SUB | NIEDERSÄCHSISCHE STAATS- UND UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK GÖTTINGEN

Werk

Jahr: 1931
Kollektion: fid.geo
Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:7
Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Werk Id: PPN101433392X_0007
PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0007

LOG Id: LOG_0055
LOG Titel: Eine Apparatur zur Erzeugung und Messung niederfrequenter elektromagnetischer Wechselfelder
LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X
PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X
OPAC: http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.
Each copy of any part of this document must contain there Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.
Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Eine Apparatur zur Erzeugung und Messung niederfrequenter elektromagnetischer Wechselfelder

Von **Max Müller** — (Mit 8 Abbildungen)

(Gehört zu den geophysikalischen Forschungsarbeiten der Reichsanstalt für Erdbebenforschung mit Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft.)

Wird im Erdinnern durch einen elektrischen oder magnetischen Dipol von periodisch wechselndem Moment ein primäres elektromagnetisches Feld erregt, dann wird von letzterem durch Induktion stets ein in der Phase verschiedenes und mit der Leitfähigkeit und Frequenz zunehmendes Sekundärfeld erzeugt. Das entstehende resultierende Feld ist dann bekanntlich nicht linear, sondern elliptisch polarisiert, und weicht um so mehr vom Verlauf stationärer Felder ab, je höher die Stromfrequenz ist. Zur erschöpfenden Darstellung von Wechselfeldern sind dann neben Intensitäts- und Richtungsmessungen auch noch Phasenmessungen erforderlich, welche, ohne wesentlich neue Aufschlußmöglichkeiten zu eröffnen, die Durchführung der Feldarbeiten bedeutend erschweren. In vielen Fällen kommt die in der bisherigen Literatur leider völlig unbeachtete Schwierigkeit noch hinzu, daß sich dem Begriff der Phase wegen der Anisotropie der Gesteinsmedien nicht die übliche elektrotechnische Definition zugrunde legen läßt. Dazu kommt noch, daß Phasenmessungen lediglich die Phasenänderung an der Erdoberfläche wiedergeben, während der Verlauf der Phase im Innern des Beobachtungsmediums nicht erfaßt werden kann. Wir können ihn lediglich theoretisch für den idealisierten Fall verfolgen, daß sich ein homogenes Strömungsfeld in einem unendlich homogenen und isotropen Medium befindet. Die Bedingung dafür, daß sich Amplitude und Phase des Feldes bis zur Tiefe d nur wenig ändern, ist dann nach Abraham bekanntlich:

$$\frac{\nu}{c}\, d \sqrt{\frac{4\pi\sigma}{\nu}} = \beta,$$

wobei ν die Frequenz, σ die Leitfähigkeit und β die Dämpfung bedeuten. Setzen wir $\beta = 10^{-1}$, so ergibt sich für d:

$$d \approx \frac{3 \cdot 10^9}{2\sqrt{\pi\sigma\nu}}.$$

In der Tabelle 1 ist die Tiefe d, innerhalb deren die Dämpfung nur 10^{-1} beträgt und die Phasenänderung somit gering ist, in Abhängigkeit von Frequenz und Leitfähigkeit eingetragen.

Um nun mit stationären Verhältnissen rechnen und Beweise für die in der Literatur bekannten Rechnungshypothesen führen zu können, ist es notwendig,

die Stromfrequenz so tief zu wählen, daß das zu untersuchende Medium die Tiefe d nicht überschreitet. Als weitere Forderung kommt noch hinzu, daß das Untersuchungsobjekt in großem Abstand von der Dipolachse liegt. Zu einem homogenen Strömungsfeld wird man aber immer nur mittels niederfrequenter Ströme gelangen können, da die Reichweite (Eindringungstiefe) der Wechselströme, wie aus Messungen des Verfassers hervorgeht, sowohl in horizontaler wie in vertikaler Richtung, proportional der Quadratwurzel aus der Leitfähigkeit und umgekehrt

Tabelle 1

Leitfähigkeit	$\sigma = 5 \times 10^{17}$	$\sigma = 10^{10}$	$\sigma = 10^{8}$	$\sigma = 10^{6}$
$\nu =$ 10000	$6.3 \cdot 10^{-3}$	0.32 m	3 m	31.7 m
$\nu =$ 5000	$8.9 \cdot 10^{-3}$	0.45	4.5	44.8
$\nu =$ 1000	$2 \cdot 10^{-2}$	1	10	100
$\nu =$ 500	$2.8 \cdot 10^{-2}$	1.41	14.1	141
$\nu =$ 100	$6.32 \cdot 10^{-2}$	3.16	31.6	316
$\nu =$ 10	$2.20 \cdot 10^{-1}$	10.25	102.5	1025

proportional der Quadratwurzel aus der Frequenz ist, in Übereinstimmung mit der Theorie Haberlands (Haberlands Theorie der Leitung von Wechselstrom durch die Erde, Zeitschr. f. angew. Math. u. Mechanik 1926). Die Eindringungstiefe K auf der Mittelsenkrechten zur elektrischen Dipolachse berechnet sich nach der Formel

$$K = \sqrt{\frac{\sigma}{4 \pi \omega}}.$$

Man erkennt daraus leicht den mit wachsender Frequenz zunehmenden Skineffekt und sieht, daß zur Erzielung einer Eindringungstiefe von einigen Hundert Metern bei normaler Erdleitfähigkeit bereits niederfrequente Ströme unter 100 Hertz erforderlich sind.

Es wäre aber verfehlt, die Vorteile der niederfrequenten Ströme lediglich in der Erhöhung der Eindringungstiefe und der Möglichkeit der Erzeugung weitgehend homogener und stationärer Felder erblicken zu wollen. Wie Messungen des Verfassers zeigen, erweisen sich niederfrequente Wechselfelder als besonders geeignetes Mittel zur Erforschung der Feinstruktur und speziell der Anisotropie des Untergrundes. Die Leitfähigkeit der Erdschichten ist in vielen Fällen, wie Versuche mittels niederfrequenter Ströme ergeben haben, weitgehend richtungsabhängig. Feldmessungen mittels 500 periodiger Ströme ergaben oftmals nur wegen des Auftretens von Verschiebungsströmen und Wirbelfeldern eine scheinbare Isotropie. Dadurch ist der Anwendungsmöglichkeit der elektrischen Methoden eine sehr enge Grenze gesetzt.

Im Vordergrund des Interesses steht daher zuerst die Entwicklung einer praktisch brauchbaren Feldapparatur zur Erzeugung und Messung niederperiodiger elektromagnetischer Wechselfelder, welche den ganzen Frequenzbereich 5 bis 10^3 Hertz umfaßt.

Die Apparatur. A. Der Generator. Bis heute bediente man sich zur Erzeugung der Wechselfelder zumeist eines Maschinenaggregats. Der Nachteil von Maschinenaggregaten, welche für 500 periodigen Wechselstrom gebaut werden, ist neben einer erheblichen Inkonstanz in der Betriebsweise vor allem, daß sich ihre Frequenz nur in einem sehr kleinen Bereich zwischen 400 und 500 Hertz verändern läßt. Ferner ist zur Anpassung der Klemmenspannung an den Widerstand des Verbrauchers ein Stufentransformator erforderlich, der zur Vermeidung von Oberschwingungen so dimensioniert sein muß, daß im Primärkreis kein Vorschaltwiderstand erforderlich ist. Die Erzeugung niederfrequenter Ströme beliebiger Periode von 5 bis 500 Hertz ist auf maschinellem Wege unmöglich.

Um diesen Übelstand zu beseitigen, ist der Verfasser schon vor längerer Zeit dazu übergegangen, ein von konstanter Stromquelle (Akkumulatorenbatterie oder Trockenbatterie) gespeistes Schwingaudion zur Stromerzeugung zu verwenden, dessen Frequenz beliebig zwischen 5 und einigen 100 Hertz verändert werden kann. Die Prinzipschaltung zeigt die Fig. 1. Die Rückkopplung erfolgt kapazitiv. Die Anodenstromquelle und der Belastungswiderstand (z. B. der Erdwiderstand) liegen zwischen Kathode und Mittelanzapfung der Induktionsspule, um eine Dämpfung der Schwingungen zu vermeiden. Die Schaltung hat den Vorteil, daß der Erdwiderstand nicht im Schwingungskreise liegt. Selbst hohe Erdübergangswiderstände von einigen 1000 Ohm fallen gegenüber dem induktiven Widerstand des Schwingungskreises und dem inneren Röhrenwiderstand nicht mehr ins Gewicht. Bei der Durchführung praktischer Feldmessungen hat man daher den großen Vorteil, beim Niederbringen von Sonden nicht an die Auswahl feuchter Stellen gebunden zu sein und die Strömungsbasis beliebig gegen die Hauptleitfähigkeitsrichtungen der Gesteinsschichten orientieren zu können.

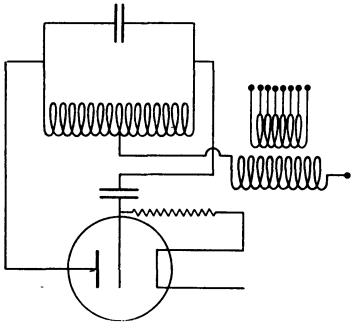

Fig. 1

Wird der Strom nicht direkt der Erde zugeleitet, sondern induktiv dem Untergrund übertragen, so verwendet man am besten zwischen Anodenbatterie und Mittelanzapfung der Induktionsspule des Schwingungskreises einen Abwärtstransformator, dessen Sekundärspule nach einem Exponentialgesetz gewickelt und dessen Sekundärimpedanz durch stufenweise Abzapfung der Sekundärwicklung dem jeweiligen Belastungswiderstand angepaßt werden kann. Ist der Widerstand des Kabels und der Speiseleitung klein (5 bis 10 Ohm), so genügt eine Senderleistung von einigen Watt bereits, um Kabelströme von einigen Hundert Milliampères zu erzeugen. Diese Stromstärke reicht für viele induktive Messungen aus, weil die Intensität des Magnetfeldes nur von der Stromstärke und nicht von der Leistung abhängt.

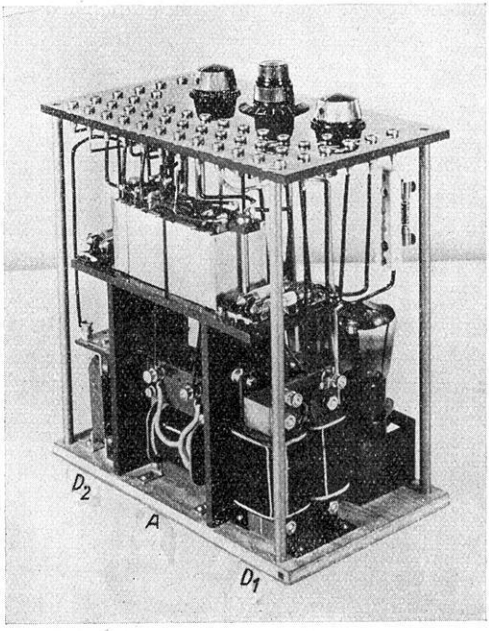

Fig. 2

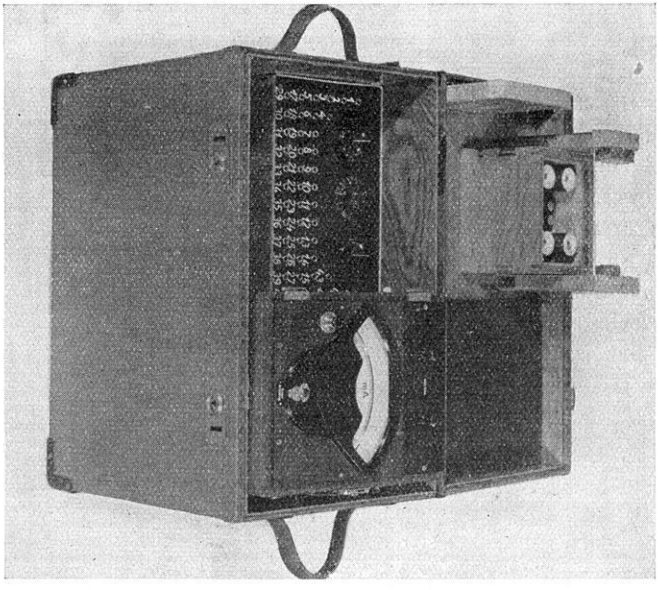

Fig. 3

Die Fig. 2 zeigt den Sender. Als Senderröhren dienen vier parallel geschaltete Telefunkenröhren RE 134, als Induktionsspulen Gegentaktdrosseln mit einer Induktivität von 20 bzw. 20 bis 100 Henry. Die beiden Spulenhälften sind gegenphasig gewickelt, um eine Streuung nach außen zu verhindern. Die Abstimmung erfolgt mittels Kondensatoren; auch der Gitterkondensator kann verändert und entsprechend der jeweiligen Stromfrequenz variiert werden. Der Generator ist mittels eines Metallgehäuses statisch geschützt. Der Strom wird auf der Sekundärseite eines Ausgangstransformators mittels eines Gleichstrommilliamperemeters mit vorgeschaltetem Vakuumthermoelement gemessen. Die Gesamtansicht gibt die Fig. 3. Die Stromquellen sind bereits eingebaut. Der Sender ist leicht transportfähig und bedarf im Betriebe keiner Wartung. Der Strom bleibt auf $1^0/_{000}$ konstant.

Die Stromfrequenz, welche unabhängig von der Belastung ist, kann zwischen 5 und 10^3 Hertz beliebig verändert werden. Die Erzeugung noch tieferer Frequenzen würde keine prinzipiellen Schwierigkeiten machen.

Zur Frequenzmessung werden die Wechselströme am besten mittels eines Saitengalvanometers registriert, wobei ein Stimmgabelunterbrecher als Zeitmarkierer dient*). Großes Gewicht wurde auf die Bestimmung der Kurvenform gelegt, die das Auftreten von Oberschwingungen die Meßergebnisse bekanntlich weitgehend beeinflußt. In diesem Zusammenhang sei noch bemerkt, daß sich mit der bekannten Dreipunktschaltung im Frequenzbereich unter 100 Hertz keine sinusförmigen Schwingungen herstellen lassen.

B. Der Kraftverstärker. Die Erzeugung sinusförmiger Schwingungen bis zu einer Endleistung von einigen Watt bereitet keine Schwierigkeiten. Geht man aber zu höheren Senderleistungen über, dann treten infolge zu starker Vormagnetisierung der Eisendrosseln im Schwingungskreis des Generators Oberschwingungen auf, die sich mittels Siebketten nur auf sehr kostspielige Weise beseitigen lassen.

In viel einfacherer Weise läßt sich die Ausgangsleistung mit Hilfe eines Kraftverstärkers erhöhen, dessen Steuergitterspannung von dem beschriebenen Röhrengenerator geliefert wird. Die Prinzipschaltung zeigt die Fig. 5, ein Lichtbild die Fig. 4. Die Kraftverstärkerröhren sind hier lediglich als Gleichstrom-wechselstromumformer anzusehen, welcher unter dem Einfluß der am Steuergitter liegenden Wechselspannungen den von der Anodenstromquelle gelieferten Gleichstrom in einen sinusförmigen Wechselstrom von der Frequenz des Röhrengenerators verwandelt. Man erreicht auf diese Weise, daß die Frequenz unabhängig von der Belastung ist.

Der Kraftverstärker ist mit sechs Schirmgitterröhren von je 12 Watt Anodenverlustleistung ausgestattet. Als Anodenstromquelle dient ein von einem Maschinenaggregat gespeister Hochspannungsgleichrichter. Der Durchgriff der Kraftverstärkerlampen beträgt nur 2%, so daß es auch mit kleinen Gitterwechselspannungen

*) O. Meisser u. H. Martin: Zeitschr. f. Geophys. **2** (1926).

bequem gelingt, Anodenwechselspannungen von einigen 100 Volt zu erzeugen. Die Primärimpedanz des Ausgangstransformators beträgt je nach der Stromfrequenz $^1/_3$ bis $^1/_2$ des resultierenden Röhrenwiderstandes, womit der theroretisch günstigste Wirkungsgrad von 70% erzielt wird. Um die Sekundärimpedanz

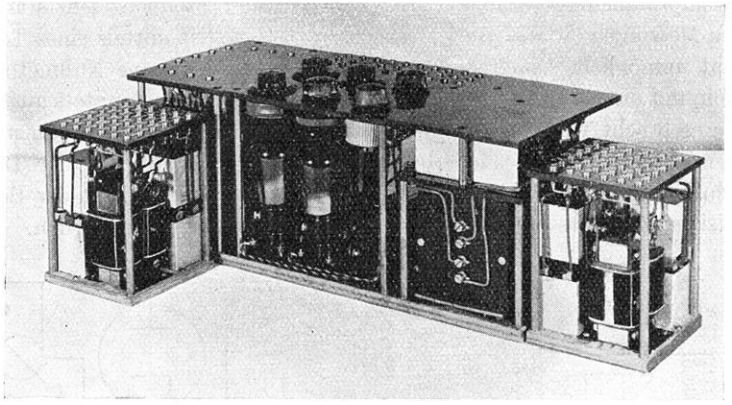

Fig. 4

dem Verbraucherwiderstand anzupassen, ist die Sekundärwicklung wiederum (ähnlich wie beim Ausgangstransformator des Generators) nach einem Exponentialgesetz gewickelt und mehrfach unterteilt. Im Falle einer kleinen Leitungsimpedanz gelingt es leicht, Ströme bis zur Stärke von einigen Ampere zu erzeugen.

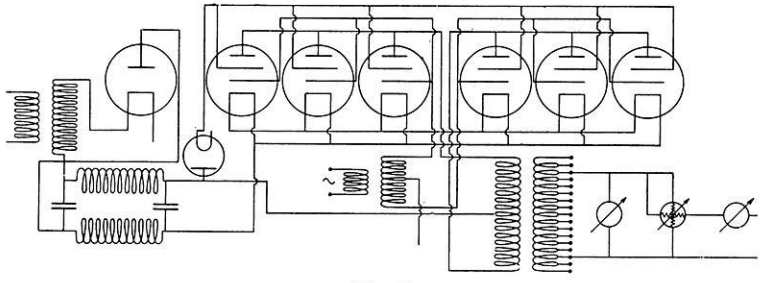

Fig. 5

Die Schutzgitterspannung wird über einen hochohmigen Widerstand in der Weise eingesteuert, daß der Verstärkungsgrad auch bei erheblichen Schwankungen des Maschinenaggregats konstant bleibt. Dadurch gelingt es, die Stromschwankungen im Ausgangskreis auf einige Promille zu reduzieren. Im Betrieb werden Strom, Spannung, Leistung und Phase gemessen.

C. Der Empfänger. Die in der Literatur vielfach beschriebene Abhörmethode, bei welcher die in einer Spule bekannter Windungsfläche induzierte Spannung mittels Verstärker und Telephon gemessen wird, erweist sich für die Bestimmung niederfrequenter Felder als ungeeignet, da der Leistungsverbrauch eines Telephons bekanntlich um so größer wird, je tiefer die Stromfrequenz ist und die Empfindlichkeit des Ohres mit abnehmender Frequenz sehr stark nachläßt. Die Messung von Wechselfeldern unter 16 Hertz ist mittels eines Telephons überhaupt unmöglich. Auch die in der Literatur beschriebene Nullmethode, bei welcher ein mit einem Detektor in Reihe liegendes Galvanometer stets auf gleichen Ausschlag gebracht wird, ist für den Feldgebrauch nicht nur sehr umständlich, sondern mit bedenklichen Fehlerquellen behaftet. Da sich bei der Detektorgleichrichtung der Formfaktor des induzierten Wechselstroms mit der Belastung ändert, ist eine direkte Messung der effektiven Feldstärken unmöglich.

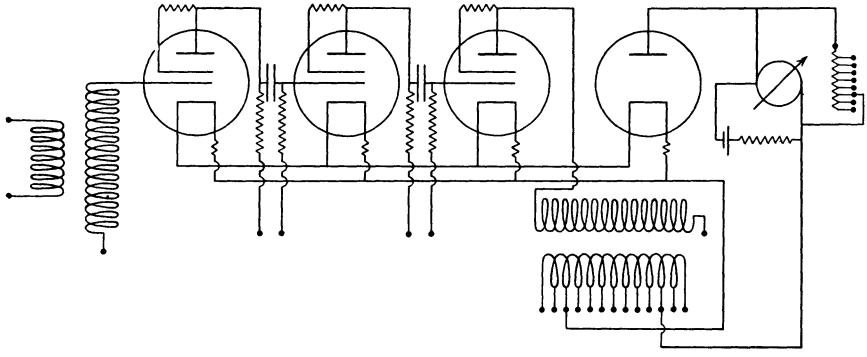

Fig. 6

Die Grundforderungen, die wir an eine elektrische Empfangsapparatur stellen müssen, sind die folgenden:

1. Geradlinige Charakteristik, 2. Unabhängigkeit von subjektiven Einflüssen, 3. hohe Empfindlichkeit, 4. weitgehende Unabhängigkeit des Verstärkungsgrades von einer etwaigen Inkonstanz der Stromquellen, 5. Erfassung der tiefsten Frequenzen, auch unterhalb der Hörbarkeitsgrenze, 6. leichte Kontrollierbarkeit des Wirkungsgrades.

Die genannten Bedingungen lassen sich nur mittels eines mehrstufigen Schirmgitterwiderstandsverstärkers in Verbindung mit einem Röhrengalvanometer geradliniger Charakteristik erfüllen. Die zur Erzielung großer Reichweiten erforderliche Empfindlichkeit beträgt für niederfrequente Felder 10^{-10} Volt pro Skalenteil.

Die Fig. 6 gibt das Schaltschema eines vom Verfasser konstruierten Empfängers. Zur Messung der Intensität des magnetischen Wechselfeldes wird die in einer Spule mit einer Windungsfläche von $2.3 \cdot 10^6$ cm^2 mittels eines Transformators

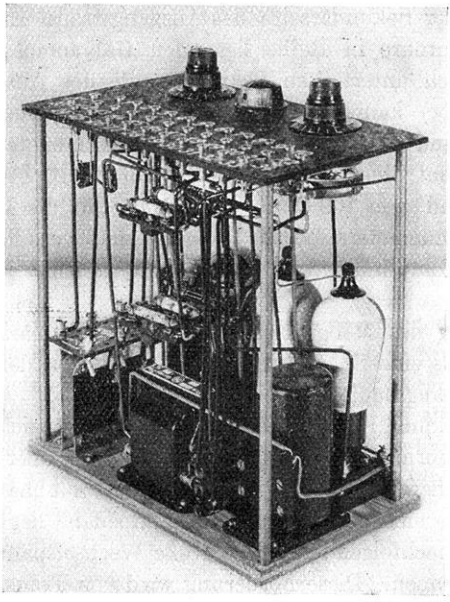

Fig. 7. Empfangsgerät

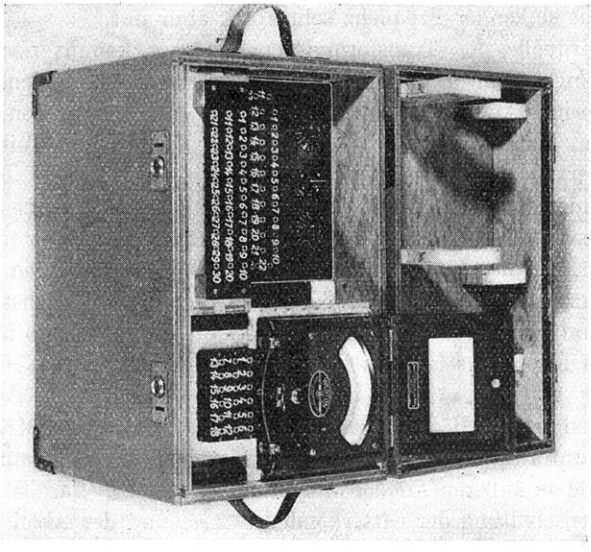

Fig. 8. Empfangsgerät

mit einem dreistufigen Widerstandsverstärker von 10^6facher Spannungsverstärkung gekoppelt und auf der Sekundärseite des Ausgangstransformators mittels eines mit einer Elektronenröhre in Reihe liegenden Galvanometers gemessen. Die Impedanz der vielfach unterteilten Sekundärspule des Ausgangstransformators (Abwärtstransformator) kann wiederum zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrades dem Widerstand des Gleichrichters und Galvanometers angepaßt werden. Das Galvanometer hat eine Empfindlichkeit von $2 \cdot 10^{-7}$ Amp. pro Skalenteil und einen Widerstand von 100 Ohm. Als Maß für die Feldstärke dient der Ausschlag des Galvanometers. Das Meßgerät hat geradlinige Charakteristik. Die Variation der Empfindlichkeit erfolgt mittels eines abstufbaren Nebenschlusses.

Bei der Eichung des Meßgerätes wird an die Primärspule des Eingangstransformators jeweils eine Spannung gelegt, welche von der Größe der bei der Messung in der Empfangsspule induzierten Spannung ist.

Bei der Verstärkung niederperiodiger Ströme hat sich der Widerstandsverstärker dem Transformatorenverstärker gegenüber als überlegen erwiesen. Die Verstärkerleistung einer Röhre ist bekanntlich davon abhängig, daß in ihrem äußeren Anodenkreise eine hohe Wechselstromimpedanz liegt, weil nur dann an das Steuergitter der nachfolgenden Röhre große Wechselspannungsschwankungen abgegeben werden können. Diese Forderung wird von Transformatorverstärkern um so weniger erfüllt, je tiefer die Stromfrequenz ist, da die Wechselstromimpedanz im äußeren Anodenkreise nur noch Bruchteile des inneren Röhrenwiderstands beträgt. Auch eine zusätzliche Spannungserhöhung durch die Transformatoren kommt nicht mehr in Frage, da das Übersetzungsverhältnis der Transformatoren mit sinkender Frequenz sehr stark abnimmt.

Als Fehlerquelle der Transformatorenverstärker kommt noch hinzu, daß das Übersetzungsverhältnis der Zwischentransformatoren anodenstromabhängig ist und eine geringe Änderung der Heiz- oder Anodenspannung den Verstärkungsgrad in weitem Maße beeinflußt. Im Gegensatz dazu ist das Teilverhältnis der Widerstandsverstärker lediglich frequenzabhängig.

Im folgenden wollen wir nun zunächst die Frage der Frequenzabhängigkeit der Spannungsverstärkung der Widerstandsverstärker speziell für niederfrequente Ströme klären. In der Literatur ist schon öfters gezeigt worden, daß bei ganz tiefen Frequenzen durch den Kopplungskondensator der nächsten Röhre ein Abfall der Verstärkung eintreten muß, und es erscheint deshalb notwendig, den Einfluß dieses Kopplungselements im Frequenzbereich unter 50 Hertz zu untersuchen.

Wir denken uns die Röhre durch einen Generator mit der EMK lg/D ersetzt.

Der Generator arbeitet dann über seinen inneren Widerstand auf einen Kreis, der aus dem äußeren Anodenwiderstand r_a besteht. Parallel zum letzteren liegen in Reihenschaltung der Gitterkondensator c_g und der Ableitwiderstand r_g.

Die Spannungsverstärkung ist nun bekanntlich davon abhängig, in welchem Verhältnis die Anodenwechselspannung dem Gitterableitwiderstand der nächst-

folgenden Röhre übertragen wird. In komplexer Schreibweise gilt für das Teilverhältnis v:

$$v = \frac{r_g}{r_g + \dfrac{1}{j\,\omega\, c_g}},$$

woraus sich für den Absolutwert von v die Beziehung

$$v = \frac{\omega\, r_g\, c_g}{\sqrt{1 + \omega^2\, r_g^2\, c_g^2}} \qquad (1)$$

ergibt.

Den Verlauf der Gleichung (1) für verschiedene Frequenzen erkennt man aus folgenden Überlegungen. Für sehr kleine Werte von w wird sich (1) dem Wert Null nähern. Bei tiefen Frequenzen ist die an r_g auftretende Wechselspannung sehr klein, der größte Teil liegt an c_g. Um also das bei tiefen Frequenzen sehr ungünstige Teilverhältnis auf einen möglichst kleinen Frequenzbereich zu beschränken, muß man c_g gegenüber r_g sehr groß wählen. Wir wollen nun an Hand von Zahlenbeispielen den Verlauf von (1) als Funktion der Frequenz für verschiedene $r_g\, c_g$ verfolgen.

w	$r_g\, c_g$	v	w	$r_g\, c_g$	v	w	$r_g\, c_g$	v	w	$r_g\, c_g$	v
100	10^{-2}	0.988	100	10^{-1}	1	100	1	1	100	10	1
50	10^{-2}	0.893	50	10^{-1}	0.997	50	1	1	50	10	1
20	10^{-2}	0.783	20	10^{-1}	0.996	20	1	1	20	10	1
10	10^{-2}	0.59	10	10^{-1}	0.988	10	1	1	10	10	1
5	10^{-2}	0.103	5	10^{-1}	0.893	5	1	0.997	5	10	1
1	10^{-2}	0	1	10^{-1}	0.59	1	1	0.988	1	10	1
0.2	10^{-2}	0	0.2	10^{-1}	0.126	0.2	1	0.783	0.2	10	0.996
0.1	10^{-2}	0	0.1	10^{-1}	0.063	0.1	1	0.59	0.1	10	0.988

Für die Spannungsverstärkung, welche durch das Verhältnis der Gitterspannungen zweier aufeinanderfolgender Röhren definiert ist, gilt dann:

$$\frac{1}{D}\left(\frac{r_a}{r_i + r_a}\right)\frac{\omega\, r_g\, c_g}{\sqrt{1 + \omega^2\, r_g^2\, c_g^2}}.$$

Der Verstärkung sehr tiefer Frequenzen ist nun dadurch eine Grenze gesetzt, daß man r_g nicht beliebig hoch treiben kann. Die Grenze liegt da, wo der Gitterableitwiderstand von der Größe des äußeren oder inneren Gitterwiderstands ist. Der Gitterwiderstand stellt dann einen Nebenschluß zum Ableitwiderstand dar, der die Verstärkerleistung herabsetzt. Die Aussichten, den inneren Gitterwiderstand durch weitergehende Entgasung der Röhren zu erhöhen, sind erfahrungsgemäß gering, so lange die Anodenspannung oberhalb der Ionisierungsspannung liegt.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Konstanz des Verstärkungsgrades, die sich in ausreichendem Maße nur durch Verwendung von Schirmgitterröhren erzielen läßt. Geringe Änderungen von Anoden- und Heizspannungen stören nicht, wenn die Schutzgitterspannung entsprechend eingestellt wird. Vor allem aber besitzen Schirmgitterröhren den Vorteil eines kleinen Durchgriffs.

Die oben beschriebene Apparatur wurde durch eine Reihe von Feldmessungen, die an anderer Stelle*) ausführlich beschrieben werden, praktisch mit gutem Erfolg erprobt.

Die Tiefenwirkung der Potentiallinien- und Rahmenmethoden bei geschichtetem Untergrund

Von **J. N. Hummel,** Göttingen — (Mit 4 Abbildungen)

Der Untergrund bestehe aus zwei horizontalen Schichten, deren untere einen Störungskörper aufnimmt. Es wird der Einfluß der Deckschicht auf das Potentiallinienbild an der Erdoberfläche untersucht. Die Störungsgröße wird mit der des entsprechenden elektromagnetischen Feldes verglichen.

Bei der Aufsuchung von Störungskörpern mittels geoelektrischer Methoden ist es wichtig, zu wissen, bis zu welchen Tiefen sich die Aufschlußmöglichkeiten erstrecken, um beurteilen zu können, welches spezielle Verfahren im jeweils vorliegenden Falle zweckmäßigerweise anzuwenden ist. Diese Frage ist besonders bedeutsam bei der Gegenüberstellung der Potentiallinien- mit den Rahmenmethoden, die beide sonst nahezu den gleichen Anwendungsbereich besitzen, sich aber gerade durch ihre Tiefenwirkung erheblich voneinander unterscheiden können. Nun ist es uns in einer früheren Arbeit bereits gelungen, diesen Vergleich für einen Sonderfall ziehen zu können, nämlich unter der Voraussetzung, daß sich die aufzufindende Einlagerung im völlig homogenen Muttergestein befindet**). Dort kamen wir zwar zu dem Ergebnis, daß unter dieser Annahme die Tiefenwirkung beider Meßweisen nicht erheblich voneinander verschieden sein kann, indessen liegen die Verhältnisse wesentlich anders, sobald das homogene Muttergestein, das den Störungskörper aufnimmt, von einer Schicht abweichender Leitfähigkeit überdeckt ist. Dann zeigt sich unter Umständen, wie die Praxis gelehrt hat, ein recht beträchtlicher Unterschied, der im folgenden seine theoretische Begründung und quantitative Erfassung erfahren soll***). Wir gehen dabei so vor, daß wir zunächst die Tiefenwirkung der Potentiallinienmethoden über horizontal

---

*) Die ausführliche Arbeit erscheint in der nächsten Nummer der Zeitschrift „Gerlands Beiträge zur Geophysik" 1931.

) J. N. Hummel: Zeitschr. f. Geophys. **5, 72—80 (1929), Nr. 2.

***) Dieses Problem wurde bereits in früheren Arbeiten des Verfassers angeschnitten, ohne daß dort die vollständige Lösung gegeben werden konnte. Vgl. Zeitschr. f. Geophys. **4**, 22—27 (1928), Nr. 1; 67—76, Nr. 2; 178—203, Nr. 4.