

**Zeitschrift:** Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen  
**Herausgeber:** Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-  
Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere  
**Band:** 17 (1944)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Frequenzstabilisation  
**Autor:** Geiger, Jakob  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-559862>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

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

## Frequenzstabilisation

Von Jakob Geiger, Winterthur

Durch die starke Ausnützung — es muss eigentlich schon von Ueberfüllung gesprochen werden — der Mittelwellen- und Kurzwellenbänder ist es von grösster Wichtigkeit, dass die Sender und Empfänger ihre Frequenzen ganz genau einhalten. In erster Linie betrifft das die Messgeräte, die zur Kontrolle und Entwicklung dieser Anlagen verwendet werden.

Die Welle eines Schwingungskreises mit kleiner Dämpfung ist durch die Formel:

$$\lambda_m = \frac{2\pi}{100} \sqrt{L_{cm} \cdot C_{cm}}$$

gegeben. Die Genauigkeit der Welle hängt somit von der Selbstinduktion  $L$  und der Kapazität  $C$  ab. Durch eine Aenderung von  $C$  um  $\Delta C$  und  $L$  um  $\Delta L$  ergibt sich:

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \pm \left[ \frac{\Delta L}{2L} + \left( \frac{\Delta L}{2L} \right)^2 \right] \pm \left[ \frac{\Delta C}{2C} + \left( \frac{\Delta C}{2C} \right)^2 \right]$$

Da  $\Delta C$  und  $\Delta L$  klein sind und im Quadrat vorkommen, kann man ohne grossen Fehler setzen:

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta L}{2L} - \frac{\Delta C}{2C}$$

Eine kleine Aenderung der Kapazität oder der Selbstinduktion erzeugt somit eine halb so grosse Aenderung der Welle. Soll daher ein Schwingkreis konstant sein, so müssen Spulen und Kondensatoren verwendet werden, die weitgehend unveränderlich sind.

Was beeinflusst die obigen Grössen? In erster Linie sind es Temperatureinflüsse und Feuchtigkeit. Bei Quarzgeneratoren sind die Luftdruckschwankungen zu berücksichtigen. Schliesslich kann auch die anregende Röhre die Frequenz verändern. Wir stellen fest, dass hauptsächlich

Temperaturschwankungen  
Feuchtigkeit  
Betriebsgrössen

die Faktoren sind, welche eine Frequenzverwerfung verursachen.

Der Einfluss der Temperaturschwankungen auf Messgeräte ist allgemein bekannt. Selbst bei bester Lüftung lassen sich Temperaturveränderungen, zumindest im Innern der Röhre, nicht vermeiden und müssen in Rechnung gesetzt werden.

Nehmen wir z. B. ein eng zusammengebautes Gerät an, das aus dem Netz oder Batterien 55 Watt aufnimmt und ca. 15 Watt an die Antenne abgibt. Etwa 20 Watt werden in Wärme umgesetzt, ein Teil der Wärme wird vom Kasten nach aussen abgestrahlt, der andere Teil erwärmt aber die frequenzbestimmenden Teile. Die Innentemperatur kann dabei bis auf 70° C ansteigen. Wenn wir als Aussentemperatur 20° C, als Abstimmkapazität 200 pF und als rel. Temperaturkoeffizient (TK)  $a = 1 \cdot 10^{-4}$  annehmen, so ergibt dies eine Kapazitätsänderung von:

$$\Delta C = a_{20} \cdot (T_w - T_{20}) \cdot C$$

$$\Delta C = 1 \cdot 10^{-4} (70^\circ \text{C} - 20^\circ \text{C}) \cdot 200 \text{ pF}$$

$$\Delta C = 1 \text{ pF}$$

Dies bedeutet auf dem 20-m-Band (15 Mhz) eine Frequenzverschiebung von bereits ~35 kHz.

Der rel. Temperaturkoeffizient  $a$  ist die Aenderung von  $C$  um  $\Delta C$  pro 1° C.  $a$  kann positiv oder negativ sein. Condensa-Kondensatoren, das sind keramische Kondensatoren mit aufgebrannten Silberbelägen, haben je nach Fabrikation einen negativen TK in der Grössenordnung von  $-30 \cdot 10^{-5}$  bis  $-75 \cdot 10^{-5}$ . Calit-Kondensatoren, ebenfalls keramische Kondensatoren, haben einen positiven TK in der Grössenordnung  $1,5 \cdot 10^{-5}$  bis  $2 \cdot 10^{-5}$ . Luftkondensatoren besitzen einen TK der im wesentlichen durch den Ausdehnungskoeffizient des verwendeten Materials gegeben ist. Dabei gilt die Beziehung  $\text{TK} \approx 2\beta - a$ , wobei  $\beta$  der lineare Ausdehnungskoeff. des Plattenmaterials und  $a$  der des Plattenhalters ist. Dabei ist die Verwendung von vorher im Ofen gealterten Kondensatoren zu empfehlen. Ueber eine Konstanz von  $10^{-4}$  kommt man jedoch praktisch nicht.

Durch eine Condensa-Calit-Kombination kann man den  $\text{TK} = 0$  herstellen. Die Kapazität ist in ein bestimmtes Verhältnis zu bringen, das sich aus dem TK der verwendeten Einzelkondensatoren ergibt. Sind  $\text{TK}_1$  und  $\text{TK}_2$  die beiden TK und entsprechend  $C_1$  und  $C_2$  die zugehörigen Kapazitäten, so ergibt sich für den resultierenden  $\text{TK}_3$ :

$$\text{TK}_3 = \frac{\text{TK}_1 \cdot C_2 + \text{TK}_2 \cdot C_1}{C_1 + C_2}$$

Soll  $\text{TK}_3 = 0$  werden, so ist  $\text{TK}_1 \cdot C_2 = -\text{TK}_2 \cdot C_1$ .

Bis jetzt war nur von Kapazitätsänderungen die Rede. Selbstverständlich ändern sich auch die Induktivitäten. Mit Kupferdraht bewickelte Spulen aus Perlinax, Hartgummi usw. halten ihre Induktivität nicht. Mit der Zeit verzieht sich nämlich der Spulenkörper, wobei der meist mit Spannung gewickelte Draht nachgibt. Man sagt, die Spule altert. Unter Alterung versteht man die bleibende Aenderung, hervorgerufen durch mechanische Veränderung oder mehrfachen Temperaturwechsel. Immerhin kann auch die Induktivität von Zylinderspulen praktisch unabhängig gemacht werden, wenn zwischen dem TK in radikaler Richtung (B) und jenem in axialer Richtung (A) folgende Beziehung besteht:

$$\frac{A}{B} = 2 + \frac{0,9 \cdot r}{1}$$

Praktisch kann das durch geeignete Wahl des Spulenträgers und des Drahtes einigermassen erreicht werden. Bei Spulen, bei denen es weniger auf die Güte, als auf die Temperaturabhängigkeit der Induktivität ankommt, kann Draht mit höherem Widerstand, aber geringerem TK verwendet werden. Auf diese Weise gelingt es, einen TK der Induktivität von  $0,5 \cdot 10^{-6}$  zu erhalten.

Verwendet man an Stelle von Kunststoffen keramische Spulenträger, die auch hinsichtlich der Verluste besser sind, werden die Veränderungen wesentlich kleiner. Geht man zu keramischen Spulenträgern mit eingebrannten Windungen (Silber) über, so tritt praktisch keine Alterung mehr ein. Eine Abhängigkeit bleibt jedoch diesen Spulen. Es ist die Aenderung der Induktivität mit der Temperatur, die durch die Ausdehnung des Körpers und des Belages entsteht.

Der TK der Spulen bewegt sich zwischen  $0,5 \cdot 10^{-6}$  bis  $4,5 \cdot 10^{-5}$ , er ist also viel kleiner als bei Kondensatoren.

Bei hohen Frequenzen (UKW) ist es kaum möglich, Abstimmkreise hinreichend geringer Dämpfung herzustellen, um die notwendige Frequenzstabilität von Sendern zu erreichen. Es gibt aber eine Möglichkeit, Kreise geringer Dämpfung selbst für sehr hohe Frequenzen zu realisieren. Dies ist der Topfkreis, eine Abart der konzentrischen Rohrleitung, der mehr und mehr verwendet wird.

Durch die Kombination von Kondensatoren mit pos. und neg. TK kann man jeden Zwischenwert erzeugen. Dadurch können auch ganze Schwingungskreise kompensiert werden. Es ist nur dafür zu sorgen, dass die Kapazität einen gleich grossen, aber umgekehrten TK hat, wie die Induktivität.

Es gilt:

$$\frac{\Delta L}{L} = - \frac{\Delta C}{C}$$

Dabei ist  $C = C_1 + C_2$

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta C_1}{C_1}}{\frac{\Delta C_2}{C_2} - \frac{\Delta L}{L}}$$

Allerdings muss dabei bedacht werden, dass die einzelnen Faktoren verschiedenen Verlauf ihrer Erwärmung aufweisen und es daher nur möglich ist, die Kompensation für einen bestimmten Zeitpunkt, zweckmässig für den Endzustand, durchzuführen. Bei mehreren Wellenbereichen kann ebenfalls nur für ein schmales Frequenzband gute Kompensation erzielt werden.

Von den Betriebsgrössen beeinflussen besonders Heizspannung und Anodenspannung die Frequenzstabilität. Die Aenderung der Heizspannung wirkt sich folgendermassen aus: erstens werden der Innenwiderstand und die Steilheit verändert und zweitens bewirkt sie eine Abweichung der Heizfaden- und Kathodenkapazitäten, die bei manchen Schaltungen einen Teil der Schwingkreiskapazität darstellen. Durch Vergrösserung des inneren Widerstandes, Verminderung der Kopplung zwischen Gitter- und Anodenkreis können die Ungenauig-

keiten in sehr geringen Grenzen gehalten werden. Eine grosse Fehlerquelle bilden Röhrensockel aus Kunststoff. Die Frequenzänderungen an ihnen können bis zu 60 % betragen.

Eine hohe Frequenzkonstanz lässt sich durch Stabilisation mittels Quarz erreichen. Der Quarz, als frequenzbestimmendes Element, liefert wegen seiner geringen Eigendämpfung eine ausserordentlich konstante Frequenz. Die Eigenwelle ist nur von den Dimensionen der Quarzplatte abhängig. Da die Platte mechanische Schwingungen ausführt, ist ihre Belastung durch die Elastizitätsgrenze des betreffenden Materials bestimmt. Wird dieser Wert überschritten, so schwingt der Kristall durch das Auftreten von kleinsten Rissen mehrwellig, um dann zu zerspringen. Man muss einen Kompromiss schliessen zwischen Leistung und Frequenzstabilität. Durch zu grosse Belastung des Quarzes tritt aber auch folgendes ein: Ein kleiner Teil der zur Erregung benötigten Energie wird in Wärme umgewandelt. Dies bedingt aber eine Ausdehnung der Platte und somit eine Frequenzänderung. Das heisst, dass ein stark belasteter Quarz nach dem Einschalten seine Welle so lange ändert, bis Temperaturgleichgewicht eingetreten ist. Durch geeigneten Schnitt des Quarzes kann dieser Effekt verringert werden; die Firma Zeiss, Jena, stellt heute sogar Quarze mit dem  $TK = 0$  her. Um Temperaturänderungen und Luftdruckschwankungen, die die Eigenfrequenz des Quarzes verändern, auszuschalten, wird der Quarz häufig in einen Thermostaten eingebaut. Damit wird eine Frequenzkonstanz von  $1 \cdot 10^{-7}$  erreicht.

Es ist vielleicht interessant zu wissen, welche Genauigkeiten bei Rundfunksendern erreicht werden. Nach internationalen Vereinbarungen dürfen Großstationen auf langen Wellen maximal um 0,1 %, auf kurzen Wellen maximal um 0,02 % abweichen. Die erreichten Genauigkeiten sind aber viel grösser. Der Sender Köln z. B. hatte im Monat eine durchschnittliche Abweichung von der zugewiesenen Frequenz von 0 Hz. Die grösste Abweichung des Senders Berlin von der Sollfrequenz betrug 14 Hz, das sind 0,001168 %.

Zum Schlusse können wir feststellen, dass sich zwar Frequenzveränderungen nicht vermeiden lassen, dass sie sich aber soweit eingrenzen lassen, dass Messgeräte aus der HF-Technik zu den genauesten Apparaten gehören, die man herstellen kann.



## Aktivdienstlerlebnisse rund um den Antennenstab

Von Kpl. Lüthi Fritz

(Fortsetzung)

### 2. Aktivdienst- und Manövererlebnisse mit einer F. Bttr.

Die nun folgenden Erlebnisse möchte ich ganz meinen vielen Kameraden aus dem Buch der vielen Erinnerungen geschrieben haben. Ich wüsste nicht, was uns mehr zusammengebracht hätte, als die gemeinsame Sache an den Funkpatr. in den verschiedenen Ablösungsdiensten.

An einem trüben, verschneiten Februartage bin ich zum erstenmal zu meiner Einheit eingerückt. Und zwar als junger Korporal, voller Erwartung der sich abrollenden Tage. Am zweiten Tage wurde ich mit meinen Kameraden, deren Gesichter ich zum erstenmal anschaute, morgens in aller Hergottsfrühe mit einem Militärcamion fortgebracht.

Das war natürlich für mich ein ganz anderes Erleben als in der RS. und in der Uof. Schon das schneidige und sichere Fahren unseres braven Chauffeurs hatte mir Begeisterung und Anerkennung entlockt. Denn man brauchte nur die schmale, ausgefahrene, eisigglatte Strasse zu beobachten, dann durfte ich froh sein, mich und meine Kameraden so in Sicherheit zu wissen. Bisig und kalt hat uns der aufgesprengte Wind die Gesichter rot und blau werden lassen, aber um so tiefer graben wir die Hände und die Nasenspitze in die noch