

Stromstoß zu, worauf die Steuerhebel auf den siebenten Kontakt weiterrücken. Damit ist die Durchsprechschtung endgültig erreicht, die Teilnehmer sind in Sprechverbindung. Hängt nach Beendigung des Gespräches der rufende Teilnehmer seinen Hörer wieder an, so wird der Strom von G^4 infolge Einschaltung des Sprechstellenkondensators unterbrochen; A^4 und B^4 lassen ihre Anker fallen, und G^4 sendet einen letzten Stromstoß über U^4 , 56 (Ankerkontakt von B^4), Relais Q^4 , 55, S^4 , Erde. Die Kontakthebel rücken nun in die achte, die Schlußstellung. Gleichzeitig sendet G^4 über 57 (Ankerkontakt von Q^4) einen Strom über c^4 durch das Prüfrelais P^2 (Fig. 1362), was die vorher beschriebene Auslösung des Gruppenwählers I und des Vorwählers bewirkt. Der Leitungswähler kehrt in die Ruhelage zurück, wenn der angerufene Teilnehmer seinen Hörer anhängt; dann wird nämlich das Relais Y stromlos, was bewirkt, daß G^4 einen Strom über 60 (Ankerkontakt von Y), 59, 58 (Kopfkontakt der Schaltwelle) durch die Auslösemagnete M^4 und N^4 schickt. Hat

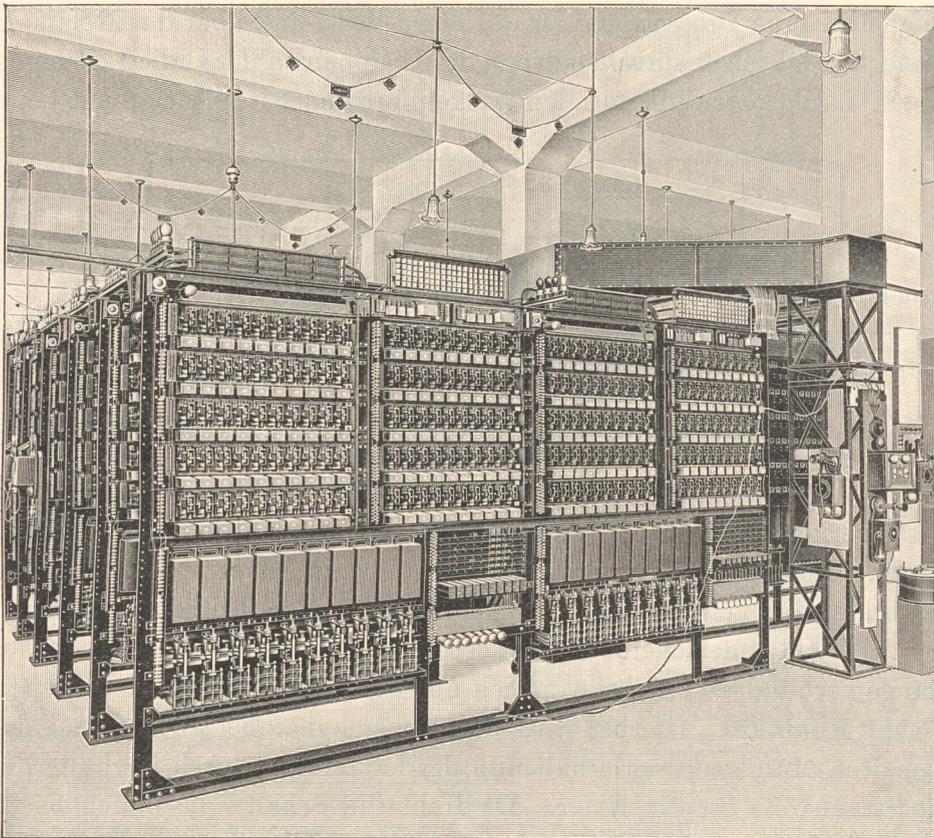


Fig. 1364. Betriebssaal eines Selbstanschlußamtes mit den Wählern und Schaltwerken.

c^5 bei der vorher erörterten Prüfung, die bei der dritten Kontaktstellung der Steuerhebel stattfand, eine besetzte Leitung angetroffen, so kann das Relais Y nicht erregt werden, da entweder die Batterie G am Vorwähler (Fig. 1358) abgeschaltet ist oder da sie über einen anderen Leitungswähler an Erde liegt. Bei dem Übergang der Steuerhebel in die vierte Stellung sendet daher die Batterie G^4 (Fig. 1363) einen Strom über 60 (Ankerkontakt von Y), 61, c^4 durch das Prüfrelais P^2 zur Abschaltung des Gruppenwählers II, was gleichzeitig das Summengeräusch als Besetztzeichen am Gruppenwähler I auslöst. Da auch A^4 und B^4 am Leitungswähler stromlos werden, so lassen beide ihre Anker fallen, und G^4 sendet über 60, 59, 58 (nach oben umgelegt) einen Strom durch die Auslösemagnete M^4 und N^4 , womit der Leitungswähler in seine Ruhelage zurückkehrt, bevor er den Kontakt des in einem anderen Gespräch begriffenen Teilnehmers erreichen kann.

Fig. 1364 zeigt den Betriebssaal eines größeren Selbstanschlußamtes mit den an eisernen Gestellen befestigten Wählern und Schaltwerken. Das Arbeiten der einzelnen Apparate wird an eingeschalteten Glühlampen überwacht, die anzeigen, wenn Störungen auftreten. Die Überwachung nehmen Mechaniker wahr, die etwaige Fehler sogleich beseitigen.

C. Radiotelegraphie.

1. Allgemeines.

Die *Radio-* oder *Funkentelegraphie* (*Strahlen-, Wellen-, drahtlose Telegraphie*) hat sich in der kurzen Zeit ihres Bestehens bereits einen beträchtlichen Wirkungskreis verschafft. Im Jahre 1897 machte Marconi die ersten Versuche mit seinen drahtlosen Stationen in England noch über

verhältnismäßig kurze Entfernungen und mit noch wenig durchgebildeten Apparaten, und jetzt sind bereits die Küsten aller am Meer gelegenen Kulturstaaten mit radiotelegraphischen Stationen besetzt, tragen fast alle den Ozean durchquerenden Dampfer großer Schifffahrtslinien sowie sämtliche Fahrzeuge der Kriegsmarinen solche Stationen, und werden über Wasser und Land drahtlose telegraphische Verbindungen über weite Entfernungen hergestellt. Großstationen an der Küste von Irland und Kanada vermitteln einen regelrechten drahtlosen Verkehr zwischen Europa und Nordamerika; fast auf der ganzen Reise zwischen beiden Kontinenten unterhalten die Schiffe Verkehr mit Stationen auf der einen oder anderen Seite des Ozeans. Mühelos können die für große Reichweiten ausgerüsteten Stationen in Nauen bei Berlin, in Petersburg, in Norddeich an der deutschen Nordseeküste, in Paris auf dem Eiffelturm, in Pola an der Küste des Adriatischen Meeres Mitteilungen untereinander austauschen. In den Heeren gehören fahrbare oder tragbare Stationen zu den unentbehrlichen Bestandteilen, und selbst die modernen Luftschiffe erhalten bereits radiotelegraphische Einrichtungen. Trotz dieser hohen Stufe der Entwicklung vermag die Radiotelegraphie noch nicht, der gewöhnlichen Telegraphie über Drahtleitungen ernstlichen Abbruch zu tun. Sie hat sich eben ihr eigenes Anwendungsgebiet geschaffen und dient auf diesem als willkommene Ergänzung der Drahttelegraphie.

Die Radiotelegraphie baut sich auf der Erkenntnis auf, daß die Elektrizität sich auch außerhalb der metallischen Leiter durch Strahlung im freien Raum fortpflanzt, wenn sie in sogenannten *elektrischen Schwingungen* oder *Wellen* erzeugt wird. Solche Schwingungen entstehen, wenn sich ein elektrisch geladener Kondensator, z. B. eine Leidener Flasche, entladet, indem von der einen zur anderen Belegung ein Funke überspringt und damit zwischen der positiven Ladung der einen Belegung und der negativen Ladung der anderen Belegung ein Ausgleich eintritt. Der Entladungsfunke besteht nicht aus einer einfachen plötzlichen Vereinigung der beiden Elektrizitäten, sondern aus einem Hin- und Herbogen der elektrischen Ladungen zwischen den beiden Belegungen. Dieses sogenannte Oszillieren ist dadurch zu erklären, daß die geladenen kleinsten Teilchen der Elektrizität, die Elektronen, wenn sie den Luftzwischenraum der Funkenstrecke zwecks Vereinigung mit den entgegengesetzt geladenen Teilchen durchbrechen, unter dem Einfluß der Selbstinduktion, d. h. der elektrischen Trägheit, über die Gleichgewichtslage hinauschießen, nach ihrer ursprünglichen Belegung wieder zurückgeworfen werden, von neuem den Ausgleich beginnen und wieder zurückschwingen. Man kann diesen Vorgang etwa mit der Bewegung eines Pendels vergleichen, das nach einer Seite gehoben, dann losgelassen und seinen hin und her gehenden Schwingungen überlassen wird. Wie die Ausschläge des Pendels mit jeder Schwingung geringer werden, bis das Pendel zur Ruhe kommt, so nimmt auch die Energie der elektrischen Schwingungen mit jeder Oszillation ab. Die Abnahme der Schwingungsenergie wird durch den Widerstand der Drahtverbindung zwischen Kondensatorbelegung und Funkenstrecke, der Funkenstrecke selbst, durch Umwandlung der elektrischen Energie in Wärme und durch die Ausstrahlung verursacht; man nennt diese Abnahme *Dämpfung*. Die elektrischen Schwingungen gehen so in Form von Wellenbewegungen vor sich. Sind sie stark gedämpft, so verlaufen die Schwingungen in Form der in Fig. 1365 gezeichneten Kurve; sind sie weniger gedämpft, so haben sie die Form der Fig. 1366, und sind sie völlig ungedämpft, so ist ihr Verlauf gleich der Kurve in Fig. 1367. In der gleichen Form, in der sie erzeugt werden, strahlen sie in den freien Raum aus. Die Fortpflanzung elektrischer Wellen im Raum hat zuerst der deutsche Physiker Hertz im Jahre 1887 nachgewiesen. Er bediente sich zur Erzeugung der Schwingungen des *Hertzschen Oszillators* (Fig. 1368), der aus einem Funkeninduktor 1 und den mit dessen sekundärer Wicklung verbundenen Kapazitäten 2 und 3 (Leidener Flasche), sowie der hieran gelegten Drahtverbindung und der

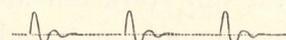


Fig. 1365.



Fig. 1366.

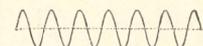


Fig. 1367.

Verlauf stark gedämpfter (Fig. 1365), schwach gedämpfter (Fig. 1366) und ungedämpfter (Fig. 1367) Schwingungen.

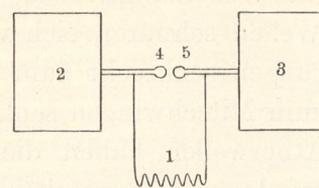


Fig. 1368. Oszillator.

Funkenstrecke 4, 5 besteht. Daß von diesem elektrische Schwingungen ausgestrahlt werden, bewies Hertz an einem davon entfernt aufgestellten *Resonator*, das ist ein metallischer Ring, der mit einer mikroskopisch kleinen Funkenstrecke versehen ist. Wenn nämlich bei 4, 5 ein elektrischer Funke überspringt, sind auch an der kleinen Funkenstrecke des Ringes schwache Funken wahrnehmbar. Bei einer der Hertz'schen Versuchsanordnungen (Fig. 1369) bringt man die Funkenstrecke in den Brennpunkt eines metallischen Hohlspiegels 5; die ausgestrahlten Wellen werden dann nach dem metallischen Planspiegel 6 hin gerichtet und von diesem wieder zurückgeworfen, so daß stehende Wellen erzeugt werden. Die ausgezogene Linie bezeichnet die von 7 ausgehende, die punktierte die von 6 reflektierte Welle. Zwischen den Knotenpunkten 1, 2, 3, 4 schwingen die Ätherteilchen auf und ab. Sucht man die Strecke mit dem oben erwähnten Resonator ab, so zeigt er an den Knotenpunkten keine Fünkchen, wohl aber innerhalb der Wellenbäuche, und zwar am stärksten an den Stellen der weitesten Ausbuchtung. Die Entfernung zwischen den Knotenpunkten 1 und 3 oder 2 und 4 heißt die *Wellenlänge*; die Zeit, in der die Bewegung von 1 bis 3 oder von 2 bis 4 fortschreitet, d. h. in der sie vom Wert Null zum höchsten positiven Wert steigt, bis Null fällt, den höchsten negativen Wert erreicht und wieder zum Wert Null zurückkehrt, heißt die *Periode*; die Zahl der Perioden in einer Sekunde heißt die *Frequenz*; der senkrechte Abstand zwischen dem höchsten positiven und höchsten negativen Wert die *Amplitude*.

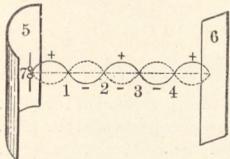


Fig. 1369. Hertz'sche Versuchsanordnung.

Die Schwingungsdauer T (Periode) hängt ab von der Kapazität C und von der Selbstinduktion L der Schwingungsbahn (d. h. des durch die Funkenstrecke 4, 5 in Fig. 1368 unterbrochenen Drahtes), entsprechend der für die Radiotelegraphie grundlegenden Formel $T = 2\pi\sqrt{C \cdot L}$ (wo $\pi = 3,14159 \dots$).

Während der Funkenentladung ist die Spannung an der Funkenstrecke gleich Null, dort befindet sich demnach ein Wellenknoten; an den Enden des Drahtes bildet sich ein Wellenbauch. Verbindet man den einen Pol der Funkenstrecke mit der Erde, so entfällt auf die verbleibende Drahhälfte ein Viertel der Wellenlänge; letztere beträgt demnach das Vierfache der Länge dieses Drahtes. Außer der Schwingung mit dieser Wellenlänge entstehen Oberschwingungen, die Wellenlängen von $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$ usw. derjenigen der Grundschwingung haben. Die elektrischen Wellen schnüren sich von dem Oszillator ab und pflanzen sich im Weltäther nach allen Richtungen senkrecht zum Schwingungsdraht fort, indem immer eine Ätherschicht die benachbarte zum Mitschwingen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung erregt. Die ausgesendeten elektrischen Ätherwellen haben die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen (300000 km in der Sekunde) und unterscheiden sich von ihnen nur durch Wellenlänge und Frequenz. (Das Produkt aus beiden ergibt wie beim Licht 300000 km.) Die Wellenlänge des roten Lichtes beträgt bei 450 Billionen Schwingungen in der Sekunde 0,00067 mm; die kleinsten bekannten elektrischen Schwingungen haben eine Frequenzzahl von ca. 10 Millionen und eine Wellenlänge von ca. 3 cm. Die elektrischen Ätherwellen gehen durch Nichtleiter der Elektrizität ungehindert hindurch, werden dagegen durch Leiter reflektiert, polarisiert oder absorbiert.

Wie eine angeschlagene Stimmgabel eine zweite, auf denselben Ton abgestimmte durch Resonanz zum Mittönen bringt, so rufen die Schwingungen eines elektrischen Oszillators durch die ausgestrahlten Ätherwellen in einer entfernten metallischen Schwingungsbahn wieder Schwingungen hervor, sofern die Empfangsvorrichtung dieselben elektrischen Bedingungen bietet wie der Oszillator. Dies ist der Fall, wenn bei beiden der Faktor $C \cdot L$, d. h. das Produkt aus Kapazität und Selbstinduktion (in obiger Formel $T = 2\pi\sqrt{C \cdot L}$), gleich ist. Oszillator und Empfänger haben dann gleiche Eigenschwingung, „*sie befinden sich in Resonanz.*“ Verstimmt man den Empfänger, indem man seine Kapazität oder Selbstinduktion ändert, so werden die Wirkungen der elektrischen Ätherwellen auf ihn geschwächt oder ganz aufgehoben.

Schaltungen. Da der Hertz'sche Oszillator für die Ausstrahlung in den freien Raum nicht die geeignete Form hat, wird der eine Pol der Funkenstrecke mit einem hoch in die Luft ragenden Draht (*Antenne*) 1 (Fig. 1370) und der andere mit der Erde 2 verbunden. Die telegraphischen

Zeichen werden durch Niederdrücken der Taste 3 erzeugt, die den Stromkreis der Stromquelle 4 über die primären Windungen des Induktors 5 schließt. Bei dieser zuerst von Marconi angewendeten Schaltung durchlaufen die vom Oszillator erzeugten Schwingungen den Luftdraht in seiner ganzen Länge. Die zwischen Draht und Erde entstehenden elektrischen Kraftlinien stehen senkrecht auf der Erdoberfläche; die vom Draht ausgehende wellenförmige Bewegung verläuft in der oberen Hälfte im Luftraum, in der unteren in der Erde, woraus sich die größere Fernwirkung über gutleitende Wasserflächen als über Land erklärt. Die Schwingungen bei der *Marconischaltung* sind stark gedämpft, was ihre Wirkung auf den Empfänger sehr beeinträchtigt; auch reicht die Kapazität des Sendedrahtes nicht aus, um anhaltendere schwach gedämpfte Schwingungen zu liefern. Für die Herstellung solcher eignet sich mehr der von Braun angegebene *geschlossene Schwingungskreis*, den man durch Einschaltung großer *Kapazität* in Gestalt von Leidener Flaschen (oder auch Ölkondensatoren, die große Mengen elektrischer Energie aufzunehmen vermögen), einer *Selbstinduktion* in Form einer Drahtspule, und der Funkenstrecke in einen Stromkreis erhält. Wird die Flaschenbatterie durch einen Induktor geladen, so tritt der Entladungsfunke erst bei hohem Spannungsgrad ein, und es entstehen kräftige Schwingungen, deren Amplitude nur allmählich abnimmt. Damit der geschlossene Schwingungskreis Energie nach außen abgibt, wird er nach Braun mit dem offenen Marconisender gekoppelt, und zwar direkt oder induktiv. Die Schwingungen des geschlossenen Kreises werden dadurch der offenen Strombahn aufgezwungen, von der sie in den Äther übergehen. Das Resonanzprinzip erfordert, daß beide Schwingungskreise auf gleiche Wellenlänge abgestimmt werden. Zur Erleichterung der Abstimmung verwendet man veränderliche Selbstinduktionsspulen. Bei der Braunschensenderanordnung *mit induktiver Koppelung* (Fig. 1371) bilden die Selbstinduktionsspulen 6 und 7 einen Transformator, der die Schwingungen des geschlossenen Schwingungskreises auf die Strombahn des Luftdrahtes überträgt; 8 ist eine regelbare Selbstinduktionsspule zur Abstimmung, 9 die Kapazität aus Leidener Flaschen (die übrigen Ziffern wie in Fig. 1370). Eine *Selbstinduktionsspule für Großstationen* zeigt Fig. 1372. Bei *direkter Koppelung* wird der Luftdraht mittels verschiebbaren Kontakts unmittelbar mit der Spule 6 (Fig. 1371) verbunden. Um die Dämpfung der Schwingungen möglichst zu verringern, muß der Widerstand der Drähte und insbesondere der Erdleitung gering gehalten werden. Bei schlechter Erdverbindung bedient man sich eines sogenannten *Gegengewichts*, eines auf der Erdoberfläche ausgebreiteten Drahtnetzes, dessen Kapazität der des Luftdrahtes entspricht. Werden beide Spulen 6 und 7 dicht zusammengebracht, so ist die Koppelung *eng*; werden sie voneinander entfernt, so ist sie *lose*. Im ersten Fall ist die Energieübertragung höher, die Schwingungen der geschlossenen und offenen Strombahn beeinflussen sich aber so, daß sie nicht mit der Eigenschwingung der Systeme übereinstimmen, sondern unrein werden, was scharfe Abstimmung verhindert. Bei loser Koppelung erhält man schwächere, aber reine Wellen, die genauere Abstimmung ermöglichen.

Der *Empfänger* für die elektrischen Ätherwellen bildet gewissermaßen die Umkehrung des Senders. Die ankommenden Wellen erregen im Luftdraht gleiche elektrische Schwingungen, wie sie der Sender erzeugt. Um diese wahrnehmbar zu machen, bedarf es besonderer *Wellenanzeiger*

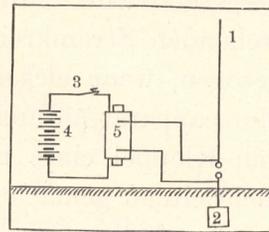


Fig. 1370. Antenne, die stark gedämpfte Wellen ausstrahlt.

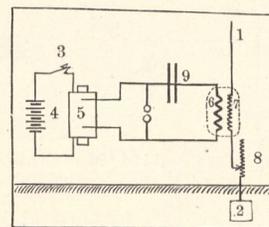


Fig. 1371. Antenne, die schwach gedämpfte Wellen ausstrahlt.

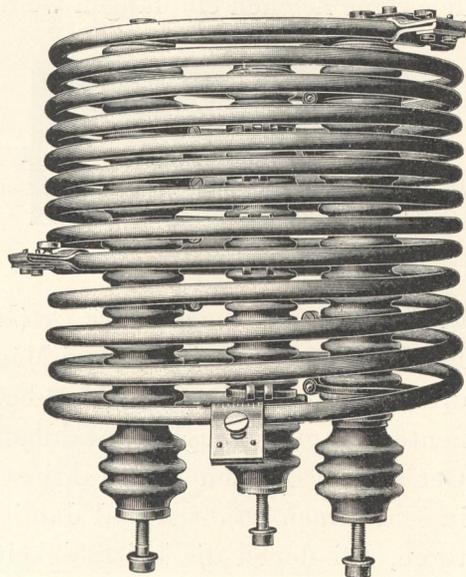


Fig. 1372. Selbstinduktionsspule für Großstationen.

Funkenstrecke 4, 5 besteht. Daß von diesem elektrische Schwingungen ausgestrahlt werden, bewies Hertz an einem davon entfernt aufgestellten *Resonator*, das ist ein metallischer Ring, der mit einer mikroskopisch kleinen Funkenstrecke versehen ist. Wenn nämlich bei 4, 5 ein elektrischer Funke überspringt, sind auch an der kleinen Funkenstrecke des Ringes schwache Funken wahrnehmbar. Bei einer der Hertz'schen Versuchsanordnungen (Fig. 1369) bringt man die Funkenstrecke in den Brennpunkt eines metallischen Hohlspiegels 5; die ausgestrahlten Wellen werden dann nach dem metallischen Planspiegel 6 hin gerichtet und von diesem wieder zurückgeworfen, so daß stehende Wellen erzeugt werden. Die ausgezogene Linie bezeichnet die von 7 ausgehende, die punktierte die von 6 reflektierte Welle. Zwischen den Knotenpunkten 1, 2, 3, 4 schwingen die Ätherteilchen auf und ab. Sucht man die Strecke mit dem oben erwähnten Resonator ab, so zeigt er an den Knotenpunkten keine Funken, wohl aber innerhalb der Wellenbäuche, und zwar am stärksten an den Stellen der weitesten Ausbuchtung. Die Entfernung zwischen den Knotenpunkten 1 und 3 oder 2 und 4 heißt die *Wellenlänge*; die Zeit, in der die Bewegung von 1 bis 3 oder von 2 bis 4 fortschreitet, d. h. in der sie vom Wert Null zum höchsten positiven Wert steigt, bis Null fällt, den höchsten negativen Wert erreicht und wieder zum Wert Null zurückkehrt, heißt die *Periode*; die Zahl der Perioden in einer Sekunde heißt die *Frequenz*; der senkrechte Abstand zwischen dem höchsten positiven und höchsten negativen Wert die *Amplitude*.

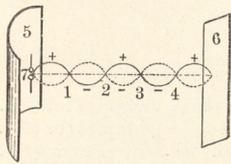


Fig. 1369. Hertz'sche Versuchsanordnung.

Die Schwingungsdauer T (Periode) hängt ab von der Kapazität C und von der Selbstinduktion L der Schwingungsbahn (d. h. des durch die Funkenstrecke 4, 5 in Fig. 1368 unterbrochenen Drahtes), entsprechend der für die Radiotelegraphie grundlegenden Formel $T = 2\pi\sqrt{C \cdot L}$ (wo $\pi = 3,14159\dots$).

Während der Funkenentladung ist die Spannung an der Funkenstrecke gleich Null, dort befindet sich demnach ein Wellenknoten; an den Enden des Drahtes bildet sich ein Wellenbauch. Verbindet man den einen Pol der Funkenstrecke mit der Erde, so entfällt auf die verbleibende Drahthälfte ein Viertel der Wellenlänge; letztere beträgt demnach das Vierfache der Länge dieses Drahtes. Außer der Schwingung mit dieser Wellenlänge entstehen Oberschwingungen, die Wellenlängen von $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$ usw. derjenigen der Grundschwingung haben. Die elektrischen Wellen schnüren sich von dem Oszillator ab und pflanzen sich im Weltäther nach allen Richtungen senkrecht zum Schwingungsdraht fort, indem immer eine Ätherschicht die benachbarte zum Mitschwingen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung erregt. Die ausgesendeten elektrischen Ätherwellen haben die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen (300 000 km in der Sekunde) und unterscheiden sich von ihnen nur durch Wellenlänge und Frequenz. (Das Produkt aus beiden ergibt wie beim Licht 300 000 km.) Die Wellenlänge des roten Lichtes beträgt bei 450 Billionen Schwingungen in der Sekunde 0,00067 mm; die kleinsten bekannten elektrischen Schwingungen haben eine Frequenzzahl von ca. 10 Millionen und eine Wellenlänge von ca. 3 cm. Die elektrischen Ätherwellen gehen durch Nichtleiter der Elektrizität ungehindert hindurch, werden dagegen durch Leiter reflektiert, polarisiert oder absorbiert.

Wie eine angeschlagene Stimmgabel eine zweite, auf denselben Ton abgestimmte durch Resonanz zum Mitschwingen bringt, so rufen die Schwingungen eines elektrischen Oszillators durch die ausgestrahlten Ätherwellen in einer entfernten metallischen Schwingungsbahn wieder Schwingungen hervor, sofern die Empfangsvorrichtung dieselben elektrischen Bedingungen bietet wie der Oszillator. Dies ist der Fall, wenn bei beiden der Faktor $C \cdot L$, d. h. das Produkt aus Kapazität und Selbstinduktion (in obiger Formel $T = 2\pi\sqrt{C \cdot L}$), gleich ist. Oszillator und Empfänger haben dann gleiche Eigenschwingung, „sie befinden sich in Resonanz.“ Verstimmt man den Empfänger, indem man seine Kapazität oder Selbstinduktion ändert, so werden die Wirkungen der elektrischen Ätherwellen auf ihn geschwächt oder ganz aufgehoben.

Schaltungen. Da der Hertz'sche Oszillator für die Ausstrahlung in den freien Raum nicht die geeignete Form hat, wird der eine Pol der Funkenstrecke mit einem hoch in die Luft ragenden Draht (*Antenne*) 1 (Fig. 1370) und der andere mit der Erde 2 verbunden. Die telegraphischen

Zeichen werden durch Niederdrücken der Taste 3 erzeugt, die den Stromkreis der Stromquelle 4 über die primären Windungen des Induktors 5 schließt. Bei dieser zuerst von Marconi angewendeten Schaltung durchlaufen die vom Oszillator erzeugten Schwingungen den Luftdraht in seiner ganzen Länge. Die zwischen Draht und Erde entstehenden elektrischen Kraftlinien stehen senkrecht auf der Erdoberfläche; die vom Draht ausgehende wellenförmige Bewegung verläuft in der oberen Hälfte im Luftraum, in der unteren in der Erde, woraus sich die größere Fernwirkung über gutleitende Wasserflächen als über Land erklärt. Die Schwingungen bei der *Marconischaltung* sind stark gedämpft, was ihre Wirkung auf den Empfänger sehr beeinträchtigt; auch reicht die Kapazität des Sendedrahtes nicht aus, um anhaltendere schwach gedämpfte Schwingungen zu liefern. Für die Herstellung solcher eignet sich mehr der von Braun angegebene *geschlossene Schwingungskreis*, den man durch Einschaltung großer *Kapazität* in Gestalt von Leidener Flaschen (oder auch Ölkondensatoren, die große Mengen elektrischer Energie aufzunehmen vermögen), einer *Selbstinduktion* in Form einer Drahtspule, und der Funkenstrecke in einen Stromkreis erhält. Wird die Flaschenbatterie durch einen Induktor geladen, so tritt der Entladungsfunke erst bei hohem Spannungsgrad ein, und es entstehen kräftige Schwingungen, deren Amplitude nur allmählich abnimmt. Damit der geschlossene Schwingungskreis Energie nach außen abgibt, wird er nach Braun mit dem offenen Marconisender gekoppelt, und zwar direkt oder induktiv. Die Schwingungen des geschlossenen Kreises werden dadurch der offenen Strombahn aufgezwungen, von der sie in den Äther übergehen. Das Resonanzprinzip erfordert, daß beide Schwingungskreise auf gleiche Wellenlänge abgestimmt werden. Zur Erleichterung der Abstimmung verwendet man veränderliche Selbstinduktionsspulen. Bei der Braunschen Senderanordnung mit *induktiver Koppelung* (Fig. 1371) bilden die Selbstinduktionsspulen 6 und 7 einen Transformator, der die Schwingungen des geschlossenen Schwingungskreises auf die Strombahn des Luftdrahtes überträgt; 8 ist eine regelbare Selbstinduktionsspule zur Abstimmung, 9 die Kapazität aus Leidener Flaschen (die übrigen Ziffern wie in Fig. 1370). Eine *Selbstinduktionsspule für Großstationen* zeigt Fig. 1372. Bei *direkter Koppelung* wird der Luftdraht mittels verschiebbaren Kontakts unmittelbar mit der Spule 6 (Fig. 1371) verbunden. Um die Dämpfung der Schwingungen möglichst zu verringern, muß der Widerstand der Drähte und insbesondere der Erdleitung gering gehalten werden. Bei schlechter Erdverbindung bedient man sich eines sogenannten *Gegengewichts*, eines auf der Erdoberfläche ausgebreiteten Drahtnetzes, dessen Kapazität der des Luftdrahtes entspricht. Werden beide Spulen 6 und 7 dicht zusammengebracht, so ist die Koppelung *eng*; werden sie voneinander entfernt, so ist sie *lose*. Im ersten Fall ist die Energieübertragung höher, die Schwingungen der geschlossenen und offenen Strombahn beeinflussen sich aber so, daß sie nicht mit der Eigenschwingung der Systeme übereinstimmen, sondern unrein werden, was scharfe Abstimmung verhindert. Bei loser Koppelung erhält man schwächere, aber reine Wellen, die genauere Abstimmung ermöglichen.

Der **Empfänger** für die elektrischen Ätherwellen bildet gewissermaßen die Umkehrung des Senders. Die ankommenden Wellen erregen im Luftdraht gleiche elektrische Schwingungen, wie sie der Sender erzeugt. Um diese wahrnehmbar zu machen, bedarf es besonderer *Wellenanzeiger*

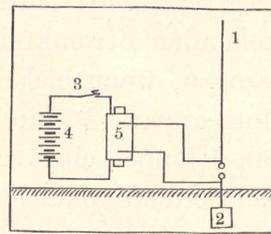


Fig. 1370. Antenne, die stark gedämpfte Wellen ausstrahlt.

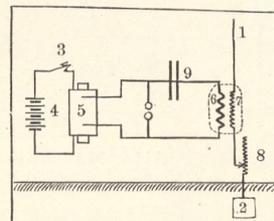


Fig. 1371. Antenne, die schwach gedämpfte Wellen ausstrahlt.

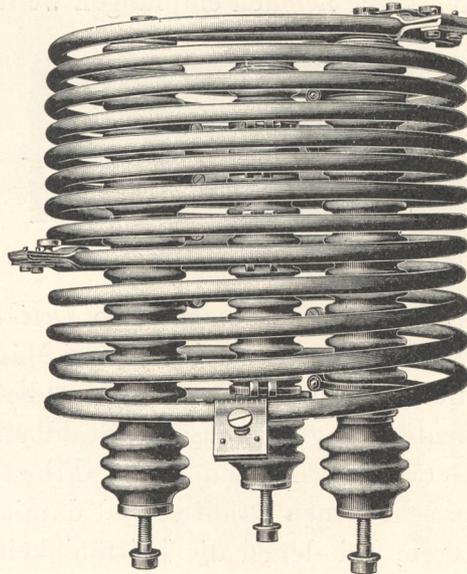


Fig. 1372. Selbstinduktionsspule für Großstationen.

(*Detektoren*). Als ein solcher wurde der Branly'sche *Kohärer* oder *Fritter* von Marconi eingeführt. Der Fritter (8 in Fig. 1373), ein luftdicht abgeschlossenes Glasröhrchen mit lose geschichteten Metallspänen (aus Silber, Nickel, Stahl usw.) und zwei Metallpolen, leitet für gewöhnlich den elektrischen Strom nicht, verliert aber seinen hohen Widerstand, wenn er elektrischen Strahlungen ausgesetzt wird. Mit dem Luftdraht 1 verbunden und in den aus Element 3 und Relais 5 bestehenden Stromkreis geschaltet, leitet er den Strom. Der Anker des Relais wird daher angezogen, wenn elektrische Schwingungen auf den Luftdraht treffen. Das Relais betätigt einen Morseapparat 7 durch Batterie 4. Nach Aufhören der Schwingungen wird der Fritter 8 durch den Klöppel eines mit im Stromkreis von 5 gelegenen Klopfers 6 erschüttert und so wieder nichtleitend gemacht; 2 ist die Erdleitung. Um die Empfängerschaltung in Resonanz mit der Senderschaltung zu bringen (auf die Wellenlänge des Senders abzustimmen), benutzt man verschiedene Schaltungsweisen, so nach *System Telefunken* (Fig. 1374) durch Verschiebung des Kontakts 3 an der Selbstinduktionsspule 4 und durch Veränderung der Kapazität des Kondensators 5 (6 und 7 sind unveränderliche Kondensatoren). Durch den von den veränderlichen Selbstinduktionsspulen 8 und 9 gebildeten Schwingungstransformator 10 werden die Schwingungen auf den geschlossenen Schwingungskreis übertragen, in dem der Fritter 11 und ein konstanter Kondensator 12 liegt. Dieser Stromkreis wird ebenfalls in Resonanz mit dem Luftdraht gebracht. Die Koppelung zwischen den Spulen 8 und 9 wird durch großen Abstand beider zwecks scharfer Abstimmung lose gehalten; die Kapazität des geschlossenen Kreises läßt sich durch den regelbaren Kondensator 13 ändern (1 Antenne, 2 Erdleitung).

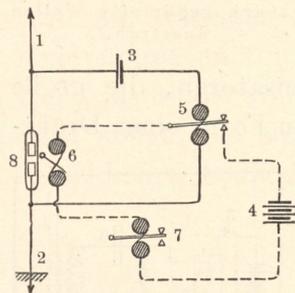


Fig. 1373. Alte Marconi-station (Empfänger).

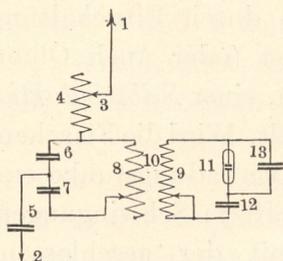


Fig. 1374. Empfangsschaltung nach System Telefunken.

Dieser Stromkreis wird ebenfalls in Resonanz mit dem Luftdraht gebracht. Die Koppelung zwischen den Spulen 8 und 9 wird durch großen Abstand beider zwecks scharfer Abstimmung lose gehalten; die Kapazität des geschlossenen Kreises läßt sich durch den regelbaren Kondensator 13 ändern (1 Antenne, 2 Erdleitung).

Zur Überwindung des Fritterwiderstandes ist ein bestimmter Spannungsgrad nötig, ohne den keine Zeichen empfangen werden; deshalb verwendet man statt des Fritters oder mit ihm zu-

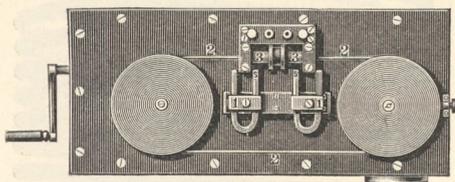


Fig. 1375. Magnetischer Detektor von Marconi.

gleich empfindlichere Wellenempfänger, die auch schwächere Wellen anzeigen, aber meist nur ein Abhören der Morsezeichen mit dem Telephon gestatten. Hierher gehören *elektrolytische Zellen* (z. B. die *Schlömilchzelle* des Systems Telefunken, *Flüssigkeitsbarreter* von Fessenden und andere), in denen die durch schwachen galvanischen Strom erregte Gasentwicklung unter Einfluß der elektrischen Schwingungen verstärkt wird; ferner der *magnetische Detektor von Marconi* (Fig. 1375) und die *Hitzdraht-Wellenempfänger*. Bei ersterem wird ein an zwei Magneten 1 vorbeigeführtes Stahlband 2 durch zwei mit dem Luftdraht gekoppelte Drahtspulen 3 beeinflusst; die auftreffenden Schwingungen verändern den remanenten Magnetismus des Stahlbandes und verursachen im angeschalteten Fernhörer knackende Geräusche. In den Hitzdrahtinstrumenten rufen die Schwingungen Temperaturveränderungen in sehr feinen Drähten und damit Widerstandsschwankungen hervor. Auch gibt es Wellendetektoren, bei denen die Leitfähigkeit eines eingeschlossenen erhitzten Gases durch die Wellen geändert wird, z. B. bei dem *Glühlampendetektor* von Fleming. Für den Schreibempfang verwendet man meist noch den Fritter.

2. Radiotelegraphische Systeme.

Die Unterschiede zwischen den radiotelegraphischen Systemen bestehen nur in Verschiedenheiten der Schaltungen und der Apparate, insbesondere der Funkeninduktoren, Stromunterbrecher des Primärkreises der Induktoren, Schwingungstransformatoren und Kondensatoren.

Die Ermittlung der Längen der ankommenden Wellen erfolgt mittels *Wellenmesser*, die auf dem Prinzip der Resonanz beruhen; sie lassen an einem Hitzdrahtthermometer die Wirkung

der Schwingungen auf einen geschlossenen Schwingungskreis aus veränderlichen Kapazitäten und Selbstinduktionen erkennen und werden abgeglichen, bis die Wirkung ein Maximum wird. Neue Universalmeßinstrumente gestatten gleichzeitig Messungen der Wellenlängen, Aufnahme von Resonanzkurven und Messung der Dämpfung. Die Abstimmung auf eine Wellenlänge läßt sich bei den modernen Stationen so genau ausführen, daß die Korrespondenz zwischen zwei mit bestimmter Wellenlänge arbeitenden Stationen von anderen in ihrem Bereich liegenden Stationen nicht gestört wird, wenn deren Wellenlänge um mehr als 4 Proz. größer oder kleiner ist. Absichtliches Auffangen von Telegrammen durch dritte Stationen läßt sich nicht verhindern; man braucht nur die Länge der verwendeten Welle durch Wellenmesser zu bestimmen und danach die Empfänger einzustellen.

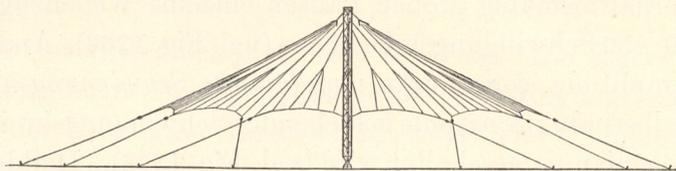


Fig. 1376. Antenne der Station Nauen.

Zum Ausstrahlen und zum Empfang der Wellen dient dieselbe *Antenne* (durch Umschalter

entweder mit der Sende- oder mit der Empfangsvorrichtung zu verbinden); sie besteht (Fig. 1376) aus Drahtgebilden in Form von Fächern, Harfen, Zylindern, Kegeln, Schirmen und wird zwischen einzelnen hohen Masten und der Erde, wie bei der Großstation Nauen, oder zwischen mehreren Türmen oder Masten, wie bei den Stationen in Norddeich und den großen atlantischen Marconistationen, ausgespannt, auf Schiffen zwischen den Masten aufgehängt. Form und Höhe richten sich nach der zu erzielenden Reichweite. Die Türme und Masten der Großstationen sind 100 m hoch und höher; die Energie der bei ihnen zur Erregung der Wellen verwendeten Maschinen beträgt bis zu 70 Kilo-

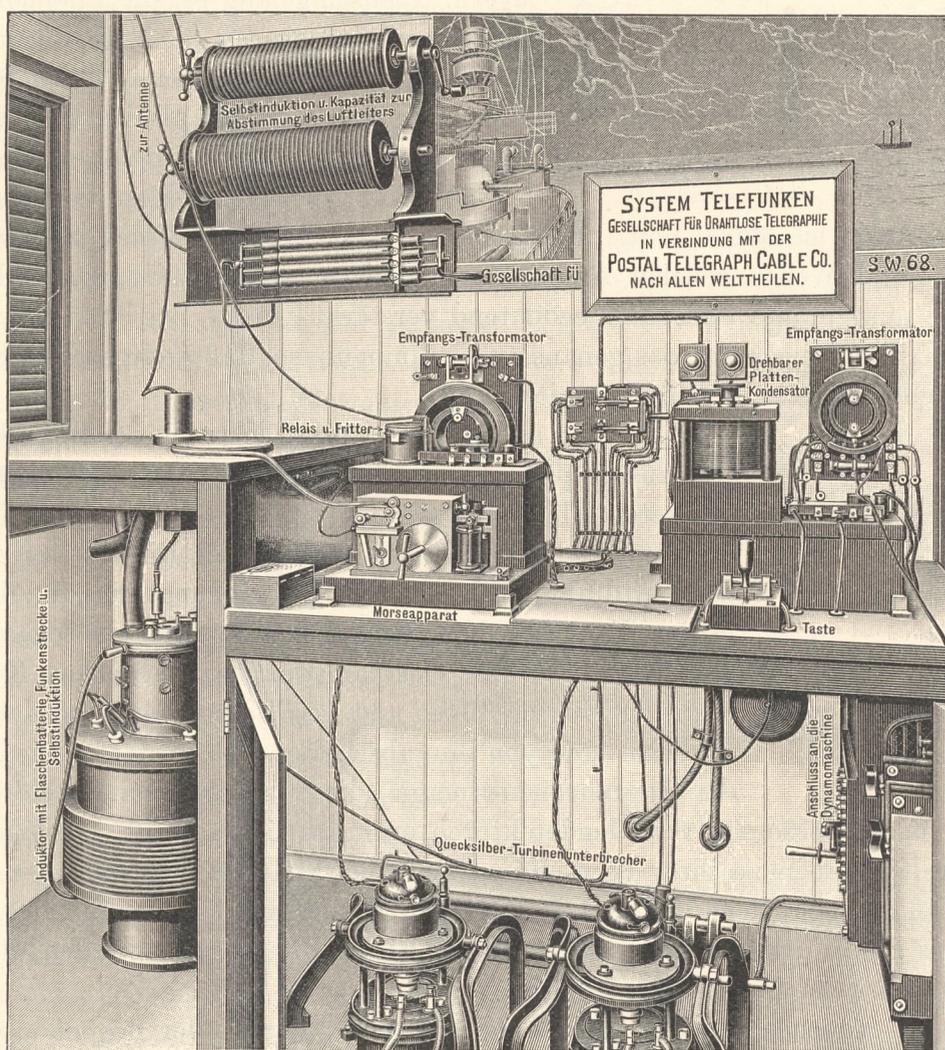


Fig. 1377. Schiffsstation nach dem System Telefunken.

watt, die Wellenlängen bis zu mehreren tausend Metern. Gewöhnliche Küsten- und Bordstationen verwenden Wellenlängen von 300 und 600 m und haben 300—1000 km Reichweite; der Kraftaufwand beträgt bei ihnen ca. 1 Kilowatt. Der Abstand der Station Clifden an der Küste von Irland von der Station Glace Bay in Neuschottland beträgt ca. 3200 km. Die Großstation Nauen hat Dampfmaschinen Telegramme über 4000 km weit übermittelt. Die Reichweite der Stationen wechselt oft; der Grund ist die wechselnde Beschaffenheit der Erdatmosphäre. Das Tageslicht setzt die Durchlässigkeit der Luft für die elektrischen Wellen herab. Atmosphärische

Entladungen stören den Betrieb der Stationen, namentlich wenn als Wellendetektor der Fritter dient. Fig. 1377 zeigt eine sowohl für den Empfang mit Schreibapparat (mittels Fritters) als auch für den Empfang mit Hörern (mittels elektrolytischer Zelle) eingerichtete Schiffsstation.

Ungedämpfte Schwingungen. Bei der Erzeugung von elektrischen Schwingungen durch Funkenentladungen (10—12 in der Sekunde, bei neueren Apparaten auch 30—100) entstehen in verhältnismäßig großen Pausen einzelne Wellenzüge, die bei genügend schwacher Dämpfung aus 20—50 Schwingungen bestehen (vgl. Fig. 1366). Andauernde Schwingungen mit annähernd gleicher Amplitude, sogenannte *ungedämpfte Schwingungen*, erhält man, wenn ein aus Kondensator und Selbstinduktionsspule bestehender Schwingungskreis parallel zu dem Lichtbogen einer Gleichstrombogenlampe geschaltet wird (vgl. Fig. 1378). Duddel wies 1900 nach, daß bei geeigneter Wahl der Kapazität und Selbstinduktion der Gleichstromlichtbogen einen Ton gibt, was dadurch erklärt

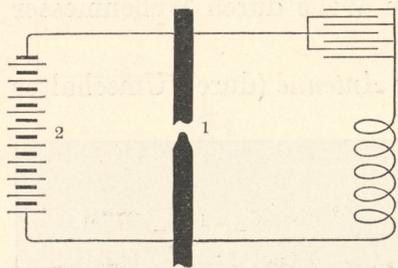


Fig. 1378. Duddelscher Schwingungskreis.

wird, daß der Kondensator sich in schneller Folge abwechselnd ladet und entladet, daß mithin im Schwingungskreise Wechselströme entstehen, die sich im Lichtbogen über den Gleichstrom lagern. Poulson gelang es, die Frequenz dieser Wechselströme so zu steigern, daß sie für die Radiotelegraphie brauchbar wurden. Die Stärke (Amplitude) der so erzeugten Schwingungen ist allerdings erheblich geringer als bei Funkenentladungen; die Spannung beträgt bei den benutzbaren Bogenlampen höchstens 400 bis 500 Volt, bei den bisher verwendeten Funkenentladungen ca. 40000 bis 50000 Volt. Dafür haben diese *kontinuierlichen Schwingungen* aber den Vorzug, dauernd Wellen gleicher Amplitude zu liefern, deren Wirkung auf den Empfängerkreis durch die ausgeprägte Resonanz bedeutend verstärkt wird. Bei ihrer Anwendung kann man Sender und Empfänger auf das genaueste abstimmen, so daß weitgehende Störungsfreiheit gegen die Wellen anderer Stationen erzielt wird.

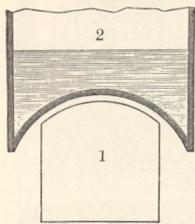


Fig. 1379. Poulsons Bogenlampe (1 Kohlenelektrode; 2 hohle, gekühlte Kupferelektrode).

Poulson stellt die negative Elektrode der Bogenlampe aus Kohle, die positive aus Kupfer her und kühlt letztere dauernd mit einem durch deren Inneres geleiteten Flüssigkeitsstrom (vgl. Fig. 1379); der Lichtbogen brennt in einer Wasserstoffatmosphäre und steht unter Einwirkung eines magnetischen Feldes, der Luftdraht wird mit dem Schwingungskreis induktiv gekoppelt. Als Empfänger dient bei dem System von Poulson ein sogenannter *Tikker* mit Hörer. Der Tikker ist eine elektromagnetisch betriebene Kontaktvorrichtung, die in schneller Folge geöffnet und geschlossen wird und dabei den Hörer an den Luftdraht an- und von ihm abschaltet. Er gestattet gewissermaßen Aufspeicherung der empfangenen Energie, die dann jedesmal im Hörer wirksam wird. Die Anwendung besonderer Wellendetektoren erübrigt sich dabei. Die Vorzüge der kontinuierlichen Wellen haben zu ihrer Verwendung auch bei anderen Systemen der Radiotelegraphie geführt. Man erzeugt solche Wellen z. B. auch durch eine Reihe hintereinander geschalteter Bogenlampen (bis zwölf; System Telefunken), deren Elektroden gekühlt werden, die aber in Luft und ohne magnetische Beeinflussung brennen.

Tönende Funken. Die Wellenerzeugung mittels der Bogenlampe hat in die Praxis wegen verschiedener technischer Schwierigkeiten noch nicht recht Eingang gefunden. Dagegen ist die Funkenmethode jetzt sehr verbessert. Schon mit der ausgedehnten Verwendung von Hörempfängern hatte man erkannt, daß eine Vermehrung der Funken beim Sender den Wirkungsgrad erheblich verbesserte. Während bei Anwendung des Kohälers oder Fritters die günstigste Funkenzahl etwa 20 in der Sekunde beträgt und eine Steigerung darüber nur Verschwendung von Energie bedeutet, da der Kohärer nur auf die momentane Spannung der vom Empfänger aufgefangenen Schwingungen anspricht, ergab die Vermehrung der Funken bei Anwendung anderer Detektoren eine erhebliche Vergrößerung der Reichweiten, so daß Stationen schon mit den bisher gebräuchlichen Apparaten bisweilen das Drei- und Vierfache ihrer normalen Reichweiten erzielten.

Die Funkenfolge war dabei auf 50—100 in der Sekunde gesteigert. Immerhin war hierbei die Ausnutzung der im Sendersystem aufgewendeten Energie verhältnismäßig ungünstig, denn die Schwingungen sind auch bei Anwendung des geschlossenen Schwingungskreises noch ziemlich stark gedämpft, außerdem nicht völlig rein. Man kam nicht über die Schwierigkeiten hinweg, die sich bei der Koppelung des geschlossenen Schwingungskreises mit dem offenen der ausstrahlenden Antenne bot.

Aufklärung über diesen Punkt brachten erst Untersuchungen von M. Wien. Die Kurve I in Fig. 1380 zeigt den Verlauf der Schwingungen in einem geschlossenen Schwingungskreis aus der bisher gebräuchlichen Funkenstrecke, der Kapazität (Leidener Flaschen oder Ölkondensatoren) und einer Selbstinduktionsspule; die Kurve II gibt den Schwingungsvorgang in dem mit dem ersten durch einen Schwingungstransformator gekoppelten Kreis, z. B. der Antenne, wieder. Die Schwingung setzt mit der größten Stärke ein und nimmt schnell ab, bis bei 1 der Wert Null erreicht ist. Hier würde ohne die Einwirkung des zweiten Schwingungskreises der Schwingungsvorgang enden. In dem sekundären Kreis beginnen die Schwingungen erst allmählich, sie erreichen ihren größten Wert in dem Augenblick, in dem diejenigen des ersten Kreises den Wert Null haben; wenn nun der erste Schwingungskreis völlig unterbrochen wäre, könnte der zweite auf den ersten keine Einwirkung haben. Die völlige Unterbrechung tritt aber im ersten Kreis nicht ein, denn die beiden Funkenelektroden und die sie umgebenden Luftschichten sind durch die vorausgegangene Entladung so erhitzt, daß sie nur geringen elektrischen Widerstand haben. Schon unter geringer Induktionswirkung des zweiten Kreises wird die Funkenstrecke wieder durchschlagen, so daß der Schwingungsvorgang, wenn auch bei verminderter Amplitude, von neuem einsetzt. Die Energie wandert so zwischen beiden Kreisen hin und her, bis sie infolge des Verlustes durch die Dämpfung im System und durch Ausstrahlung verzehrt wird. Bekanntlich ist es für die Ausbildung wirksamer Schwingungen erforderlich, daß sie der Eigenschwingung des Kreises völlig entsprechen. Werden die Schwingungen der beiden obigen Kreise mittels Herstellung von Resonanzkreisen aufgenommen, so zeigt sich, daß in dem ausstrahlenden Sekundärkreis nicht eine, sondern zwei Schwingungen entstehen, von denen die eine größer, die andere kleiner als die Eigenschwingung des Kreises ist. Hierdurch wird die Einwirkung der Sendestation auf die mit ihr auf die gleiche Eigenschwingung abgestimmte Empfangsstation stark beeinträchtigt, ja eine ganz scharfe Abstimmung überhaupt unmöglich, sofern man nicht beim Sender zur Vermeidung der Rückwirkung des zweiten Kreises auf den ersten die Koppelung ganz lose wählen will. Dies würde aber große Verluste an Energie bedeuten. M. Wien fand nun bei Anwendung von Funkenstrecken mit ganz kleinem Elektrodenabstand (Bruchteile eines Millimeters), daß ihr Widerstand nach Abklingen der ersten Schwingung, Punkt 1 in Fig. 1380, schnell wieder zunimmt. Funken von ganz geringer Schlagweite erhitzen die Elektroden und die zwischen ihnen befindlichen Luftschichten nicht sonderlich; die Funkenstrecke wird sogleich wieder völlig nichtleitend, die Schwingungsbahn ist somit völlig unterbrochen, und die Induktionswirkung des sekundären Kreises vermag daher im primären keine neuen Schwingungen auszulösen. Wie die Kurve I der Fig. 1381 zeigt, endet der Schwingungsvorgang im primären Kreis völlig, sobald die Amplitude bei 1 den Wert Null erreicht. Die in den sekundären Kreis übertragene Energie schwingt in diesem nun unbeeinflusst in der Eigenschwingung desselben weiter, wie aus der Kurve II in Fig. 1381 hervorgeht. Die allmähliche Abnahme wird lediglich durch

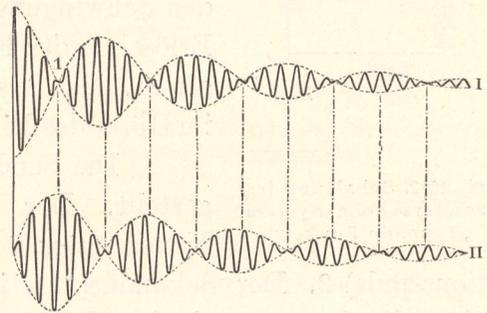


Fig. 1380. Primärer (I) und sekundärer (II) Schwingungskreis.

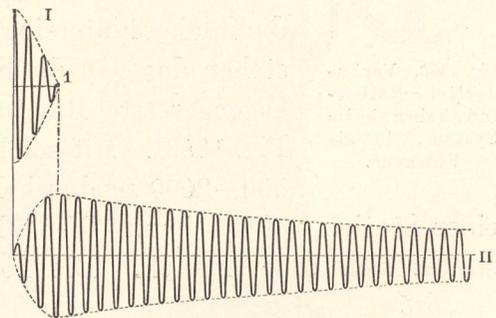


Fig. 1381. Primärer (I) und sekundärer (II) Schwingungskreis.

wirkung der Sendestation auf die mit ihr auf die gleiche Eigenschwingung abgestimmte Empfangsstation stark beeinträchtigt, ja eine ganz scharfe Abstimmung überhaupt unmöglich, sofern man nicht beim Sender zur Vermeidung der Rückwirkung des zweiten Kreises auf den ersten die Koppelung ganz lose wählen will. Dies würde aber große Verluste an Energie bedeuten. M. Wien fand nun bei Anwendung von Funkenstrecken mit ganz kleinem Elektrodenabstand (Bruchteile eines Millimeters), daß ihr Widerstand nach Abklingen der ersten Schwingung, Punkt 1 in Fig. 1380, schnell wieder zunimmt. Funken von ganz geringer Schlagweite erhitzen die Elektroden und die zwischen ihnen befindlichen Luftschichten nicht sonderlich; die Funkenstrecke wird sogleich wieder völlig nichtleitend, die Schwingungsbahn ist somit völlig unterbrochen, und die Induktionswirkung des sekundären Kreises vermag daher im primären keine neuen Schwingungen auszulösen. Wie die Kurve I der Fig. 1381 zeigt, endet der Schwingungsvorgang im primären Kreis völlig, sobald die Amplitude bei 1 den Wert Null erreicht. Die in den sekundären Kreis übertragene Energie schwingt in diesem nun unbeeinflusst in der Eigenschwingung desselben weiter, wie aus der Kurve II in Fig. 1381 hervorgeht. Die allmähliche Abnahme wird lediglich durch

die eigene Dämpfung des Sekundärkreises bestimmt. Bei der beschriebenen Beschaffenheit des primären Schwingungskreises kann man nun die Koppelung ganz eng wählen, dadurch läßt sich fast die gesamte Schwingungsenergie in den sekundären Kreis übertragen; es treten nicht mehr, wie früher, zwei Wellen verschiedener Länge auf, sondern nur noch eine, und zwar diejenige, die

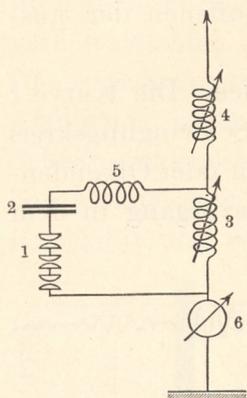


Fig. 1382. Schaltung des Senders beim System „Tönende Funken“.

der Eigenschwingung des sekundären Systems entspricht und daher am kräftigsten ausgebildet wird. Nach der Art der Erzeugung der Schwingungen hat man das Verfahren zuerst mit *Stoßerregung* bezeichnet; Wien selbst nannte die kleinen Funken wegen des dabei entstehenden zischenden Geräusches *Zischfunken*. Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie *Telefunken*, die auf der Erfindung Wiens ein neues System aufgebaut hat, wendet für den Schwingungserzeuger den Namen *Löschfunkenstrecke* an, da das schnelle Erlöschen des Funkens im primären Kreis das Wesentliche der Erzeugungsart ist. Das System selbst wird als das der *tönenden Funken* bezeichnet, weil im Hörer des Empfängers ein musikalischer Ton bestimmter Tonhöhe auftritt.

Die Senderanordnung dieses Systems ist in Fig. 1382 und 1383 dargestellt. Der Erregerkreis besteht aus der Löschfunkenstrecke 1, dem Kondensator 2 und dem Koppelungsvariometer (verstellbare Selbstinduktionsspule) 3. Der Sekundärkreis ist an das Koppelungsvariometer unmittelbar angeschlossen, oben die Antenne mit der Verlängerungsspule 4, unten die Erde oder das Gegengewicht über einen Strommesser 6. Die kleine Induktionsspule 5 dient zu geringen Änderungen des Koppelungsgrades, der für gewöhnlich unverändert bleibt. Die

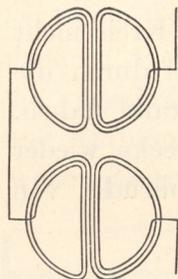


Fig. 1383. Veränderliche Selbstinduktion beim System „Tönende Funken“.

Änderung der Wellenlängen erfolgt durch Änderung der Selbstinduktion der Schwingungskreise, während früher meist die Kapazitäten (Drehplattenkondensatoren usw.) geändert wurden. Die veränderlichen Selbstinduktionsspulen (*Variometer*) bestehen aus einer festen und einer drehbaren kreisrunden Platte, in die Drahtwindungen eingelassen sind. Wird die bewegliche Scheibe so gedreht, daß die Spulen hintereinander geschaltet sind, so ist die Selbstinduktion am höchsten; stehen dagegen die Scheiben derart, daß die Spulen bei Parallelschaltung entgegengesetzte Richtung haben, so ist die Selbstinduktion am niedrigsten (vgl. Fig. 1383). Mit solchem Variometer läßt sich jede Wellenlänge im Bereich von 500—2000 m durch Drehen der beweglichen Platte einstellen. Die Abstimmung

einer Station auf bestimmte Wellenlänge gestaltet sich sehr einfach. Die Koppelung

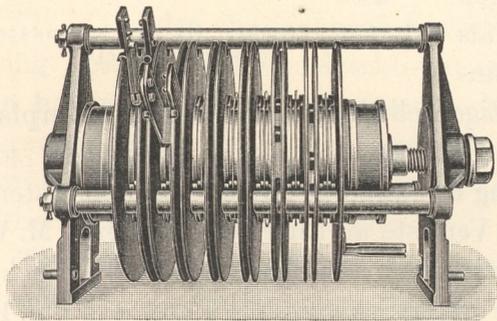


Fig. 1384. Reihen-Funkenstrecke beim System „Tönende Funken“.

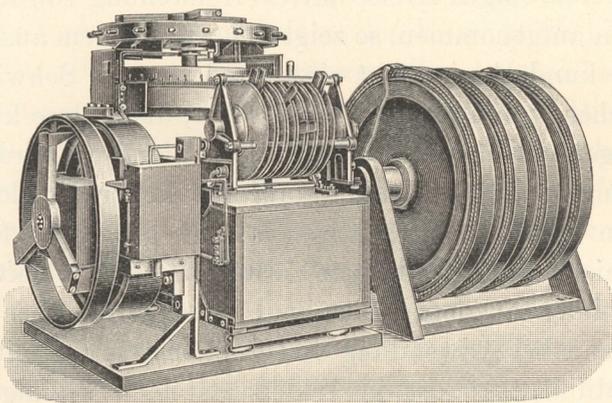


Fig. 1385. Vollständiger Sender für 2 Kilowatt (System „Tönende Funken“).

wird möglichst eng gewählt, jedoch in solchen Grenzen, daß eine Rückwirkung des sekundären Kreises auf den primären ausgeschlossen ist.

Um im Empfänger einen reinen Ton hervorzubringen, muß man die Funkenfolge beim Sender so regeln, daß ihre Zahl im Bereich der akustisch am besten wahrnehmbaren Schwingungen liegt, und daß sie gleichmäßig bleibt. Daher wird zum Betrieb des Senders durch eine Dynamomaschine besonderer Bauart Wechselstrom erzeugt, der in der Sekunde eine bestimmte

Anzahl Wechsel zwischen 500 und 2000 hat. Bei jedem Wechsel entsteht eine Funkenentladung. Infolge der Regelmäßigkeit der Entladungen bildet sich im Empfangshörer ein musikalischer Ton aus, dessen Höhe durch die Funkenzahl in einer Sekunde bestimmt wird. Verschiedene Stationen lassen sich demnach durch verschiedene Tonhöhe unterscheiden. Zur Speisung der Funkenstrecke wird der Maschinenstrom mittels Induktors auf 4000—70 000 Volt transformiert. Die zur Anwendung gelangende Löschfunkenstrecke besteht aus einer Zahl hintereinander geschalteter Teilfunkenstrecken; diese haben, wie Fig. 1384 zeigt, ringförmige Elektroden, die wegen der erforderlichen schnellen Abkühlung aus Metallen von guter Leitfähigkeit, z. B. aus Silber oder Kupfer, hergestellt werden. Der Abstand der Elektroden beträgt nur Bruchteile eines Millimeters; am Rande werden die Elektroden durch eine isolierende Zwischenlage auseinandergehalten. Beim Arbeiten mit nahen Stationen wird nicht die volle Energie des Senders angewendet, sondern nur ein Teil. In diesem Fall ist eine Anzahl der Teilfunkenstrecken kurz zu schließen, wodurch diese ausgeschaltet werden; man kann bei Kurzschließung der Hälfte der Funkenstrecken mit einem Viertel der höchsten Energie arbeiten. Der sekundäre Schwingungskreis, der eigentliche Träger des Schwingungsvorgangs, bedarf einer sehr sorgfältigen Ausführung, damit nicht die Schwingungen durch Leitungswiderstände, Nebenentladungen usw. eine nutzlose Dämpfung erfahren. Die in ihm auftretenden Stromstärken sind ganz erheblich, z. B. bei einer Zweikilowattstation mit 1000 km Antennenkapazität etwa 13 Ampere. Deshalb müssen die Antennendrähte und die Variometer gut leitend und hervorragend gut isoliert sein. Die Variometer werden zur Verhinderung von Wirbelstromverlusten aus sehr feinen, unterteilten, für sich isolierten Kupferdrähten hergestellt: bei einer Zweikilowattstation besteht die Spulenwicklung aus 480 parallelgeschalteten Einzeldrähten; der gesamte Antennenwiderstand ist nicht höher als 6 Ohm.

Die Energieausnutzung bei einer derartigen Senderanordnung ist so günstig, wie sie bisher bei drahtlosen Stationen unbekannt war. Im Hochfrequenzkreis, also zwischen dem primären und sekundären Schwingungskreis, beträgt sie 85 Proz., beim Induktor 80 und bei der Stromerzeugungsmaschine 75 Proz. Im ganzen werden demnach 50 Proz. der aufgewendeten Maschinenleistung in der Antenne wirksam. Bei den gewöhnlichen Funkenstationen erreicht diese Energie nur 20 Proz., bei Anwendung der Bogenlampe als Schwingungserzeuger sogar nur 15 Proz. Einen vollständigen Sender für tönende Funken zeigt Fig. 1385.

Als Wellenempfänger bei der Empfangsstation kann die elektrolytische Zelle oder besser einer der neueren Kontaktdetektoren dienen, z. B. der *Bleiglanzdetektor*. Dieser besteht aus einer Bleiglanzplatte, auf der ein feiner Graphitstift mit leichtem Druck ruht; er hat die Eigenschaft, die von der Antenne aufgefangenen Wechselstromschwingungen in pulsierenden Gleichstrom umzuwandeln. Diese Gleichrichterwirkung wird durch die Bildung eines Thermoelements unter Einfluß der elektrischen Wellen erklärt. Der pulsierende Gleichstrom wird ohne weiteres dem

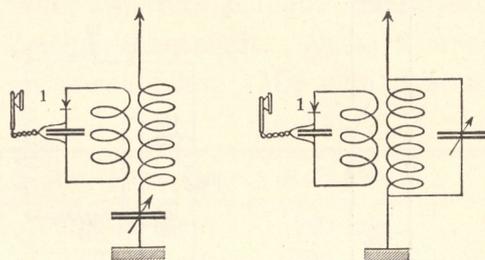


Fig. 1386.

Fig. 1387.

Fig. 1386 und 1387. Schaltung des Hörempfängers (System „Tönende Funken“).

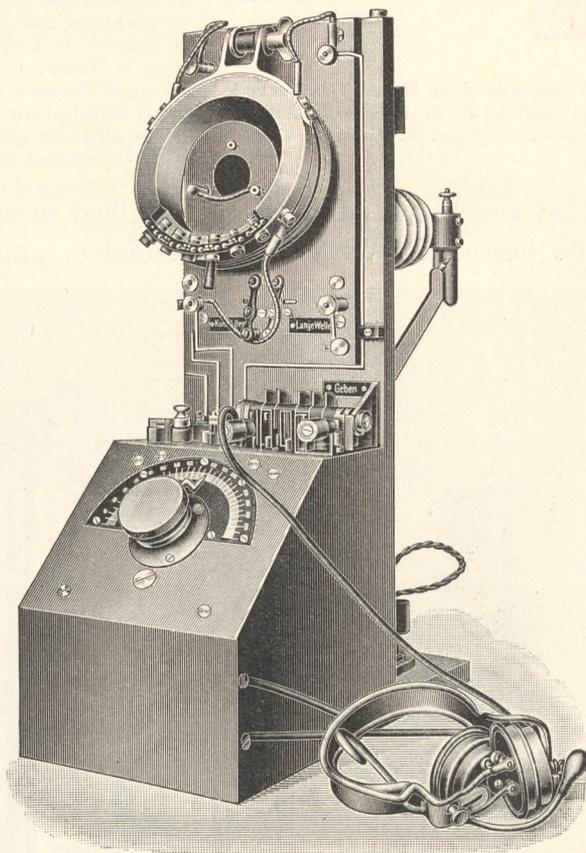


Fig. 1388. Hörempfänger für alle Wellenlängen (System „Tönende Funken“).

Hörer zugeführt. Da die Impulse des Gleichstroms an Zahl den im Sender erzeugten Funkenentladungen gleich sind, so wird die Membran des Hörers in entsprechende Schwingungen versetzt, die im Rhythmus der abgegebenen Morsezeichen als musikalischer Ton wahrnehmbar sind und sich infolge ihres charakteristischen Klanges von allen anderen Geräuschen deutlich unterscheiden. Da der Sender nur eine einzige Welle (nicht, wie bei der früheren Koppelung, zwei) aussendet, so ist eine scharfe Abstimmung des Empfängers auf diese Welle unter Ausnutzung der Resonanz leicht erreichbar.

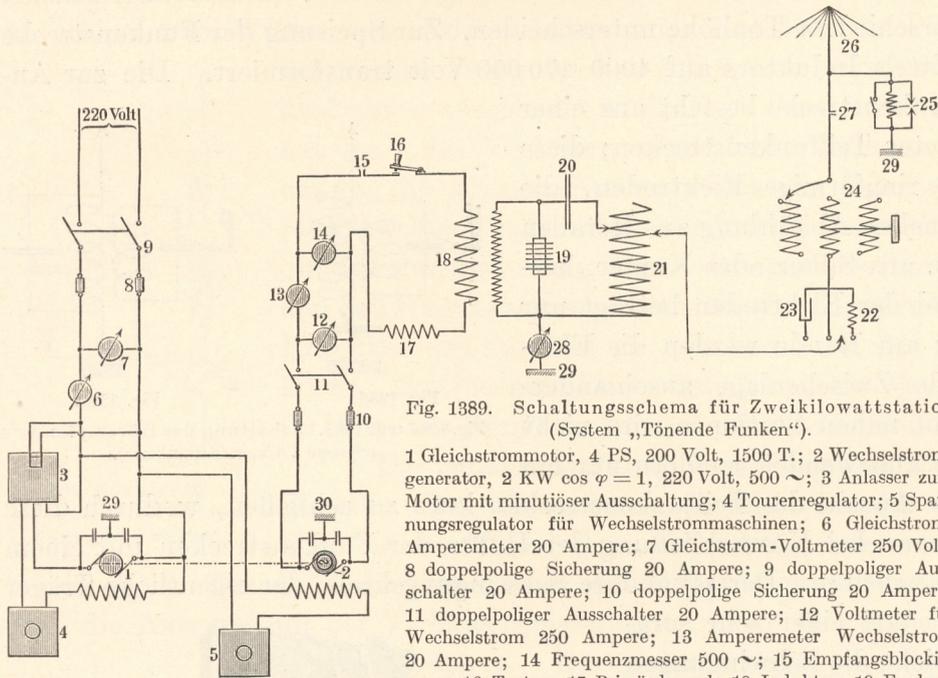


Fig. 1389. Schaltungschema für Zweikilowattstation (System „Tönende Funken“).

1 Gleichstrommotor, 4 PS, 200 Volt, 1500 T.; 2 Wechselstromgenerator, 2 KW $\cos \varphi = 1$, 220 Volt, 500 \sim ; 3 Anlasser zum Motor mit minutiöser Ausschaltung; 4 Tourenregulator; 5 Spannungsregulator für Wechselstrommaschinen; 6 Gleichstrom-Ampere meter 20 Ampere; 7 Gleichstrom-Voltmeter 250 Volt; 8 doppelpolige Sicherung 20 Ampere; 9 doppelpoliger Ausschalter 20 Ampere; 10 doppelpolige Sicherung 20 Ampere; 11 doppelpoliger Ausschalter 20 Ampere; 12 Voltmeter für Wechselstrom 250 Ampere; 13 Amperemeter Wechselstrom 20 Ampere; 14 Frequenzmesser 500 \sim ; 15 Empfangsblockierung; 16 Taster; 17 Primärdrossel; 18 Induktor; 19 Funkenstrecke (achtteilig); 20 zwei Flaschen zu je 12500 cm; 21 Erregerselbstinduktion; 22 Antennen-Verlängerungselbstinduktion; 23 Antenne-Verkürzungskapazität; 24 Schiebevariometer mit zwei festen Wellen; 25 Blitzschutzvorrichtung; 26 Antenne; 27 Antenne-Umschalter; 28 aperiodisches Amperemeter bis 25 Ampere; 29 Erde; 30 Hochfrequenzsicherung.

1387 ersichtlich. Der Detektor 1 liegt in einem besonderen Kreis; dieser braucht aber nicht auf die bestimmte Wellenlänge besonders abgestimmt zu sein und an dem Schwingungsvorgang teilzunehmen, er ist vielmehr aperiodisch. Einen vollständigen Apparatsetz für den Empfang zeigt Fig. 1388.

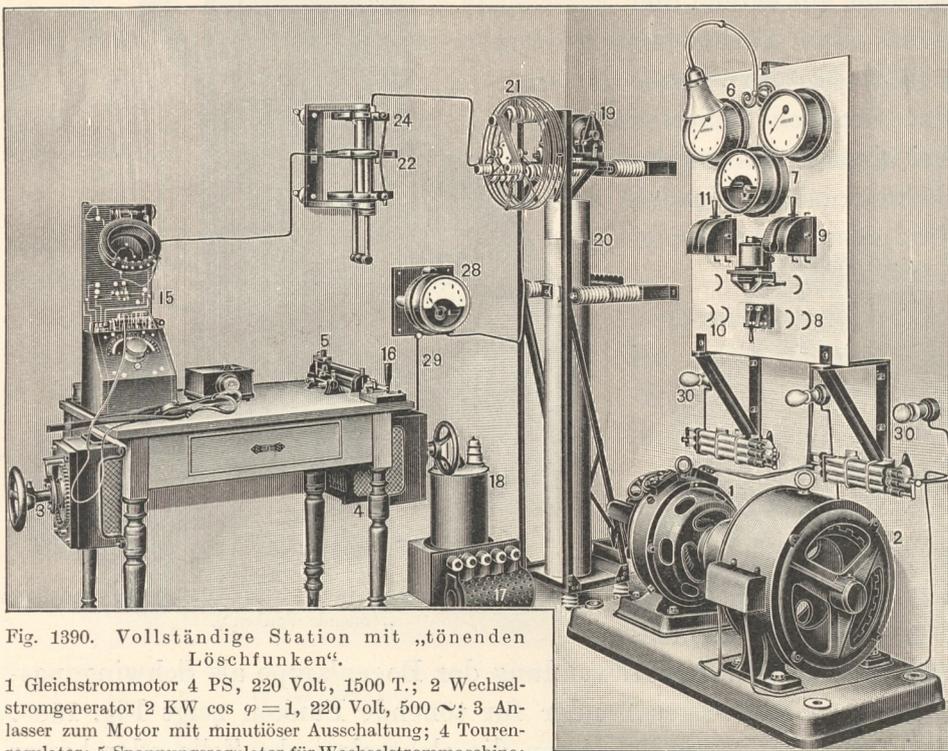


Fig. 1390. Vollständige Station mit „tönenden Löschkfunken“.

1 Gleichstrommotor 4 PS, 220 Volt, 1500 T.; 2 Wechselstromgenerator 2 KW $\cos \varphi = 1$, 220 Volt, 500 \sim ; 3 Anlasser zum Motor mit minutiöser Ausschaltung; 4 Tourenregulator; 5 Spannungsregulator für Wechselstrommaschine; 6 Gleichstrom-Ampere meter 20 Ampere; 7 Gleichstrom-Voltmeter 250 Volt; 8 doppelpolige Sicherung 20 Ampere; 9 doppelpoliger Ausschalter 20 Ampere; 10 doppelpolige Sicherung 20 Ampere; 11 doppelpoliger Ausschalter 20 Ampere; 15 Empfangsblockierung; 16 Taster; 17 Primärdrossel; 18 Induktor; 19 Funkenstrecke; 20 zwei Flaschen zu je 12500 cm; 21 Erregerselbstinduktion; 22 Antennen-Verlängerungsinduktion; 24 Schiebevariometer mit zwei festen Wellen; 28 Luftdrahtamperemeter; 29 Erdleitung; 30 Hochfrequenzsicherungen.

den pulsierenden Gleichstrom in lebhafte Bewegungen, wenn die Zahl der Stromimpulse der Frequenz seiner Eigenschwingung entspricht; dagegen bleibt der Anker bei abweichender Impuls-

setzt, die im Rhythmus der abgegebenen Morsezeichen als musikalischer Ton wahrnehmbar sind und sich infolge ihres charakteristischen Klanges von allen anderen Geräuschen deutlich unterscheiden. Da der Sender nur eine einzige Welle (nicht, wie bei der früheren Koppelung, zwei) aussendet, so ist eine scharfe Abstimmung des Empfängers auf diese Welle unter Ausnutzung der Resonanz leicht erreichbar. Die für kurze und lange Wellen angewendeten Empfangsschaltungen sind aus Fig. 1386 und

1387 ersichtlich. Der Detektor 1 liegt in einem besonderen Kreis; dieser braucht aber nicht auf die bestimmte Wellenlänge besonders abgestimmt zu sein und an dem Schwingungsvorgang teilzunehmen, er ist vielmehr aperiodisch. Einen vollständigen Apparatsetz für den Empfang zeigt Fig. 1388.

Um auch einen Schreibempfang zu ermöglichen, werden abgestimmte Telephonrelais verwendet. Ein solches besteht aus einem Elektromagnet mit einer hochohmigen Wicklung und einem kleinen beweglichen Anker, der infolge seiner mechanischen Bauart und seiner Befestigungsweise eine ausgesprochene Eigenschwingung besitzt. Wird das Telephonrelais in den Detektorkreis eingeschaltet, so gerät der Anker durch

zahl in Ruhe. Mit dem Anker sind Mikrophonkontakte verbunden, die mit einer Lokalbatterie und einem zweiten gleichartigen Relais in Serie geschaltet sind. Gerät der Anker des ersten Resonanzrelais in Schwingungen, so verändern sich dementsprechend die Mikrophonkontakte, und die Schwingungen gehen verstärkt auf das zweite Relais über, das in gleicher Weise auf ein drittes wirkt. Bei einer dreifachen Umwandlung sind die Ströme dann so stark, daß sie ein Telegraphenrelais betätigen, das den Lokalstromkreis eines Morseapparats schließt und diesen zur Aufzeichnung der von der Sendestation abgegebenen Zeichen veranlaßt. Anstatt eines Telegraphenrelais läßt sich auch ein lautsprechendes Telephon anschließen. Mit dem System der tönenden Funken wurden folgende Leistungen erzielt:

Strecke	Primärbedarf	Masthöhe	Reichweite
Über Landstrecken	1,5 Kilowatt	20 m	200 km
- Landstrecken	1,5 -	30 -	350 -
- See oder flaches Land	1,5 -	35 -	600 -
- See	8,0 -	60 -	2500—3000 km

Ein Schema für die Schaltung und eine Apparatanordnung einer Zweikilowattstation mit tönenden Funken zeigen Fig. 1389 und 1390.

Ein weiterer Fortschritt in der Radiotelegraphie ist von einer Erfindung Goldschmidts zu erwarten, dem es gelungen ist, eine *Hochfrequenz-Dynamomaschine* zu erbauen, die selbst elektrische Schwingungen in Form von Wechselströmen erzeugt.

D. Radiotelephonie.

Unter *Radiotelephonie* versteht man die Übertragung der Sprache durch Ätherwellen. Die Laute der menschlichen Stimme mit einer Schwingungszahl von ca. 80—1200 in der Sekunde lassen sich mit den durch Funken hervorgebrachten Schwingungen, deren Dauer nur kurz ist und die immer durch verhältnismäßig große Pausen unterbrochen sind, nicht übertragen. Deshalb kommen für diesen Zweck nur die kontinuierlichen ungedämpften Wellen in Frage; sie werden derart verwendet, daß ihre Amplitude mittels gewöhnlichen Mikrophons den Schallschwingungen entsprechend verringert oder vergrößert wird. Das Mikrophon wird hierbei entweder parallel zur sekundären Wickelung des Schwingungstransformators oder bei direkter Verbindung des Schwingungskreises mit dem Luftleiter in die Erdverbindung geschaltet. In der radiotelephonischen Station (Fig. 1391), die im übrigen einer radiotelegraphischen ähnelt, sind 1 und 2 die Elektroden der Bogenlampe auf der Gebestation I, 3 zwei in die Stromzuleitungen eingeschaltete Drosselspulen, 4 das parallel zur sekundären Wickelung des Schwingungstransformators (5, 6) geschaltete Mikrophon. Bei der Empfangsanordnung II bedeuten 7 die als Wellenempfänger dienende elektrolytische Zelle, 8 ein Element, dessen Stromstärke durch den im Nebenschluß eingeschalteten Widerstand 9 geregelt werden kann, und 10 das Telephon; 11 sind Kondensatoren. Infolge der durch die Mikrophonströme verursachten Schwankungen in der Strahlungsenergie des Senders entstehen in der elektrolytischen Zelle des Empfängers Stromschwankungen, die denjenigen der Mikrophonströme entsprechen; sie werden in dem angeschalteten Hörer als Sprachlaute wieder vernehmbar. An Stelle des elektrolytischen Detektors verwendet man auch häufig thermoelektrische Wellenempfänger. Die Radiotelephonie mittels der durch die Bogenlampenmethode hervorgebrachten kontinuierlichen Schwingungen hat bei Versuchen bereits sehr ermutigende Erfolge ergeben, jedoch hat sie sich in die Praxis dauernd noch nicht eingeführt, da die Einrichtungen doch noch nicht sicher genug wirken.

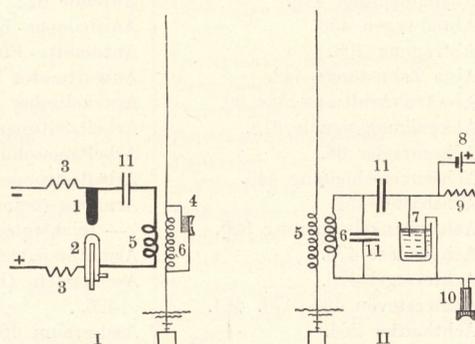


Fig. 1391. Schema der radiotelephonischen Übertragung.

US
TUG