

II. Partielle Reflexionen.

Für die Erklärung der Tatsache, daß man gleichzeitig Reflexionen von der oberen (F -) und der unteren (E -) Schicht bekommen kann, ziehen die Verfasser drei Erscheinungen in Betracht.

a) Wenn man in der Nähe der kritischen Frequenz arbeitet, so geht bei einer Frequenz, die ein wenig unter der kritischen liegt, für einen bestimmten Einfallswinkel unter Umständen keine Energie durch die E -Schicht hindurch. Man erhält also Reflexionen an dieser Schicht. Bei einer ganz geringen Verkleinerung des Einfallswinkels kann die Welle aber durch die E -Schicht hindurchgehen und dann an der F -Schicht reflektiert werden.

b) Wenn die E -Schicht in horizontaler Richtung inhomogen ist, d. h. irgendwelche Elektronen-Bänke oder -Wolken enthält, so kann sehr gut an einer Stelle die Welle an der E -Schicht reflektiert werden, während sie an einer anderen Stelle durch die E -Schicht hindurchgeht und zur Reflexion an der F -Schicht kommt.

c) Als dritte Möglichkeit besteht diejenige der partiellen Reflexion an der E -Schicht infolge der vertikalen Änderung der Elektronendichte. Es muß ja eine partielle Reflexion eintreten, sobald die prozentischen Änderungen des Brechungsindex mit der Höhe auf die Strecke einer Wellenlänge nicht sehr klein ist. Die Frage ist nur, ob die Amplitude der partiellen reflektierten Welle tatsächlich einen Betrag annehmen kann, daß sie auf den Aufnahmen erscheint. Die Verfasser untersuchen diese Frage auf Grund von alten theoretischen Entwicklungen von Lord Rayleigh, und zwar unter den folgenden Annahmen, die mit Rücksicht auf die Integrierbarkeit der allgemeinen Ausdrücke gemacht wurden.

1. Die Schicht, innerhalb deren der Brechungsindex veränderlich ist, habe die Dicke T ; an der unteren Grenze sei der Brechungsindex 1, an der oberen $= m$; die Dicke von der unteren Grenze bis zu der Höhe, in der der Brechungsindex $= 0$ wird, sei T_0 . Innerhalb der veränderlichen Schicht ändere sich der Brechungsindex mit der Höhe x nach der Beziehung

$$n = k^s \cdot x^s,$$

wobei x von der Stelle $n = 0$ gezählt ist und k und s Konstante sind. Das Ergebnis der Rechnung läßt sich unter gewissen Voraussetzungen angenähert darstellen durch die Beziehung

$$r = \frac{sk\lambda}{8\pi m(s+1)s} = \frac{s\lambda}{8\pi m(s+1)s \cdot T_0} = \frac{s\lambda}{8\pi T} \cdot \frac{1 - m^{1/s}}{m(s+1)/s},$$

wenn r der Reflexionskoeffizient, d. h. das Verhältnis der reflektierten zur einfallenden Amplitude und λ die Wellenlänge im Vakuum ist. Das Ergebnis hängt nicht sehr stark von der Wahl von s ab. Für $T = 10$ km, $\lambda = 0,1$ km und $m = 0,3$ erhält man z. B. für

$$\begin{aligned} s = 1 & \quad r = 0,003 \\ s = 2 & \quad r = 0,002 \\ s = 3 & \quad r = 0,002. \end{aligned}$$

Die Reflexionskoeffizienten sind also klein aber keineswegs so klein, daß sie nicht bei einigermaßen empfindlichen Empfangsanordnungen zur Beobachtung kämen. Außerdem wird r viel größer, sobald man sich der kritischen Frequenz nähert.

2. Entsprechend wird die Rechnung durchgeführt für die Annahme

$$n = e^{-bx},$$

wobei die Höhe x in diesem Fall von der unteren Grenze der Schicht nach oben zu rechnen ist. Das annähernd gültige Ergebnis ist

$$r = \frac{\lambda \log \text{nat } m}{8\pi T' m}.$$

Es liefert unter denselben Annahmen für T , λ und m wie unter 1. $r = 0,001$.

3. Der letzte Ansatz, der durchgerechnet wird, ist $n = \frac{1}{x}$. Es muß dann an der unteren Grenze $x'_1 = 1$, an der oberen $x'_2 = \frac{1}{m}$ gewählt werden. Die Durchrechnung liefert als angenähertes Ergebnis

$$r = \frac{\lambda}{4\pi T' m}$$

und damit unter den früheren Annahmen über T , λ und m $r = 0,003$.

Die 3 Annahmen führen also zu Zahlenergebnissen, die nicht allzu viel voneinander abweichen. Man versteht das, wenn man sich n in Abhängigkeit von der Höhe nach den drei Annahmen aufzeichnet — in der Arbeit ist das geschehen —; die Kurven zeigen (abgesehen von Annahme 1 und $s = 1$) einen sehr ähnlichen Verlauf.

J. Zenneck.

J. S. McPetrie. *Eine Methode zur Bestimmung der Wirkung des Erdbodens auf die Strahlung von Antennensystemen.* (A method for determining the effect of the earth on the radiation from aerial systems.) Journ. Inst. El. Eng. 70, 382-390, 1932.

In einer der früheren Arbeiten (ref. ds. Z. 39, 112, 1932) hatte der Verf. sich mit der Aufgabe befaßt, das Feld irgendeines Antennensystems zu berechnen, wenn die Stromverteilung darin bekannt ist. Er hatte dabei aber wenig Rücksicht auf den Einfluß des Erdbodens genommen. Die Aufgabe des ersten Teils der vorliegenden Arbeit ist nun die, den Einfluß des Erdbodens in die Berechnung einzuführen. Das geschieht nach dem Vorgang von E. M. Willmotte (Journ. Inst. El. Eng. 69, 290, 1931) dadurch, daß man dem Feld jedes Stromelementes $J \cdot \delta l$ der wirklichen Antenne dasjenige seines Spiegelbildes $\delta l'$ bezüglich der Erdoberfläche superponiert, aber nicht unter Annahme dasselben Stroms J , sondern eines Stroms $(k - jk')J$. Es ist also die Amplitude und Phase in dem Stromelement des Spiegelbildes nicht dieselbe wie diejenige im Stromelement δl der wirklichen Antenne. Die Größen k und k' , die Amplitude und Phase des Stromes im Spiegelbild bestimmen, hängen ab von der Richtung, in der man das Feld rechnen will, von der Lage, die das Element gegenüber der Vertikalen zur Erdoberfläche besitzt, von dem Leitvermögen und der Dielektrizitätskonstante des Erdbodens und von der Frequenz der Schwingungen. Die Berechnung des Feldes ist in der Arbeit für eine Anzahl von Beispielen durchgeführt.

Der zweite Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Berechnung des Feldes von Antennensystemen mit Reflektoren (Strahlwerfern). Es wird gezeigt, wie man das Feld eines solchen Systems, gleichgültig ob die Antennen vertikal oder horizontal sind, in einfacher Weise berechnen kann, wenn man das Feld einer einzigen Antenne und eines einzigen Reflektors in demselben Punkte kennt.

J. Zenneck.

HOCHFREQUENZTECHNIK UND ELEKTROAKUSTIK

Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie

INHALT

	Seite		Seite
L. Rohde und H. Schwarz: Interferenzwellenmesser mit großem Wellenbereich für das Laboratorium. (Mit 5 Abbildungen im Text)	117	II. B. Maris (J. Zenneck): Änderungen der erdmagnetischen Stürme mit der Jahreszeit. (Mit 1 Abbildung im Text)	141
M. Osnos: Ein einfaches Verfahren zur Messung von Oberflächen in Hochfrequenzkreisen. (Mit 2 Abbildungen im Text)	121	L. V. Berkner (J. Zenneck): Untersuchungen über drahtlose Übertragung auf große Entfernungen während der Byrd'schen Expedition in die Antarktis	142
J. Fischer: Wirkleistungsanpassung und Scheinleistungsanpassung. (Mit 2 Abbildungen im Text)	122	C. R. Burrows (J. Zenneck): Der Kurzwellenverkehr über dem nordatlantischen Ozean. (Mit 9 Abbildungen im Text)	142
F. E. Rommel: Ein Röhrenvoltmeter mit logarithmischer Eichkurve. (Mit 6 Abbildungen im Text)	124	R. K. Potter (J. Zenneck): Atmosphärische Störungen in Kurzwellenempfängern. (Mit 3 Abbildungen im Text)	145
W. Heimann: Ueber die Empfindlichkeit der Braunschen Röhre mit Gaskonzentration bei verschiedenen Frequenzen. (Mit 6 Abbildungen im Text)	127	T. R. Gilliland und G. W. Kenrick (J. Zenneck): Vorläufige Notiz über eine automatische Anordnung zur laufenden Registrierung der Höhe der Kennelly-Heaviside-Schicht. (Mit 3 Abbildungen im Text)	146
Rudolf Schadow: Die Abstimmkurve an elektrischen Fernsteuerungselementen. (Mit 19 Abbildungen im Text)	129	G. J. Elias und C. G. A. von Lindern (Th. J. Weyers): Reflexionsmessungen	147
N. N. Malov u. S. N. Rsechkin: Messungen der Schallisolationsfähigkeit bei ultraakustischen Frequenzen. (Mit 4 Abbildungen im Text)	134	R. L. Smith-Rose und J. S. Mc Petrie (J. Zenneck): Die Ausbreitung von 1,6 m-Wellen längs der Erdoberfläche. (Mit 4 Abbildungen im Text)	148
Mitteilung aus der Praxis		J. A. Ratcliffe, L. G. Vody und F. A. Wilkins (J. Zenneck): Die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen von einem Hertz'schen Dipol	149
A. Harnisch: Die große Deutsche Funkausstellung und Phonoschau 1932. (Mit 4 Abbildungen im Text)	137	L. S. Palmer (J. Zenneck): Über die Wirkung abgestimmter rechteckiger Rahmenantennen beim Empfang kurzer Wellen. (Mit 3 Abbildungen im Text)	150
Referate		Ch. B. Vance (J. Zenneck): Schallgeschwindigkeit in Röhren bei hörbaren und Ueberhör-Frequenzen	151
S. S. Kirby u. K. A. Norton (J. Zenneck): Feldstärkemessungen für Frequenzen zwischen $0,285 \cdot 10^8$ und $5,4 \cdot 10^8$ sec (λ zwischen 1060 und 55,6 m). (Mit 3 Abbildungen im Text)	139	Eingegangene Bücher	152
L. W. Austin (J. Zenneck): Tabellen für den Langwellenverkehr bei Tag über dem Nordatlantischen Ozean während der Jahre 1922-1930.	140	Bücherbesprechungen	
L. W. Austin (J. Zenneck): Sonnentätigkeit und drahtlose Telegraphie.	140	F. Böttigheimer (H. Plendl): Radio-Amateur-Station für kurze Wellen	152
		Erwin Paul (H. Plendl): Praktische Radio-Meßtechnik	152
		Berichtigung	152

Manuskripte, möglichst mit klischerfähigen Figuren versehen, sind an die Schriftleitung Dr. E. Mauz, Frankfurt a. M., Physikalisches Institut, Robert-Mayer-Str. 2, zu senden. Die Herren Autoren werden gebeten, eine kurze Zusammenfassung des wesentlichen Inhalts ihrer Arbeit jedem Manuskript beizufügen. — Abonnements sind zu richten an die Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. Leipzig C1, Markgrafenstraße 6, alle Anfragen betr. Inserate an M. Krayn, Verlagsbuchhandlung, Berlin W 35, Genthiner Straße 32.

Interferenzwellenmesser mit großem Wellenbereich für das Laboratorium.

Von L. Rohde und H. Schwarz.

Aus dem Technisch-Physikalischen Institut der Universität Jena.

Immer wieder macht sich bei Messungen im Laboratorium das Fehlen eines über großen Wellenbereich reichenden Wellenmessers bemerkbar, der bei einer gewissen Vielseitigkeit eine Meßgenauigkeit von etwa 0,01% besitzt.

Es bestehen an sich keine Schwierigkeiten, derartige und noch höhere absolute Genauigkeiten zu erreichen¹⁾, etwa durch Vergleich mit Leuchtresonatoren²⁾ der P.T.R. Solche Anordnungen³⁾ beanspruchen aber viel Raum und große Apparaturen zur Oberwellenbestimmung und zum Vergleich mit den nur für Wellen über 1000 m genau herstellbaren Leuchtnormalen.

Für das Laboratorium benötigt man ein Instrument, das transportabel ist, möglichst wenig Raum, Gewicht und Hilfsmittel verlangt. Der direkte Wellenbereich muß groß sein und so eine Verwendung als Meßsender zulassen.

¹⁾ W. Fehr u. G. Leithäuser, E.N.T. 8, 337, 1931; W. Fehr, E.N.T. 9, 57, 1932.

²⁾ E. Giebe u. A. Scheibe, E.N.T. 2, 65, 1928; A. Scheibe, Jahrb. d. drahtl. Electr. u. Teleph. 29, 120, 1927.

³⁾ H. Mögel, E.N.T. 7, 133, 1930.

Messungen der Konstanten von Schwingungskreisen müssen mit dem Gerät ausführbar sein, d. h. Bestimmung von λ , n , L , C und d . Im folgenden wird ein Gerät beschrieben, das speziell für den Laboratoriumsgebrauch entwickelt wurde und sich als äußerst praktisch erwiesen hat.

Mit einem Absorptionswellenmesser, bestehend aus Schwingungs- und Indikatorkreis, erreicht man ohne besondere Hilfsmittel keine höhere Genauigkeit als $\pm 0,5\%$, vor allem wenn durch Umstecken von Spulen ein großer Wellenbereich bei gegebener veränderlicher Kapazität bestrichen werden soll. Auch dadurch, daß man den Meßkreis durch eine Röhre zum Schwingen bringt und mittels Interferenz und Tonminimum einstellt, kann die absolute Genauigkeit nicht wesentlich vergrößert werden. 0,1% dürfte die praktische Grenze sein. Die geringe Steigerung der Genauigkeit durch Übergang zur Interferenz wird dadurch bedingt, daß die Konstanz eines Generators bei großem Wellenbereich über längere Zeit nicht genügend weit getrieben werden kann. Großer Wellenbereich verlangt eine kleine Resonanzkapazität, da sonst

bei der kürzesten Welle ($\lambda = 6$ m) mit normalen Röhren keine Schwingung mehr zu erzielen ist. Von einer Umschaltung auf größere Kapazität bei wachsender Welle muß aus Gründen der einzuhaltenden Bereiche und einfacher Bedienung abgesehen werden.

Mit einem in Dreipunktschaltung erregten Generator kann man mit einem veränderlichen Kondensator und 6 auswechselbaren Spulen einen für das Laboratorium ausreichenden Wellenbereich von 6 bis 3600 m leicht bestreichen. Verlangt man eine Genauigkeit von $\pm 0,5\%$, was — wie weiterhin gezeigt wird — für diesen Generator genügt, so bereitet die Herstellung von Spulen ausreichender Konstanz keine Schwierigkeit. Man muß lediglich auf mechanische Festigkeit achten und verlangen, daß ein Fall aus 1 m Höhe ohne Schaden vertragen wird, denn das kommt im Laboratorium vor. Die Spulen höherer Selbstinduktion müssen kapazitätsarm gewickelt werden, damit sie nicht durch große Eigenkapazität den Wellenbereich verkleinern. Auf $\pm 0,5\%$ wird eine Welle mit dem Generator, der im folgenden mit Grobwellenmesser (GrobW.)³⁾ bezeichnet werde, direkt erfaßt. Mit einem weiteren Generator, der als Feinwellenmesser (FeinW.) ausgebildet ist, erfolgt die Bestimmung auf 0,01%. Der Vorgang bei einer Messung ist wie folgt:

Nachdem die zu messende Welle durch den GrobW. bestimmt wurde, wird der FeinW. mit dem GrobW. zur Interferenz gebracht. Der GrobW. war mit Schwebung 0 auf die zu messende Welle eingestellt, es wird nun der GrobW. durch den FeinW. gemessen, und zwar je nachdem mit gleicher oder mit Oberwelle.

Ist λ_g die Welle des GrobW., λ_f die des FeinW. und n die Ordnungszahl der Oberwelle des einen oder anderen Generators, so gilt:

$$\begin{aligned}\lambda_g &= \frac{\lambda_f}{n} \quad (\lambda_g < \lambda_f), \\ \lambda_g &= \lambda_f \quad (n = 1), \\ \lambda_g &= \lambda_f \cdot n \quad (\lambda_g > \lambda_f).\end{aligned}$$

Besitzt der FeinW. einen Wellenbereich von $n = 1$ bis $n = 2$, so kann man alle Wellen mit ihm vergleichen. Es fällt stets eine Welle des FeinW. mit einer Oberwelle des GrobW. oder eine Oberwelle des FeinW. mit einer Welle des GrobW. zusammen, insofern sie nicht die gleiche Welle haben. Die kleinste und größte Welle des FeinW. brauchen sich nur zu verhalten wie 1:2, und das ist der eigentliche Sinn der hier gewählten Methode, denn für diesen kleinen Wellenbereich läßt sich ein Generator ausreichender Konstanz und Genauigkeit bauen. Die Frequenz des FeinW. ist so zu wählen, daß für etwa 500 Hz Schwebung die gewünschte Genauigkeit erreicht ist. Das ergibt für 0,01% eine Frequenz von etwa $5 \cdot 10^6$ Hz. Man kann ohne Schwierigkeit mit dem Ohr auf 100 Hz von Schwebung 0 aus einstellen, so daß die Einstellungsunsicherheit wesentlich unter der gewünschten Meßgenauigkeit liegt. Es genügt die Einstellung mit dem Telefon.

Der FeinW., auf den über den GrobW. die Messung zurückgeführt worden ist, muß eine absolute Konstanz von 0,01 und eine relative Konstanz von mindestens 0,005% zulassen. Der kleine Wellenbereich des FeinW. kann durch Stufen zu je 200° mit Nonius-Ablesung in viele Bereiche geteilt werden, wodurch eine beliebige Ablesegenauigkeit zu erreichen ist. Die elektrische Übersetzung ist einer mechanischen vorzuziehen und läßt sich mit einfacheren Mitteln bewerkstelligen als diese.

Da zunächst die Welle mit dem Grobwellenmesser bestimmt wird, weiß man im voraus die Ordnungszahl der Oberwelle oder der Wellen, die in den FeinW. fallen. Eine Verwechslung ist ausgeschlossen, solange die Ordnungszahl der Oberwellen nicht so groß wird, daß der Unterschied zwischen $\frac{\lambda_g}{n}$ und $\frac{\lambda_g}{n+1}$ oder $\frac{\lambda_g}{n-1}$ kleiner als die Meßgenauigkeit wird. Es muß sein:

$$\text{Meßfehler des GrobW. } \% < \frac{\lambda_f \cdot 100}{\lambda_g} \quad (\text{wenn } \lambda_f < \lambda_g).$$

Für den Fall $\lambda_f > \lambda_g$ entsprechend. In dem ausgeführten Gerät ist bei der längsten Welle von $\lambda_g = 4000$ m und einem Wellenbereich von 42 bis 84 m des FeinW. n nie größer als 50. Eine Verwechslung der Oberwellen ist somit nicht möglich.

Die für den FeinW. notwendige absolute und relative Konstanz ist in einem so kleinen Wellenbereich unschwer zu erreichen, zumal man bei Bereichunterteilung eine

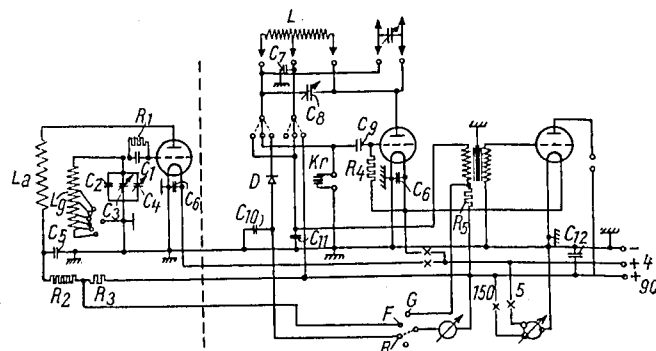


Abb. 1.
Schaltung des Wellenmessers.

große Festkapazität und kleinen veränderlichen Kondensator benutzen kann. Durch großes C im Schwingungskreis wird der Einfluß veränderlicher Kapazitäten in der Röhre und sonstigen Teilen herabgesetzt. Geeignete Einstellung der Rückkopplung, Anwendung von Autogitterspannung, Vorschaltung eines hohen Widerstandes in die Anodenleitung usw. lassen in bekannter Weise die Abhängigkeit der Welle von der Heizspannung und Anoden-spannung auf ein geringes Maß bringen.

Der FeinW. wird nach der relativen Eichung, die man praktisch mit Oberwellen eines Langwellenoszillators vornimmt, an ein Kristall angeschlossen, welches mit dem GrobW. erregt wird und dessen Grund- und Oberwelle in den FeinW. fällt. Man hat dadurch eine Kontrolle, ob zwischen Grund- und Oberwelle die relative Eichung stimmt. Ferner bestimmt man die Absolutwelle des Quarzes mittels Leuchtnormale, und zwar in der Anordnung, in der der Steuerquarz verwendet wird. Es hat sich gezeigt, daß ein Steuerquarz eine absolute Genauigkeit von 0,005% ohne weiteres zuläßt, wenn man ihn bei gleichen elektrischen Dimensionen betreibt. Der GrobW. läßt sich durch Umschaltung zu einem Quarzoszillator machen, so daß vor jeder genauen Messung relative und absolute Konstanz des Wellenmessers geprüft werden kann. Der Kristallhalter muß dabei stets die gleiche Temperatur haben ($\pm 2^\circ$).

Fein- und Grobwellenmesser sind lediglich durch die gemeinsamen Stromquellen gekoppelt und so lose, daß Verstärkung notwendig ist, um die Interferenztöne gut hörbar zu machen.

Das ausgeführte Gerät hat die aus Abb. 1 ersichtliche Schaltung. Während der FeinW. ein unveränderliches,

³⁾ Siehe Anm. 3.

für sich abgeschlossenes System darstellt, ist der GrobW. mit Umschaltungen versehen, um ihn für verschiedene Verwendungen anpassen zu können. Wellenmessung mit Interferenz, Absorptionswellenmessung mit Indikator oder Leuchtröhre und Quarzoszillator ergeben die drei Stellungen des Umschalters, der (Abb. 2) die Bezeichnung $K-W-A$ trägt. Bei Stellung K ist der Meßkreis nur im Anodenkreise, der Kristall Kr in üblicher Weise am Gitter. Wird ein unbekannter Kristall angesetzt, so zeigt einem der GrobW. sofort die ungefähre Welle, wie man

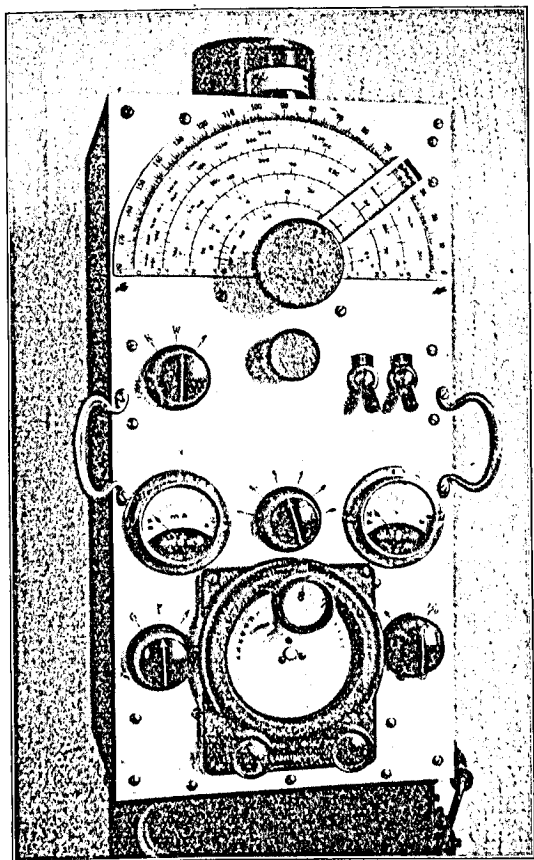


Abb. 2. Vorderansicht des Wellenmessers. Obere Skala für den GrobW., untere für den Feinwellenmesser.

vorher auf einen bekannten Quarz einstellen kann, ohne die Resonanz lange suchen zu müssen. Die Stellung ist fixiert, was für den Normalquarz wichtig ist. In Stellung W ist die normale Dreipunktschaltung, die für Grobmessung und Meßsendung eingestellt wird. Bei A ist ein Meß- und Indikatorkreis geschaffen. Der Detektor D liefert dabei den Gleichstrom für das auf Leitung A geschaltete Instrument. Bei Stellung G mißt dasselbe Instrument den Anodenstrom des GrobW. (vgl. Abb. 2) als Spannungsabfall an einem Shunt. In Stellung F mißt es den Anodenstrom des Feinwellenmessers.

Der GrobW. hat durch 6 auswechselbare Spulen einen Wellenbereich von 6 bis 3600 m. Der Drehkondensator (C_s) hat eine Endkapazität von 500 cm und sein Kapazitätzuwachs ist in bekannter Weise so gewählt, daß für den gleichen Drehwinkel der Wert $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ ungefähr konstant ist. Der Generator liefert bei 90 V mit einer Telefunkenröhre RE 134 etwa 0,3 W Hochfrequenz über den ganzen Wellenbereich. Durch in Abb. 1 nicht eingezeichnete kleine veränderliche Kapazitäten kann für den Fall einer

Röhrenausschwehlung die geänderte Kapazität korrigiert werden.

Der Feinwellenmesser ist ein mittels induktiver Rückkopplung erregter Sender. Der Schwingungskreis liegt — wie sich das bei Vorversuchen als günstig erwiesen hat — am Gitter. Er ist in Stufen eingeteilt, die sich nur wenig überlappen. Der zu bestreichende Bereich ist wie anfangs besprochen 1:2. Dieses Verhältnis muß in einzelne Bereiche zerlegt werden, und zwar so, daß die prozentuale Änderung in jeder Stufe gleich bleibt. Die Anfangswelle sei λ , der prozentuale Zuwachs sei p . Wenn wir für $\frac{p}{100} = \kappa$ setzen, erhalten wir für den ersten Teilbereich

$$\lambda \rightarrow \lambda(1 + \kappa)$$

für den zweiten $\lambda(1 + \kappa) \rightarrow \lambda(1 + \kappa)^2$ und so fort

$$\text{bis } \lambda(1 + \kappa)^{n-1} \rightarrow \lambda(1 + \kappa)^n.$$

Da der n -te Teilbereich mit 2λ abschließen soll:

$$(1 + \kappa)^n = 2\lambda,$$

mithin ergibt sich das prozentuale Variationsverhältnis einer Stufe zu

$$p\% = (\sqrt[n]{2} - 1) \cdot 100.$$

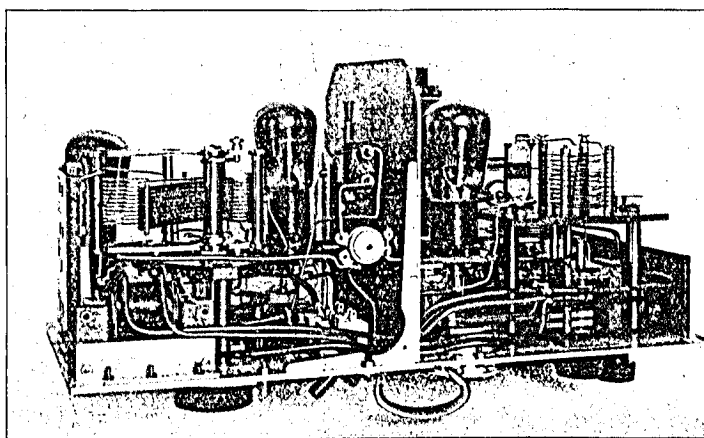


Abb. 3. Das Innere des Wellenmessers. Alle Teile sind an die Frontplatte montiert.

Zu dem gegebenen Drehkondensator muß eine feste Kapazität geschaltet werden, damit der Wellenbereich von Anfang- und Endstellung des Drehkondensators einen der oben beschriebenen Teilbereiche umfaßt. Die Bereiche sollen aber nicht genau abschließen, sondern sich noch um $q\%$ überlappen. Ist C_e die Kapazität der Endstellung, C_a die bei Anfangsstellung zusätzlich Röhre und Leitungen, C_x die zuzuschaltende Kapazität, so ergibt sich für die Anfangsstellung

$$\lambda_a = 2\pi \sqrt{L(C_a + C_x)}.$$

Für die Endstellung $\lambda_e = \lambda_a(1 + \kappa) \left(1 + \frac{q}{100}\right)$, somit ist

$$C_x = \frac{C_e - \left(\frac{\lambda_e}{\lambda_a}\right)^2 C_a}{\left(\frac{\lambda_e}{\lambda_a}\right)^2 - 1}.$$

Wie aus Abb. 1 und 2 ersichtlich, kam eine Unterteilung in 6 Stufen zur Ausführung.

Die Spule L_0 und der Kondensator C_2 müssen sehr stabil ausgeführt werden, damit sie sich mit der Zeit nicht ändern.

Der FeinW. ist durch eine Zwischenwand (Abb. 3) von dem GrobW. abgeschirmt und durch sorgfältige Blockierung eine Fortleitung von Hochfrequenz streng vermieden, so daß die Kopplung äußerst lose ist. Die Mit-

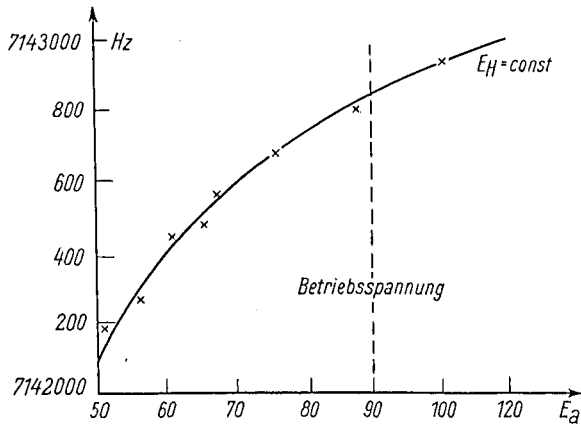


Abb. 4. Abhängigkeit der Frequenz des Feinwellenmessers von der Anodenspannung.

nahme beider Generatoren beträgt bei gleicher Welle ($\lambda = 42$ m) weniger als 1 Hz.

Konstanzprüfungen am FeinW. ergaben die in Abb. 4 dargestellte Abhängigkeit der Frequenz von der Anoden-

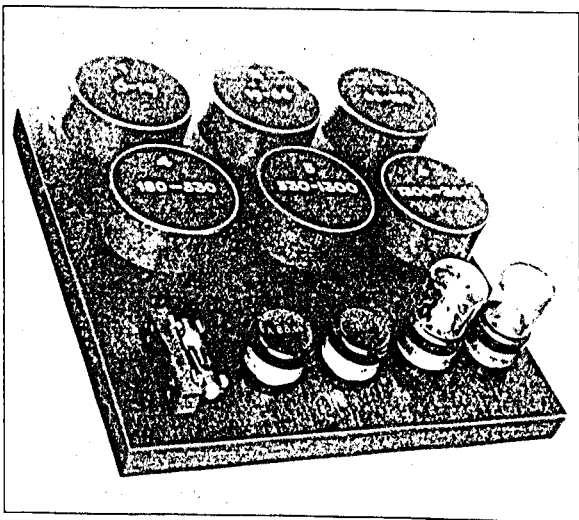


Abb. 5. Zubehör zum Wellenmesser Abb. 2.

spannung. Eine Heizspannungsänderung um 5% rief dieselbe Frequenzänderung hervor wie eine Änderung der Anodenspannung um 10%. Es geht daraus hervor, daß die Konstanz in bezug auf die Spannungsquellen ausreicht, falls die Anodenspannung auf 10% und die Heizspannung auf 5% gleichgehalten wird, was mittels eingebauten Voltmeters jederzeit kontrolliert werden kann. Die Zimmertemperatur darf zwischen 16° und 24° C schwanken. Nach dem Einschalten ändert sich die Frequenz in der ersten Stunde um etwa 200 Hz, um von da ab nur noch um weitere 20 Hz die Stunde einem Endwert zuzuwandern. Das Gerät, das seit 3 Monaten

täglich benutzt wird, hat sich seit dieser Zeit nur um 400 Hz geändert (bei $\lambda = 42$ m). Die zu dem Gerät gehörenden Spulen, Kristalle und Leuchtröhren sind auf einem Zubehörbrett untergebracht (Abb. 5). Die Kapazität des Kondensators im GrobW. wurde durch Vergleich mit Normalen für den ganzen Bereich bestimmt, ebenso die Selbstinduktion und Eigenkapazität der Spulen. Damit hat man eine Reihe von definierten Größen, die einen weiteren Vergleich in bekannter Weise zulassen. Eine Zusammenstellung zeigt die mit dem Gerät nach bekannten Methoden ausführbaren Messungen.

1. Wellenmessung.

- Absorptionswellenmessung mit Indikator 6–3600 m $\pm 1\%$.
- Absorptionswellenmessung mit Leuchtröhre als Anzeiger 6–3600 m $\pm 2\%$.
- Interferenzwellenmessung 6–3600 m direkt $\pm 0,01\%$.
- Erzeugung einer bekannten Welle 0,3 W 6–3600 m $\pm 0,01\%$.
- Eigenwelle von Spulen durch Energieentzug $\pm 2\%$.

2. Kapazitätsmessung.

- Direkt durch Verstimmung. Meßbereich 1–400 cm $\pm 1\%$.
- Eigenkapazität von Spulen.
- Messung der Dielektrizitätskonstante schwach leitender Stoffe.

3. Selbstinduktionsmessung.

- Direkt durch Wellenvergleich mit Kondensator und Kristall. $L = 2000$ – 100000 cm.
- Durch Bestimmung der Welle mit vorher bestimmter Kapazität. $L = 5 \cdot 10^4$ bis 10^7 cm.

4. Messung an Steuerquarzen.

- Wellenlänge $\pm 0,01\%$ (Kristalle von 10 bis 2000 m können zum Schwingen gebracht werden).
- Ziehbereich des Quarzes.
- Temperaturkoeffizient.

5. Mit Hilfe eines Detektors und empfindlichen Galvanometers Dämpfungsmessungen an schwach gedämpften Kreisen.

Herrn Mechanikermeister W. Müller danken wir für präzise Ausführung und Eingehen auf unsere vielen Wünsche.

Zusammenfassung.

Es wird ein Wellenmeßgerät für das Laboratorium beschrieben, das aus einem Grob- und Feinwellenmesser in einem Gehäuse besteht. Die Meßgenauigkeit, die durch Anschluß an einen Kristall mit dem Feinwellenmesser erreicht wird, beträgt 0,01%. Der direkte Wellenbereich des Grobwellenmessers beträgt 6 bis 3600 m und liefert hierbei etwa 0,3 W. Die Meßmethode wird besprochen und auf das Gerät selber eingegangen.

(Eingegangen am 28. Juli 1932.)

4) W. Weihe, Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph. 32, 6, 1928.

Ein einfaches Verfahren zur Messung von Oberwellen in Hochfrequenzkreisen.

Von M. Osnos, Berlin.

Mitteilung aus dem Telefunken-Laboratorium.

Inhaltsübersicht.

1. Ableitung einer Gleichung für das Verhältnis $\frac{\text{Oberwellenstrom}}{\text{Grundwellenstrom}}$ für den Fall, daß dieses Verhältnis ziemlich groß ist.

2. Dasselbe für den Fall, daß das genannte Verhältnis klein ist und Erläuterung des neuen Verfahrens.

3. Dasselbe für den Fall, daß das genannte Verhältnis sehr klein ist.

Zusammenfassung.

Es sind bisher verschiedene, mehr oder weniger komplizierte Verfahren zur Messung von Oberwellen bekannt geworden. An dieser Stelle soll ein Verfahren angegeben werden, vermittels welchem es möglich ist, mit einem gewöhnlichen Wellenmesser in einfacher Weise zu ziemlich genauen Ergebnissen zu gelangen.

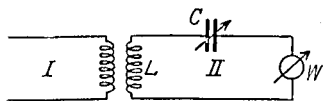


Abb. 1. Schaltbild eines Wellenmessers mit angekoppeltem Hochfrequenzkreis.

In Abb. 1 stellt I den Hochfrequenzkreis dar, in dem außer dem Grundwellenstrom i_1 von der Wellenlänge λ_1 verschiedene Oberwellenströme fließen mögen. Dieser Kreis ist mit dem Wellenmesserkreis II gekoppelt, der, wie gewöhnlich, die feste Induktivität L , die veränderliche Kapazität C und den Wattanzeiger W enthält. Zu messen sei ganz allgemein der im Hochfrequenzkreis fließende Oberwellenstrom i_n von der Wellenlänge λ_n bzw. das Verhältnis $\frac{i_n}{i_1}$.

Bezeichnen wir die von i_1 und i_n im Wellenmesserkreis induzierten Ströme mit i'_1 und i'_n , so bekommen wir die allgemeinen Gleichungen:

$$\left(\frac{i'_1}{i_1}\right)^2 = \frac{(\omega_1 M)^2}{r_1^2 + \left(\omega_1 L - \frac{1}{\omega C_1}\right)^2} \quad (1)$$

$$\left(\frac{i'_n}{i_n}\right)^2 = \frac{n^2 \cdot (\omega_1 M)^2}{r_n^2 + \left(n \omega_1 L - \frac{1}{n \omega_1 C_n}\right)^2} \quad (2)$$

wobei r_1 und r_n die den Wellen λ_1 und λ_n entsprechenden Verlustwiderstände des Wellenmesserkreises und ω_1 die Kreisgrundfrequenz bedeuten.

Unter den Voraussetzungen, daß

1. der Wellenmesserkreis, wie gewöhnlich, sehr lose mit dem Primärkreis I gekoppelt ist (so daß eine Änderung von C keinen merklichen Einfluß sowohl auf die Grund- als auch auf die Oberwellenströme hat) und

2. der Wellenmesserkreis, ebenfalls wie gewöhnlich, stark selektiv ist, so zeigt der Wattanzeiger bei allmählicher Änderung von C maximale Ausschläge an, wenn

$$\omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C_1} = 0 \quad (3)$$

und

$$n \omega_1 L - \frac{1}{n \omega_1 C_n} = 0 \quad (4)$$

ist.

Bezeichnen wir die entsprechenden, im Wellenmesserkreis induzierten Ströme mit $(i'_1)_{\max}$ und $(i'_n)_{\max}$, so folgt aus Gl. (1) bis (4)

$$\frac{(i'_1)_{\max}}{i_1} = \frac{\omega_1 M}{r_1}, \quad (5)$$

$$\frac{(i'_n)_{\max}}{i_n} = \frac{n \omega_1 M}{r_n}. \quad (6)$$

Die $(i_1)_{\max}$ und $(i_n)_{\max}$ entsprechenden Ausschläge des Wattanzeigers seien mit α_1 und α_n bezeichnet, dann ist

$$(i'_1)_{\max} = k \sqrt{\alpha_1} \quad (7)$$

und

$$(i'_n)_{\max} = k \sqrt{\alpha_n}, \quad (8)$$

wobei k eine Konstante des Instruments bedeutet.

Aus Gl. (1) bis (8) folgt die gesuchte Gleichung:

$$\frac{i_n}{i_1} = \frac{r_n}{n r_1} \sqrt{\frac{\alpha_n}{\alpha_1}}. \quad (9)$$

Ist das Verhältnis des Oberwellenstromes zu dem Grundstrom und somit auch der Wert von $\frac{\alpha_n}{\alpha_1}$ genügend groß, so kann man auf diese Weise den Wert von $\frac{i_n}{i_1}$ genau bestimmen.

Im allgemeinen ist aber dieses Verhältnis sehr klein, so daß man es durch direktes Ablesen der Ausschläge α_1 und α_n nicht bestimmen kann.

Das neue Verfahren ermöglicht nun die Bestimmung des genannten Verhältnisses auf folgende Weise.

Man stellt den Wellenanzeiger des Wellenmessers (geicher Drehkondensator) auf die zu untersuchende Welle ein und koppelt den Wellenmesserkreis mit dem zu untersuchenden Kreis I derart, daß der Wattanzeiger einen genügend großen Maximalausschlag α_n zeigt.

Um jedoch der Voraussetzung 1. zu genügen, muß dabei die Kopplung noch so lose sein, daß es auf beiden Seiten der Maximaleinstellung benachbarte Stellungen gibt, wo der Wattanzeiger durch Null geht.

Dann verschiebt man den Wellenanzeiger des Wellenmessers so, daß man sich dem Skalenbereich für die Grundwelle nähert und geht aber nur so nahe an diese Einstellung heran, bis man den früheren Ausschlag α_n des Wattanzeigers erreicht hat.

Der dieser Wellenanzeigerstelle entsprechende Wert der Kapazität sei mit C_v bezeichnet, dann hat in dieser Stellung der Wellenmesser einen kapazitiven Widerstand von der Größe

$$\varrho_v = \frac{1}{\omega_1 C_v} - \omega_1 L = \frac{1}{\omega_1 C_v} - \frac{1}{\omega_1 C_1} = \frac{1}{\omega_1 C_1} \left(\frac{C_1}{C_v} - 1 \right)$$

oder auch

$$\varrho_v = \frac{1}{\omega_1 C_1} \left(\frac{\lambda_1^2}{\lambda_v^2} - 1 \right), \quad (10)$$

wenn λ_v die entsprechende Welle zu C_v bedeutet.

Da in der Kondensatorstellung C_v der Wellenmesserkreis in bezug auf λ_1 stark verstimmt ist, so kann man