

Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 21 (1948)
Heft: II

Artikel: Ultraschallgenerator mit Normalfrequenz
Autor: Barone, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-111902>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ultraschallgenerator mit Normalfrequenz

von A. Barone.

(6. III. 1948.)

Viele Messungen auf dem Gebiete des Ultraschalls benötigen eine Spannung von konstanter, genauestens bekannter Frequenz. Eine solche Spannung kann entweder zur direkten Anregung des Generatorquarzes verwendet werden, oder als Vergleichsmaßstab der im Experiment verwendeten Frequenzen. So wird z. B. die Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Ultraschallwellen durch die Bestimmung ihrer Wellenlängen ausgeführt, weshalb eine genaue Kenntnis der Frequenz erforderlich ist.

Die mit piezoelektrischen Quarzen gesteuerten Oszillatoren liefern bekanntlich sehr konstante Normalfrequenzen, besonders bei Verwendung von Thermostaten, die die Temperatur des Kristalls konstant halten. Wir haben nun einen Ultraschallgenerator mit Normalfrequenz konstruiert, der Präzisionsmessungen erlaubt, dabei den Vorteil der Einfachheit in der Konstruktion besitzt und eine genaue Kontrolle der Frequenz unter Verwendung verhältnismässig einfacher Laboratoriumshilfsmittel ermöglicht.

Der Apparat besteht aus einem piezoelektrischen Steueroszillator, der eine Normalfrequenz von 1 MHz erzeugt und an den ein 3-stufiger Verstärker — dessen 2 letzte Röhren gleichzeitig als Frequenzmultiplikatoren wirken — angeschlossen ist. An den Ausgangsklemmen liefert er eine Leistung von zirka 18—20 Watt, bei einer Frequenz von 4 MHz. Die Frequenzkontrolle wird durch Vergleich mit Radiosignalen durchgeführt, die aus Amerika mit Normalfrequenzen gesendet werden.

Das allgemeine Schema des Apparates ist in Fig. 1 wiedergegeben. Der Oszillator enthält eine Triode 6C5 (R.C.A.), an die der Steuerquarz in der bekannten Pierce'schen Schaltung angekoppelt ist. Wie bekannt, muss, zur Verwirklichung von Schwingungszuständen in Oszillatoren dieser Art, der Gitter- und der Anodenstromkreis induktive Reaktanz mit der Schwingungsfrequenz haben. Der Anodenstromkreis ist deshalb auf eine etwas höhere Frequenz als die der Schwingung des Steuerquarzes abgestimmt. Die mit dem Apparat erhaltene Frequenz ist äusserst konstant und ändert sich nur mit der Temperatur des Quarzes.

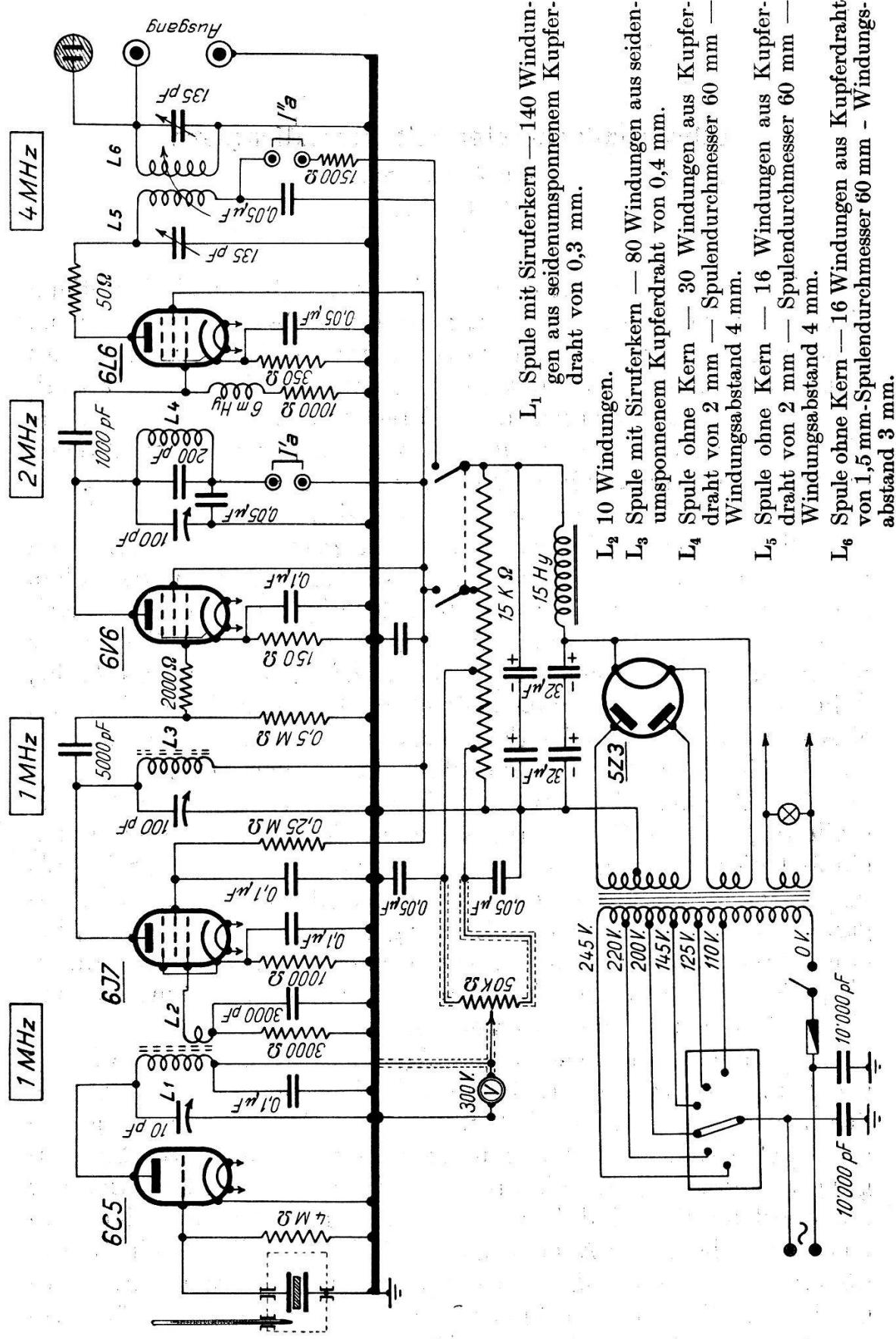


Fig. 1.

Für die Zwecke, für die der Apparat gebaut war, kommt nicht so sehr ein vorbestimmter Wert der Frequenz in Betracht, als die genaueste Feststellung der tatsächlich vorhandenen. Es genügt daher, den exakten Zusammenhang zwischen der Frequenz und der Temperatur des Steuerquarzes zu kennen und sich zu vergewissern, dass der Oszillator unter allen Verhältnissen die geforderte Beständigkeit besitzt. Daraus ergibt sich der Vorteil, in Hinblick auf möglichste Vereinfachung des Apparates, auf die Verwendung eines Thermostaten verzichten zu können. Der Steuerquarz ist deshalb einfach in einem, innen mit Kork verkleideten, Metallgehäuse untergebracht zwecks elektrischer und bis zu einem gewissen Grade thermischer Abschirmung. Die Temperatur wird mit einem Thermometer gemessen, dessen Kugel sich innerhalb des Gehäuses, nahe dem Quarz befindet.

Die auf den Oszillator folgenden Stufen enthalten im einzelnen:

1. Eine auf 1 MHz abgestimmte Pentode 6J7 (R.C.A.), die als Separator und Klasse *A*-Verstärker funktioniert; sie bringt die vom Anodenstromkreis gelieferte Spannung des Oszillators auf einen ausreichenden Wert zur Steuerung des nächsten Kreises.
2. Eine Pentode 6V6 (R.C.A.), die als Klasse *C*-Verstärker und Frequenzduplicator dient, und deren Anodenstromkreis auf 2 MHz abgestimmt ist.
3. Eine Pentode 6L6 (R.C.A.), ebenfalls als Klasse *C*-Verstärker und Frequenzduplicator, mit auf 4 MHz abgestimmtem Anodenstromkreis.

Die Ausgangsleistung, die der Erzeugung der Ultraschallwellen dient, wird der 6L6-Röhre mittels eines abgestimmten Sekundärkreises entnommen, der eine veränderliche Kopplung mit dem Anodenschwingungskreis der Röhre besitzt.

Die Gittervorspannung der drei Verstärkerröhren wird automatisch durch passende Widerstände an Kathode und Gitter erzeugt, wobei der Kathodenwiderstand eine Sicherungsvorspannung ergibt, deren Hauptzweck die Beschränkung der Anodenströme im Falle eines Aussetzens der Schwingungen ist, während der Gitterwiderstand unter dynamischen Verhältnissen wirksam wird und die Einstellung der richtigen negativen Vorspannung an den Gittern zur Folge hat, damit die Röhren unter den gewünschten Arbeitsbedingungen funktionieren.

Die Anodenströme der beiden Endröhren können durch Instrumente, die in den respektiven Stromkreisen eingeschaltet sind, kontrolliert werden.

Die Messung der Frequenz des Oszillators wird durch Vergleich mit dem Normalzeichen des Senders W.W.D. des „National Bureau of Standards“ in Washington durchgeführt, der ständig auf Trägerfrequenzen von 5 MHz, 10 MHz und 15 MHz zwei überlagerte Signale von 440 Hz und 4000 Hz überträgt. Alle fünf Minuten reduziert sich die Übertragung, für die Dauer von einer Minute, auf nicht modulierte Trägerfrequenzen. Die relative Abweichung, sowohl für die Trägerfrequenzen als für die Modulationsfrequenzen, ist geringer als 1:10⁷ Hz. In Europa kann man am besten die zwei Signale zu 10 MHz und 15 MHz auffangen; der Empfang ist besonders in den ersten Morgenstunden gut.

Unsere Messung benötigt weiterhin lediglich einen Radioempfänger für Kurzwellen, einen Kathodenstrahlloszillographen und einen gewöhnlichen Niederfrequenzoszillator. Sie wird nach dem Schema Fig. 2 auf 10 MHz durchgeführt:

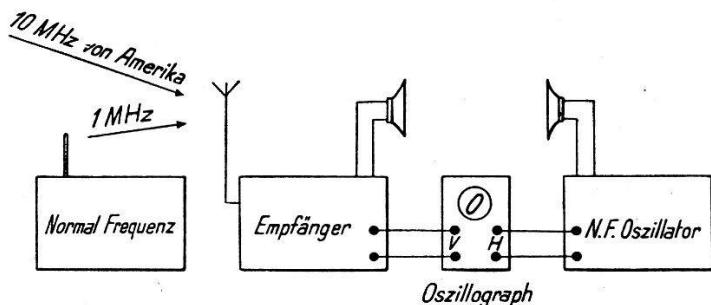


Fig. 2.

Der Apparat ist in der Nähe des Radioempfängers montiert, und man lässt nur den Steueroszillator mit 1 MHz unter gleichzeitiger Unterbrechung der Speisung der folgenden Kreise funktionieren. Das von ihm ausgestrahlte Feld trifft die Empfangsantenne, und die 10. Harmonische der Schwingung wird gleichzeitig mit dem amerikanischen Signal von 10 MHz empfangen. Im Detektorstromkreis des Radioempfängers wird so eine Schwebung erzeugt, deren Frequenz gleich der Differenz zwischen der Frequenz des amerikanischen Signals und der 10. Harmonischen der Lokalschwingung ist. Die Messung der Schwebungsfrequenz wird mit dem Oszillographen durch Vergleich mit der Frequenz des Niederfrequenzoszillators (Tongenerator) durchgeführt. Die zwei Lautsprecher sind nicht notwendig, doch erleichtert eine Gehörkontrolle die Messung. Um eventuelle Fehlerquellen auszuschalten, ist es gut, die Kontrolle während der Minute auszuführen, in der das amerikanische Signal von 10 MHz nicht moduliert ist.

Ist f die Schwebungsfrequenz und F diejenige unseres Oszillators, so gilt:

$$F = 10^6 \pm \frac{f}{10}, \quad (1)$$

wobei wir das Zeichen + oder - zu verwenden haben, je nachdem $10 F \gtrless 10$ MHz ist. Zur Bestimmung dieses Vorzeichens wurde der eingebaute Überlagerungskreis des Radioapparates verwendet, der der Aufnahme der telegraphischen Signale dient: es genügt, die Schwebung auf 0 zu reduzieren und separat zuerst das amerikanische Signal und dann dasjenige des eigenen Oszillators zu empfangen, um den Sinn der notwendigen Frequenzänderung festzustellen.

Mit dieser Methode ist die Frequenz des Oszillators in Funktion der Temperatur des Quarzes in einem weiten Intervall gemessen

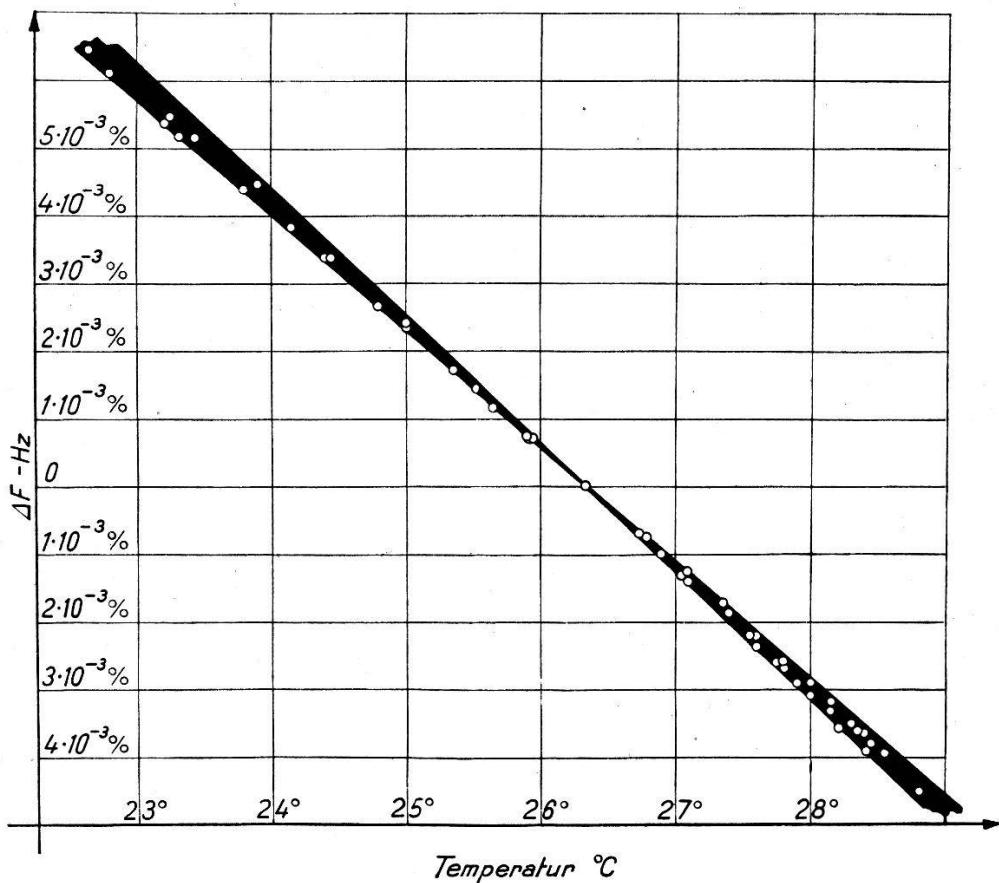


Fig. 3.

worden; die Resultate sind im Diagramm Fig. 3 wiedergegeben. Was die Genauigkeit der Messung betrifft, bemerken wir, dass nach (1) der absolute Fehler

$$\Delta F = \frac{\Delta f}{10}$$

beträgt, wobei Δf den absoluten Fehler bedeutet, mit dem die Frequenz des Niederfrequenzoszillators behaftet ist. Der relative Fehler ist daher:

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta f}{10^7 \pm f},$$

und da f gegenüber 10^7 vernachlässigt werden kann, erhalten wir für den prozentualen Fehler:

$$\frac{\Delta F}{F} 100 = \frac{f}{10^7} \frac{\Delta f}{f} 100$$

oder:

$$\Delta F \% = f 10^{-7} \Delta f \% . \quad (2)$$

Wie man sieht, ist ΔF um so kleiner, je kleiner die Schwebungsfrequenz f ist.

Die Formel (2) zeigt ausserdem, dass es möglich ist, auch bei geringer Präzision des Niederfrequenzoszillators genügend exakte Messungen auszuführen. Die schwarze Zone in Fig. 3 stellt den Bereich des Maximalfehlers dar, bedingt durch den verwendeten Niederfrequenzoszillator, dessen Präzision zirka $\pm 5\%$ betrug. Der grösste Teil der eingezeichneten Punkte, die den an verschiedenen Tagen ausgeführten Messungen entsprechen, fällt tatsächlich in diese Zone.

Wie man sieht, kann, bei einer Abweichung von z. B. 200 Hz von ihrem Nominalwert von 1 MHz, die Frequenz des Quarzoszillators in der einfachsten Weise mit einer Präzision von $\pm 10^{-4}\%$, bestimmt werden, was jedem Genauigkeitsanspruch auf dem Gebiete der Ultraakustik gerecht wird.

Der Verfasser dankt Herrn Professor Dr. EDGAR MEYER, Direktor des Physikalischen Instituts der Universität Zürich, herzlich für sein gütiges Interesse an der vorliegenden Arbeit und für die freundliche Zurverfügungstellung aller Mittel, die für ihre Durchführung notwendig waren.

Zürich, Physikalisches Institut der Universität.