

einigen älteren Resultaten über die Frequenz- und Amplitudengleichung werden in dieser Arbeit die Ausdrücke $W' = W/E^2$, $W_1' = W_1/E^2$ und $W_2' = W_2/E^2$ als Funktionen von $x = \omega_2^2/\omega_1^2$ diskutiert. Unter Benutzung der Begriffe der losen und festen Kopplung wird die Klassifikation der Kurven W' , W_1' , W_2' für vier Hauptfälle durch-

geführt. Die charakteristischen Typen dieser Kurven werden mit ihren stabilen und instabilen Teilen dargestellt. In jedem Falle wird darauf hingewiesen, ob man das optimale Maximum $W'_{2\text{opt}} = W'_{1\text{opt}}$ oder $W_2(y_0^2) = W_1(y_0^2)$ erreichen kann oder nicht.

(Eingegangen am 21. August 1930.)

Moderne quarzgesteuerte Gleichwellensender.

(Mitteilung aus dem Laboratorium der C. Lorenz Aktiengesellschaft.)

Von F. Gerth und W. Hahnemann, Berlin.

Auf Veranlassung des Reichspostministeriums, das die Aufgabe gestellt hatte, in Ergänzung zu dem bereits seit einiger Zeit in Betrieb befindlichen synchronisierten Gleichwellensystem Apparaturen für ein nichtsynchronisiertes System zu bauen, wurde von der Firma C. Lorenz die Neuentwicklung eines nichtsynchronisierten Gleichwellensystems durchgeführt. Von den im Ausland verwendeten, mit Stimmgabeln arbeitenden Anordnungen wurde abgesehen, da dieses System für die Gleichwellenapparatur eine sehr große Hochfrequenzvervielfachung (ungefähr 1:500) nötig macht und dadurch vorteuernd wirkt; so entschied man sich für Sender mit Steuerung durch Quarzkristalle.

Im folgenden soll eine Beschreibung dieser Gleichwellenapparatur, deren Entwicklung im einzelnen hauptsächlich von den Herren H. Schumacher und H. Jacobs durchgeführt wurde, gegeben werden.

Gefordert war eine so hohe Frequenzkonstanz, daß bei 1500 kHz noch kein hörbarer Überlagerungston zwischen den Sendern einer Gruppe entstehen durfte; es war somit maximal nur eine Abweichung um ± 15 Hz von der Sollfrequenz erlaubt. Dieses bedeutet eine einzuhaltende Genauigkeit von $\pm \frac{1}{100000}$. Um diese garantierte

Genauigkeit mit Sicherheit über einen längeren Zeitraum zu erzielen, mußten zunächst die einzelnen frequenzbestimmenden Faktoren eines Quarzoszillators näher untersucht werden, um die notwendigen Anhaltspunkte zu gewinnen, ihre Einflüsse in gewünschtem Maße zu verringern. Die äußeren Faktoren, von denen die Frequenz

eines quarzgesteuerten Senders abhängt — abgesehen von der Art und den Abmessungen des Quarzkristalles selbst —, kann man folgendermaßen zusammenfassen:

1. Temperatur und Luftdruck,
2. Mechanische Größen,
3. Elektrische Größen.

Diese Punkte sollen zunächst einzeln behandelt werden:

1. Temperatur und Luftdruck.

Bei der Untersuchung der Temperaturabhängigkeit konnte auf eine frühere Arbeit zurückgegriffen werden*), in der die Frequenzabhängigkeit von Kurzwellenquarzen untersucht worden war.

Als Ergebnis wurde darin bei einer bestimmten Art von Quarzen eine Frequenzänderung von $60 \cdot 10^{-6}$ je 1°C festgestellt. Der Einfluß des Abstandes der Elektroden vom Quarz war dadurch ausgeschaltet, daß die Quarze versilbert wurden und die Halterung und Stromzuführung durch leichte Kontaktfedern erfolgte. Es soll hier noch nachgetragen werden, daß alle untersuchten Quarze mit ihrer Fläche parallel zu der Kristallfläche geschnitten worden waren (s. Abb. 1), und daß die Eigenschwingung derselben in der Größenordnung von 7000 kHz lag. Auf die im vorliegenden Falle geforderte Genauigkeit bezogen,

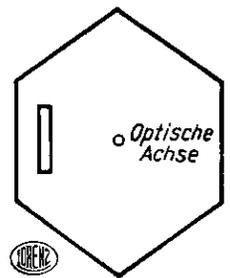


Abb. 1.

*) Die Temperaturabhängigkeit der Frequenz des Quarzoszillators. F. Gerth und H. Rochow, ENT 5, S. 549, 1928.

bedeutet das vorstehende Ergebnis, daß die Temperatur nicht mehr als $\pm 1/6^\circ \text{C}$ über die ganze Zeit schwanken darf.

In Rücksicht auf den noch hinzukommenden Einfluß der übrigen frequenzbestimmenden Faktoren muß die Temperaturkonstanz wesentlich größer als $1/6^\circ \text{C}$ sein. Daher wurde ein Thermostat entwickelt, der eine sehr große Temperaturkonstanz hat. Das Prinzip und die Konstruktion dieses Thermostaten soll in einer besonderen Arbeit behandelt werden. Die Beobachtung des Temperaturganges im Innern des Thermostaten über einen längeren Zeitraum ergab eine maximale Temperaturabweichung von einer mittleren Temperatur von nicht mehr als $\pm 1/600^\circ \text{C}$, wobei sich der Thermostat selbst in freier Luft befand. Der gestellten Bedingung war somit weitaus Genüge geleistet. Im ausgeführten Gerät befindet sich dieser Thermostat, der im Innern den Quarzkristall enthält, in einem weiteren Thermostaten, dessen Temperatur etwa innerhalb der Grenzen von $\pm 1^\circ$ geregelt wird, so daß die Temperaturkonstanz des inneren Thermostaten hierbei noch größer sein dürfte.

Abgesehen von der äußeren Einwirkung der Temperatur kommt noch die innere Erwärmung durch das Schwingen des Quarzes infolge der mechanischen Verluste hinzu. Es ist klar, daß eine Konstanz, wie sie hier erforderlich ist, alle Veranlassung gibt, diese Verluste möglichst klein zu halten. Es mußte daher die elektrische Dimensionierung so getroffen werden, daß der Quarz möglichst geringe Schwingungsamplituden ausführt.

Die Abhängigkeit der Frequenz vom äußeren Luftdruck ist so unerheblich, daß sie im vorliegenden Falle vernachlässigt werden kann. Der neue Thermostat erlaubt im übrigen die Kammer des Thermostaten luftdicht von der Außenluft abzuschließen.

2. Mechanische Größen.

Durch die Veränderung des Abstandes der Elektroden von der Quarzplatte kann die Frequenz innerhalb bestimmter Grenzen reguliert werden (zusätzliche Elastizität der Luftschicht zwischen Elektroden und Quarz). Von dieser Möglichkeit wird zur GrobAbstimmung des Quarzes auf die gewünschte Frequenz Gebrauch gemacht, da die Quarze nur annähernd auf die Sollfrequenz geschliffen werden können und die Mittel, die

die genaue Abstimmung (gemäß untenstehenden Ausführungen) herbeiführen, nur noch kleine Änderungen der Frequenz gestatten. Die Konstruktion ist so getroffen, daß — einmal eingestellt — der Abstand und damit sein Einfluß auf die Frequenz konstant bleibt, insbesondere auch dadurch, daß sich der Quarz im Innern der Kammer des hochempfindlichen Thermostaten befindet und die Halterung keiner Temperaturschwankung ausgesetzt ist.

3. Elektrische Größen.

Um den Einfluß der elektrischen Konstanten zu untersuchen, wurden zwei quarzgesteuerte Sender durch passende Abgleichung der Quarze so aufeinander abgestimmt, daß die Frequenzdifferenz zwischen den beiden Geräten genau 50 Hz betrug. Nach Zwischenschaltung eines Verstärkers konnte diese Periodenzahl an einem Zungenfrequenzmesser abgelesen werden. Die einzelnen Zungen des Frequenzmessers waren um 1 Hz voneinander verschieden, so daß Frequenzunterschiede von 1 Hz genau abgelesen werden konnten und auch Bruchteile davon geschätzt werden konnten. Es wurden bei den Untersuchungen alle elektrischen Größen eines Gerätes möglichst konstant gehalten, während die des anderen Gerätes entsprechend geändert wurden, um den Einfluß der elektrischen Größen gesondert zu ermitteln.

Für die Größe des Einflusses der Abstimmung des Schwingungskreises und die Rückwirkung der übrigen Schwingungskreise auf die Frequenz des Quarzes ist insbesondere die Schaltungsart der ersten Oszillatorstufe von ausschlaggebender Bedeutung. Es ist augenscheinlich, daß, je enger die elektrische Verbindung zwischen Quarz und Schwingungskreis (Rückkopplung) ist, desto stärker die Einwirkung des Zustandes des Schwingungskreises (Abstimmung) auf die Quarzschwingungen sein muß.

Durch besondere Schaltungsarten — über die ebenfalls noch später näher berichtet werden soll — konnte nun der Einfluß der Abstimmung des Schwingungskreises auf die Konstanz der Frequenz bei genügender Rückkopplung soweit herabgedrückt werden, daß sich zwischen den beiden Abreißpunkten die Frequenz bei etwa 1300 kHz nur um ungefähr ± 20 Hz veränderte. Naturgemäß können diese Grenzen durch stärkere

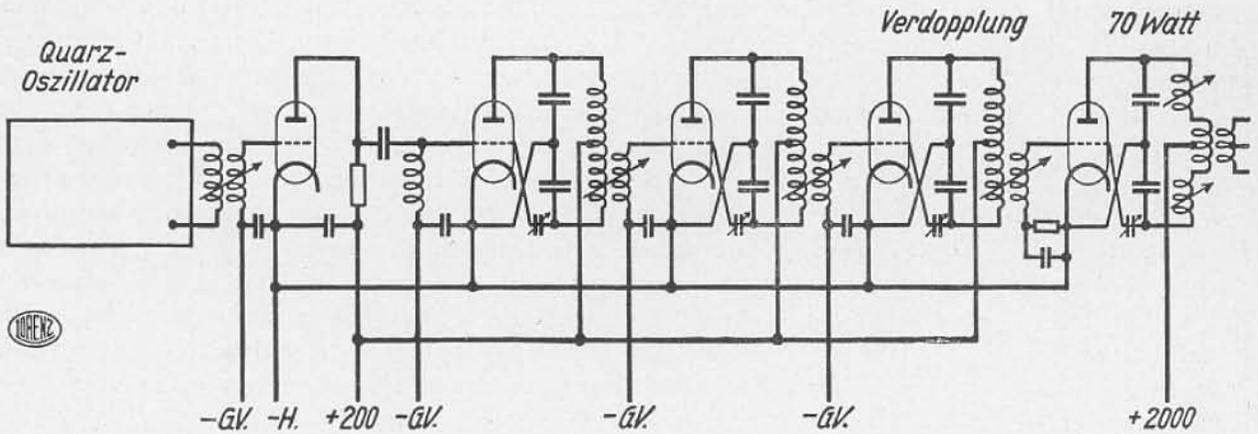


Abb. 2.

Rückkopplung wesentlich erweitert werden. Dies wird in dem Falle von Nutzen, wenn die Veränderung des Luftabstandes der Quarzhalterungsplatten nicht ausreicht, um eine Grobabstimmung für die gewünschte Frequenzübereinstimmung zweier Sender zu erzielen. Da der Schwingungskreis besonders stabil gebaut wurde und außerdem sich noch innerhalb des äußeren Thermostaten befindet, dessen Temperatur um ungefähr $\pm 1^\circ$ geregelt wird, ist eine merkbare Änderung der Frequenz durch ihn vermieden. Auch die Rückkopplungsorgane befinden sich innerhalb des äußeren Thermostaten und sind deshalb keinen Einflüssen, die im Laufe der Zeit verändernd auf die Größe der Rückkopplung einwirken könnten, ausgesetzt. Die Kopplung zu den weiteren Verstärkungsstufen wird fest eingestellt und befindet sich ebenfalls innerhalb des äußeren Thermostaten. Die Rückwirkung der weiteren Verstärkerstufen ist durch Zwischenschaltung einer Trennstufe, durch gute Neutralisation, durch sorgfältige Abschirmung gegenüber kapazitiven und induktiven Kopplungen, durch Zwischenschaltung einer Verdopplungsstufe und durch Einschalten von Hochfrequenzfiltern in die Speiseleitungen des Quarzoszillators vollkommen beseitigt, so daß z. B. eine Aus- und Einschaltung der letzten Verstärkerstufe nicht den geringsten merkbaren Einfluß auf die Frequenz hatte.

Bei der gewählten Schaltung des Quarzoszillators ergab bei einer Frequenz von 1320 kHz eine Änderung der Anodenspannung um ungefähr ± 20 vH keine merkbare Frequenzänderung (unter 1 Hz).

Eine Änderung der Gittervorspannung um un-

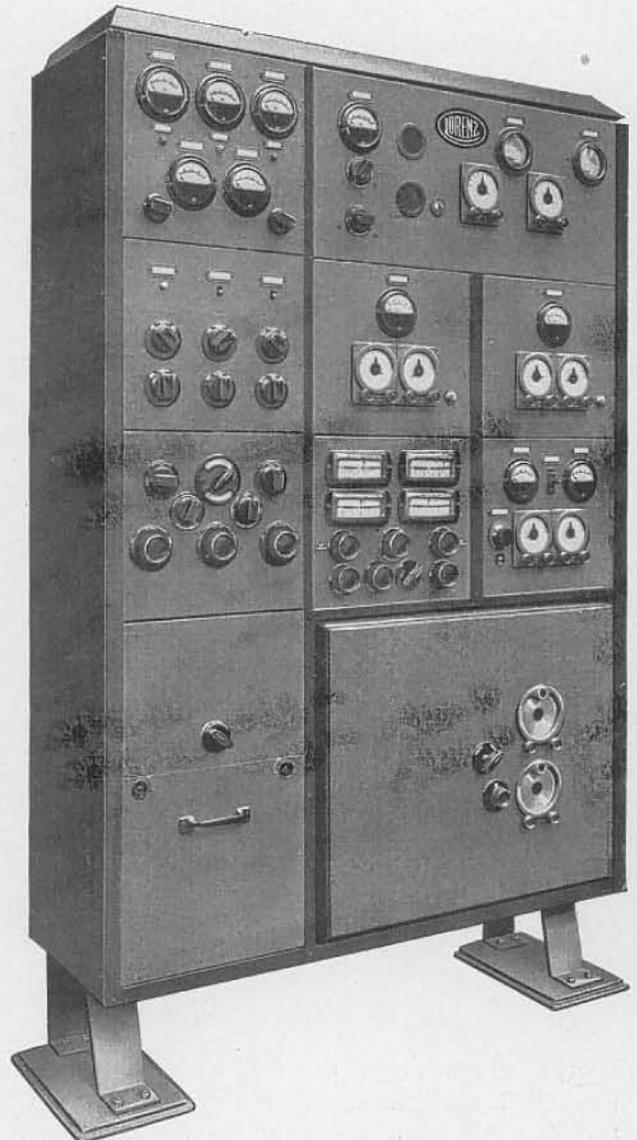


Abb. 3.

gefähr ± 10 vH ergab bei derselben Frequenz von 1320 kHz ebenfalls keine merkbare Frequenzänderung (unter 1 Hz).

Eine Änderung der Heizspannung um ungefähr ± 15 vH ergab bei Frequenz von 1320 kHz eine Frequenzänderung von ungefähr 1 Hz.

Zur Feststellung, daß keine sonstigen störenden Einflüsse für die Frequenzkonstanz vorhanden waren, wurde ein Dauerversuch mit zwei Geräten, deren Überlagerungsfrequenz auf 50 Hz eingestellt war, gemacht. Hierbei blieb die am Zungenfrequenzmesser kontrollierte Frequenzabweichung unter 1 Hz, ohne daß während der Versuchszeit irgendwelche Nachstellungen an einem der beiden Geräte vorgenommen wurden.

Die erzielte Genauigkeit betrug somit mehr als 1 Millionstel.

In Abb. 2 ist das Schaltungsschema der gesamten Gleichwellenapparatur im Prinzip dargestellt.

Abb. 3 zeigt den ausgeführten Apparat.

Die Endleistung ist ausreichend zur Aussteuerung der üblichen Rundfunksender mit $2\frac{1}{2}$ kW

Telephonieleistung bzw. rd. 10 kW Strichleistung. — Das vorbeschriebene Gerät zur Gleichwellensteuerung von Rundfunksendern hat somit die geforderte Genauigkeit der Konstanz für ein nichtsynchronisiertes Gleichwellensystem von ± 15 vH nicht nur erreicht, sondern noch wesentlich überschritten. Es erscheint nicht ausgeschlossen, durch weitere Verbesserungen eine so große Genauigkeit zu erzielen, daß nur noch langsame Schwebungen zwischen den Sendern auftreten und so durch unabhängig voneinander gesteuerte Sender nahezu synchronisierter Gleichwellenrundfunk erreicht wird.

Zusammenfassung.

Es wird eine neue Quarzapparatur für den Gleichwellenrundfunk beschrieben, die mit verhältnismäßig einfachen Mitteln eine sehr hohe Frequenzkonstanz zu erreichen gestattet. Durch eine besondere Ausführung des Quarzoszillators und eines Thermostaten konnte eine Konstanz seiner Frequenz größer als $1 \cdot 10^{-6}$ erzielt werden.

(Eingegangen am 22. Juli 1930.)