

Telegraphen- u. Fernsprech-Technik

Herausgegeben unter Mitwirkung des Reichspostministeriums von der Vereinigung der höheren Reichs-Post- und Telegraphen-Beamten.

OTTO ARENDT
Postrat, Berlin-Lichterfelde

Schriftleitung:

Dr. KARL STRECKER
Geheimer Ober-Postrat und Professor,
Vortragender Rat im Reichspostministerium
Berlin

Sämtliche Zuschriften werden an den Verlag: Richard Dietze, Berlin W 66, Buchhändlerhaus, erbeten.

Jährlich erscheinen 12 Hefte. • Bezugspreis vierteljährlich M. 6.—, bei Zusendung durch den Verlag M. 7.—.
Anzeigen 20 Pf. für 1 mm Höhe bei 50 mm Spaltenbreite.

Nummer 3

Berlin, Juni 1920

IX. Jahrgang

Inhalt: Die Poulsenanlage bei der Hauptfunkstelle in Königswusterhausen Von H. Thurn-Berlin. — Entladungserscheinungen an einer im Influenzbereich einer Hochspannungsleitung verlaufenden Schwachstromleitung. Von Ing. Leo Truxa, Wien. — Auffrischung von Trockenelementen. — Von Tel.-Dir. Olivier. — Drahtlose Richtungs Telegraphie. Von F. Kiebitz. — Verminderung entbehrlicher Fremdwörter im selbsttätigen Fernsprechbetriebe. Von Otto Schmidt-Tehes, Dresden. — Zeitschriften-schau: Richtungsbestimmung von Flugzeugen. — Verfahren zur Messung sehr kleiner Kapazitäten und Induktivitäten. — Verschiedenes. — Bücherschau. — Anzeigen.

Die Poulsenanlage bei der Hauptfunkstelle in Königswusterhausen.

Von H. Thurn-Berlin.

Einleitung.

Die während des Weltkrieges von der deutschen Heeresverwaltung als Großstation benutzte Hauptfunkstelle in Königswusterhausen — Abb. 1 — wurde im Jahre

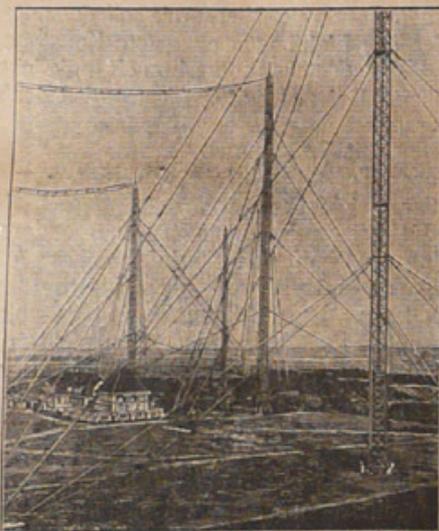


Abb. 1. Gesamtansicht der Hauptfunkstelle Königswusterhausen.

1919 von der Reichs-Telegraphenverwaltung übernommen und dient heute lediglich Verkehrsinteressen. Die ursprünglichen Zwecke der Station finden darin einen besonderen Ausdruck, daß man zum Schutz vor feindlichen Fliegerangriffen die Gebäude halb in die Erde versenkt und die Decken aus dickem Zementgewölbe hergestellt hat. Bei den Antennentürmen mußte man sich darauf beschränken, die Turmfüße durch seitliche Verankerungen so zu sichern, daß der Fuß nicht aus seinem Hauptlager herausgeschleudert werden kann. Die Antennenanlage besteht zurzeit in der Hauptsache aus einer großen L-Antenne, die von fünf Masten von je 150 m Höhe getragen wird. Weitere Antennen, die das gleichzeitige Arbeiten mehrerer Sender gestatten, sind inzwischen mit Hilfe der vorhandenen Maste vom Funk-Betriebsamt geschaffen worden. Zwei Antenneneinführungen sind in Abb. 2 ersichtlich.

Neben einem großen tönenden Löschfunkensender von 70 kW und einem Zusatzsender von 5 kW-Antennenenergie der Firma „Telefunken“ besitzt die Funkstelle noch zwei Poulsen-Lichtbogensender der C. Lorenz A. G. in Berlin-Tempelhof von 32 und 5 kW-Antennenenergie. Mit Rücksicht darauf, daß im Reichsfunknetz lediglich das ungedämpfte System benutzt wird und die Station für Verkehrszwecke auch in bezug auf gleichzeitiges Arbeiten mehrerer Sender erweitert werden mußte, wurden zur Platzgewinnung die tönenden Sender ausgebaut und durch Röhren- und Maschinensender ersetzt.

Die von der Deutzer Gasmotorenfabrik gelieferte Kraftanlage besteht aus drei je 150 PS starken Rohölmotoren und einem kleinen 50 PS-Motor, die zum Antrieb der Stromerzeuger dienen. Die Kraftanlage mit Akkumulatoren-batterien erzeugt neben der erforderlichen Sendenergie gleichzeitig den gesamten Strom für sämtliche Nebenapparate, die Beleuchtung usw.

Von einem erhöhten Schaltpult aus, in dem sämtliche Schalter, Instrumente, Sicherungen usw. zur Bedienung und Kontrolle der Sender untergebracht sind, geschieht die gesamte Bedienung der Maschinen und Apparate durch Fernsteuerung. Die einzelnen Sender können durch einen Sendertyp- und Antennenwähler, ähnlich wie bei einem Stellwerk, mittels weniger Handgriffe auf die gewünschte Antenne geschaltet werden.

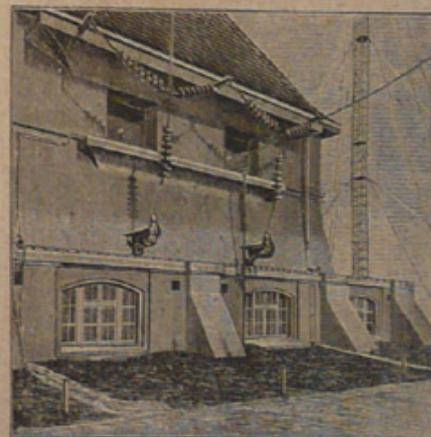


Abb. 2. Antenneneinführung.

Die Empfangsanlage ist in einem besonderen Raume neben dem Senderraum untergebracht; mehrere große Empfangstische enthalten die Empfänger sowie die erforderlichen Hilfsapparate, Verstärker, Ueberlagerer usw.

Der gesamte Dienstbetrieb spielt sich im Empfängerraum ab. Auf jedem Tisch ist eine Taste vorhanden, die den Sender steuert und gleichzeitig durch eine Kippbewegung die ganze Anlage automatisch vom Senden auf Empfang oder umgekehrt steuern kann. Durch diese automatische Bedienung wird ein schneller Wechselverkehr betriebssicher ermöglicht. — Da die Reichs-Telegraphenverwaltung beabsichtigt, durchweg auf ihren Stationen den Gegensprechverkehr einzuführen, also gleichzeitiges Senden und Empfangen mehrerer Stellen zu ermöglichen, wird die Hauptfunkstelle Königs-Wusterhausen in Zukunft nur die Sender enthalten, während die entsprechenden Empfangsanlagen sich in etwa 20 km entfernten Orten befinden werden. Eine bei der Empfangsstelle befindliche Uebertragungsvorrichtung wird die gleichzeitige Aufnahme (Niederschrift) bei der Hauptfunkstelle (später voraussichtlich beim H. T. A. Berlin) ermöglichen. Auch die Inbetriebsetzung sämtlicher Sender (Fernastung) soll in Zukunft unmittelbar beim H. T. A. erfolgen.

A. Allgemeines über den Lichtbogensender.

Die Erzeugung ungedämpfter Schwingungen durch den Lichtbogen beruht auf seiner Eigenschaft, einen aus Induktivität und Kapazität zusammengesetzten Schwingungskreis so zu steuern, daß die einmal angestoßenen Schwingungen nicht gedämpft abklingen, sondern dauernd mit konstanter Amplitude aufrecht erhalten werden. Diese Eigenschaft des Bogens erklärt sich aus der eigentümlichen Abhängigkeit zwischen der Spannung am Lichtbogen und seinem Strom. Bei der Poulsenlampe wird die Umwandlung der Gleichstromenergie in Hochfrequenzenergie dadurch wesentlich unterstützt.

1. daß die Lichtbogenstrecke (zwischen den beiden Elektroden) in Wasserstoff oder in ein wasserstoffhaltiges Gas, z. B. Spiritusdampf, gesetzt wird. Die große Ionenbeweglichkeit dieses Gases bewirkt, daß das Spannungsgefälle längs des Lichtbogens verändert und damit das für die Heizung des negativen Kraters in Frage kommende Kathodengefälle kleiner wird; —
2. daß man auf den Lichtbogen ein Magnetfeld wirken läßt, dessen Richtung senkrecht zur Stromrichtung ist (magnetisches Gebläse). Der Lichtbogen stellt dann einen beweglichen Leiter dar, der sich in einem magnetischen Kraftfeld zwischen den Polen eines Magnets befindet. Der Bogen wird abgelenkt. Je nach Stärke des Magnetfeldes erhält man also eine große Bogenlänge bei kleinem Elektrodenabstand;
3. daß man die Kupferelektrode (positive Elektrode durch fließendes Wasser kühlt und die Kohlenelektrode (negative Elektrode) langsam um ihre Achse rotieren läßt, so daß immer frische Stellen dieser Elektrode zum Abbrand kommen, wodurch nicht nur ein gleichmäßiger Brand der Kohle, sondern auch Stetigkeit in der Länge des Lichtbogens erzielt wird.*)

Da der Lichtbogen und das in Serie geschaltete Magnetfeld von einander abhängig sind, erfolgt die Regulierung des Lichtbogens vollkommen automatisch, so daß die Spannungsschwankungen im Lichtbogen nur sehr gering sein können. Jedenfalls zeigt Theorie und Versuch, daß für bestimmte Hochfrequenzenergie und Periodenzahl auch das magnetische Feld einen bestimmten günstigsten Wert haben muß; die magnetische Feldstärke muß z. B. der Wellenlänge angepaßt sein, da bei langen Wellen

*) Neuerdings läßt man — z. B. bei der Anlage in Königs-wusterhausen — beide Elektroden rotieren. Rein hat einen Lichtbogengenerator gebaut, bei dem der Lichtbogen selbst rotiert. (Ausführungsform von Dr. E. F. Huth, Berlin).

auch die Zeiten des Erlöschens des Lichtbogens zu nehmen und deshalb mit einem schwächeren Felde eine genügende Entionisation erreicht werden kann. Bei mäßigen Lichtbogensendern läßt sich bei einigermaßen großen Leistungen und Wellenlängen von über 2000 m ein fast völliges Gleichbleiben der Schwingungsperiode erreichen, so daß sich die Periodenschwankungen*) im praktischen Betriebe kaum störend bemerkbar machen.

Die vom Lichtbogen erzeugte Hochfrequenzenergie muß im Sinne der Morsezeichen vom Luftleiter ausgestrahlt werden. Der zugeführte Betriebsstrom läßt sich nicht wie bei den Funkensendern unmittelbar tasten, da der Bogen hierbei stets erlöschen würde. Wollte man die Zündung immer wieder von neuem vornehmen, so würde, abgesehen von anderen Betriebsschwierigkeiten, die Zeichengebung sehr verlangsamt werden. Im Betriebe hatten sich bisher hauptsächlich zwei Tastverfahren herausgebildet, von denen das eine auf einer Verstimmung der Antenne beruht, während das zweite den Bogen auf einen künstlichen Belastungskreis im Rhythmus der Morsezeichen umschaltet. Auf die Einzelheiten dieser beiden Tasterrichtungen sowie der neuesten Tastschaltung, die es ermöglichen, Telegraphierzeichen zu geben, ohne die gleichmäßige Schwingungserzeugung im Lichtbogen zu stören, sei kurz eingegangen.

1. Tasten mit Tastkreis.

Die Energie wird bei nicht gedrückter Taste in einem zweiten Schwingungskreis (Tastkondensatoren, Tastleitungen) vernichtet (in Wärme umgesetzt), der bezüglich seines Energieverbrauches ungefähr gleich ist dem Antennen-Schwingungskreis. Hierdurch soll dem die Schwingungen liefernden Lichtbogen eine gute Konstanz gegeben werden und der Gleichstromverbrauch möglichst unverändert bleiben. Bei gedrückter Taste wird der Tastkreis kurzgeschlossen.

2. Tasten mit Verstimmung.

Bei dieser Tastart wird in den Morsepausen durch den Luftleiter gleichfalls Energie ausgestrahlt. Nur haben die ausgestrahlten Schwingungen eine andere Wellenlänge, so daß die Empfangsstelle infolge ihrer Abstimmung auf die „Sendewellenlänge“ die „Verstimmungswelle“ nicht hören kann. Da die beim Tasten zu unterbrechenden, bzw. umzuschaltenden Energien nicht unerheblich sind, kann die gewöhnliche Morsetaste nicht mehr zur Verwendung kommen. Die Unterbrechungsstelle ist daher in einem besonderen Apparat, dem Tastrelais, unter Petroleum angeordnet, der elektromagnetisch durch eine leicht zu bedienende Handtaste betätigt wird.

Das von amerikanischen Poulsenstationen angewandte Tasten mit Verstimmung hat sich für große Energien als ungeeignet erwiesen, da dadurch eine Beunruhigung des Bogens hervorgerufen wird. Die Lorenz-Poulsengeneratoren in Königs-wusterhausen werden seit längerer Zeit nicht mehr mit Verstimmung getastet.

3. Tasten durch Vergrößerung der Dämpfung.

Die neueste Sendeschaltung, die neuerdings auch in Königs-wusterhausen angewendet wird, beruht darauf, daß das Tasten nicht durch Verstimmung, sondern durch vollkommene Unterdrückung des Antennenstromes bis zum Nullwert infolge Vergrößerung der Dämpfung geschieht. Die bisherige Tastvorrichtung ist durch eine neue Einrichtung ersetzt worden, welche sehr schnelles Handtasten und e. F. auch automatisches Schnelltasten ermöglicht, und die, da nur kleine Energieumschaltungen erforderlich sind, außer der eigentlichen Taste keine weiteren beweglichen Teile enthält. Bei diesem Tastverfahren wird

*) Nach den Feststellungen von Prof. Max Wien geben Maschinensender, Röhrensensender und die von der C. Lorenz A.-G. gebauten Poulsensender bei gleicher Antenne, Wellenlänge und Stromstärke gleich guten Empfang.

noch der weitere Vorteil erreicht, daß während der Zeichenpausen die aufgenommene Energie auf einen Leerlaufwert zurückgeht, so daß der mittlere Wirkungsgrad bedeutend vergrößert wird.

B. Der 4kW-Poulsensender in Königswusterhausen.

Der 4kW-Poulsen-Lorenzsender ist in Abb. 3 u. 4 dargestellt. Der Schwingungsgenerator sowie die Gleichstrom- und Hochfrequenz-Schaltorgane sind gemeinsam auf einem dreiteiligen Eisenrohrgerüst untergebracht. Das linke Feld enthält die Gleichstrom-Schalt- und Meßorgane, das rechte die Hochfrequenzschaltorgane und das mittlere den Lichtbogen-generator mit seinen Zusatzapparaten.

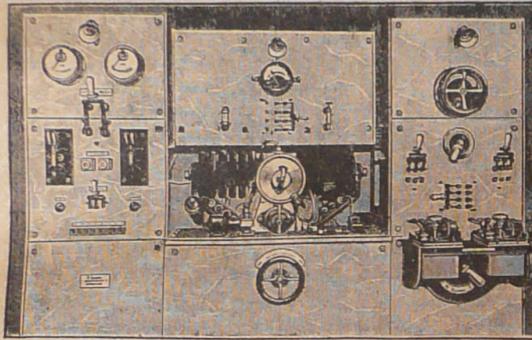


Abb. 3. Gesamtansicht des 4 kW-Poulsensenders

Die aus 3 Marmorschalttafeln bestehende Gleichstromschalttafel (in Abb. 3 links von vorn gesehen) enthält oben einen Strom- und Spannungsmesser für den Speisestrom des Lichtbogen-generators, auf der mittleren Schalttafel sitzen die beiden Blockrelais sowie verschiedene Schalter und Sicherungen. Die Blockrelais haben die Aufgabe, zu verhindern, daß der Sender in Tätigkeit gesetzt wird, solange noch die Empfangsapparate eingeschaltet sind.

Der Lichtbogen-generator mit Schalttafel und Zusatzapparaten ist in dem mittleren Eisengerüst angebracht, das durch je eine Marmortafel abgeschlossen ist. Er besteht aus der Flammenkammer und 12 Magnetspulen, der Magnetkerneinstellvorrichtung sowie der Kohlenantriebsvorrichtung mit Motor und magnetischer Zündung.

Die obere Schalttafel trägt einen Wasserfluß- und Spirituskontrollapparat, einen vierpoligen Umschalter für Parallel- und Serienschaltung der Magnetspulen des Lichtbogen-generators und den Antennenstrommesser.

Durch die untere Schalttafel ragt das Handrad des Lichtbogen-Vorschaltwiderstandes. Dieser Regulierwiderstand, ein mehrfach unterteiltes Widerstandsband, trägt eine Dauerbelastung von höchstens 35 Ampere. Durch diesen Widerstand ist eine Regulierung der Lichtbogenstromstärke und damit der ausgestrahlten Energie vom vollen Betrage bis auf etwa $\frac{1}{3}$ möglich.

An die Rückseite des Lichtbogen-Vorschaltwiderstandes sind die Drosselspulen (in Scheibenform aus Kupferdraht) angebaut, die den Zweck haben, die schnellen Schwingungen vom Gleichstromkreis fernzuhalten.

Die Schaltorgane für die Hochfrequenzapparate sind in der rechten dreiteiligen Schalttafel angeordnet. Die obere Marmortafel trägt das Handrad zur Betätigung des Sendespulenschalters.

Auf der mittleren Tafel sind der Hebel für das Variometer mit Skala, drei Schalter für die Tastrelais und die Relaisverstellungen sowie die Anschlüsse für die beiden Tastrelais untergebracht.

An der unteren Tafel sind die beiden Tastrelais angebracht und darunter der Hebel für die Parallel- oder Serienschaltung des Variometers.

Das Sendervariometer dient in Verbindung mit den Sendespulen zur handlichen und kontinuierlichen Ueber-

brückung der durch die Spulenunterteilung geschaffenen Stufen bei der Wellenänderung. Es ist nach dem Typ der Zylinder-Variometer ausgeführt; die Drahtwicklung (Lackdrahtflitze) paßt sich in ihrer Gestalt Zylinderflächen an, die durch Hartgummisegmente und Glasstäbe die notwendige Versteifung erhalten. Es besteht aus zwei sich ineinander drehenden Zylinderflächen, deren Wicklungselemente in Reihe bzw. parallel geschaltet werden können. Das Variometer ist — um einer bei Dauerbelastung unzulässigen Erwärmung vorzubeugen — in einem Ölbad untergebracht.

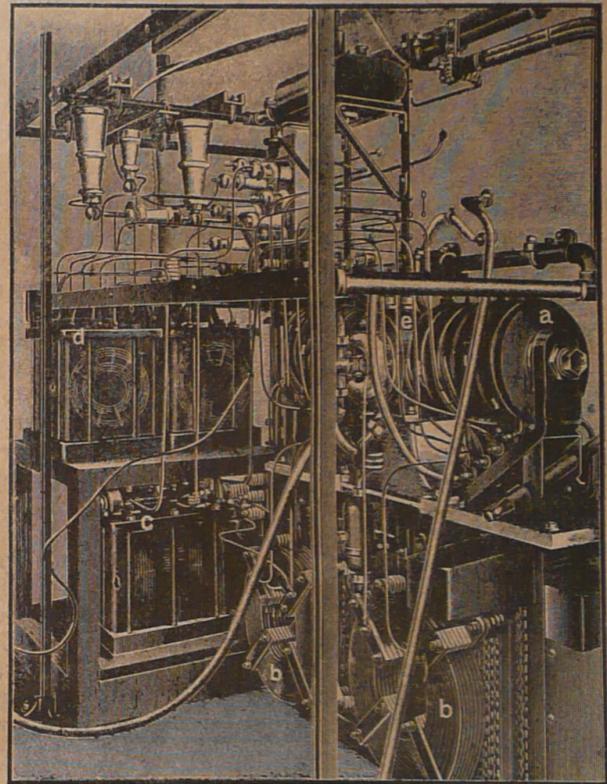


Abb. 4. Seitliche Rückansicht des 4 kW-Poulsensenders.

Erläuterungen: a) Magnetspulen, b) Luftdrahtdrossel, c) Sendervariometer, d) Luftdrahtverlängerung, e) Flammenkammer.

Die Parallel- und Serienschaltung des unter den Spulen-kästen angebrachten Variometers geschieht vom Hebel an der unteren Tafel mittels biegsamer Welle, während die Drehung der Variometerspule vom Handgriff auf der mittleren Tafel durch Seilzug übertragen wird.

Der Schwingungserzeuger (die Poulsen-Lorenz-Lampe) ist in einem Metallgehäuse, der sogenannten Flammenkammer untergebracht, in welcher zwischen 2 Elektroden der Lichtbogen brennt. Ihr doppelwandiger Mantel wird durch Wasser gekühlt, das einem unterhalb des Telegraphierraumes befindlichen Behälter entnommen und durch eine kleine außerhalb des Senders sitzende Zentrifugalpumpe der hohlen Kuperelektrode und hierauf der Flammenkammer zugeführt wird. Dann durchfließt das Wasser den Wasserflußkontrollapparat. Das erhitzte Wasser gelangt von hier in den vorgenannten Behälter zurück, in dem die Rückkühlung erfolgt.*)

*) Bei der Poulsenanlage in Königswusterhausen werden beide Poulsensender von einer gemeinsamen Kühlwasseranlage gespeist. Mittels einer in die Leitung eingebauten Rotationspumpe, die von einem kleinen Gleichstrommotor getrieben wird, wird das Wasser in ständiger Bewegung gehalten. Um das erwärmte Wasser immer von neuem benutzen zu können, durchströmt es eine Kühlanlage, die aus 15 Radiatoren besteht, in der es seine Wärme an die Außenluft abgibt. Versagt etwa die Pumpe, so kann Leitungswasser den Kühlwasserrohren zugeführt werden.

kühlung genügt zur Abführung der Verlustenergie vollauf, so daß selbst bei langer Betriebsdauer keine unzulässige Erwärmung auftreten kann.

Die positive (hintere) Elektrode des Senders besteht bei der bisherigen Ausführungsform aus einem Hohlkörper aus Kupfer, der mit einem Zufluß- und Abflußrohr für das Kühlwasser ausgestattet ist (Bei der neueren Anordnung in Königswusterhausen ist auch die Kupferelektrode durch eine drehende Kohlenelektrode ersetzt worden.).

Die negative (vordere) Elektrode ist auswechselbar und besteht aus einem Stück Rundkohle, das in einer besonderen Hülse, dem Kohlenhalter, gehalten wird. Zur Erzielung eines gleichmäßigen Abbrandes, der für die Konstanz der Schwingungen unerlässlich ist, wird die Kohle langsam um ihre Längsachse gedreht. Dies erfolgt durch einen vor der Flammenkammer sitzenden Motor unter Zwischenschaltung einer in Vaseline laufenden Schneckenradübersetzung und einer biegsamen Welle. Der Kohlenhalter ist mit einer Hülse umgeben und wird von dieser bei der Umdrehung durch die Reibung mitgenommen. Diese Lagerung erlaubt, daß man in jeder Stellung des Schneckenrades den Kohlenhalter herausziehen oder, falls aus irgend einem Grunde der mechanische Antrieb versagen sollte, von Hand aus drehen kann.

Der notwendige Wasserstoff wird in Form von Spiritus aus einer Spiritustropfleinrichtung der Flammenkammer zugeführt, wo er infolge der dort herrschenden hohen Temperatur verdampft. Das Vorratsgefäß ist mit einer verschraubbaren Einfüllöffnung, mit einem Schwimmer als Kontroller für den Flüssigkeitsstand und mit einer beim Senden elektromagnetisch betätigten Abschlußöffnung (Topfelektromagnet) versehen. Um eine unnötige Vergeudung des an und für sich geringen Spiritusverbrauchs zu vermeiden, wird er nur tropfenweise zugeführt; die Regelung des Zuflusses geschieht durch den Spiritustropfer (auf der rechten Seite der mittleren, oberen Schalttafel), der mit dem Vorratsgefäß und Schwingungsgenerator durch entsprechende Rohre verbunden ist.

Das Magnetfeld, in welchem der Lichtbogen brennt, bildet sich zwischen zwei seitlich in die Flammenkammer ragenden Eisenkernen aus. Steht man vor dem Generator, so befindet sich der Nordpol links, der Südpol rechts. Der Strom fließt (von + nach -) auf den Beschauer zu. Die Kerne sind aus schwedischem Flußeisen hergestellt; sie sind unterhalb der Flammenkammer durch einen Eisenbügel magnetisch kurzgeschlossen. Auf dem Eisenkern befinden sich beiderseits je 6 Magnetspulen, die durch den Lichtbogenstrom erregt werden. Ueber 2 der rechten Magnetspulen ist das sogenannte magnetische Nebenschlußrelais montiert, das die selbsttätige Zündung des Lichtbogens von dem in den Magnetkernen erregten Magnetismus abhängig macht. Diese elektromagnetisch wirkende selbsttätige Zündung tritt beim Uebergang von Empfang auf Senden in Tätigkeit. Sie besteht aus der Zündspule (Topfelektromagnet) mit Anker, einem Uebertragungshebel, dem magnetischen Nebenschlußrelais und einem Relais zum Kurzschließen des Lichtbogen-Vorschaltwiderstandes.

Die unterhalb der Flammenkammer montierte Zündspule ist in einem Eisentopf untergebracht und mit den übrigen Nebenapparaten über die Blockierung der an der Gleichstrom-Schalttafel angebrachten Blockrelais und über das magnetische Nebenschlußrelais an die Hilfsspannung angeschlossen. Der Anker des Topfmagneten ist an dem Uebertragungshebel befestigt und überträgt durch diesen die Bewegung auf die Kohlenelektrode.

Das magnetische Nebenschlußrelais macht die Zündung des Schwingungsgenerators von dem in seinen Magnetschenkeln erregten Magnetismus abhängig. Zwei Eisenbleche greifen um den Magnetschenkel und werden

durch ein drittes Eisenblech überbrückt (magnetischer Nebenschluß). Bei nicht erregtem Magnetismus wird das die Brücke bildende Eisenblech durch Federkraft von den beiden anderen Blechen abgedrückt und schließt zu dieser Stellung mit Hilfe einer vorhandenen Kontaktvorrichtung den Stromkreis für die Zündspule. Das Relais zum Kurzschließen des Lichtbogenvorschaltwiderstandes ist ebenfalls über die Blockierung der Blockrelais und über das magnetische Nebenschlußrelais an die Hilfsspannung angeschlossen.

Der Vorgang bei der Zündung ist folgender: Nach Anziehen des Blockrelais erhält die Zündspule über den noch geschlossenen oberen Kontakt des magnetischen Nebenschlußreglers Strom. Die Kohlenelektrode wird hierdurch gegen die Kupferelektrode gedrückt, d. h. die Lichtbogenstrecke kurzgeschlossen, also der Hauptstrom eingeschaltet. Der hierdurch erregte Magnetismus in den Magnetschenkeln läßt das magnetische Nebenschlußrelais in Tätigkeit treten, das überbrückende Eisenblech wird also angezogen, der Zündspulenstrom unterbrochen und der untere Kontakt für das Relais zum Kurzschließen des Lichtbogen - Vorschaltwiderstandes geschlossen. Der Uebertragungshebel (Zündhebel) schnell durch Federdruck zurück und es bildet sich zwischen den Elektroden der Lichtbogen aus. Die Spule des Relais zum Kurzschließen des Lichtbogenwiderstandes erhält Strom und zieht den Anker an. Hierdurch wird der Teil des Lichtbogenvorschaltwiderstandes kurzgeschlossen, der durch die Stellung des Handrades vor dem Zünden bedingt war.

Aus Gründen der Sicherheit ist vor dem Handgriff des Kohlenhalters ein Bügel vorgesehen, welcher ein Herausgleiten des Kohlenhalters bei falscher Bedienung verhindert.

In mehreren ölgefüllten Kupferkästen innerhalb des Senders ist eine Kondensatoren-Kombination untergebracht, deren Anschlüsse mit dem Generator und der Hochfrequenzschalttafel verbunden sind. — Die aus Kupferblechbelegungen bestehenden Blockkondensatoren sollen den Gleichstrom vom Schwingungskreis absperrn und den Schwingungen einen möglichst geringen Widerstand bieten; sie sind im Verhältnis zu den Kapazitäten des Schwingungskreises elektrisch sehr groß gewählt, während die spezifische Beanspruchung des Dielektrikums

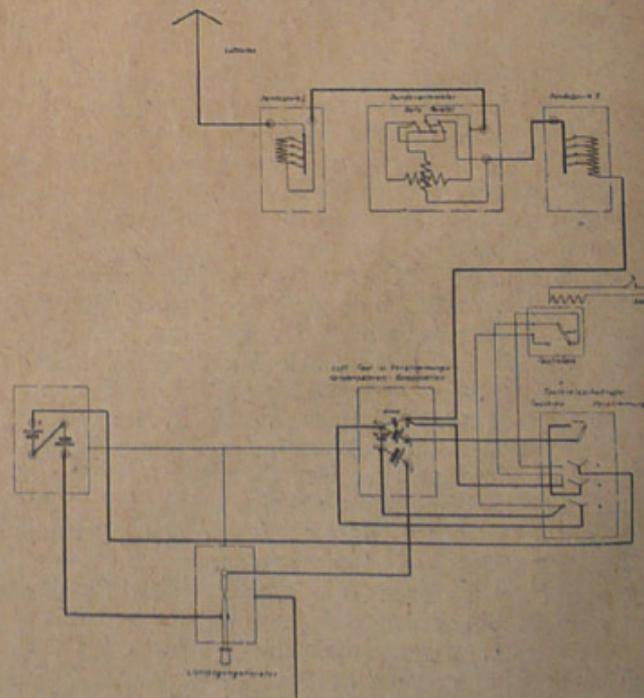


Abb. 5.

(Glimmer) sehr niedrig ist, so daß nur sehr geringe Verluste in ihnen auftreten. — Die Tastkondensatoren dienen zur Aufnahme der vom Lichtbogen erzeugten Hochfrequenzenergie während der Morsepausen, wodurch Belastungsschwankungen des Lichtbogens durch die Zeichengebung vermieden werden. Die in den Tastkondensatoren fließende Hochfrequenzenergie setzt sich in Wärme um, die durch das Öl abgeführt wird.

Die Abb. 5 zeigt uns die Schaltung des Generators, die in ihren wesentlichen Punkten auch für den großen Poulsen sender zutrifft.

C. Die 32 kW-Poulsenanlage in Königswusterhausen (einschließlich der wichtigsten Nebenapparate).

Außer dem eigentlichen Generator, welcher den Lichtbogen zur Schwingungserzeugung enthält, besitzt die Anlage eine Reihe weiterer Apparate, welche teilweise dem Hochfrequenzkreise angehören, teilweise für die Regelung des Gleichstromes nötig sind. Nur die wichtigsten für den Schwingungskreis, welche der Bedienung und Aufsicht unterworfen sind, befinden sich in dem Senderraum, während die übrigen in dem darunter liegenden Kellerraum aufgestellt sind.

a) Generator.

Der Generator (Abb. 6 u. 7) wandelt den hochgespannten Gleichstrom von etwa 1000 Volt in Wechselstrom sehr hoher Frequenz um.

Der Hauptteil ist die Flammenkammer, an deren Vorder- und Rückseite schräg nach unten gerichtet, die beiden Elektroden herausragen; rechts und links sind die für das magnetische Gebläse erforderlichen Magnetkerne mit den Erregerspulen angesetzt.

Die Flammenkammer ist zweiteilig kastenförmig ausgebildet; der oben befindliche, doppelwandige Teil ragt tief in den unteren hinein. An den Seiten treten die Magnetkerne in das Innere ein. Nach unten zu verengert sich der Innenraum in Form eines rechteckigen Rumpfes bis zu der Gegend, wo der Lichtbogen sitzt. Oberhalb der Einsatzöffnungen für die beiden Elektroden zeigt der Körper die Gestalt eines liegenden Halbzylinders mit zu den Magnetkernen parallel gerichteter Achse. Da dieser obere Teil dem ganzen von dem Lichtbogen herrührenden Wärmeanprall ausgesetzt ist, wurde er doppelwandig mit zwischenliegender Wasserzirkulation hergestellt.

An der vorderen Außenseite der Kammer ist eine Marmorplatte aufgeschraubt, welche 2 Schaugläser trägt; das vom Beschauer linksseitige dient zur Wasserflußkontrolle, wobei sich die Bewegung des Wassers durch Heben und Drehen eines Flügelrädchens bemerkbar macht. Das zweite Schauglas enthält die Tropfeinrichtung für den Spiritus, der zur Erzeugung von Wasserstoffatmos-

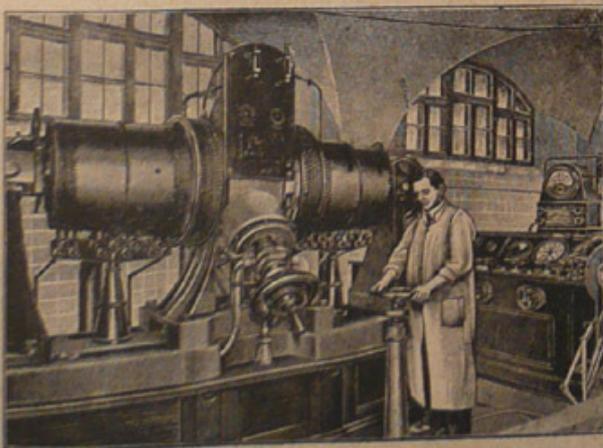


Abb. 6. Gesamtansicht des 32 kW-Poulsen senders.

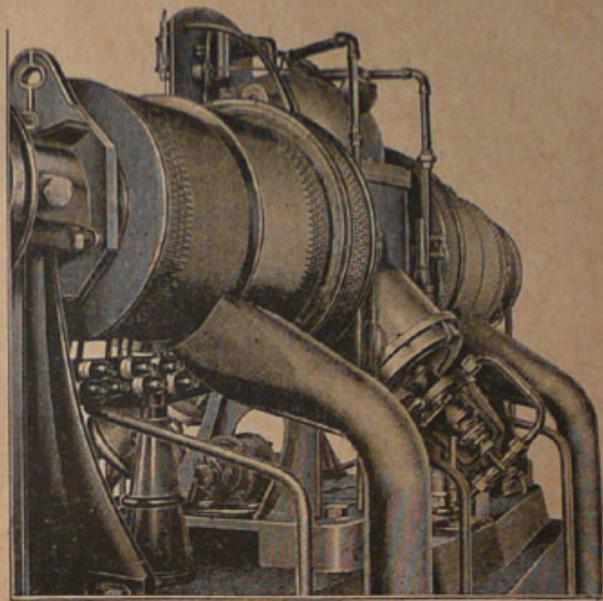


Abb. 7. Seitliche Rückansicht des 32 kW-Senders.

phäre in den Innenraum der Kammer tritt. Je eine hinter den Gläsern sitzende Glühbirne gestattet auch eine gute Beobachtung bei schlechter Beleuchtung. An der Bodenfläche der Kammer ist ein Rohr angesetzt, welches bei starkem Ueberdruck infolge Explosion der Spiritusdämpfe einen Ausgleich mit der Außenluft gewährt und in einen ballonartigen Auspufftopf hineinragt, der nach oben zu offen ist und mit Wasser gefüllt wird. Das Wasser bildet so den Abschluß der Kammer von der Außenluft.

Die beiden Elektroden treten unter einem Winkel von 45° gegen die Wagerechte in die Kammer, so daß sie selbst einen Winkel von 90° miteinander bilden.

Beide Elektroden werden durch einen kleinen Motor über ein Schneckengetriebe mit einer Geschwindigkeit von 3—4 Umdrehungen in der Minute gedreht.

Zu beiden Seiten der Flammenkammer sind die in einer Achse liegenden Magnetkerne angesetzt, welche im Innern der Kammer bis dicht an den Lichtbogen herantreten. Das von Pol zu Pol übertretende Kraftfeld ist so eingerichtet, daß der Lichtbogen nach oben abgelenkt wird. Da die Magnetkerne an sich schon ein ansehnliches Gewicht besitzen und außerdem noch die Erregerspulen zu tragen haben, sind sie an dem der Kammer abgelegenen Ende noch durch eiserne Stützen getragen, welche gleichzeitig die Aufgaben haben, als Kraftlinienweg zu dienen. Den gleichen Zweck erfüllt auch die Fundamentplatte, so daß der eisenerfüllte Weg bis auf die Lichtbogenstrecke ein vollständiger ist.

Die Erregung des Kraftlinienfeldes geschieht hauptsächlich durch den Speisestrom des Lichtbogens, indem der Strom in jedem Zweig vor Erreichung der Elektrode erst die Magnetspulen durchfließt. Es kann außerdem noch durch 6 Kupferbandspulen verstärkt werden, welche dicht neben der Kammer sitzen und von 220 Volt Gleichstrom gespeist werden. Auf jedem Magnetkern sitzen 16 Kupferbandspulen. Eine Regelung der Stromstärke, für die im allgemeinen ein vorgeschalteter Stufenwiderstand sorgt, ist insofern beschränkt, als die Stromstärke sich vor allem nach der gewünschten Lichtbogenleistung richten muß. Um dennoch eine Aenderungsmöglichkeit der Felderregung in beschränktem Maße vornehmen zu können, sind an den Enden bzw. Anfängen einzelner Spulengruppen Unterbrechungsstellen, welche eine Serien-

oder Parallelschaltung gestatten. Zur Kühlung wird von zwei im Kellerraum aufgestellten Ventilatoren Luft in senkrechten Röhren nach oben geführt und durch die Spalengruppen hindurchgetrieben.

(Schluß folgt.)

Entladungserscheinungen an einer im Influenzbereiche einer Hochspannungsleitung verlaufenden Schwachstromleitung.

Von Ing. Leo Truxa, Wien.

1. Allgemeines.

Führt im Influenzbereiche einer Wechselstrom-Hochspannungsleitung eine Schwachstromleitung, so nimmt diese, solange sie von Erde isoliert ist, eine der Potentialverteilung um die Hochspannungsleitung entsprechende Ladespannung an. Besteht eine Verbindung gegen Erde, so erfolgt über sie ein Spannungsausgleich. Der hierdurch bedingte Strom bewegt sich erfahrungsgemäß innerhalb ganz anderer Grenzen, je nachdem die Verbindung mit der Erde unmittelbar oder über eine Funkenstrecke hergestellt ist. Die Stromstärke ist in letzterem Falle weitaus größer und kann beispielsweise bereits bei einem Parallellaufe der beiden Leitungen über nur wenige Kilometer ausreichen, um eine in die Erdleitung geschaltete Glühlampe zu vollem Leuchten zu bringen. Dementsprechend groß ist auch die Wärmeentwicklung in der Funkenstrecke selbst. Es zeigt sich, daß durch den Funken leicht brennbare Körper (Papier, Holzspäne u. dgl.) zum Entflammen gebracht werden können.

Die auftretenden Energiemengen und Ströme genügen schon, um starkstrommäßige Wirkungen zu erzeugen, eine Tatsache, die beim Leitungs- und Apparatebau berücksichtigt werden muß. Die Anlage ist, sofern nicht Schutzschaltungen vorgesehen sind, die eine vollständig sichere Entspannung gewährleisten, schon vom Standpunkte der Feuersicherheit als Hochspannungs-Starkstromanlage zu betrachten und dementsprechend auszuführen.

Im folgenden soll durch Rechnung und an Versuchsergebnissen gezeigt werden, welche Stromstärken und Energiemengen bei Erdung ohne und mit Zwischenschaltung einer Funkenstrecke auftreten können.

2. Unmittelbare Erdung.

Ist die durch Influenz beeinflusste Schwachstromleitung über eine Widerstandsverbindung unmittelbar geerdet (Abb. 1), so fließt gegen Erde ein Ausgleichsstrom ab und die Lad-

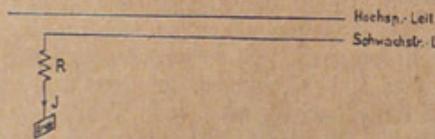


Abb. 1.

spannung erreicht nur einen Bruchteil jener Spannung, die sich in isolierter Leitung einstellen würde. Der abfließende Strom und die im Erdungswiderstand umgesetzte Energie sind bei gleichem Ohm'schen Widerstand am größten, wenn die Verbindung induktionslos ist. Bezeichnet

f die Pulszahl der Hochspannung,
 V_0 die Ladespannung der isolierten Schwachstromleitung (Effektivwert),

C deren Kapazität gegen Erde und

R den Ohm'schen Widerstand der Erdverbindung,

so ist in letzterem Falle der gegen Erde abfließende Strom

$$J = \frac{2 \pi f C V_0}{\sqrt{1 + (2 \pi f C R)^2}} \quad (1)$$

und die Ladespannung

$$V = \frac{2 \pi f C R}{\sqrt{1 + (2 \pi f C R)^2}} V_0 \quad (2)$$

Der Mittelwert der im Erdungswiderstand umgesetzte Leistung ist

$$P = \frac{(2 \pi f C)^2 R}{1 + (2 \pi f C R)^2} V_0^2 \quad (3)$$

Der Strom erreicht den höchstmöglichen Wert bei widerstandsloser Erdung mit

$$\max J = 2 \pi f C V_0$$

Die Leistung bei einem Erdungswiderstand

$$R = \frac{1}{2 \pi f C} \quad (4)$$

mit

$$\max P = \frac{1}{2} 2 \pi f C V_0^2 \quad (5)$$

wobei

$$\left. \begin{aligned} J &= \frac{1}{\sqrt{2}} 2 \pi f C V_0 \\ V &= \frac{1}{\sqrt{2}} V_0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ist. Der Widerstand $\frac{1}{2 \pi f C}$, in dem die größte Leistung umgesetzt wird, ist im allgemeinen etwa von der Größenordnung eines Megohms. Bei kleinerem Widerstand ist der Strom wohl größer, doch sinkt die mit dem Strom in gleicher Phase verlaufende Spannung derart, daß die Leistung kleiner wird. Der bei widerstandsloser Erdung auftretende Höchststrom $2 \pi f C V_0$ beträgt im allgemeinen nicht mehr als einige mA, da $2 \pi f C$ von der Größenordnung $1/10^{-6}$ ist und V_0 einige Tausend Volt nicht überschreitet.

3. Wanderwellen.

Vor Erklärung des physikalischen Vorganges bei Funkenentladung sollen zunächst die Beziehungen für Wanderwellen in gestreckten Leitungen zusammengestellt und weiter der Vorgang bei plötzlicher Entladung beschrieben werden.

Für eine Leitung, die durch keine fremden Ladungen oder Ströme beeinflusst wird, gelten bekanntlich die Beziehungen

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial V}{\partial x} &= l \frac{\partial J}{\partial t} + r J \\ -\frac{\partial J}{\partial x} &= c \frac{\partial V}{\partial t} + a V \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

worin l der Selbstinduktionskoeffizient, r der Ohm'sche Widerstand, c die Kapazität und a der Ableitungskoeffizient für die Längeneinheit der Leitung ist. Durch Ausschließung von J aus diesen Gleichungen erhält man

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = l c \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} + (a l + r c) \frac{\partial V}{\partial t} + a r V \quad (9)$$

Kann die Leitung als „verlustfrei“ angesehen werden, so sind die Glieder mit a und r zu vernachlässigen und es ergibt sich die folgende einfachere Beziehung

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = l c \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \quad (10)$$

Die allgemeine Lösung dieser Differentialgleichung ist bekanntlich

$$V = f_1(x - vt) + f_2(x + vt) \quad (11)$$

worin

$$v = \frac{1}{\sqrt{lc}} \quad (12)$$

gesetzt ist. $f_1(x - vt)$ stellt eine vom Leitungsanfang gegen das Leitungsende, $f_2(x + vt)$ eine in entgegengesetzter Richtung laufende Welle dar.

$$\gamma = \frac{1}{3} [1 + 2 \cos(\alpha l - 120^\circ)],$$

oder da $\cos 120^\circ = -\frac{1}{2}$ und $\sin 120^\circ = \frac{1}{2}\sqrt{3}$ ist:

$$\gamma = \frac{1}{3} [1 - \cos \alpha l + \sqrt{3} \cdot \sin \alpha l].$$

Man erkennt, daß $\gamma = 0$ wird für $l = 0$; das bedeutet, daß die Restspannung ganz beseitigt werden kann, wenn man die Leitung stetig, etwa von Mast zu Mast verdrillt. Das ist natürlich der Kosten wegen nicht möglich; für uns kommt es darauf an, festzustellen, wie lang man einen Drillschritt machen darf, um eine ausreichende Verringerung der Restspannung zu erzielen; die größte zulässige Länge ist dadurch bestimmt, daß das γ die Werte $\frac{1}{15}$ bzw. $\frac{1}{10}$ nicht übersteigt. Man übersieht ohne weiteres, daß für beide Bedingungen αl so klein sein muß, es zulässig ist, $\cos \alpha l = 1$ und $\sin \alpha l = \alpha l$ zu setzen. Mit diesen Vereinfachungen wird

$$\gamma = \frac{\alpha l}{\sqrt{3}} ; \quad \alpha l = \gamma \cdot \sqrt{3} \\ l = \lambda \cdot \frac{\gamma \cdot \sqrt{3}}{2\pi}$$

Hiernach berechnet sich die größte zulässige Länge eines Drillschrittes

- für Dreiecksanordnung [$\gamma = \frac{1}{4}$] zu $\frac{\lambda}{15}$
- für ebene Anordnung [$\gamma = \frac{1}{10}$] zu $\frac{\lambda}{36}$

Als Wellenlänge ist die Wellenlänge derjenigen Oberschwingung einzusetzen, die der Frequenz $\omega = 5000$ entspricht. Bei oberirdischen Leitungen liegt diese Wellenlänge in der Größenordnung von 300 km. Hiermit ergibt sich die zulässige Schrittlänge

- für Dreiecksanordnung zu 20 km
- für ebene Anordnung zu 8 km

und die zulässige Länge eines Umlaufs zu 60 bzw. 24 km.

In dem Bericht des Joint Committee of Induktion Interference to the Railroad Commission of the State of California vom 28. 9. 1917 finden sich folgende, auf die behandelte Aufgabe Bezug habende Angaben.

Die Restspannung beträgt:

- bei gleichseitig dreieckiger Anordnung: 0,5 — 4%
- bei ebener senkrechter Anordnung: 6 — 11%
- „ „ wagerechter „ „ 5 — 10%

Als größte Länge eines Drillschrittes wird dort gefordert für Leitungen mit Dreiecksanordnung 12 Meilen für Leitungen mit anderer Anordnung 6 Meilen.

Die Poulsenanlage bei der Hauptfunkstelle in Königswusterhausen.

Von H. Thurn-Berlin.
(Schluß.)

b) Vorschalt-Widerstand.

Um eine Energieregulierung möglich zu machen und um beim Zünden des Lichtbogens einen Kurzschluß zu vermeiden, ist in der einen Gleichstromspeiseleitung noch ein in Stufen regelbarer Widerstand (ein mit Asbestfäden durchflochtenes Widerstandsband) eingebaut, der im Kellerraum in einem mit Oel gefüllten Kasten aufgestellt ist. Seine Bedienung geschieht vom Generator aus mittels eines Seilzuges. Auf dem Schaltkasten befindet sich eine senkrechte Welle, welche bis an die Kellerdecke reicht; von da geht der Drahtzug nach einer zweiten in einer

Standsäule gelagerten Welle dicht vor dem Generator, welche mit Hilfe eines Handrades bewegt werden kann.

c) Drosselspulen.

Zur Abhaltung des hochfrequenten Wechselstromes von den Gleichstromleitungen sind in diese Drosselspulen eingebaut, die zwar den Gleichstrom durchlassen, aber

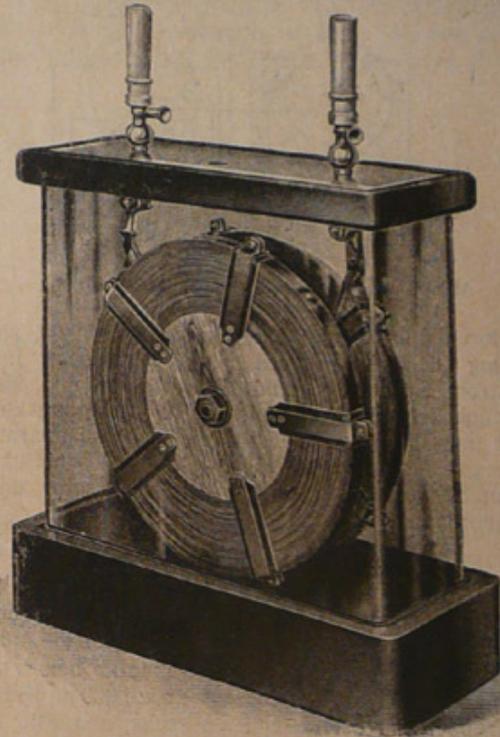


Abb. 8. Drosselspule aus Kupferband.

für den Wechselstrom infolge ihrer Selbstinduktion einen hohen Widerstand bilden. An dem Deckel eines mit Paraffinöl gefüllten Glasgefäßes hängt senkrecht eine Glasplatte, zu deren beiden Seiten die beiden Scheibenspulen angebracht sind. Es werden vier Spulenkästen benutzt, von denen je zwei Scheibenspulen flechtwerkartig aus Litzendraht oder aus Kupferband gewickelt sind (Abb. 8).

d) Das Blockrelais.

Die beiden Blockrelais (Abb. 9) dienen (doppelpolig) zum Ein- und Ausschalten des Generatorstromes; sie ermöglichen beim Ausschalten eine rasche Unterbrechung. Die Magnetspule des Relais wird mit Gleichstrom von 220 V gespeist. Mit der Ankerplatte wird ein Hebel angezogen, welcher erst an einen oberen, zwischen den beiden Polen eines Blasmagneten sitzenden Kontakt anschlägt und dann an einen zweiten tiefer sitzenden, über welchen der Gleichstrom seinen Hauptweg nimmt. Beim Ausschalten erfolgt die Unterbrechung in entgegengesetzter Reihenfolge. Die Unterbrechung am Hauptkontakt geht ohne Lichtbogenbildung vor sich, da dem Strom in dem betreffenden Augenblick noch der Uebergang des oberen Kontaktes verbleibt; er muß dabei aber die Windungen des Blasmagneten durchfließen, so daß bei der Unterbrechung des oberen Kontaktes das von ihm selbst er-

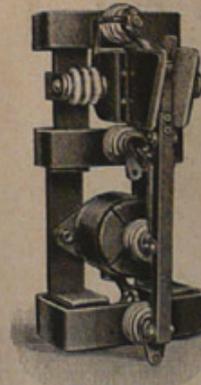


Abb. 9. Blockrelais.

zeugte Magnetfeld einen Lichtbogen an den Kontaktfedern rasch ausbläst.

e) Das Schaltpult.

Für die Regelung des Sendebetriebs sind eine Anzahl von Schaltvorrichtungen nötig: Die zu benutzende Wellenlänge muß eingestellt werden, die Maschinen zur Gleichstromlieferung sind anzulassen und einzuregulieren; Nebenapparate, wie Elektrodenantrieb, Wasserpumpe,

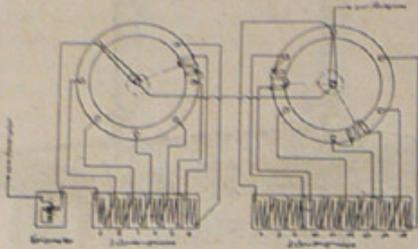


Abb. 10. Schaltschema der Spulenordnung.

Ventilatoren müssen an- und abgestellt werden; zur Beobachtung der elektrischen Vorgänge dienen für den Gleichstrom Spannung- und Strommesser und für den Hochfrequenzstrom, Wellenmesser, Schwingungskontrollapparat und Erdämperemeter. Alle Kontrollapparate und Bedienungshandgriffe sind in dem Schaltpult vereinigt. Es steht im Senderraum zwischen dem Generator und der Spulenordnung.

f) Sendespulen-Anordnung.

Um mit einer beliebigen Welle innerhalb der gegebenen Grenzen senden zu können, werden entsprechende Spulen in den Antennenkreis eingeschaltet und außerdem noch zwei in Serie geschaltete Variometer benutzt. Zur Herstellung von Wellenlängen bis zu 20 000 m sind zwei Spulengruppen aufgestellt, eine zu sechs, und eine zweite zu 9 Kästen; die 6 Kästen besitzen je eine kleinere Selbstinduktion als die Variation der beiden Variometer beträgt, so daß beim Umschalten mit Sicherheit Ueberlappung vor-

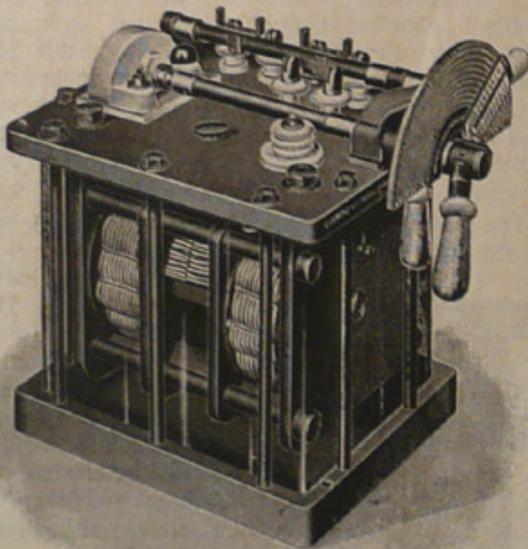


Abb. 11. Variometer.

handen ist. Die 9 Kästen werden einzeln oder zu mehreren zugeschaltet, der Selbstinduktionswert liegt jedoch immer unterhalb des Betrages, welchen die Variometer und die 6 Kästen zusammengenommen haben. Will man also die Welle stetig verlängern, so ändert man zunächst das Variometer, indem man nach Erreichen des Höchstwertes auf den Mindestwert wieder zurückdreht und gleichzeitig eine

der sechs Spulen zuschaltet. Hat sich dies bis zur sechsten einschließlic wiederholt, so wird die ganze Gruppe wieder ausgeschaltet und durch einen gleich großen Satz der neuen Kästen ersetzt; danach werden die sechs Spulen nacheinander unter jedesmaliger Variometerdrehung wieder benutzt, bis sie durch einen zweiten Satz der neuen Kästen ersetzt werden. Das Schaltschema der Spulenordnung ist in Abb. 10 gegeben.

Die Spulen sind in Glaskästen untergebracht, die zur besseren Ableitung der Stromwärme mit Oel gefüllt sind (Abb. 8).

Die beiden in Serie geschalteten Variometer (Abb. 11) befinden sich ebenfalls in Glaskästen, welche mit Paraffinöl angefüllt sind. Je zwei Spulenwicklungen in Rechteckform sind auf den Umfang eines Außen- und Innenzylinders gelegt; die beiden Zylinder stecken ineinander. Die Wicklung ist derartig, daß bei der Null-Stellung die Felder beider Doppelspulen sich aufheben oder subtrahieren, dagegen bei einer Stellung von 180° addieren; jede andere Stellung der Zylinder gegenseitig gibt entsprechend dem Drehwinkel einen Zwischenwert, wodurch die Variation der Selbstinduktion zustande kommt.

g) Das polarisierte Tastrelais.

Bei der Aussendung der Morsezeichen ist es unzumutbar, die Senderströme mit Rücksicht auf ihre Spannung und Stärke unmittelbar durch die Handtaste zu schließen bzw. zu unterbrechen; mit der Handtaste wird daher nur ein Gleichstrom geringer Stärke und örtlicher Netzspannung geschlossen, der seinerseits vermittels Magnetspulen den eigentlichen Senderstromschluß bewirkt, wodurch es möglich ist, die Relaisausbildung den Hochfrequenzbedingungen anzupassen.

Das Schema der Leitungsführung beim Tastrelais ist in seinem Prinzip aus der Abb. 12 ersichtlich. T bedeutet die Handtaste, H ein Hilfsrelais, S_I, S_{II}, S_{III} sind drei Spulenpaare, deren Strom durch die Kontakthebel K₁, K₂ unterbrochen wird. Die Bewegung der Kontakte, welche die Wege des Hochfrequenzstromes bestimmen, wird durch die magnetische Wirkung der Doppelspulen I, II und III hervorgerufen. Die Spulen I und III besitzen feste Eisenkerne, während derjenige der Spule II in der Richtung der Achse beweglich ist. Die Spulenpaare I und III werden

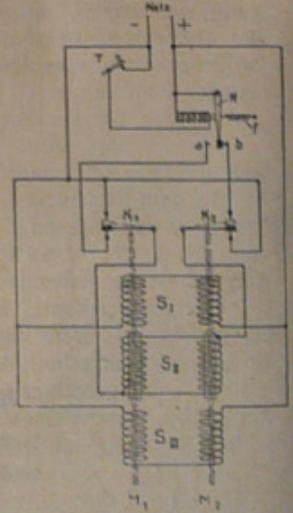


Abb. 12. Grundsätzliches Schaltschema des Tastrelais.

dauernd vom Strom durchflossen, dermaßen, daß die magnetische Feldrichtung des einen Spulenpaares entgegengesetzt der des anderen ist. Nur bei dem mittleren Spulenpaare wechselt unter dem Einfluß der Handtastenbewegung die Strom- und damit die magnetische Kraftflußrichtung, so daß der bewegliche Spulenkern entsprechend den gegebenen Morsezeichen bald nach oben, bald nach unten sich bewegt.

Beim Telegraphieren läßt sich folgender Stromverlauf verfolgen: Die Spulen I und III stehen vom Netz her dauernd unter Strom. Solange die Taste offen ist, bekommt auch die Magnetspule des Hilfsrelais H keinen Strom, so daß die Relaiszunge durch die Spannkraft der Feder f an dem Kontakt b anliegt. Es kann durch S_{II} kein Strom fließen, da der Kreislauf noch bei K₂ unterbrochen

ist. Beim Drücken der Taste bekommt die Spule von H Strom, so daß die Federkraft f überwunden wird und Kontakt bei a entsteht. Dadurch wird ein geschlossener Stromweg vom + Pol über a , K_1 , S_{II} , K_2 nach dem - Pol hergestellt, und der Magnetkern in S_{II} wird nach oben bewegt, bis durch die Verlängerungen des Magnetkernes die Hebel K_1 und K_2 nach oben (punktirierte Lage) bewegt werden. Der Strom durch S_{II} wird bei K_1 unterbrochen, und der Magnetkern bleibt oben nur durch die Anziehungskraft von S_{II} haften. Läßt man die Taste los, so wird das Hilfsrelais H unmagnetisch. Durch die Feder f wird der Kontakt b hergestellt, so daß jetzt vom + Pol über Kontakt b , Hebel K_2 , S_{II} und K_1 nach dem - Pol ein Strom in entgegengesetzter Richtung als vorher durch S_{II} solange fließt, bis infolge der dadurch erfolgten Abwärtsbewegung des Magnetkernes auch K_1 und K_2 wieder ihre Kontakte gewechselt haben, wodurch der Stromlauf bei K_2 von neuem unterbrochen wird. Der Magnetkern behält nur seine tiefste Lage solange inne, bis ein erneutes Drücken der Taste eintritt.

h) Der selbstanzeigende Wellenmesser.

Der in Königswusterhausen benutzte selbstanzeigende Wellenmesser ermöglicht es, die Wellenlänge an einer Skala in ebenso einfacher Weise abzulesen, wie es mit Spannung und Strom bei den Volt- und Amperemetern der Fall ist.

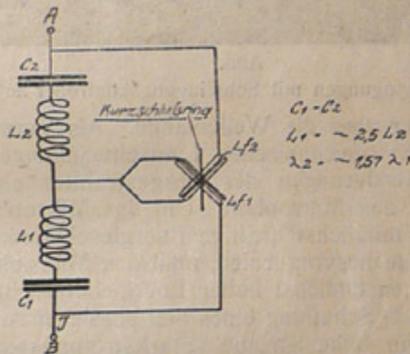


Abb. 13. Theoretisches Schaltschema des Wellenmessers.

Das Schaltungsschema in seiner einfachsten, grundsätzlichen Form geht aus der Abb. 13 hervor. Das System wird mit seinen Anschlüssen A und B unmittelbar in den Schwingungskreis eingefügt, dessen Periodenzahl oder Wellenlänge gemessen werden soll. Für den durchfließenden Strom bieten sich zwei Wege. Der Hauptstrom geht durch die Kondensatoren und Spulen C_2 , L_2 , L_1 und C_1 . Entsprechend dem Widerstande, welchen der Strom dabei findet, entstehen an den Klemmen von C_2 , L_2 und C_1 , L_1 Spannungsunterschiede, die veranlassen, daß ein Bruchteil des Stromes durch die im Nebenschluß liegenden Spulen L_{f2} und L_{f1} seinen Weg sucht. L_{f1} und L_{f2} sind sogenannte Richtspulen, welche gemeinsam auf einen frei spielenden Kurzschlußring einwirken und je nach der augenblicklichen Stromstärke mehr oder weniger Einfluß auf seine Stellung ausüben.

Die Größe des Richtspulenstromes ist abhängig von der Windungszahl der Spulen selbst und von den elektrischen Größenverhältnissen von C_1 , L_1 , C_2 , L_2 .

In der Abb. 14 sind die Widerstände unter der Annahme aufgetragen, daß $C_1 = C_2$ ist, wie es bei der praktischen Ausführung des Wellenmessers der Fall ist. Ferner sind L_1 und L_2 so gewählt, daß bei dem einen Grenzwert des zu messenden Wellenbereiches der Widerstand von L_1 gleich demjenigen von C_1 und bei dem anderen Grenzwert der von L_2 gleich dem von C_2 ist. Die zwischen der C_1 und L_1 -Kurve liegende (links aufwärts schraffierte) Fläche gibt einen Maßstab für den Widerstand an den Außen-

klemmen von C_1 , L_1 und der daran herrschenden Spannung. Ebenso bietet die von der C_2 - und L_2 -Kurve eingeschlossene (rechts aufwärts schraffierte) Fläche einen Maßstab für den Widerstand bzw. für die Spannung an den Klemmen von C_2 , L_2 .

Bei der Wellenlänge λ_1 wird an den Klemmen der Spule L_{f1} eine Spannung herrschen, die beim Uebergang zur Wellenlänge λ_2 zum Werte 0 übergeht; dagegen herrscht bei λ_1 an der Richtspule L_{f2} die Spannung 0, die beim Uebergang zu λ_2 dauernd ansteigt. Da nun die durch die Spulen L_{f1} und L_{f2} fließenden Ströme eine Folge der

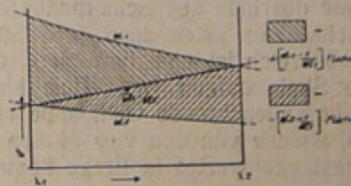


Abb. 14.

Spannung an den Klemmen derselben sind, so entsteht etwa das in Abb. 15 wiedergegebene Strombild. Von λ_1 zu λ_2 steigt der Strom in der Spule L_{f2} , während er in der anderen abnimmt. Diese Veränderlichkeit der Stromstärke in Abhängigkeit von der Periodenzahl bildet die Grundlage für das System, indem man die Amperewindungen von L_{f1} und L_{f2} auf einen frei spielenden Kurzschlußring wirken läßt, welcher proportional zu den Stromstärken aus den beiden senkrecht zueinander stehenden Spulenfeldern herausgestoßen wird.

Ist im Innern einer von Wechselstrom durchflossenen Spule ein Kurzschlußring frei beweglich angebracht, so wird durch das Wechselfeld der Spule in diesem eine elektromotorische Kraft erzeugt, die ihrerseits in dem Ring einen Wechselstrom hervorruft. Dieser Strom im Kurzschlußring besitzt aber nun eine Phasenverschiebung von 180° gegenüber demjenigen in der Außenspule, d. h. er fließt in jedem Zeitmomente in entgegengesetzter Richtung. Es findet eine gegenseitige Abstoßung statt, so daß der Kurzschlußring sich so weit als möglich aus dem Spulenfelde herauszudrehen sucht. Seine Ebene sucht sich senkrecht zu derjenigen der Spule zu stellen. Ordnet man

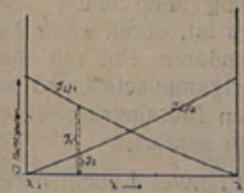


Abb. 15.

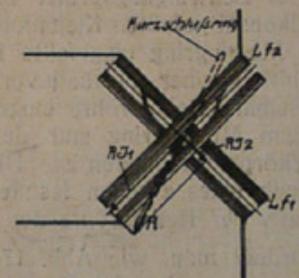


Abb. 16.

dagegen zwei Spulen senkrecht zueinander (Abb. 16) an, welche von Strömen durchflossen werden, so findet eine Abstoßung des Kurzschlußringes von beiden statt. Der Ring stellt sich dann zu keiner Spulenebene senkrecht ein, sondern nimmt eine Zwischenstellung ein, wobei das Winkelmaß der Entfernung von den Spulenflächen im umgekehrten Verhältnis zu den darin fließenden Stromstärken steht. Die Stromstärken können aber nun, wie vorher gezeigt, von der Wellenlänge abhängig sein, demzufolge auch die Stellung des Kurzschlußringes. Ein damit in Verbindung stehender, über einer Skala sich bewegender Zeiger nimmt dann bei jeder Periodenzahl eine andere ganz bestimmte Stellung ein, wodurch die Möglichkeit zur

Ausbildung eines selbstanzeigenden Wellenmessers gegeben ist.

Um nicht eine allzu enge Skala für den Bereich des Wellenmessers (4000—20 000 m) zu haben, ist sie auf vier Stufen verteilt worden. Während die für die vier Meßbereiche bestimmten Spulen und Kondensatoren in einem besonderen Glaskasten eingebaut sind, der mit seinen Außenanschlüssen unmittelbar in die Hochfrequenzleitung gelegt ist, befinden sich die Richtspulen mit dem Kurzschlußring und der Zeigeranordnung in einem besonderen Gehäuse. Um der Bedienungsmannschaft eine leichte Ablesbarkeit der Skala zu ermöglichen, ist dieser Teil der Apparate oberhalb des Schaltpultes (siehe Abb. 6 rechts) angebracht. Für jeden durch den Spulenschalter einstellbaren Meßbereich ist eine besondere, durch Farbe gekennzeichnete Skala aufgetragen. Eine kleine in entsprechender Farbe aufleuchtende Glühlampe unterhalb der Skala deutet an, welche von den vier Skalen für die Ablesung des Wellenlängenwertes in Frage kommt.

i) Der Schwingungsprüfer.

Ebenso wie es nötig ist, die ausgestrahlte Wellenlänge einwandfrei zu bestimmen, muß auch der Schwingungszustand des Antennenstromes einer dauernden Prüfung unterzogen werden. So wertvoll auch der bekannte

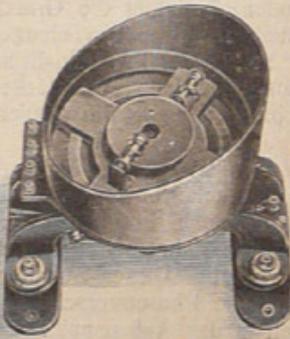


Abb. 17.
Schwingungsprüfer.

„Glimmlichtoszillograph“ für die Beurteilung der Vorgänge in Hochfrequenzkreisen ist so bleibt doch seine Anwendung in der Hauptsache auf das Laboratorium beschränkt. Da seine Bedienung, besondere Geschicklichkeit voraussetzt. Dagegen besitzt man in dem in Abb. 15 dargestellten Schwingungsprüfer ein Hilfsmittel, das, wenn es auch nicht alle Einzelheiten der in den Hochfrequenzkreisen vorhandenen Strömungserscheinungen wiedergibt, doch im Rahmen des Stationsbetriebes ein wertvolles Beobachtungsinstrument darstellt.

Der Schwingungsprüfer besteht aus einem in einem Wandkonsole gefaßten Kleinmotor, dessen Achse eine durch einen Messingring eingefäßte Hartgummischeibe trägt, in die mittels einer Festhaltevorrichtung eine leicht austauschbare Heliumröhre eingelassen ist, deren einer Pol mit dem Messingring und deren anderer Pol mit dem Motorkörper verbunden ist. Die Hartgummischeibe rotiert innerhalb eines zweiten feststehenden Messingringes, der kapazitiv der Heliumröhre den Strom zuführt.

Ordnet man, wie Abb. 17 zeigt, zwei Leuchtröhren auf der rotierenden Scheibe an, so ist damit die dauernde Beobachtung der Schwingungszustände in zwei Kreisen möglich, wobei die Röhren aperiodisch oder unter Verwendung eines Resonanzkreises mit dem betreffenden Erregersystem gekoppelt sein können (z. B. Primärkreis und Luftleiter). Die gleichförmig leuchtende Scheibe der Abb. 18 zeigt dem Stationsbeamten an, daß in dem betreffenden Schwingungskreise Ströme mit gleichbleibender Amplitude fließen. Von besonderem Werte ist seine Verwendung bei der drahtlosen Telephonie zur Feststellung des Einflusses des gesprochenen Wortes auf den Schwingungsverlauf im Strahlensystem. Abb. 19 zeigt Aufnahmen, die mit dem Schwingungsprüfer beim Hineinsprechen verschiedener Buchstaben (a und u) in den Schalltrichter des Sprechmikrophons eines gut eingestellten Telephonisenders gewonnen wurden.

D. Drahtlose Telephonie mit Hilfe des Poulsengenerators.

Alle Energiequellen, die Wechselströme mit gleichbleibender Amplitude, also ungedämpfte Schwingungen, liefern, eignen sich für die Zwecke der drahtlosen telephonischen Nachrichtenübermittlung. Zur Uebertragung der Sprache wird auf der Sendeseite entweder die Stärke des Antennenstromes im Rhythmus der Lautschwankungen

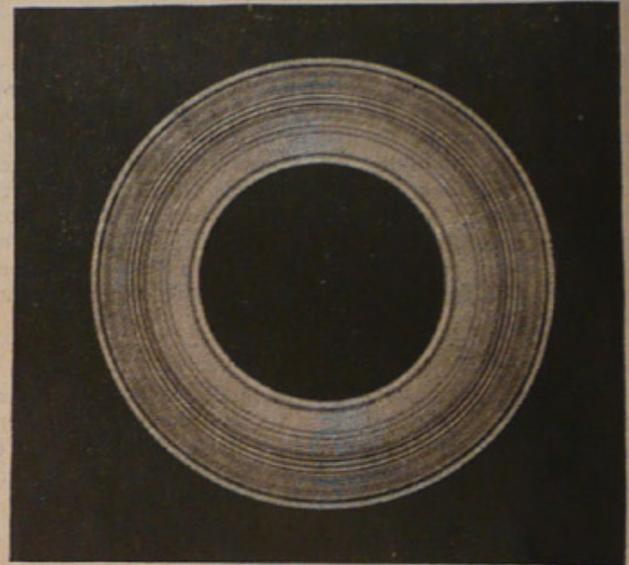


Abb. 18.

Lichtbogenschwingungen mit Schwingungskontroller aufgenommen. verändert oder aber die Wellenlänge. Als Vermittler zur Umsetzung der mechanischen Lautschwankungen in entsprechende Aenderungen der ausgestrahlten elektrischen Energie dient das Mikrophon. Um das Mikrophonsystem zu befähigen, möglichst kräftige Energieschwankungen auf der Primärseite hervorzurufen, muß das Mikrophon in der Lage sein, einen tunlichst hohen Energiebetrag in sich aufzunehmen. Die Schaffung eines betriebssicheren, einfachen Mikrophons für hohe Ströme (Starkstrommikrophon) bot aber bisher große Schwierigkeit; man suchte sich dadurch zu helfen, daß man mehrere Mikrophone in Nebeneinander- oder Gruppenschaltung benutzte und außerdem zur Ver-

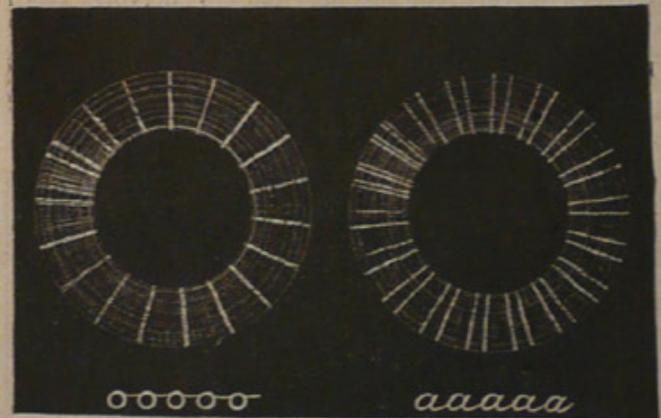


Abb. 19. Aufnahmen der gesprochenen Buchstaben a und o durch Schwingungskontroller.

meidung einer zu großen Strombelastung gewisse Schutzschaltungen mit Hilfe von Drosselspulen und Kondensatoren anwandte. Um gleichzeitig mehrere Mikrophone sprechen zu können, wurden sie mit einem gemeinsamen Schalltrichter verbunden, wie es auch bei der älteren Ausführungsform in Königswusterhausen der Fall war.

Bereits in seinen ersten Veröffentlichungen konnte Poulsen Mitteilungen über erfolgreiche Versuche auf dem

Gebiete der drahtlosen Telephonie mit Hilfe seines Lichtbogensenders machen. Bei seinen Versuchen lag das Mikrophon im Erdungspunkt des Luftdrahtes und führte somit den vollen Antennenstrom. Eine geringere Strombelastung wird dadurch erzielt, daß man das Mikrophon zu einem Teil der in der Antenne liegenden Selbstinduktion nebeneinander schaltet.

Die von C. Lorenz beim drahtlosen Telephonieren mit Hilfe der Poulensender bisher vielfach benutzte Schaltung ist aus Abb. 20 ersichtlich. Bei dieser Schaltung liegt der Lichtbogen im geschlossenen Schwingungskreis, der aus einem Oelkondensator, dem Sendevariometer und den Sendespulen besteht. Der Schwingungskreis arbeitet induktiv auf den Luftleiter, in dem die Mikrophone und Abstimmittel liegen.

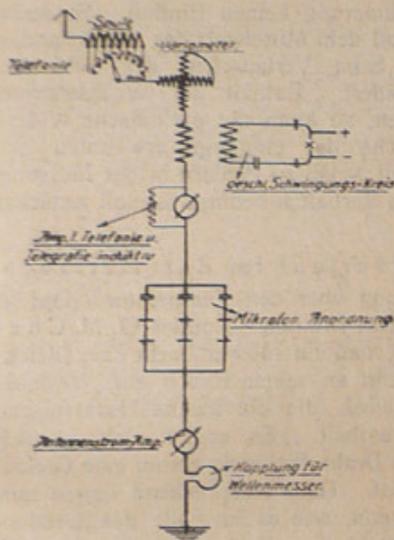


Abb. 20. Telephonieschaltung.

Die Telephonieeinrichtung muß entsprechend der geforderten Wellenlänge besonders eingestellt werden; die Energie in den Mikrophone läßt sich mittels der Kopplungsspule beliebig ändern. Der Widerstand des Mikrophone muß ungefähr dem Antennenwiderstand gleich sein. Zur Einstellung der günstigsten Betriebs-Bedingungen benutzt man den in dem Erdungspunkt der Antenne eingeschalteten Strömmeßer, der beim Besprechen der Mikrophone möglichst große Stromveränderungen zeigen muß. Das Einstellen der Wellenlänge und Sprechen geschieht am Sender selbst. Die Inbetriebsetzung des Generators erfolgt durch Niederdrücken der Taste, die in ihrer Sendstellung festgelegt wird. Durch mäßig lautes Hineinsprechen in den Mikrophontrichter erfährt der Luftleiter Widerstandsänderungen, die die Amplitude der ausgestrahlten Schwingungen beeinflussen. Je stärker die Widerstandsschwankungen im Luftdraht sind, um so günstiger wird der Empfang sein.

Eine ausführliche Untersuchung aller Bedingungen, unter denen vom Telephoniesender die besten Ergebnisse zu erwarten sind, hat Pedersen angestellt. Hiernach hat die moderne drahtlose Telephonie folgende Hauptaufgaben zu lösen:

1. Es sollen durch verhältnismäßig geringe Aenderungen der Mikrophonströme starke Aenderungen der von der Antenne ausgestrahlten Energie erfolgen;
2. Diese Aenderungen müssen möglichst proportional den zu übertragenden Lautschwankungen erfolgen, damit die Sprache unverzerrt und mit großer Reinheit übermittelt wird.

Es dürfte der C. Lorenz-A.G. gelungen sein, mit ihrer neuesten Telephonieanordnung ein praktisch gut brauchbares drahtloses Fernsprechen für Großstationen*) ermöglicht zu haben. Aus patentrechtlichen Gründen kann heute auf Einzelheiten dieser Anordnung noch nicht ein-

*) Bei den wiederholt von Königswusterhausen aus angestellten drahtlosen Telephonieversuchen mit Hilfe eines 4 kW-Poulensenders (mit Zwischenkreis) wurde der gesprochene Text einwandfrei von den Reichsfunkstellen aufgenommen. Auch von den Großfunkstellen Karlsborg (700 km) und Moskau (1700 km) wurde die Sprache klar und laut wahrgenommen.

gegangen werden; es sei nur bemerkt, daß die bisherige Meinung, das Lichtbogensystem sei für Telephonie mit größeren Leistungen wenig geeignet, durch die weitere Entwicklung hinfällig geworden ist. Schon im Jahre 1913 waren von der C. Lorenz-A.G. Versuche angestellt worden, den Poulensender für Telephonie mit größeren Antennenleistungen verwendbar zu machen. Durch die Kriegsjahre wurden die Entwicklungsarbeiten unterbrochen und erst in neuester Zeit wieder aufgenommen. Die praktischen Versuche sind inzwischen so weit gediehen, daß es heute möglich ist, auch mit großen Antennenleistungen mit dem Lichtbogensender ohne Schwierigkeiten betriebssicher zu telephonieren. Das neue System erlaubt es, mit einem einzelnen einfachen Mikrophon durch eine besondere Beeinflussungsschaltung die Sprachschwingungen auf Antennenleistungen zu übertragen, deren Größe praktisch unbeschränkt ist. Die Sprache wird auch bei diesen großen Leistungen unverzerrt wiedergegeben.

Der Empfang bei der drahtlosen Telephonie macht viel weniger Schwierigkeiten wie das Senden. Natürlich können wir beim Empfang keine Tikker, Tonrad und Schwebungsempfänger benutzen, sondern müssen wieder auf den Kontakt-detektor zurückgreifen, der als Ventil wirkt und daher dem Telephon nur Gleichstrom zuführt. Der Kontakt-detektor wird aperiodisch mit dem Sekundärkreis gekoppelt, um infolge der scharfen Abstimmung fremde Einflüsse möglichst auszuschalten. Der Empfänger darf nicht genau auf die ankommende Welle abgestimmt werden, da dann großen Aenderungen der Senderleistung nur kleinere Aenderungen der Empfangsenergie entsprechen würden.

Bei der neuesten Telephonieanordnung von Lorenz können auch die modernen Empfangsapparate mit Audion für den Empfang ohne weiteres verwendet werden, da sie bei loser Kopplung den Ton nicht zerstören. Die Wellenschwankungen sind so gering, daß eine Schwierigkeit bei Benutzung dieser Audionempfänger nicht eintritt. Der praktische Versuch wird in den meisten Fällen rasch zur günstigsten Einstellung des Empfängers bezüglich Abstimmung, Dämpfung und Wahl der Kopplung führen.

Schlufßbemerkung: Es kann nicht Aufgabe dieses Aufsatzes sein, die Vorteile und Nachteile des Poulensenders mit den anderen ungedämpften Sendern zu vergleichen und ein abgrenzendes Verwendungsgebiet für die einzelnen Systeme festzulegen. Es ist ein großes Verdienst der C. Lorenz-A.G., den Lichtbogengenerator und seine Zubehörteile besonders in letzter Zeit so verbessert zu haben, daß er heute alle Anforderungen, wie Wellenkonstanz, Betriebssicherheit, Wirkungsgrad und Einfachheit, erfüllt.

Der Wirkungsgrad, der bisher nur etwa 25 % betrug, wurde durch geeignete Schaltungen erheblich gesteigert, und zwar unabhängig von Antennenkapazität, Leistung und Wellenbereich. Durch eingehende Untersuchungen in den Laboratorien der C. Lorenz A. G. ist es gelungen, die Konstanz der Schwingungen, welche seither noch nicht einwandfrei war, so sicher zu stellen, daß ein guter Ueberlagerungs-Empfang bei einem Wellenbereich von 2000 bis 24000 m und darüber ermöglicht wird. An neueren Verbesserungen ist insbesondere der Einbau von Zwischenkreisen zu erwähnen, wodurch es möglich gemacht wurde, auch in nächster Nähe der Hauptfunkstelle während des Sendens störungsfrei zu empfangen. Ferner werden die Generatoren heute an Stelle der bisherigen Energieschaltung mit einer neuen Spulenkombination versehen, wodurch insbesondere der Wirkungsgrad auch bei kürzeren Wellen ganz erheblich gesteigert wurde. Der Lichtbogensender in der von C. Lorenz heute gebauten Form ist für einen Dauerbetrieb, wie ihn die Reichs-Telegraphenverwaltung in ihrem Verkehrsnetz benötigt, durchaus brauchbar. Die bisherige Tastvorrichtung ist durch eine neue

ersetzt worden, welche sehr schnelles Handtasten sowie erforderlichenfalls auch automatisches Schnelltasten ermöglicht und welche außer der eigentlichen Taste keine weiteren beweglichen Teile enthält. Dabei erfolgt das Tasten nicht etwa durch Verstimmung, sondern durch vollkommene Unterdrückung des Antennenstromes bis zum Nullwert. Der auch im internationalen Funkverkehr angestrebte Schnellbetrieb, der eine erhöhte Ausnutzung der gesamten Anlage gestattet und der besonders für Großstationen einer Verkehrsverwaltung zur Erzielung einer angemessenen Wirtschaftlichkeit von ausschlaggebender Bedeutung ist, läßt sich heute mit den modernen Lorenz-Poulsensendern mit Hilfe dieser Tastschaltungen einwandfrei durchführen. Für die Erzeugung großer Leistungen wurden besondere Konstruktionen gefunden, die es gestatten, unter Verwendung kleinsten Raumes und größter Betriebssicherheit bei wirtschaftlichem Betrieb einen einwandfreien Verkehr aufrecht zu erhalten.

Zur Theorie des Baretters.

Von K. K ü p f m ü l l e r.

(Mitteilung aus dem Telegraphen-Versuchsamt.)

Vor kurzem hat Herr Dr. Salinger¹⁾ darauf hingewiesen, daß man beim Messen von Wechselströmen und -Spannungen mit Röhrenvoltmetern und anderen Indikatoren ähnlicher Wirkungsweise gewisse Eigentümlichkeiten dieser Anordnungen berücksichtigen muß, wenn man Meßfehler vermeiden will. So kann z. B. ein Röhrenvoltmeter beim Vertauschen der Pole der zu messenden Wechselspannung zwei verschiedene Meßergebnisse liefern, wenn die Kurve der Wechselspannung nicht genau sinusförmig verläuft. Im folgenden wollen wir zeigen, daß eine ganz ähnliche Erscheinung auch bei Messungen mit dem Baretter vorkommen kann, und zwar ebenfalls dann, wenn der zu messende Wechselstrom oder die Wechselspannung Oberwellen aufweisen. Der Grund hierfür ist beim Baretter jedoch ganz anderer Art wie bei den erwähnten auf einer Gleichrichterwirkung beruhenden Anordnungen. Die ausgedehnte Verwendung des Baretters in der Schwachstrommeßtechnik läßt eine genauere diesbezügliche Betrachtung nicht überflüssig erscheinen.

Die Messung mit dem Baretter beruht bekanntlich darauf²⁾, daß der zu messende Wechselstrom durch einen

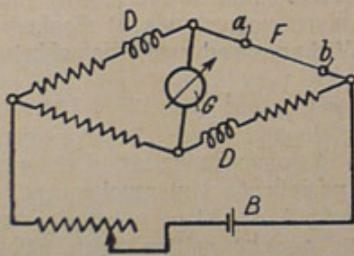


Abb. 1.

sehr dünnen Platindraht, den Baretterfaden, geschickt wird und diesen erwärmt. Dadurch vergrößert sich dessen Widerstand. Der Baretterfaden F, Abb. 1, liegt in einem Zweig einer Gleichstrommeßbrücke und diese ist abgeglichen, d. h. das Galvanometer G ist stromlos, wenn der Faden

nicht von Wechselstrom durchflossen wird. Deshalb wird die durch den Wechselstrom verursachte Widerstandserhöhung des Fadens sich dadurch bemerkbar machen, daß das Galvanometer einen Ausschlag zeigt, der zur Größe des Wechselstromes in einer bestimmten Beziehung steht, die durch eine einmalige Eichung festgelegt wird. Die

Drosseln D dienen dazu, dem Wechselstrom den Weg über die anderen Brückenarme zu verwehren. Ist der Wechselstrom sinusförmig, so ist diese Messung sehr genau. Es handelt sich fast ausschließlich um Strommessungen, so daß wir die folgende Betrachtung auf diese beschränken; mit einfachen Abänderungen gilt sie jedoch auch für den Fall der Spannungsmessung.

Ein sinusförmiger Wechselstrom verursacht zwischen den Enden a und b des Fadens eine Wechselspannung, die angenähert ebenfalls sinusförmig verläuft. Daher schwankt auch die im Faden in Wärme umgesetzte Leistung periodisch, und zwar mit der doppelten Frequenz des Wechselstromes. Wegen der Wärmeausstrahlung pendelt damit dessen Temperatur und in der Folge der Widerstand um Mittelwerte. Auf die Angabe des Gleichstrominstrumentes G hat diese periodische Widerstandsänderung keinen Einfluß. Es stellt sich lediglich entsprechend dem Mittelwert des Widerstandes ein und dieser bleibt beim Vertauschen der Pole des Wechselstromes unverändert. Enthält der Wechselstrom jedoch Oberschwingungen, so kann die periodische Widerstandsschwankung Ursache der eingangs erwähnten Erscheinung sein und damit Anlaß zu Fehlern in der Messung geben. Wodurch dieses Verhalten bedingt ist soll zunächst gezeigt werden.

1. Der Temperaturverlauf im Baretterfaden.

In einer Untersuchung über den Temperaturverlauf in wechselstromdurchflossenen Drähten³⁾ kommt O. M. Corbin zu der Folgerung, daß ein solcher Draht eine Gleichrichterwirkung zeigt, wenn an seinen Enden eine Wechselspannung angelegt wird, die die zweite Harmonische der Grundschwingung enthält. Es ergibt sich nämlich dann, daß der durch den Draht fließende Strom eine Gleichstromkomponente aufweist. Ganz entsprechend liegen nun auch die Verhältnisse, wenn, wie es im Falle des Baretters vorkommen kann, ein nicht sinusförmiger Strom durch den Draht geschickt wird. Dann enthält die Spannung an den Enden eine Gleichspannungskomponente. Diese Gleichspannung wirkt in der Baretterschaltung wie eine elektromotorische Kraft zwischen den Punkten a und b und wird so das Meßergebnis fälschen. Auf welche Weise sie zustande kommt, soll sogleich auseinandergesetzt werden. Wir betrachten zu diesem Zweck zunächst den Temperaturverlauf in einem Drahte, der von einem rein sinusförmigen Strome der Form $i \sin \omega t$ durchflossen wird.

Der Draht wird sich erwärmen und nach genügend langer Zeit wird seine Temperatur⁴⁾ u um einen Mittelwert u_0 schwanken. Für diese Temperatur u_0 sei der Widerstand des Drahtes r_0 . Er läßt sich nun im allgemeinen darstellen durch

$$r = r_0 (1 + \gamma (u - u_0)) \quad (1)$$

γ ist der Temperaturkoeffizient des Drahtmaterials bei der Temperatur u_0 . Die in dem Zeitelement dt im Drahte erzeugte Wärmemenge ist dann

$$dW = i^2 r_0 (1 + \gamma (u - u_0)) \sin^2 \omega t dt \quad (2)$$

Sie dient zunächst dazu, die von der Oberfläche des Drahtes abgestrahlte und abgeleitete Wärmemenge zu decken; wir nennen diesen Teil

$$dV_1 = \eta \cdot u \cdot d dt \quad (3)$$

Diese Beziehung drückt das Newtonsche Abkühlungsgesetz aus, das die ausgestrahlte Wärmemenge proportional der Ubertemperatur setzt. Es gilt bekanntlich nicht unbeschränkt, hier jedoch genügend genau. Der Proportionalitätsfaktor η hängt ab vom Durchmesser des Drahtes und von seiner sogenannten äußeren Leitfähigkeit. Außerdem ist er proportional der Länge des Drahtes.

³⁾ Physikal. Zeitschr. 1910, 11, S. 413.

⁴⁾ Die Temperaturen sind hier zunächst bezogen auf die Temperatur des umgebenden Raumes als Nullhöhe.

¹⁾ Tel. und Fernspr.-Techn. 1920, Heft 2, S. 28

²⁾ Näheres über den Baretter siehe z. B. K. E. F. Schmidt, Physikal. Zeitschr. 1906, 7, S. 642; 1907, 8, S. 601; Béla Gáti, Jahrb. d. drahtl. Telegr. und Telephonie 1908, S. 109; J. Rautenkranz, Phys. Zeitschr. 1909, 10, S. 93; W. Kempe, Phys. Zeitschr. 1910, 11, S. 331; M. K. Grober, Phys. Zeitschr. 1911, 12, S. 239.