

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 25 (1934)
Heft: 2

Artikel: Frequenzstabile Ueberlagerungs-Tongeneratoren
Autor: Meyer, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060132>

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: 03.04.2026

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

42 Per./s aufweist, und derjenige der Prager Eisenindustrie, Eisenwerke Kladno, von 4000 kW, welcher den Energieaustausch zwischen einem 50- und einem 25-Per./s-Netz gestattet.

In der Schweiz kamen bis heute zwei Bahnumformer zur Aufstellung zwecks Energielieferung an die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB); es sind dies die 6700-kW-Gruppe der SBB im Unterwerk Seebach und die 7200-kW-Gruppe der Bernischen Kraftwerke im Kraftwerk Mühleberg. Die zweite ist in reguliertechnischer Beziehung besonders interessant, weil die Energielieferung auf der 16-Per./s-Einphasenseite gleichzeitig an zwei voneinander

unabhängige Konsumenten (SBB und Berner Dekretsbahnen) erfolgt. Die SBB muss mit konstanter, beliebig einstellbarer Leistung gespeist werden, während sich gleichzeitig die Energielieferung der Dekretsbahnen nach Bedarf richtet. Aus Fig. 23 geht der Einbau dieses Umformers in den elektrischen Anlagen der BKW hervor, während Fig. 24 eine photographische Aufnahme des Umformers darstellt. Ueber diese Anlage wird an anderer Stelle demnächst eine Beschreibung erscheinen. — Ueber die Anlage Seebach, die sich nun bereits seit 2 Jahren im regulären Betrieb befindet, wird in einer nächsten Nummer des Bulletin berichtet.

Frequenzstabile Ueberlagerungs-Tongeneratoren.

Von H. Meyer, Zürich.

(Mitteilung aus dem Hochfrequenzlaboratorium der Eidg. Techn. Hochschule, Zürich [ETH]).

621.396.615.11 : 681.89

Die Ursachen der Frequenzschwankungen von Ueberlagerungstongeneratoren werden angegeben und die prinzipiellen Möglichkeiten zur Stabilisierung diskutiert. Anschliessend wird ein im Laboratorium für Hochfrequenztechnik an der E.T.H. gebauter Tongenerator beschrieben, bei welchem mit einfachem Aufbau eine gute Frequenzstabilität erreicht wurde.

L'auteur expose les causes des variations de fréquence dans les générateurs de son à interférence, et discute en principe les moyens propres à la stabilisation. Il décrit ensuite un générateur de son construit dans le laboratoire de haute fréquence de l'EPF, avec lequel il a été possible d'obtenir par des moyens très simples une bonne stabilité de la fréquence.

Tongeneratoren nach dem Ueberlagerungsverfahren, bei denen die Niederfrequenz f_N durch Ueberlagerung und Gleichrichtung als Differenz von zwei hochfrequenten Schwingungen f_1 und f_2 erzeugt wird ($f_N = f_1 - f_2$), haben gegenüber der direkten Erzeugung der Niederfrequenz bedeutende Vorteile, wie zum Beispiel die Verwendung kleinerer und leichterer Induktivitäten und Kapazitäten, sofern es nur gelingt, die nötige Frequenzkonstanz zu erreichen. Im folgenden soll nun gezeigt werden, welche Möglichkeiten hier bestehen und was auf diesem Gebiete schon erreicht worden ist.

Zuerst soll der weitaus wichtigste Faktor der Frequenzinstabilität, nämlich die Abhängigkeit der Frequenz von den Betriebsspannungen, behandelt werden.

Die Ursache der Frequenzabhängigkeit von Heizung und Anodenspannung ist die, dass sich die inneren Röhrenwiderstände \mathfrak{R}_g (Gitter-Kathode) und \mathfrak{R}_a (Anode-Kathode) mit diesen Grössen ändern. Diese inneren Widerstände, genauer gesagt Impedanzen, sind den Kapazitäten oder Induktivitäten des Schwingungskreises parallel geschaltet und verändern die gegenseitige Phasenlage von Gitterspannung \mathfrak{G}_g , Anodenspannung \mathfrak{G}_a , Gitterstrom \mathfrak{J}_g und Anodenstrom \mathfrak{J}_a , so dass die Röhre wie eine variable zusätzliche Reaktanz die Eigenfrequenz des Schwingungskreises verändert (Fig. 1, Lit.¹) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11). Als weitere Ursache der Frequenzabhängigkeit sind auch Harmonische des Stromes zu nennen, da diese je nach den Betriebsdaten in verschiedenem Masse auftreten und die Verteilung der Blindenergie im Schwingungskreise beeinflussen. Beim Dynatronoszillator insbesondere sind die Harmonischen ausschlaggebend für die

Frequenzstabilisation, während sie beim Triodenoszillator klein gehalten werden können und gegenüber den anderen Einflüssen meist zu vernachlässigen sind (Lit. 12²).

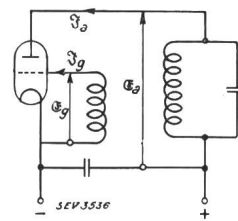


Fig. 1.

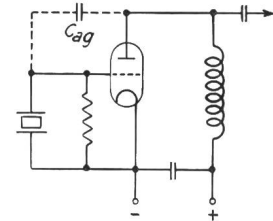


Fig. 2.

Um frequenzstabile Oszillatoren zu bauen, stehen uns nun 5 prinzipiell verschiedene Wege offen, nämlich: 1. Feste Oszillatoren mit Schwingquarz, 2. Quarzoszillatoren mit Verstimmung, 3. Oszillatoren mit kleiner Impedanz des Schwingungskreises, 4. Selektive Rückkopplung, 5. Phasenkompenzierte Oszillatoren.

1. Der schwingende Quarzkristall ist infolge seiner äusserst geringen Dämpfung sehr frequenzkonstant und wird ja in ausgedehntem Masse zur Steue-

²) Die in der angeführten Abhandlung (12) gegebene Ableitung stimmt für den Dynatronoszillator, für den Triodenoszillator jedoch nur beschränkt. Nach Groszkowski wäre nämlich bei Abwesenheit von Harmonischen, d. h. Arbeiten an linearer Charakteristik, das $\Delta\omega = 0$, während auch in diesem Fall eine Frequenzänderung infolge der Phasenverschiebung vorhanden ist. Der Fehler liegt darin, dass in den Impedanzen des Triodenoszillators die Widerstände vernachlässigt wurden, die Röhre also gar nicht vorhanden zu sein brauchte. Der innere Grund dieses verschiedenen Verhaltens von Dynatron- und Triodenoszillator ist der, dass beim Dynatron stets \mathfrak{J} und $-\mathfrak{G}$ in Phase sind, bei der Triode jedoch wohl \mathfrak{J}_g und \mathfrak{J}_a mit $\mathfrak{G}_{gr} = \mathfrak{G}_g + D\mathfrak{G}_a$, nicht aber mit $-\mathfrak{G}_a$ und \mathfrak{G}_g in Phase sind (Fig. 1).

¹) Siehe «Literatur» am Schluss des Artikels.

zung von Rundfunksendern benutzt; er hat jedoch den Nachteil, dass man an die durch den Schliff und die Halterung bestimmte Frequenz des Kristalls gebunden ist (Fig. 2). Für Ueberlagerungstongeneratoren gibt es daher zwei Fälle mit Verwendung von Quarzoszillatoren, nämlich *a*) zwei Quarzoszillatoren liefern eine ganz bestimmte Niederfrequenz

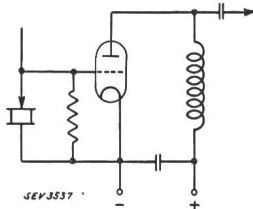


Fig. 3.

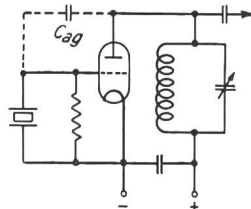


Fig. 4.

(Lit. 13) und *b*) Verwendung von einem Quarzoszillator und einem gewöhnlichen variablen Generator, wobei das Problem immer noch bleibt, den Generator zu stabilisieren (Lit. 14).

2. Es besteht nun aber doch noch die Möglichkeit, zwei Quarzgeneratoren zu verwenden, wenn man nämlich den einen davon in der Frequenz stetig verstimmt, sei es durch variablen Druck auf die Halterung (Lit. 15, 16, Fig. 3), sei es durch einen variablen Schwingungskreis in der Anode, der durch die Gitter-Anodenkapazität C_{ag} die Koppelwelle des Quarzes beeinflusst (Fig. 4, Lit. 16). Es sind dabei Kurzwellenquarze zu verwenden, um den nötigen Tonbereich durch diese Verstimmung überstreichen zu können. In beiden Fällen wird aber die Frequenzkonstanz geringer als bei Quarzoszillatoren nach Fig. 2.

Für Oszillatoren ohne Quarz besteht ein bekanntes Mittel, die Frequenz etwas stabiler zu machen, in der Einschaltung eines hochohmigen Gitterableitwiderstandes, da dadurch die Schwingungsamplituden begrenzt werden. Solche Gitterableitwiderstände werden auch bei den meisten folgenden Anordnungen mitverwendet.

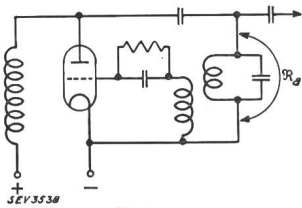


Fig. 5.

3. Zur Stabilisation können wir nun die resultierende Impedanz des Schwingungskreises klein machen, d. h. Schwingungskreise mit grosser Kapazität und kleiner Induktivität verwenden (Fig. 5). Dies wirkt in doppelter Hinsicht günstig auf die Stabilität der Frequenz: 1. Das resultierende R_a des Oszillators ist klein; er schwingt nur mit kleiner Amplitude und in diesem Bereich sind auch die Änderungen der Röhrenimpedanzen gering. 2. Die variablen Röhrenimpedanzen sind parallel zur kleinen Impedanz des Schwingungskreises und beeinflussen daher dessen Eigenfrequenz weniger. Baut man dann für den Ueberlagerungstongenerator zwei derartige Oszillatoren noch möglichst identisch, damit sie sich bei Schwankungen der Betriebsspannungen usw. im gleichen Sinne ändern sollen, ferner

mit enger Rückkopplung, da die Streuung bei loser Kopplung die Phasenlagen verschlechtert, so lassen sich sehr konstante Niederfrequenzen erzeugen; nur sind infolge der kleinen Amplituden meist noch je eine Hochfrequenzverstärkerstufe vor dem Detektor nötig (Lit. 17, $\Delta f < 0,3$ Per./s für ΔE_a , $\Delta E_H = 10\%$, gemessen bei $f = 48$, Grundfrequenz der Oszillatoren $f = 20\,000$).

4. Eine weitere interessante Lösung zur Erzielung konstanter Frequenz besteht darin, dass man eine Rückkopplung über zwei Stufen verwendet, welche nur für die Grundfrequenz der Schwingungskreise wirksam ist (Fig. 6). Auch diese Methode liefert schöne Resultate (Lit. 18, $\Delta f \approx 0,004\%$ der Grundfrequenz $20\,000$, bei ΔE_a und $\Delta E_H = 10\%$). Für stetig veränderliche Frequenzeinstellung, wie sie der Ueberlagerungstongenerator verlangt, ist sie jedoch weniger geeignet, da sie pro Oszillator mindestens zwei sehr scharf abgestimmte Kreise benötigt.

5. Endlich bleibt uns noch die Möglichkeit, Generatoren zu bauen, bei denen die als Ursache der

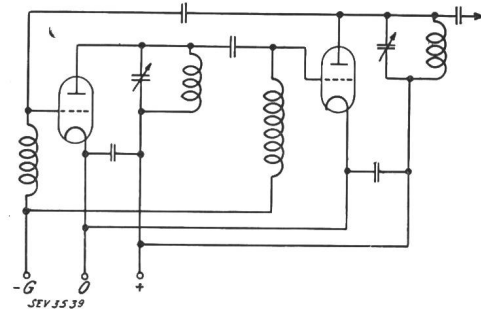


Fig. 6.

Frequenzabhängigkeit erkannte Nichtübereinstimmung der Phasen von $-G_a$ und G_g (demzufolge auch zwischen $-G_a$ und J_a , G_g und J_g , da die Ströme in Phase sind mit der Steuerspannung $G_{st} = G_g + D G_a$) durch die Art der Schaltung kompensiert wird (Lit. 6, 8, 10, 11, 19). Wählt man eine Kompensation, welche auch bei Veränderung der Hochfrequenz um Werte des Tonfrequenzbereiches erhalten bleibt, so kann man Tongeneratoren bauen, welche in bezug auf Frequenzstabilität sehr gute Resultate liefern, bei Amplituden, welche ein direktes Arbeiten auf den Detektor erlauben, so dass der Tongenerator sehr geringen Materialaufwand erfordert.

Wir haben im Laboratorium für Hochfrequenztechnik an der E. T. H. einen solchen Tongenerator für Netzanschluss gebaut, bei welchem zwei Oszillatoren in der Phasenkompensationsschaltung nach Kusunose und Ishikawa (Lit. 11) verwendet wurden (Fig. 7). Diese Kompensationsschaltung beruht darauf, dass für die bekannte Dreipunktschaltung mit Kathodenanschluss im Kapazitätszweig (Colpitt) oder im Induktivitätszweig (Hartley) die Phasenabweichungen entgegengesetzten Sinn haben, so dass sich also zwischen den beiden Mittelpunkten ein Anschlusspunkt befinden muss, für welchen die Rückkopplung phasenrein ist. Hiebei ist aber zu

beachten, dass die Grösse des Anodenkopplungskondensators die Phasenabgleichung ebenfalls beeinflusst. Dieser Kopplungskondensator ist so zu wählen, dass für die Schaltungen von Colpitt oder Hartley die Frequenzänderungen deutlich entgegengesetzt sind (Beispiel: $200 \text{ cm} < C_a < 2000 \text{ cm}$). Dann ist für den Kathodenanschluss durch Wahl der Widerstände R_L und R_C der Punkt zu suchen, für welchen die Phasen kompensiert sind, d. h. die Frequenz stabil ist. — Die Ankopplung an den Detektor ist so klein wie möglich zu halten; ferner ist sorgfältige Abschirmung der Oszillatoren Bedingung, um den Mitnahmeeffekt auf hinreichend kleinen Frequenzbereich einzuschränken (Beispiel: $C_K = 10 \text{ cm}$; $f_{MN} \approx 1/3$). So war es möglich, die Heizspannung um mehr als 15 %, die Anodenspannung von 70 auf 140 Volt zu verändern, ohne dass die Aenderung der Niederfrequenz die Messgenauigkeit von $1/5$ Per./s überschritt (gemessen bei $f = 5$, Grundfrequenz 100 000, also Aenderung der

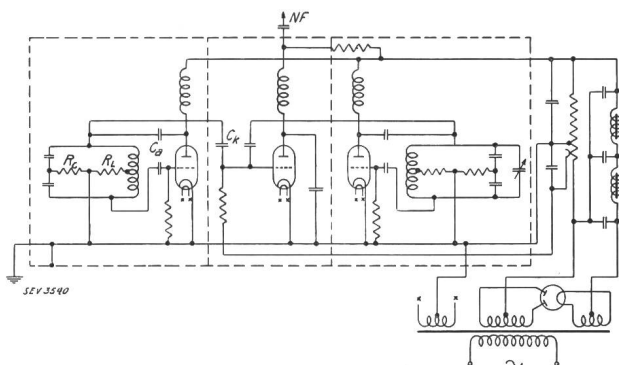


Fig. 7.

Hochfrequenz $\Delta f < 0,0002 \%$). Dank der grossen Unabhängigkeit der Frequenz von der Heizung wird auch die Einbrennzeit trotz der Verwendung indirekt geheizter Röhren relativ kurz (ca. 15 min).

Neben den bisher behandelten Einflüssen der Betriebsspannungen auf die Frequenz dürfen aber auch andere Gesichtspunkte nicht ausser Acht gelassen werden, wie mechanische Stabilität, Abschirmung und Erwärmung. Einem mechanisch stabilen Aufbau mit Abschirmung ist grösste Beachtung zu schenken; denn wenn beispielsweise mit einer variablen Kapazität von 250 cm ein Frequenzbereich von 10 000 bestrichen wird, bedeutet eine Kapazitätsänderung von 1 cm ein Δf von 40 Per./s. Besondere Sorgfalt erheischt die Lagerung und der Antrieb des Drehkondensators. Daneben machen sich bei diesen Genauigkeiten auch die Erwärmung der Blockkondensatoren und Widerstände bemerkbar, und es ist für gute Lüftung, besonders der Röhren, zu sorgen und durch reichliche Dimensionierung der Bestandteile der Einfluss der Erwärmung gering zu halten.

Neben der Forderung der Frequenzstabilität stellen sich für den Bau von Ueberlagerungstongeneratoren auch noch andere Probleme, wie zum Beispiel konstante Ausgangsspannung über den gesamten Tonbereich, kleiner Klirrfaktor usw. Diese For-

derungen bestimmen dann hauptsächlich den Bau des Niederfrequenzteils; es soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden (Lit. 3, 4, 7, 17).

Die stabilste Niederfrequenz liefert nach wie vor der Stimmgabelgenerator, doch hat er den schwerwiegenden Nachteil, dass seine Frequenz nur durch Auswechseln der Stimmgabel verändert werden kann. Die Stabilität der nach den beschriebenen Grundsätzen gebauten Ueberlagerungstongeneratoren genügt jedoch, um in den meisten Anwendungsgebieten den Stimmgabelgenerator ersetzen zu können.

Die verschiedenen Arten von frequenzstabilisierten Tongeneratoren können nicht nur als solche gute Dienste leisten, sondern durch Parallelschalten von Messkondensatoren zu einem der beiden Schwingungskreise können Messungen von Kapazitäten und anderer Grössen, die sich auf die Aenderung von Kapazitäten zurückführen lassen, mit dem sehr genauen Ueberlagerungsverfahren ausgeführt werden. Es kommen hier beispielsweise in Frage die Bestimmung von kleinen Längen, Durchbiegungen, Drucken, ferner Dielektrizitätskonstanten usw. Führt man die Messung bei hinreichend tiefer Schwebungsfrequenz durch, beispielsweise 5 Per./s, so sind die Schwingungen an einem Gleichstrominstrument im Anodenkreis des Detektors direkt abzählbar.

Zum Schlusse möchte ich noch Herrn Prof. Dr. Tank für sein Interesse an dieser Arbeit und die empfangenen Anregungen bestens danken.

Literaturverzeichnis.

1. F. Maske. Physik. Z. 1929, Nr. 7, Beitrag zur Herstellung konstanter Schwingungsfrequenzen eines Röhrensenders.
2. F. Strecker. Jahrb. drahtl. Tel. 1923, Nr. 6. Ueber die Abhängigkeit der Frequenz des Röhrensenders von der Heizung und Anodenspannung.
3. Grützmacher und Meyer. Elektr. Nachr.-Techn. 1927, Nr. 5.
4. Turner, Cohen. J. Instn. electr. Engr. 1927. A Wireless Works Laboratory.
5. D. F. Martyn. Philos. Mag. 1927, Nr. 24. On Frequency Variation of Triode Oszillators.
6. E. Mallet. J. Instn. electr. Engr. 1930. Frequency Stabilisation.
7. Cohen, Aldrich, West. J. Instn. electr. Engr. 1926. Frequency Characteristics of Telephone Systems.
8. K. E. Edgeworth. J. Instn. electr. Engr. 1926.
9. K. B. Eller. Proc. Instn. Radio Engr. 1928, Nr. 12. On the Variation of Frequency etc.
10. F. B. Llewellyn. Bell Syst. techn. J. 1932, Nr. 1. Constant Frequency Oszillators.
11. Kusunose & Ishikawa. Proc. Instn. Radio Engr. 1932, Nr. 2. Frequency Stabilisation of Radio Transmitters.
12. J. Groszkowski. Proc. Instn. Radio Engr. 1933, Nr. 7. The Interdependence of Frequency Variation and Harmonic Content.
13. A. Hund. Bur. Stand. J. Res. 1929, Nr. 40. Piezoelectric Generator for Audiofrequencies.
14. E. G. Lapham. Proc. Instn. Radio Engr. 1932, Nr. 2. An improved Audiofrequency Generator.
15. S. Leroy Brown & S. Harris. Rev. Sc. Instr. 1931, Nr. 3.
16. A. Wertli. Helv. phys. Acta 1933, Nr. 7. Ein quarzgesteuerter Ueberlagerungstongenerator.
17. R. v. Radinger. Z. techn. Physik. 1933, Nr. 5. Ein verbesserter Ueberlagerungssummer.
18. R. Gunn., Proc. Instn. Radio Engr. 1930, Nr. 9. A new Frequency-stabilised Oszillator System.
19. Möller. Elektronenröhren.