Ladungsarbeit auf den Kondensator über.

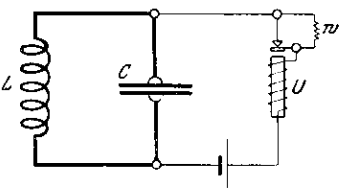

Abb. 12.

Darauf entlädt sich C rückwärts durch die Spule L. Hierbei fließt in L ein Strom umgekehrter Richtung, der ein neues magnetisches Feld erzeugt, das nach der Entladung von C verschwindet, wobei der Strom mit abnehmender Stärke weiterfließt und C mit umgekehrter Spannung auflädt. Nun wiederholt sich der Vorgang bis die Arbeit durch die Verluste aufgezehrt ist. Vorausgesetzt ist, daß $R < 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$, wo R den Widerstand des geschlossenen Schwingungskreises bedeutet. Dieser oszillatorische Vorgang läuft nun ab, lange bevor der Unterbrecher U von neuem die Stromquelle mit dem geschlossenen Schwingungskreis wieder verbindet. Im Rhythmus der Summerunterbrechungen müssen daher in dem geschlossenen Schwingungskreis gedämpfte Wellenzüge aufeinander folgen, die durch Zeiten der Stromlosigkeit getrennt sind.

Um die Funkenbildung an der Unterbrecherstelle zu verringern und damit ein gleichmäßigeres Arbeiten des Summers zu erreichen, schaltet man in den Nebenschluß zu ihr oder zur Elektromagnetwicklung einen Kondensator oder einen Widerstand w.

Soll die Summerschaltung für Messungen benutzt werden, so läßt man die Spule L auf eine im Meßkreis liegende Spule induzieren. Besteht der Meßkreis aus einer Hörempfangsschaltung, so vernimmt man im Telephon bei regelmäßigem Gang des Unterbrechers einen reinen Ton, dessen Höhe der Zahl der Unterbrechungen entspricht, ähnlich wie beim Empfang der Zeichen von Tonsendern.

Eine ausgedehnte Anwendung findet diese Schaltung z. B. bei den Resonanzwellenmessern, um diese als geeichte Oszillatoren verwenden zu können.

In vielen Fällen werden an Stelle von L (Abb. 12) zwei hintereinander geschaltete Spulen L_s und L_k (Abb. 13) benutzt. An der Spule L_s, die auch Stoßspule heißt, und die fest angeordnet wird, liegt der Unterbrecherkreis. Die zweite Spule L_k, auch Kopplungsspule genannt, ist durch biegsame Leitungen mit dem Schwingungskreis verbunden. Sie kann daher in jede beliebige Lage gebracht und insbesondere so aufgestellt werden, daß sie allein auf den Meßkreis induziert. Dadurch werden alle Störungen vermieden, die bei der Schaltung Abb. 12 im Meßkreis durch Gleichstromstöße entstehen können, und die Kopplung mit ihm kann leicht verändert werden. Zur Berechnung von ν ist jetzt in der Gleichung für ν an Stelle von L die Summe $L_s + L_k$ zu setzen.

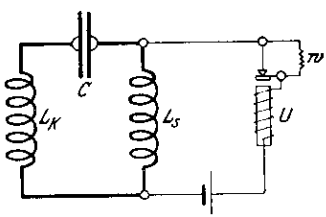

Abb. 13.

Macht man C oder L oder beide veränderlich, so kann in einfachster

Weise die Periodenzahl der erzeugten Hochfrequenzströme auf beliebige Werte gebracht werden.

Ein Hauptvorzug der Eichhornschen Summerschaltung besteht darin, daß sie sich schon mit den einfachsten Hilfsmitteln zusammenstellen läßt, was sie zu einem vorzüglichen Gerät beim experimentellen Studium der Hochfrequenzerscheinungen macht und hauptsächlich zu ihrer ausgedehnten Anwendung beigetragen hat.

b) Funkenerreger. α) Knallfunkenerreger. Wird eine Kapazität C zu dem Höchstwert E_0 der Spannung in einer Sekunde a mal aufgeladen und wieder entladen, so berechnet sich die verfügbare Schwingungsleistung zu

$$N = a \cdot \frac{C \cdot E_0^2}{2}. \qquad (1)$$

Bei der Eichhornschen Summerschaltung haben C und a schon verhältnismäßig große Werte, trotzdem sind die mit ihr erzielten Hochfrequenzleistungen wegen des kleinen E_0 nur gering.

Wesentlich größere Leistungen lassen sich mit der in Abb. 14 dargestellten Anordnung gewinnen, die hauptsächlich für Funkensender benutzt wird, die sich aber auch für Meßzwecke eignet und in verschiedener Weise zweckentsprechend abgeändert werden kann.

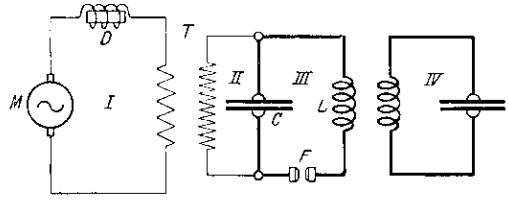

Abb. 14.

Sie setzt sich aus 4 Teilen zusammen:

1. dem Primärkreis I eines Transformators oder Resonanzinduktors T, in dem Wechselströme von 50 bis 2000 Perioden fließen;
2. dem Sekundärkreis II des Transformators, der die Ladung des Kondensators C besorgt und der Wechselströme der nämlichen Periodenzahl von wesentlich geringerer Stärke aber höherer Spannung führt;
3. dem primären Hochfrequenzkreis III auch Erregerkreis oder Stoßkreis genannt. Er besteht aus der Kapazität C, der Selbstinduktionsspule L und einer Funkenstrecke F. Ist bei der Aufladung des Kondensators die Zünd- oder Einsatzspannung der Funkenstrecke erreicht, so entlädt sich C oszillatorisch in Form von Wechselströmen mit hoher Periodenzahl und abnehmenden Scheitelwerten;
4. Kreis IV, in dem je nach den Versuchsbedingungen mehr oder weniger stark gedämpfte Hochfrequenzschwingungen infolge der induktiven Kopplung mit III erregt werden.

Je nach der Bauart der Funkenstrecke sind die Erscheinungen verschieden. Ist F eine Funkenstrecke mit einem Elektrodenabstande von mehreren Millimetern, d. h. eine gewöhnliche oder sog. Knallfunkenstrecke, so entstehen bei nicht zu loser Kopplung der beiden Kreise III und IV in jedem derselben zwei Wechselströme mit den Periodenzahlen ν_1 und ν_2. Waren III und IV vorher abgestimmt auf die Periodenzahl ν_0, so ist mit einer für viele Zwecke hinreichenden Genauigkeit:

$$\nu_1 = \frac{\nu_0}{\sqrt{1+\varkappa}} \qquad \nu_2 = \frac{\nu_0}{\sqrt{1-\varkappa}}, \tag{2}$$

wo $\varkappa$ die Kopplungsziffer bedeutet.

Das Entstehen der beiden Wechselströme ist zurückzuführen auf eine Schwebungserscheinung. Die Zahl der Schwebungen berechnet sich angenähert zu:

$$\nu_s \sim \nu_0 \cdot \varkappa \tag{3}$$

Kreis III gibt zunächst bis auf die auftretenden Verluste die auf den Kondensator C aufgespeicherte Arbeit an IV ab. Infolge davon nehmen die Schwingungsweiten des Wechselstromes in III ab, während die Amplituden des Stromes in IV wachsen. Ist die gesamte Arbeit auf Kreis IV übertragen, d. h. ist der Amplitudenwert in III Null geworden, so hat die Schwingungsweite in IV ihren Höchstwert erreicht. Bei fester Kopplung zwischen III und IV tritt jetzt eine Rückwirkung des Kreises IV auf III ein, infolge deren von nun an umgekehrt die in IV aufgespeicherte Arbeit — wieder bis auf die entstehenden Verluste — in den Kreis III zurückwandert. Nunmehr wiederholen sich diese zwei Vorgänge so lange, bis die ursprüngliche Arbeit durch die Verluste und die Nutzleistung aufgezehrt ist, wobei die Kreise III und IV dauernd ihre Rolle als Leistungsquelle und Leistungsspeicher vertauschen.

Abb. 15a gibt ein anschauliches Bild von dem Vorgang, das deutlich das Auftreten der Schwebungen erkennen läßt. Voraussetzung für die Möglichkeit, daß die Arbeit zwischen beiden Kreisen III und IV in dieser Weise hin und her wandert, ist, daß der Raum zwischen den Elektroden der Funkenstrecke seine Leitfähigkeit nicht verliert, Kreis III also bis zum Ablauf des Schwebungsvorgangs eine geschlossene Strombahn darstellt.

Diese Leitfähigkeit der Funkenstrecke beruht auf der starken Erhitzung ihrer Elektroden durch den kräftigen Funken und die damit verbundene Ionisierung. Mit dem Abklingen der Schwebungen erkalten die Elektroden. Ist infolgedessen die Ionisierung verschwunden, so kann sich der Kondensator C wieder zur ursprünglichen Zündspannung aufladen, worauf eine neue Entladung einsetzt. In gleichen Zeitzwischenräumen folgen alsdann a solcher Entladungen aufeinander.

Die Elektroden bestehen meist aus Zink. Für Meßzwecke ist Magnesium zu empfehlen.

β) Löschfunkenerreger. 1. Wirkungsweise. Ersetzt man die Knallfunkenstrecke durch eine Funkenstrecke, deren Elektroden sich nicht stark erhitzen können oder sich wenigstens sehr rasch wieder abkühlen und bei der die Ionisierung bereits verschwunden ist, wenn der Strom in Kreis III (Abb. 14) den Nullwert erreicht hat, d. h. durch

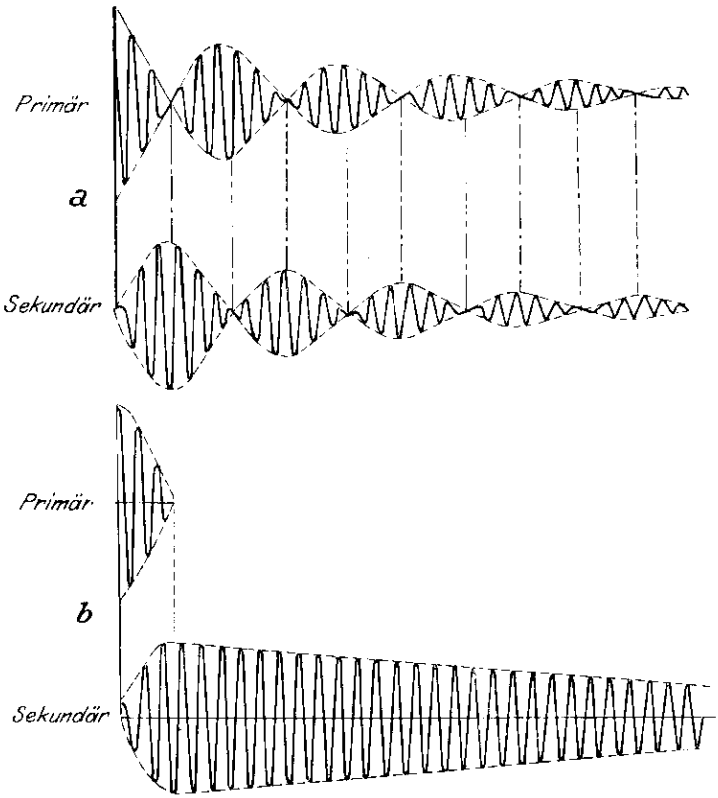

Abb. 15.

eine sog. Lösch- oder Zischfunkenstrecke, so verlaufen die Schwingungsvorgänge in III und IV wesentlich anders.

Auch jetzt wird zuerst die auf C aufgespeicherte Arbeit von Kreis III in Kreis IV hinüberwandern. Mit dem Abnehmen der Scheitelwerte des Stromes in III steigt aber nun der Widerstand der Funkenstrecke so hoch, daß eine Rückwanderung der Arbeit von Kreis IV in Kreis III nicht mehr möglich ist. Die in IV aufgespeicherte Arbeit muß sonach oszillatorisch mit der Eigenperiode und entsprechend der

Eigendämpfung des Kreises IV, unbeeinflußt von III, ausklingen. In jedem der beiden Kreise kann man bei richtiger Einstellung nur noch einen einzigen Wechselstrom nachweisen, dessen Periodenzahl mit der Periodenzahl ν_0 zusammenfällt, auf die beide Kreise abgestimmt waren. Den Verlauf der Schwingungen gibt Abb. 15b wieder.

Auch dieser Vorgang wird ganz wesentlich beeinflußt durch die Größe der Kopplung. Je fester die Kopplung ist, um so rascher wird die Arbeit von III nach IV übertragen. Bei zu fester Kopplung findet infolgedessen auch eine Löschfunkenstrecke nicht mehr Zeit, sich zu entionisieren. Ist die Kopplung zu lose, so dauert die Übertragung sehr lange, die Funkenstrecke erhitzt sich stark. Dazwischen muß ein günstigster Kopplungswert liegen, der durch die Löschwirkung der Funkenstrecke bestimmt ist.

Dieser günstigste Wert der Kopplung läßt sich mittels eines in IV eingeschalteten Strommessers einstellen. Zu dem Zweck verändert man die Kopplung so lange, bis die größte Stromstärke erreicht ist.

Auch die Beschaffenheit des Funkens gibt Anhaltspunkte hierzu. Bei richtiger Kopplung wird der Funke klein und unscheinbar, an Stelle des prasselnden Geräuschs tritt ein leises Zischen und in einem Tonprüfer hört man einen reinen musikalischen Ton; ein umlaufendes Heliumrohr zeigt ein gleichmäßiges Bild, das keine Teilfunken erkennen läßt.

Ein weiteres Hilfsmittel liefert der sogenannte Tonzeiger (S. 353), ein Drehspulengalvanometer, das in den Sekundärkreis des Transformators eingeschaltet wird. Bei richtiger Einstellung der Niederfrequenzkreise und völlig gleichmäßiger Funkenfolge zeigt das Gerät keinen oder einen gleichbleibenden Ausschlag.

Um diese gleichmäßige Funkenfolge zu erzielen, müssen insbesondere die Erregung der Wechselstrommaschine und die Vorschaltedrossel D (Abb. 14) richtig bemessen werden. Ferner soll der Sekundärkreis II des Transformators in Resonanz gebracht sein mit dem Maschinenkreis, was durch richtige Einstellung der Drossel und der Umlaufszahl der Wechselstrommaschine erreicht wird. Ausführlicher sind diese Maßnahmen S. 350 besprochen. Trägt man durch passende Wahl der Transformatorspannung dafür Sorge, daß die Zahl der in einer Halbperiode einsetzenden Funkenentladungen stets dieselbe bleibt, so ist eine scharfe Einstellung der Transformatorresonanz nicht unbedingt nötig.

In erster Linie aber ist ausschlaggebend zur Erzielung gleichmäßiger Schwingungszüge die Güte der Löschwirkung der Funkenstrecke. Je wirksamer sie ist, desto enger kann offenbar die Kopplung gewählt werden. Denn da die Dauer des ersten Kleinstwertes der Schwebung im Stoßkreise von der Größe der Schwebungsperiode abhängt, diese aber von der Kopplungsziffer der beiden Kreise III u. IV bestimmt wird, darf mit zunehmender Löschfähigkeit der Entladestrecke

offenbar die Zeit kürzer ausfallen, in der die Schwingungsweiten den Nullwert zu durchlaufen trachten. Wird dieser infolge unscharfer Abstimmung überhaupt nicht erreicht, so kann es vorkommen, daß, da die Entionisation nicht energisch vor sich geht, das genaue Abreißen des Stromes nach der ersten Halbschwebung im Erregerkreise ausbleibt. Dies bedeutet, daß je geringer die Löschwirkung der verwendeten Funkenstrecke ist, um so schärfer die Abstimmung der Kreise erfolgen und um so loser die Kopplung gewählt werden muß. Ist jedoch der Entladestrecke eine hohe Löschfähigkeit eigen, so kann bei enger Kopplung der Kreise III u. IV ihre gegenseitige Verstimmung ziemlich beträchtlich sein, ohne daß das Stoßphänomen verschwindet. Hieraus ergibt sich die Abhängigkeit zwischen Verstimmung und Kopplungsziffer. Ist eine dieser Größen nicht auf den günstigsten Wert eingestellt, so wird durch Veränderung der anderen in den meisten Fällen das Wiedereintreten gleichmäßiger Stoßerregung erreicht. Diese Erscheinung macht sich um so mehr geltend, je fester die Kopplung gewählt werden darf, und je kürzer der Elektrodenabstand der Funkenstrecke ist. Den Grenzfall stellt die reine Stoßerregung dar, die beim Vieltonsender angewendet wird, und bei der durch Verwendung besonderer Entladestrecken und entsprechend bemessener Stoßkreise bei engster Kopplung beider Kreise der primäre Stromfluß schon nach einer halben Periode oder früher abreißt.

2. Ausführungsformen von Löschfunkenstrecken. Fast alle praktischen Formen dieser Entladestrecken benutzen bisher das von Wien angegebene Mittel, die Fläche der Elektroden verhältnismäßig groß gegenüber ihrem gegenseitigen Abstand auszubilden. Je kleiner hierbei die Funkenlänge eingestellt wird, desto vollkommener ist die Löschwirkung. Diese kann weiterhin gefördert werden:

a) durch Verbesserung der Wärmeableitung von den Stellen, an denen der Entladungsvorgang seinen Fußpunkt besitzt,
b) durch Verminderung des Wärmeinhaltes der Elektrodenumgebung (Kühlung) und
c) durch jene Anordnungen und Maßnahmen, die bewirken, daß jede Neuzündung stets an einer frischen Stelle erfolgt.

Vielfach wird die Löschfunkenstrecke noch verbunden mit einer Beleuchtungsfunkenstrecke oder aber einer besonderen Abreißfunkenstrecke, zu der eine sog. Löschdrossel im Nebenschluß liegt. Derartige Anordnungen, durch die das Ausklingen der Schwingungen im Stoßkreis beschleunigt wird, sind S. 344 näher erläutert.

Für die Elektroden der Löschfunkenstrecken wird Kupfer, Silber, Platiniridium oder Wolfram verwendet. In einfachster Weise läßt sich eine Löschfunkenstrecke zusammenbauen aus zwei Kupferklötzen, die mit den polierten Flächen aufeinandergelegt und

durch ein dünnes Stück ungeleimten Papiers getrennt werden. Der Funke wandert dann gleichmäßig über die Fläche, wobei das Papier verkohlt.

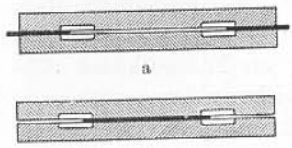

Abb. 16.

Meist wird der erforderliche Elektrodenabstand durch Glimmerringe eingestellt, die entweder auf dem Außenrand der Elektroden (Abb. 16a) oder im Inneren derselben (Abb. 16b) liegen. In die Elektroden sind Rillen eingedreht, die das Wandern des Funkens begrenzen. Bei großen Leistungen werden zur Erzielung der nötigen Spannung mehrere Funkenstrecken in Reihe geschaltet. Der lange Funke der Knallfunkenstrecke, der die Elektroden stark erhitzt, ist auf diese Weise in eine große Zahl kleiner Fünkchen zerlegt. Diese bewirken nur eine geringe Erwärmung der großen Metallmassen der Elektroden. Bei sehr großen Leistungen werden die einzelnen Elektroden noch mit Kühlrippen versehen oder durch einen Luftstrom gekühlt.

Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie verwendet Silber. Der Abstand der Silberelektroden beträgt 0,1 bis 0,2 mm, die

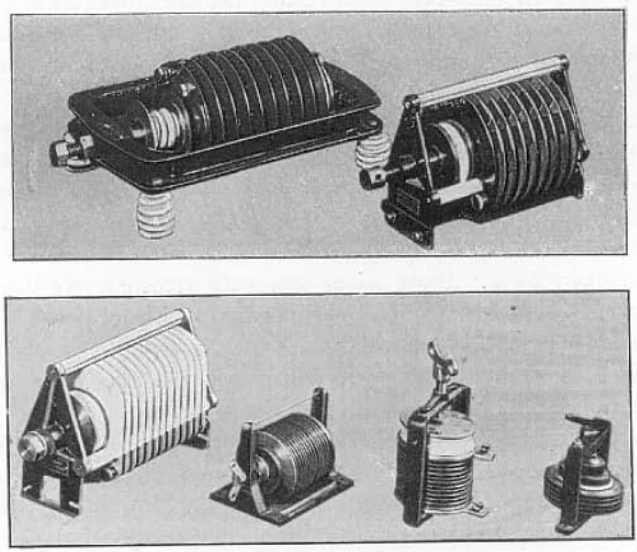

Abb. 17. Löschfunkenstrecken (Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, Berlin). 1/5 wirkl. Größe.

mittlere Einsatzspannung etwa 1400 Volt bei 0,2 mm Elektrodenentfernung. Die Abb. 17 zeigt verschiedene Ausführungsformen solcher Löschfunkenstrecken.

Statt der plattenförmigen werden auch zylinderförmige Elektroden benutzt, die um ihre Achse gedreht werden können und durch

eine Parallelführung sich in den gewünschten Abstand bringen lassen.

Die günstigste Kopplung zwischen den Kreisen III und IV (Abb. 14) für Löschfunkenstrecken mit Silberelektroden liegt bei etwa 18—30%. Größere Werte der Kopplung sind erreichbar, wenn man den Elektrodenabstand so weit verkleinert, als die Wärmeausdehnung zuläßt, was die Verwendung von Metallen mit geringerer Zerstäubungsfähigkeit und dementsprechend besserer Löschwirkung bedingt. Aus diesem Grunde benutzte Boas Platiniridium und später Wolfram. Der Abstand der Elektroden beträgt hierbei nur etwa 0,05 mm, ihr Durchmesser 8 mm. Größere Durchmesser verbieten sich durch die Schwierigkeiten, die es macht, den außerordentlich kleinen Abstand gleichmäßig einzustellen und zu erhalten. Die Kopplung kann bei diesen Funkenstrecken bis auf 45% erhöht werden. Ein anderes, von Boas angegebenes Mittel, um die Löschwirkung zu vergrößern, besteht darin, daß man die Funken in einer Atmosphäre von Wasserstoff, Leuchtgas oder Spiritusdampf entstehen läßt.

Der Grenzwert der Kopplung, bei der man noch von Schwingungen im Stoßkreis sprechen kann, ist bei 50% erreicht. Die Schwingungen reißen bei dieser Kopplung schon ab, wenn der Primärstrom zum erstenmal durch Null hindurchgeht, ein Vorgang, bei dem die ideale Stoßerregung beginnt.

3. Aperiodische Stoßerregung. Die zulässige Funkenzahl läßt sich beträchtlich steigern, wenn man die Stoßzeit des primären Kreises noch weiter derart verkleinert, daß ihm jede Schwingungsfähigkeit genommen ist und in ihm nur noch einzelne Stromstöße entstehen, die im Sekundärkreis abklingende Wellenzüge hervorrufen, deren Dämpfung und Wellenlänge allein durch die Eigenschaften des Sekundärkreises bedingt wird. Die Abstimmung zwischen dem Stoßkreis III und Kreis IV ist daher unnötig.

Nach dem Vorschlag von Rein erzielt man die hohe Funkenzahl dadurch, daß man die Kapazität im Stoßkreis III so groß und die Selbstinduktion so klein wählt, daß die Entladung des Kondensators nur noch aperiodisch erfolgt. Der Kondensator erhält daher eine Kapazität von wenigstens 10000 cm, während die Selbstinduktion so weit verringert wird, daß gerade noch hinreichend Selbstinduktion zur Kopplung mit Kreis IV (Abb. 14) zur Verfügung steht. Obwohl beide Kreise nicht aufeinander abgestimmt sein müssen, ist es doch zweckmäßig, sich nicht zu weit von der Resonanzlage zu entfernen.

Wird gleichzeitig durch eine kräftig wirkende Löschfunkenstrecke die aperiodische Entladung im Stoßkreis kurz nach Beginn der Entladung unterbrochen und auf diese Weise die Stoßzeit noch weiter verkürzt, so läßt sich die Funkenzahl leicht so weit steigern, daß sie

die Grenze der hörbaren Töne überschreitet und in einem Tonprüfer ein Ton nicht mehr vernommen werden kann.

Eine von Scheller gebaute einteilige Funkenstrecke dieser Art, die beim Vieltonsender Verwendung findet, ist in den Abb. 18 und 19, eine Zweifachfunkenstrecke, die jedoch weniger gleichförmig

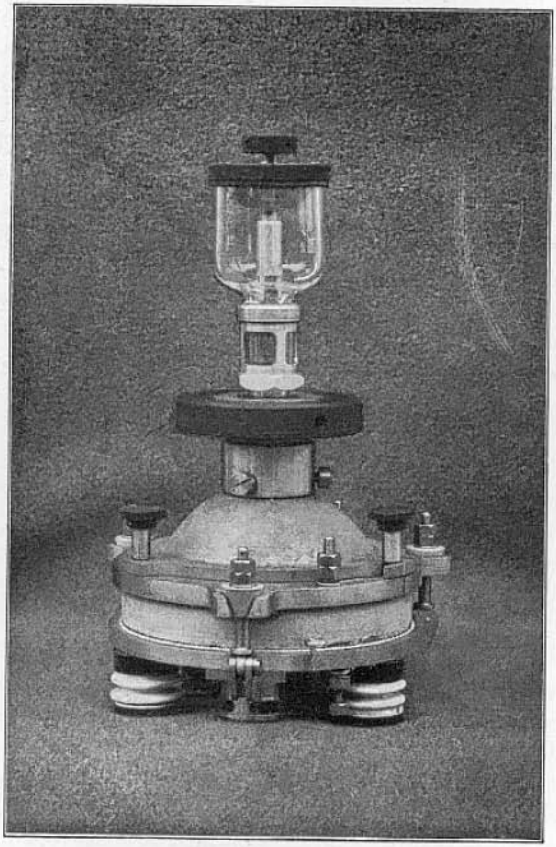

Abb. 18. Einteilige Funkenstrecke nach Scheller.

arbeitet, durch Abb. 20 dargestellt. Die Elektroden haben kugelförmige Flächen. Durch einen Tropföler wird dem Raum, in dem der Funken übergeht, Spiritus zugeführt. Der Funke entsteht daher in einer Spiritusatmosphäre, die die Löschfähigkeit erhöht.

Will man eine besonders hohe Funkenzahl erhalten, so wird der Kondensator mit Gleichstrom aufgeladen, da hierbei der Leistungsnachschub im Stoßkreis noch viel rascher erfolgt als beim Aufladen mit Wechselstrom. Der Gleichstromkreis und insbesondere die Drossel-

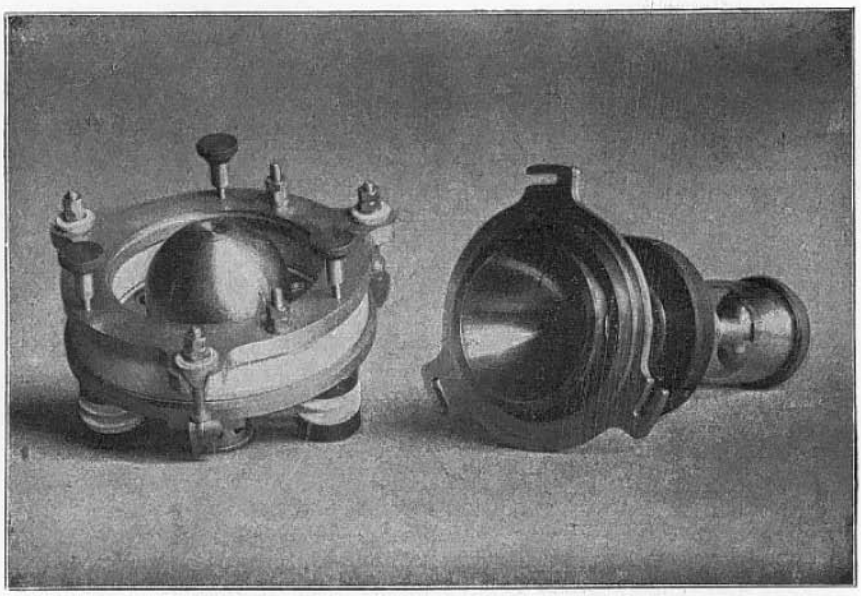

Abb. 19. Einteilige Funkenstrecke nach Scheller.

spule müssen möglichst verlustfrei sein, so daß das Aufladen oszillatorisch erfolgt. Dadurch erreicht man, daß die Kondensatorspannung auf etwa den doppelten Betrag der Gleichspannung ansteigt. Die Funkenstrecke ist so einzustellen, daß der Funke einsetzt in dem Augenblick, wo dieser Spannungsbetrag vorliegt. Da Ladestrom und Ladespannung nahezu 90° Phasenverschiebung haben, durchläuft der Ladestrom in diesem Augenblick den Nullwert.

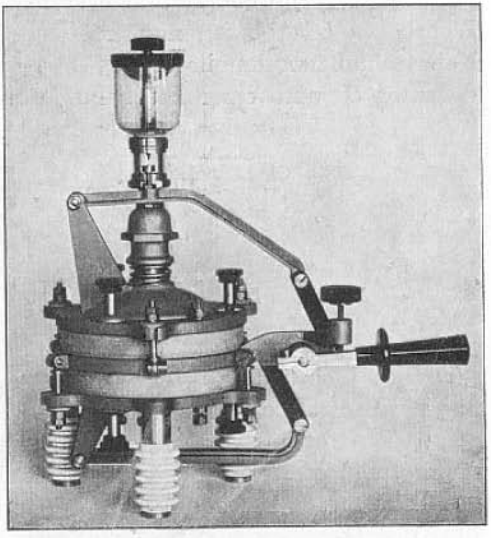

Abb. 20. Zweifachfunkenstrecke nach Scheller. 1/6 wirkl. Größe.

Glatzel hat auf diese Weise Funkenzahlen bis zu 100000 erzielt, die bei kinematographischen Aufnahmen von Geschoßbewegungen Verwendung fanden. Meist wird an Stelle der Gleichstromquelle eine niederperiodische Wechsel-

strommaschine benutzt, deren Spannung während der kurzen Ladezeit als gleichgerichtet gelten kann.

4. Umlaufende Funkenstrecken. Gleich gute Ergebnisse wie mit Löschfunkenstrecken lassen sich auch mit umlaufenden Funkenstrecken erzielen, die aus zwei festen Elektroden bestehen, zwischen denen sich ein Rad mit freistehenden Speichen dreht (Abb. 21). Die Entladung des Stoßkreiskondensators setzt ein, wenn die Entfernung der festen und beweglichen Elektroden einen durch die Kondensatorspannung bestimmten kleinsten Wert erreicht hat, worauf wieder eine Schwebungserscheinung zwischen Stoßkreis und Primärkreis zustande kommt. Umlaufsgeschwindigkeit des Rades, Dämpfung im Stoßkreis und Kopplung begrenzen die Dauer dieses Vorganges. Ist der Stoßkreis infolge der Entfernung der Elektroden der Funkenstrecke unterbrochen, so schwingt auch hier der Sekundärkreis mit seiner Eigenwelle aus. Durch passende Wahl, besonders der Umlaufsgeschwindigkeit und der Kopplung lassen sich völlig gleichmäßige Schwingungzüge erzielen.

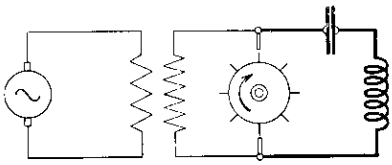

Abb. 21.

c) Pfeifender Lichtbogen. Diese von Duddell angegebene Anordnung, die den Ausgangspunkt für den Bau von Lichtbogengeneratoren gebildet hat, eignet sich wegen ihres einfachen Aufbaues und der leichten Handhabung dann zur Erzeugung von Hochfrequenzschwingungen für Meßzwecke, wenn nicht zu hohe Periodenzahlen verlangt werden. Der Lichtbogen L (Abb. 22) muß zwischen Homogenkohlen brennen. Im Nebenschluß zu ihm liegt ein Schwingungskreis, der aus einem Kondensator C und einer Selbstinduktionsspule besteht, und dessen Periodenzahl sich mit hinreichender Genauigkeit aus der Gleichung berechnet:

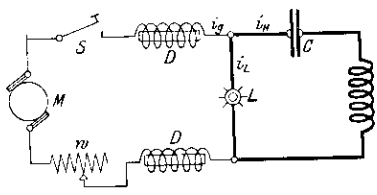

Abb. 22.

$$\nu = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C_{\text{cm}} \cdot L_{\text{cm}}}}$$

Spannungen der Gleichstromquelle M von 70 Volt genügen schon zur Speisung des Lichtbogens. Vor ihn sind ein einstellbarer Widerstand w und die Drosselspulen DD geschaltet, die die Hochfrequenzströme von der Gleichstromquelle abhalten sollen. Mittels des Widerstandes und durch Veränderung der Bogenlänge läßt sich ein gleichmäßiges Arbeiten des Lichtbogens herbeiführen. Der Kondensatorstrom i_H lagert sich über den Gleichstrom i_L im Lichtbogen und verändert im Rhythmus der Periodenzahl dessen Temperatur. Infolge davon gibt der Bogen einen

pfeifenden Ton von sich, dessen Höhe mit der Periodenzahl des Wechselstromes im Schwingungskreis zusammenfällt. Durch Änderung der Kapazität und Selbstinduktion kann sie auf beliebige Werte gebracht werden.

Um diese Wechselströme einer Meßanordnung, z. B. einer Brückenschaltung zuzuführen, legt man zweckmäßig in den Hochfrequenzkreis die Primärwicklung eines kleinen Transformators und verbindet dessen Sekundärwicklung mit der Brücke. Ist der Eisenkern des Transformators verschiebbar, so läßt sich auch mit ihm die Periodenzahl verändern.

d) Lichtbogengeneratoren. Sehr hohen Anforderungen bezüglich Unveränderlichkeit der Hochfrequenzströme genügt die Duddellsche Anordnung nicht. Dazu kommt, daß die Periodenzahl, die man mit ihr erzielen kann, ihren Grenzwert für gleichförmige Schwingungen bei etwa $\nu = 5000$ erreicht. Schon vorher wird die Erzeugung der Schwingungen schwierig. Durch eine Reihe von Maßnahmen ist es Poulsen 1903 gelungen, aus dem Duddellschen Bogen einen Lichtbogengenerator zu entwickeln, der Schwingungen bis zu Periodenzahlen von $\nu = 1{,}5 \cdot 10^6$ von fast gleichbleibender Stärke und weit größerer Leistung liefert.

α) Wirkungsweise. Die Aufrechterhaltung eines gleichmäßigen Schwingungszustandes ist nur dann möglich, wenn der Lichtbogen selbsttätig die Arbeit im Takte der Periode bald in den Kondensatorkreis hinein-, bald aus ihm heraussteuert. Zur Erfüllung dieser Aufgabe muß er demnach während der Ladung des Kondensators einen viel höheren Widerstand besitzen als bei der Entladung. Daß er dieser Forderung gerecht wird, läßt sich unschwer aus seinen physikalischen Eigenschaften ableiten.

Der Lichtbogen ist eine glühelektrische Erscheinung. Sein Entstehen ist demnach an das Vorhandensein einer weißglühenden Kathode gebunden, die nur in diesem Zustande in der Lage ist, zahlreiche Elektronen auszusenden, welche die Träger der Erscheinung darstellen. Die Anzahl der Elektronen selbst bestimmt den Widerstand des Lichtbogens. Da die Kathode offenbar ihre Hemmungen gegen den Austritt von Elektronen um so vollkommener verliert, je höher ihre Temperatur und je größer ihre glühende Kraterfläche unter der Einwirkung des heizenden Gleichstromes ist, wird die Leitfähigkeit des Lichtbogens mit der Zunahme des Produktes dieser beiden Größen anwachsen. Ein Maß für die Leitfähigkeit in Abhängigkeit von den jeweiligen elektrischen Zuständen läßt sich in einfacher Weise durch eine Strom- und Spannungsmessung am Lichtbogen ermitteln, eine Aufnahme, die über einen größeren Strombereich ausgeführt, die statische Kennlinie des Lichtbogens ergibt (Abb. 23). Bei der Durchführung einer derartigen Messung erkennt man, daß im Einklang mit den soeben an-