

# Allwellen-Frequenzmesser

(50...50000 kHz)

V

3614-5

Verfasser: Dipl.-Ing. Albert Habermann, Physikalisch-techn. Entwicklungslabor. München

DK 621.317.761

**1. Aufgabestellung.** Bei einem Frequenzmesser deutet die Bezeichnung »Allwellen« zunächst nur auf einen großen Bereich hin. Soll ein derartiges Gerät aber auch möglichst universell brauchbar sein, so muß es noch eine Reihe von verschiedenartigsten Forderungen erfüllen können. Für den Hochfrequenztechniker in Betrieb und Labor sind dabei besonders wichtig:

1. möglichst großer Frequenzbereich,
2. hohe Genauigkeit,
3. einfache und rasche Handhabung,
4. direkte Eichung,
5. optische und akustische Anzeige,
6. stete und einfache Kontrollmöglichkeit mit eingebautem Vergleichsnormal,
7. große Eingangsempfindlichkeit,
8. hohe Betriebssicherheit,
9. vielseitige Anwendungsmöglichkeiten,
10. Betrieb aus dem Wechselstromnetz.

Diese Bedingungen sind weder mit dem Resonanzwellenmesser noch mit einem einfachen Schwebungsmesser erfüllbar, weil die angedeuteten Forderungen eine Teilung der Messung in grob und fein verlangen. Man vereinigt deshalb einen Frequenzmesser mit großem Bereich mit einem als Bandfrequenzmesser ausgebildeten Hilfssender, wie es von Rohde und Schwarz 1932 erstmals beschrieben wurde<sup>1,2</sup>. Als Vergleichsnormal dient dabei eine 100 kHz-Quarzstufe.

**2. Meßverfahren.** Das hier verwendete Meßverfahren arbeitet für den gesamten Frequenzbereich 50...50000 kHz = 6...6000 m (also 1 : 1000) erst mit einer Grobmessung, die eine Genauigkeit von 0,8% besitzt. Jede Frequenz im angegebenen Bereich kann dabei direkt abgelesen werden. Nach der Einstellung des Grobmessers (GM) auf Schwebungsnul mit der unbekanntem Frequenz überlagert man darauf den Feinmesser (FM), der den Bereich 2500...3750 kHz (1 : 1,5) überstreicht, in einer beliebigen Oberwelle. Dieser Feinmesser besitzt eine Genauigkeit von  $5 \cdot 10^{-5}$ , mit der dann auch die unbekannte Frequenz bestimmt werden kann. Im Grundbereich des FM ( $f_x = f_{FM}$ ) kann eine direkte Ablesung an der FM-Skala erfolgen, bei

$f_x > f_{FM}$  überlagert man eine Oberschwingung des FM mit dem GM, bei

$f_x < f_{FM}$  überlagert man eine Oberschwingung des GM auf den FM.

Zur Festlegung des genauen Wertes hat man demnach die benutzte ganzzahlige Oberschwingung aus dem Verhältnis  $f_x/f_{FM}$  bzw.  $f_{FM}/f_x$  zu suchen und auf die nächstgelegene ganze Zahl abzurunden. Die gefundenen Werte multipliziert man mit der genau bekannten  $f_{FM}$

und hat somit die gesuchte Frequenz mit der gewünschten Genauigkeit (Bild 1).

Zur Kontrolle des Feinmessers dient ein eingebauter Normal-Generator (NQ) für 100.000 kHz, für den eine Absolut-Genauigkeit von  $\pm 3$  Hz angegeben wird. Dieser Generator gestattet einerseits, im Grobmesser eine Reihe bekannter Meßpunkte zu erzeugen, andererseits den Feinmesser stets direkt auf seinen Absolutwert zu kontrollieren und entsprechend nachzustellen (Prinzipschaltung Bild 2).

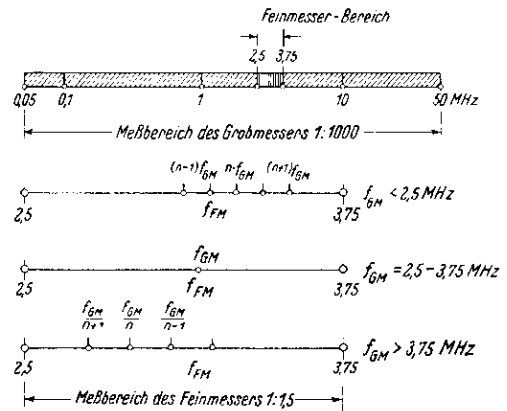


Bild 1. Frequenzdarstellung für Grob- und Feinmeßbereich.

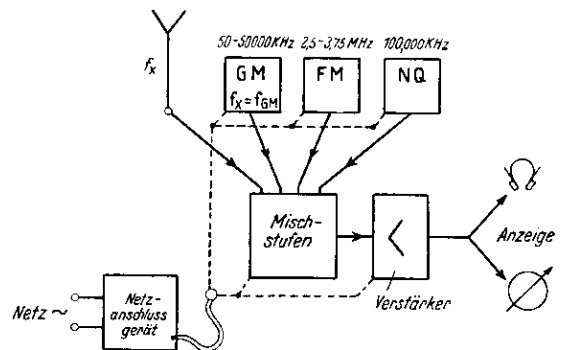


Bild 2. Prinzipschaltung des Allwellen-Frequenzmessers.

**3. Grobmessung.** Der Grobmesser überstreicht den Bereich von 50...50000 kHz in einem siebenfach umschaltbaren Spulensatz. Die Spulen der Bereiche 1...6, d. i. von 50 kHz bis etwa 25000 kHz sitzen auf einer Schalttrommel und werden einzeln in den Schwingungskreis geschaltet. Dabei werden stets die eingeschalteten Spule vorangehenden zur Vermeidung störender Resonanzen kurzgeschlossen. Für den kurzwelligsten Bereich von 25...50 MHz dagegen wird, ebenfalls von der Schalttrommel aus, ein eigener Generator eingeschaltet. Hierfür verwendet man eine Spezial-Kurzwellenröhre und ermöglicht so einwandfreies Arbeiten auch bei den höchsten Frequenzen. Dies wurde nötig,

weil es Schwierigkeiten bereitet, den Bereichwechsel nur mit Spulen und unter Verwendung normaler Röhren bis zu derart hohen Frequenzen einwandfrei durchzuführen. Dazu kommt, daß die Verwendung eines getrennten Drehkondensators nunmehr auch ein günstiges LC-Verhältnis in diesem Bereich ergibt. Den Aufbau des GM-Aggregates zeigt Bild 3. Man er-

**4. Feinmessung.** Beim Aufbau des Feinmessers ist auf besondere Konstanz des Kreises der höchste Wert zu legen; entspricht doch eine Genauigkeit von ca.  $\pm 5 \cdot 10^{-5}$  einer Absolutkonstanz von  $\pm 150$  Hz bei  $f = 3000$  kHz. Das macht die Verwendung hochwertigster Teile nötig. Der frequenzbestimmende Teil — Kapazitäten und Spule — ist ganz keramisch aufgebaut:

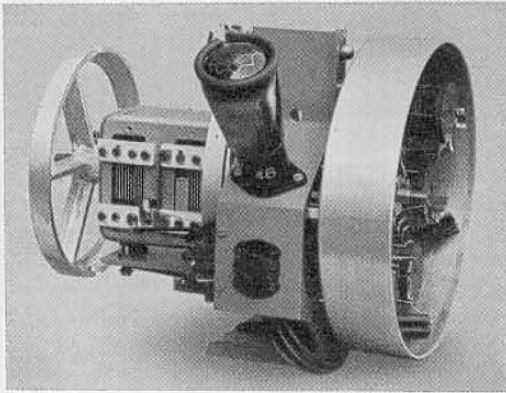


Bild 3. Die Grobmesserstufe mit abgenommener Skalentrommel.

sieht, daß für alle Bereiche Hochfrequenz-Eisenspulen Verwendung finden, die sich wegen ihrer geringen Streuung sogar für den kurzweiligsten als günstig erwiesen. Jede der verschiedenen Spulen besitzt, wie das Schaltbild 4a zeigt, ihre eigene Gitter-Kombination, um durch günstigste Anpassung bestes Arbeiten zu ermöglichen. Eine künstliche Alterung der einzelnen Bereiche war auch hier nötig, um eine nachträgliche Verschiebung der Eichung zu vermeiden.

Um eine begrenzte Verwendungsmöglichkeit des Gerätes als Meßsender hoher Frequenzgenauigkeit zu ermöglichen, kann ein Teil der Hochfrequenzspannung des Grobmessers über einen kapazitiven fest-eingestellten Spannungsteiler an einer Ausgangsbuchse abgenommen werden. Die entnehmbare Spannung liegt in allen Bereichen über 0,5 V; die durch das Anschließen einer Koppel-Leitung oder eines Verbrauchers auftretende Verstimmung liegt unter der Meßgenauigkeit des Grobmessers.

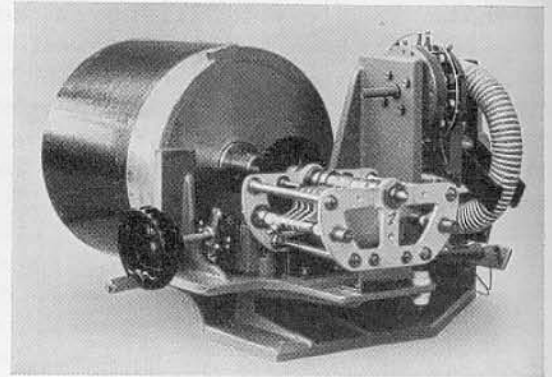


Bild 5. Das Feinmesser-Aggregat mit Spezialschalter und Spezial-Kondensator.

Keramische Festkondensatoren, ein keramisch isolierter Kreisplattendrehkondensator und eine keramische Ringspule mit eingebrannten Windungen<sup>5</sup> gewährleisten in Verbindung mit einem ebenfalls ganz aus Metall und Keramik aufgebauten Bereichschalter die benötigte Konstanz (Bild 5). Gerade die Auswahl eines passenden Bereichschalters verursachte besondere Schwierigkeiten, da höchste Kontaktgüte mit einer vollkommenen L-Unveränderlichkeit verbunden sein muß. Im höchsten Bereich mit einer Selbstinduktion von ca. 5000 cm fällt nämlich eine mögliche Selbstinduktionsänderung von  $\pm 5$  mm schon über den Rahmen der gegebenen Genauigkeit; es mußte deshalb ein eigener Schalter entwickelt werden, der die gestellten Anforderungen restlos erfüllt. Eine weitere mechanische Schwierigkeit, die Auswahl eines geeigneten Antriebes für Drehkondensator und Ablesetrommel, wurde ebenfalls durch die Neuentwicklung eines Spezialtriebes mit spielfreiem Lauf gelöst. Der Feinmesser hat neben der direkten Ablesung auch eine Gradteilung mit Nonius-Skala; sie ermöglicht eine genaue Bestimmung kleiner Differenzen in Verbindung mit den zugehörigen Kurven. Zum Ausgleich von veränderbaren Kapazitäten bei Röhrenwechsel usw. dient ein Nachstelltrimmer, der ebenso bei außergewöhnlichen, den Rahmen der Kompensation überschreitenden Temperaturschwankungen eine Nachstellung auf den Kontroll-Quarz gestattet (Schaltbild 4b).

Die Temperaturkompensation für den Feinmesser wurde nämlich nur soweit getrieben, daß die Wärmeinflüsse zwischen 15 und 25° C, also über  $\pm 5^\circ$  stets kleiner als die FM-Genauigkeit von  $\pm 5 \times 10^{-5}$  bleiben. Dabei ist der absolute Temperaturkoeffizient (TK) der FM-Frequenz zwischen 10 und 30° C etwa  $\pm 8 \times 10^{-6} / ^\circ$  C. Diese geringe Abhängigkeit erzielt man bekanntlich dadurch, daß für die benötigten festen Bandkapazitäten Kondensatoren mit positiven und negativen TK zusammengeschaltet werden<sup>3,4</sup>. Verhalten sich diese Kapazitäten umgekehrt wie ihre Temperaturkoeffizienten, so ist der gesamte TK der

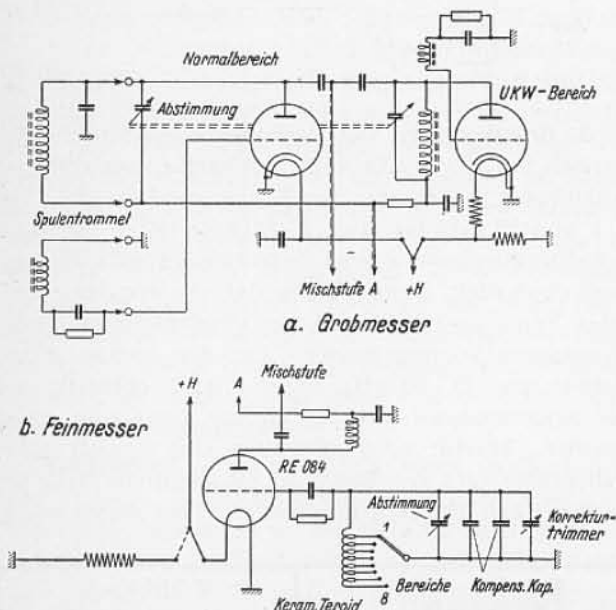


Bild 4. Schaltbild des Grobmessers (a) und des Feinmessers (b).

Kombination ausgeglichen. Nach dem Einfügen in die Schaltung bleibt dann nur noch die positive Temperaturabhängigkeit von Spule, Schalt- und Röhrenkapazitäten und Drehkondensator bestehen. Diese Einflüsse werden durch Erhöhung der Festkapazität mit negativem TK bei einer Mittelstellung des Drehkondensators kompensiert. Eine derartige Kompensation gelingt um so leichter und genauer, je kleiner der absolute TK der einzelnen Schaltelemente an sich

Absoluteichung und die Konstanz des ganzen Gerätes ja immer auf den Quarz-Generator zurückgeführt, so daß also dessen Temperaturabhängigkeit das Ausschlaggebende ist.

Die frequenzmäßige Lage des FM innerhalb des Bereiches ist besonders dadurch bedingt, daß die Oberwellenzahl der Überlagerung GM — FM nicht so groß werden darf, daß der Unterschied  $f_{GM} \cdot n$  und  $f_{GM} \cdot (n \pm 1)$  kleiner als die Meßgenauigkeit des Grobmessers wird, wodurch sich die Möglichkeit der Verwechslung ergäbe. Bei einer Meßgenauigkeit von  $\pm 0,8\%$  darf  $n$  also nicht größer als 62,5 werden  $100 : (2 \cdot 0,8)$ . Dies ergibt für die niedrigste Frequenz von 50 kHz den Wert 3125 kHz als Grenze. Man kann also etwa die Hälfte des FM-Bereiches zum Ausschuchen einer passenden Harmonischen für den obengenannten Grenzfall benutzen; schon ab 54 kHz aber kann eine beliebige Oberschwingung im ganzen FM verwendet werden.

Über die Konstanz des Feinmessers wurden eine Reihe besonderer Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnis war, daß für diesen Generator eine direkt geheizte Röhre beibehalten wurde. Dies nicht zuletzt auch aus Gründen der raschen Betriebsbereitschaft beim Zuschalten des FM. Die beiden Kurven aus Bild 7 zeigen die verschiedenen Einlauf-Vorgänge bei der Untersuchung der Röhre RE 134 und RE 084, die zur Wahl der letzteren führten.

**5. Vergleichsnormal.** Der eingebaute Normalgenerator mit einer auf  $\pm 3$  Hz genauen Frequenz von 100.000 kHz dient hauptsächlich zur Nachstellung und Kontrolle des Feinmessers. Ein Umschalter gibt die NQ-Frequenz entweder auf den GM oder den FM; man kann also die Harmonischen des NQ im FM direkt ohne Benutzung des Grobmessers, wie das bei der alten Ausführung der Fall war, abhören. Diese Verbesserung ist für die schnelle Betriebsbereitschaft des Frequenzmessers wichtig, zumal auch die halben Harmonischen im Feinmesser gut hörbar und deshalb genügend Kontrollpunkte in jedem Bereich vorhanden sind. Für die Verwendung des Gerätes als Meßsender ist die Mischung des NQ mit dem GM von praktischer Bedeutung. Sie gibt eine Reihe von Eichpunkten, die etwa bis zur 50. Oberwelle von 100 kHz reichen. Darüber hinaus kann man aber den NQ mit dem Feinmesser überlagern und diese Feinmesser-Frequenz, die dann mit 100 kHz moduliert ist, gleichzeitig in den Grobmesser interferieren, so daß man dort bis zum letzten Bereich

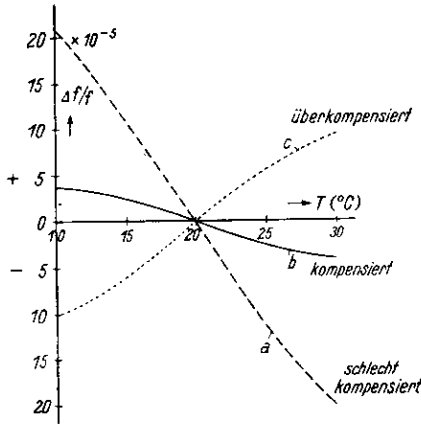


Bild 6. Temperaturabhängigkeit von Schwingkreisen.

ist. Im vorliegenden Gerät sind deshalb die Kapazitäten mit positivem TK aus Tempa S zusammengesetzt, dessen TK nur etwa  $+ 3 \dots 5 \times 10^{-5} / ^\circ C$  beträgt, also absolut schon sehr klein ist. Dann benötigt man zum Ausgleich nur ein geringes C mit negativem TK, (Condensa F, TK =  $- 7 \dots 7,4 \times 10^{-4}$ ). Im Bild 6 zeigt Kurve a die Temperaturabhängigkeit eines schlecht kompensierten, Kurve c die eines überkompensierten Kreises; für den Feinmesser ergibt sich ein Verlauf, wie ihn ungefähr Kurve b darstellt. Ein noch weitergehender Temperatureausgleich wäre zwar ohne weiteres zu erreichen, ist aber für den Feinmesser unnötig; denn letzten Endes wird die Prüfung der

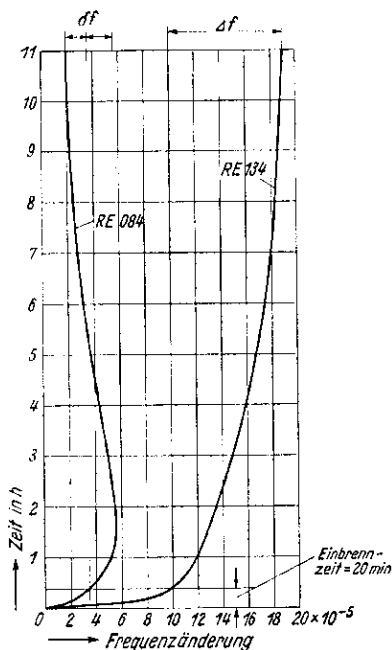


Bild 7. Eintauf-Vorgang und Konstanz bei Verwendung verschiedener FM-Röhren.

$f = 3300$  kHz,  
 $\Delta f =$  Frequenzänderung nach der Einbrennzeit mit RE 134 =  $+ 9 \cdot 10^{-5}$   
 $\delta f =$  " " " " RE 084 =  $\pm 1,7 \cdot 10^{-5}$

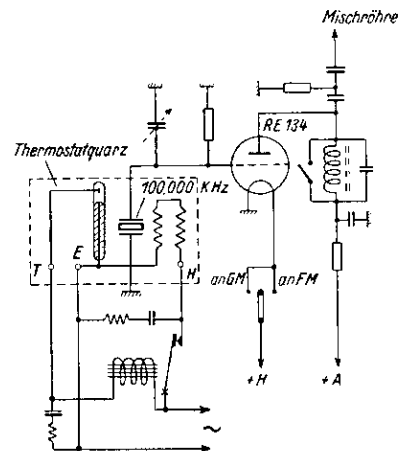


Bild 8. Schaltbild der Quarz-Stufe mit Thermostat-Quarz.

mit dieser Frequenzmodulation die 100-kHz-Punkte festlegen kann. Der Normalgenerator arbeitet mit einem Quarz, der durch neuartige Halterung und Elektroden-Anbringung als absolut stoßfest zu betrachten ist. Der TK dieser Quarze beträgt etwa  $-4 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . Darüber hinaus kann für gesteigerte Ansprüche auch ein Spezialquarz mit einem TK von  $\pm 1 \cdot 10^{-7}$  oder ein Thermostat-Quarz eingesetzt werden, der für eine Temperatur von  $35^{\circ}\text{C}$  eingestellt ist und trotz seiner geringen Abmessungen — er ist nur 5 mm höher als der normale Quarz — eine Temperatur-Konstanz von  $\pm 1/2^{\circ}$  hält<sup>6</sup>. Das Schaltbild einer derartigen Quarzstufe zeigt Bild 8.

**6. Mischung.** Bei der Neuausführung des Frequenzmessers wurde der Mischung der verschiedenen Frequenzen besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Das auftretende Problem ist das, vier verschiedene Frequenzen miteinander zur besten Mischung zu bringen. Ideal wäre hierfür eine Mischröhre mit vier durch Schirmgitter voneinander getrennten Steuergittern. Versuche, je zwei Frequenzen auf die beiden Steuergitter einer Mischhexode zu ergeben, führten nicht einwandfrei zum Ziele; deshalb wurde eine Lösung gewählt, die mit den augenblicklich vorhandenen Röhren und Hilfsmitteln dem oben angedeuteten Ideal am nächsten kommt und bei der die Mischstufe aus zwei normalen hintereinander liegenden Mischhexoden besteht (Bild 9). Grobmesser

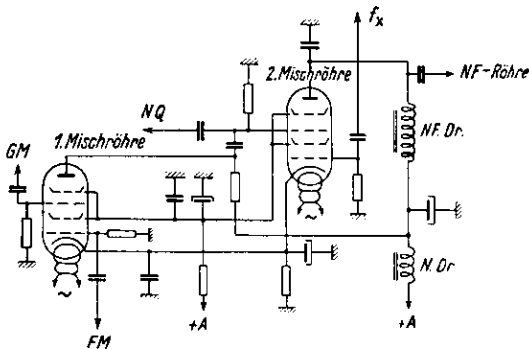


Bild 9. Schaltbild der Misch-Stufe.

und Feinmesser werden dabei auf die beiden Steuergitter der ersten, die Hereinkopplung und der Quarz auf die Steuergitter der zweiten Mischröhre gegeben. Die Kopplung arbeitet kapazitiv von der Anode der vorhergehenden auf das zweite Steuergitter der letzten Mischröhre. Eine derartige Mischung ergibt nicht nur eine völlige Unabhängigkeit der zu mischenden Frequenzen voneinander, sondern erlaubt auch die Erzielung hoher Mischsteilheiten und damit entsprechende Verstärkung und Lautstärke. Dadurch genügt nach der Mischstufe eine Niederfrequenzröhre zur Erzielung hoher Niederfrequenz-Amplituden, die eine Aussteuerung der optischen Anzeige ermöglichen.

**7. Anzeige.** Außer dem Telefon ist eine optische Anzeige vorgesehen, die wie der Kopfhörer als Minimums-Anzeiger arbeitet. Sie konnte durch entsprechende Dimensionierung auf eine Maximal-Empfindlichkeit von ca. 70 mV/Skt gebracht werden. Durch eine selbsttätige Regelung erreicht man, daß auch Spannungen über 2...20 V den Bereich des Instrumentes nicht überschreiten. Bild 10 zeigt die Empfindlichkeit des Anzeigers bei 50 und 400 Hz und außerdem in der Kurve b

den Verlauf der Anzeige für 400 Hz bei abgeschaltetem Regelgleichrichter. Besonderen Wert legt man durch entsprechende Ausbildung des Niederfrequenz-Verstärkers darauf, daß auch die tiefsten Frequenzen unter dem Hörbereich eine eindeutige optische Anzeige ergeben.

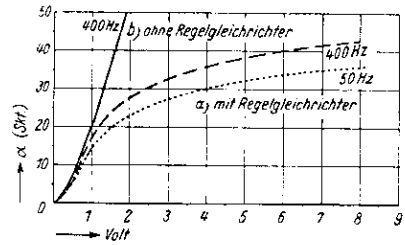


Bild 10. Charakteristik der optischen Anzeige (50 Skt = Vollausschlag)

**8. Genauigkeit.** Die Genauigkeit und Konstanz des Gerätes ist auf die des eingebauten Normal-Quarzes zurückzuführen. Die Eichung des Gerätes kann vollkommen in sich selbst durchgeführt werden, wenn der Quarz auf seinen Absolutwert eingestellt ist. Der Feinmesser besitzt eine Relativ-Genauigkeit von  $3,5 \cdot 10^{-5}/\text{Non.Skt.}$  d. h. man kann, wenn  $1/2$  Non.Skt. noch ablesbar ist, also gut  $2 \cdot 10^{-5}$  erreichen. Der angegebene Quarz-Absolutwert von  $\pm 3 \cdot 10^{-5}$  entspricht für verschiedene Frequenzen den folgenden Genauigkeitsbedingungen für die Anzeige:

bei 50kHz:  $\pm 1,5$  Hz für  $\pm 3 \cdot 10^{-5}$ ;  $\pm 2,5$  Hz für  $5 \times 10^{-5}$   
 bei 1 MHz:  $\pm 30$  Hz für  $\pm 3 \cdot 10^{-5}$ ;  $\pm 50$  Hz für  $5 \times 10^{-5}$   
 bei 50MHz:  $\pm 1500$  Hz für  $\pm 3 \cdot 10^{-5}$ ;  $\pm 2500$  Hz für  $5 \times 10^{-5}$

Diese Zahlen sagen aus, daß bei Frequenzen über 1 MHz die Gehörsicherheit ohne weiteres genügt, wenn man als Empfindlichkeitsgrenze des menschlichen Ohres 25 Hz annimmt. Andererseits wird aber klar ersichtlich, daß bei niederen Frequenzen ein weiteres Kriterium nötig ist, und dafür dient die optische Anzeige. Nun gilt aber für diese niederen Frequenzen auch, daß die schwierigste Genauigkeitsforderung überhaupt hauptsächlich die der genauen Einstellung des Grobmessers auf die zu messende Frequenz ist. Denn die genaueste Feinmessung ist dann zwecklos, wenn  $f_{GM}$  und  $f_x$  voneinander differieren, weil man ja mit dem FM nicht direkt die unbekannte Frequenz, sondern die Frequenz des Grobmessers mißt.

Für diese Übereinstimmung gilt folgendes:

1. Der GM läßt sich durch  $f_x$  ziehen, wenn die Spannung  $f_x$  genügend hoch ist. Diese erste Forderung wäre ideal, ist aber nur unter großem Aufwand und einer Reihe von Schwierigkeiten einwandfrei durchzuführen, denn der GM darf ja nur durch  $f_x$  und nicht auch gleichzeitig z. B. durch den FM gezogen werden. Man muß daher die gewünschte Übereinstimmung nach der folgenden Methode der doppelten Schwebung herbeiführen.

2. Man bestimmt die Differenzfrequenz  $f_x - f_{GM}$  durch eine Hilfsüberlagerung und stellt diese Differenz dann auf Null. Dieser in der Praxis ganz einfache Vorgang wird so ausgeführt, daß Grobmesser und  $f_x$  innerhalb der Schwebungslücke zur Übereinstimmung gebracht werden; die bleibende Differenz ist dann  $< 25$  Hz. Nun bringt man eine beliebige dritte Frequenz, beispielsweise den FM so zur Überlagerung, daß ein hörbarer Ton stehen bleibt, der dann mit der Differenz-

frequenz zwischen GM und  $f_x$  moduliert ist. Diese Modulation macht man nun durch Verringern der Differenz ( $f_{GM} - f_x$ ) am GM hörbar bzw. sichtbar (Schwebung) und kann sie ganz auf Null stellen. Dann herrscht vollkommene Übereinstimmung zwischen Grobmesser und  $f_x$ . Zur genauen Bestimmung mit dem FM genügt dann schon eine Messung auf  $\pm 100$  Hz, um innerhalb der Genauigkeit zu bleiben. Die Einstellung nach diesem Verfahren ist sehr genau und zuverlässig, zumal man die Schwebung nicht nur hören, sondern am Instrument direkt ablesen kann. Dazu ist natürlich nötig, daß die Konstanz der einzelnen Generatoren während der Meßdauer genügend hoch ist, damit sie nicht weglafen. Für den FM ist diese Konstanz gewährleistet, weil, wie aus Bild 6 ersichtlich, die Gesamt-Konstanz des Feinmessers über 11 Stunden besser als  $\pm 2 \cdot 10^{-5}$  ist. Auch für den GM ist die Konstanz genügend hoch und durch den schon erwähnten Spezialtrieb ist auch die Möglichkeit gegeben, genügend genau einzustellen. Die Abhängigkeit von Heiz- und Anodenspannung zeigt Bild 11.

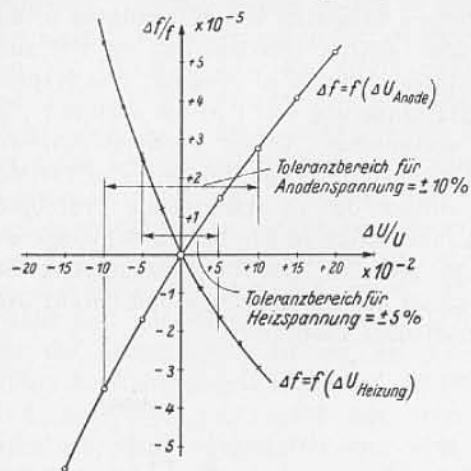


Bild 11. Spannungsabhängigkeit des FM von Heiz- und Anodenspannung.  $f = 3300$  kHz.

Die Temperatur-Einflüsse liegen für den Feinmesser zwischen 15 und 25°C unter  $5 \cdot 10^{-5}$ , also innerhalb seiner Genauigkeit. Für den Normalquarz jedoch überschreitet bei dem angegebenen TK von  $-4 \cdot 10^{-6}$  eine Temperaturänderung von  $\pm 8^\circ$  bereits die Genauigkeitsangabe. Findet der Frequenzmesser im Labor Verwendung, wird diese Temperaturdifferenz kaum überschritten, besteht aber die Möglichkeit größerer Wärmeunterschiede, so hilft die Verwendung des schon besprochenen Thermostat-Quarzes, der nach der außerordentlich geringen Anlaufzeit von 180 s eine Temperatur-Konstanz von  $\frac{1}{2}^\circ$  C aufweist. Die in Bild 6 gezeigten Konstanz-Vorgänge wurden durch Vergleich mit einer Quarz-Uhr-Anlage, deren Konstanz über  $1 \cdot 10^{-8}$  liegt, aufgenommen<sup>8)</sup>. Außerdem wurden gleichzeitig mit dem Reichssender München, deren Frequenz von 740,000 kHz hierfür sehr günstig liegt, Vergleiche durchgeführt.

**9. Aufbau.** Die Verwendung indirekt geheizter Röhren brachte die elektrischen Voraussetzungen für einen klingsicheren Aufbau, während eine Reihe von mechanischen Verbesserungen zur Erzielung einer hohen Stabilität und Betriebssicherheit diente. Das Chassis ist vollkommen aus Leichtmetall aufgebaut und wird in ein Gußgehäuse aus Silumin montiert<sup>9)</sup>. Die Aggregate für den Grobmesser und den Feinmesser sind

auf einzelnen Silumingußböcken aufgebaut (Bild 3 und Bild 5) und werden vor dem Einbau bereits verdrahtet und abgeglichen. Durch diesen Einzelaufbau konnte eine mechanische Festigkeit und Konstanz erreicht werden, die auch einer robusteren Behandlung gewachsen ist. Dazu kommt, daß der Allwellenfrequenzmesser auch in ein federndes Traggestell eingesetzt werden kann.

Die in der Rückansicht Bild 12 gut sichtbaren Trommelskalen sind aus Gußspeichenrädern mit Hartpapier-Zylinderrohren zusammengesetzt, während sie

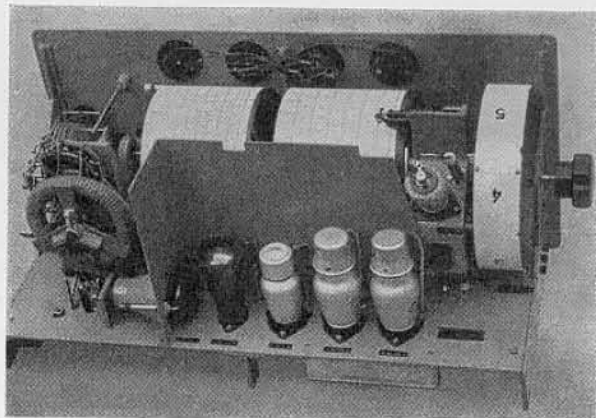


Bild 12. Innenansicht des gesamten Frequenzmessers.

früher aus einseitigen, gedrückten Aluminiumtrommeln bestanden. Diese Skalentrommeln sitzen ohne Verwendung von Kupplungen direkt auf der Drehkondensatorachse. Dies gewährleistet erst die Konstanz der direkten Eichung, die auf Zelluloidskalen gezeichnet ist und vermeidet jeglichen toten Gang zwischen Abstimmelement und Abstimmkala. Beim Grobmesser ist die Drehkondensatorachse mit dem Schneckentrieb über eine Kupplung verbunden, um auch die letzten Frequenzverwerfungen zu eliminieren, die bei den höchsten Frequenzen sonst unliebsam in Erscheinung treten und die Einstellsicherheit vermindern könnten. Die neu entwickelten Schneckentriebe sind in Abschnitt 4 schon erwähnt; zum Ausgleich ihres höheren Übersetzungsverhältnisses (1 : 50 pro 360°) werden sie mit einem Kurbeltriebknopf betätigt.

**10. Stromversorgung.** Der Allwellen-Frequenzmesser benötigt folgende Spannungen und Ströme zum Betrieb:

- 210 V Anodenspannung bei etwa 30 mA, Konstanz  $\pm 10\%$ ,
- 4 V Heizgleichspannung bei etwa 0,9 A, Konstanz  $\pm 5\%$ ,
- 4 V Heizwechselfspannung bei etwa 2,7 A.

Zur Stromversorgung ist deshalb ein eigenes Netzanschlußgerät geschaffen worden, das die durch Glimmentladungsröhre stabilisierte Anodenspannung liefert und außer der Wechselstromheizung auch eine durch Eisenwasserstoffwiderstand konstant gehaltene Gleichstromheizung besitzt. Durch entsprechende Dimensionierung der Siebmittel ist erreicht, daß die Welligkeit für Anoden- und Heizspannung unter  $1\%$  liegt, sodaß das Netzgerät auch anderweitig mit Vorteil verwendet werden kann. Bild 13 zeigt den Allwellenfrequenzmesser betriebsbereit mit dem Netzanschlußgerät.

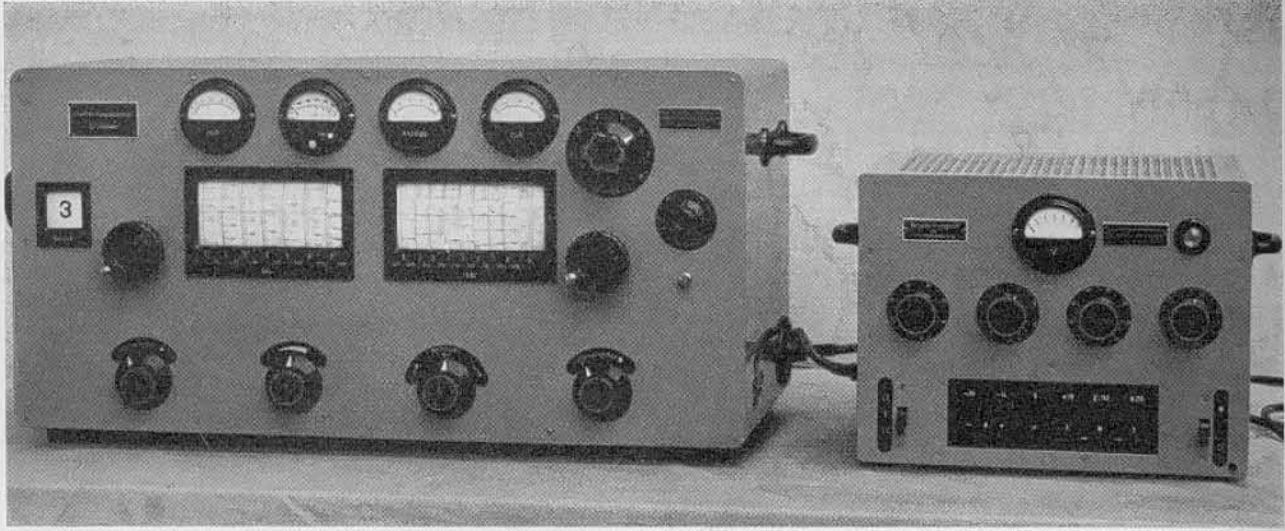


Bild 13. Ansicht des Allwellen-Frequenzmessers mit Netzanschlußgerät.

**11. Anwendung.** Das Gerät ermöglicht in seiner Normalausführung die Frequenzmessung mit  $\pm 0,8\%$  (GM) oder  $\pm 0,005\%$  (GM und FM) Genauigkeit. Außerdem hat es auch eine allerdings begrenzte Verwendungsmöglichkeit als Messender zu Eich- und Kontrollzwecken (GM + NQ oder GM + FM) sowie gegebenenfalls auch als Schwebungssummer (GM + NQ bei 100 kHz)!

In einer Sonderausführung können auch beliebige Quarze angeschlossen und geprüft werden, wobei dann der GM als kristallerregter Generator arbeitet. In dieser wird gleichzeitig auch der Schwingkreis des GM zugänglich (siehe Gesamtschaltbild 14) und der Kapazitätsverlauf des 500 pF Drehkondensators geichtet. Da-

durch kann man C-Messungen nach der Differenzmethode durchführen (Abgleich von Kapazitäten o. ä.), gleichzeitig aber mittels Überlagerung im FM auch kleine Kapazitäten unter 10 pF messen; eine Kapazität oder Kapazitätsänderung von 1 pF ist noch mit 1% Genauigkeit bestimmbar. Dieser Verwendungszweck ergibt die Möglichkeit zur Durchführung von TK-Messungen, wobei einfach das zu erwärmende Prüfobjekt (z. B. Blockkondensator) an den beiden Schwingkreisbuchsen angeschlossen wird. Die Frequenzänderung wird an der Noniuskala des FM abgelesen und daraus der Temperaturkoeffizient bestimmt.

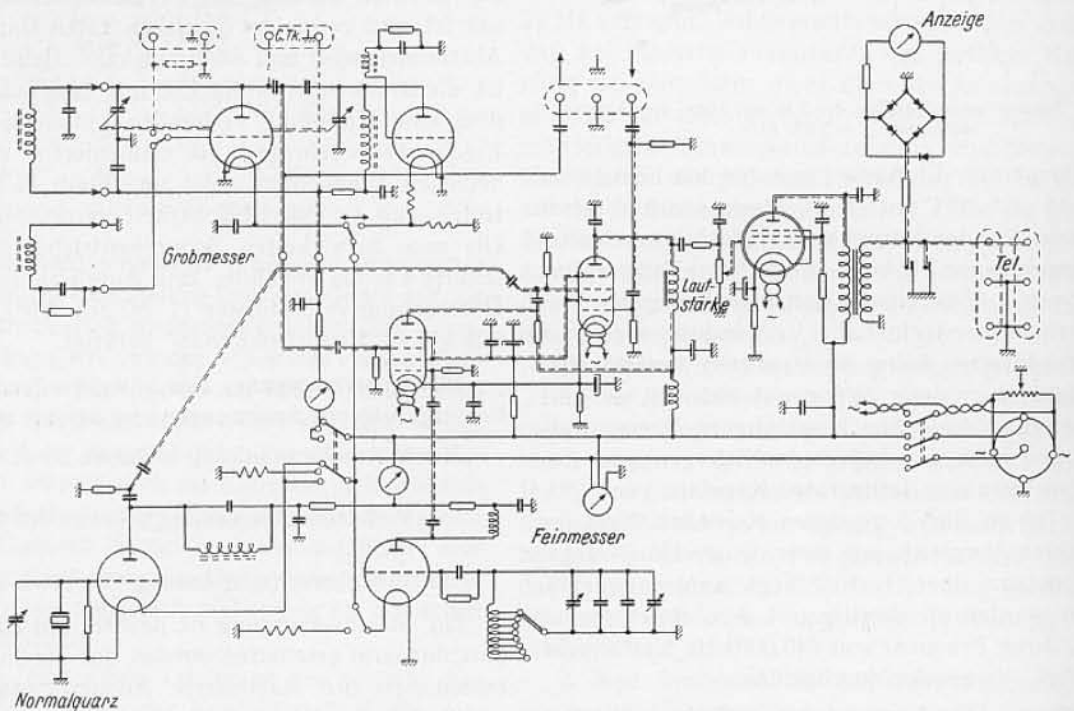


Bild 14. Gesamtschaltbild des Allwellen-Frequenzmessers.

#### Literatur.

Lehrbücher: Kohlrausch, Prakt. Physik. Teubner 1935, S. 757 u. f.; Strutt, Moderne Mehrgitter-Elektrodenröhre S. 50 u. f.; Zinke, Hochfrequenzmeßtechnik S. 120...132. — Aufsätze: 1. L. Rohde und H. Schwarz, Interferenzwellenmesser mit großem Wellenbereich für das Laboratorium. Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 40 (1932), S. 117...120. — 2. A. Habermann, Großer Interferenzwellenmesser 6...6000 m. Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 46 (1935), S. 120...124. — 3. H. Handreck, Keramische Hochfrequenz-Kondensatoren. ATM Z 136—1 (August 1936). — 4. L. Rohde, Konstante elektr. Schwingungskreise mit kleiner Temperaturabhängigkeit. Z. techn. Physik 12 (1934), S. 613...617. — 5. H. Schwarz, Selbstinduktionsspulen für Hochfrequenz. ATM Z 124—1 (April 1936). — 6. L. Rohde, Neuartige Steuer- und Filterquarze. Z. techn. Physik 19 (1938), Heft 12. — 7. L. Rohde, Frequenzmesser bei Hochfrequenz. ATM V 3614—1 (März 1936). — 8. L. Rohde, Grenzen der Konstanz elektr. Schwingungskreise. Z. techn. Physik 17 (1936), S. 464...468. — 9. A. Habermann, Hochfrequenztechnik und Aluminium. Aluminium 18 (1936), S. 612...617.