

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 60 (1969)
Heft: 6

Artikel: Filter mit mechanischen Resonatoren
Autor: Schüßler, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916134>

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>

Filter mit mechanischen Resonatoren

Von H. Schüßler, Ulm
2619-2633

621.372.54

Mechanische Resonatoren werden immer stärker in elektrischen Filtern eingesetzt. Man unterscheidet zweckmässig zwei Bauarten: 1. Elektrische Filter mit elektrisch angemessenen mechanischen Einzelresonatoren; 2. Mechanische Filter mit einer akustischen Struktur und elektromechanischen Wandlern am Eingang und Ausgang. Für beide Gruppen sind neue Entwicklungen in Gang gekommen. Die erste Gruppe wird bereichert durch Resonatoren aus piezoelektrischen Keramiken. In der zweiten Gruppe sind die Filter im Zwischenfrequenzbereich um 500 kHz zu einer Vielfalt von Formen und grossen Perfektion entwickelt worden, während neue Überlegungen für Filter im Frequenzbereich von 5...100 MHz eingesetzt haben. Über Einsatzmöglichkeiten von Filtern mit mechanischen Resonatoren in der Funktechnik, Rundfunktechnik und der Trägerfrequenztechnik wird diskutiert.

Les résonateurs mécaniques sont sans cesse davantage appliqués aux filtres électriques. On distingue à ce propos deux constructions: 1. les filtres électriques à résonateurs individuels, appropriés du point de vue électrique; 2. les filtres mécaniques à structure acoustique avec transducteurs électromécaniques à l'entrée et à la sortie. Des développements nouveaux ont été réalisés dans les deux groupes. Le premier groupe fut enrichi de résonateurs constitués par des céramiques piézoélectriques. Dans le second groupe, des filtres de la gamme de moyenne fréquence de 500 kHz ont été développés avec une quantité de variété de formes et une perfection élevée, cependant que des considérations nouvelles se rapportent aux filtres de la gamme de fréquence de 5...100 MHz. Les facultés d'application des filtres à résonateurs mécaniques à la radiotechnique, la radiodiffusion et la technique de transmission par fréquences porteuses sont enfin analysées.

1. Überblick

Der Einsatz von mechanischen Resonatoren in der Nachrichtentechnik reicht bis in die Frühzeit der Elektronenröhren zurück, wo man Quarzresonatoren zur Stabilisierung von Oszillatoren heranzog. Der Weg setzte sich fort zum Quarzfilter. Da sich aufgrund des piezoelektrischen Effektes im Quarz die Funktion eines elektromechanischen Wandlers mit der eines Resonators in einem Körper vereinigen lassen, lag es nahe, Einzelquarze untereinander und mit elektrischen Schaltelementen zu Filterschaltungen zusammenzufassen. In den letzten Jahren hat die Entwicklung neuer piezoelektrischer Werkstoffe auf Keramikbasis zu einer Ausdehnung der für Quarzfilter entwickelten Einsatzmöglichkeiten geführt. Bei diesen keramischen Werkstoffen handelt es sich um polykristalline Werkstoffe, die nach den üblichen keramischen Fertigungsverfahren hergestellt werden und anschliessend einer Polarisationsbehandlung mit etwa 2...5 kV/mm unterworfen werden. Werkstoffe dieser Art verhalten sich nach der Polarisation ähnlich wie ein Einkristall. Für die bekanntesten Keramiken [Bariumtitanatkeramik und Bleititanatzirkonatkeramik (PZT)] erhält man elastische und piezoelektrische Eigenschaften, die denen der Kristallklasse 6 mm entsprechen. Durch die grosse Freiheit bei der Formgebung von Sinterkörpern, konnten neue, aus der Quarztechnik nicht bekannte, Schwingungsformen und Elektrodenformen entwickelt werden.

Der Einsatz in Filtern wird stark eingeschränkt durch niedrige Schwinggüte und Stabilität der Materialien. Eine wesent-

liche Verbesserung, vor allem der Stabilität, gelingt durch elektromechanische Verbundschwinger aus Metallteilen und einer Keramikscheibe als Antriebselement.

Dennoch haben sich für viele Anwendungen mechanische Filter durchgesetzt, weil durch die höhere mechanische Güte und die bessere Stabilität mechanischer Resonatoren Filter mit besseren elektrischen Selektionseigenschaften und besserer Stabilität gebaut werden können.

Mechanische Filter enthalten durch Koppelleitungen mechanisch gekoppelte Resonatoren und besitzen nur am Eingang und Ausgang einen elektromechanischen Wandler. Die Selektionseigenschaften der Filter werden vorwiegend durch die mechanische Struktur bestimmt; die elektromechanischen Wandler dienen nur der Anpassung an die elektrische Schaltung. Dabei gibt es allerdings graduelle Unterschiede in der Dimensionierung, die von dem Abschluss des Filters durch eine mechanische Bedämpfung bis zur Einrechnung des abgestimmten elektrischen Wandlerkreises in die Selektion des Filters reichen. Dabei wird durch die Trennung der Aufgaben in Resonatoren, Koppelleitungen und Wandler schon klar, dass es sich bei mechanischen Filtern um Baugruppen handelt, die eine grössere Zahl von Einzelbauelementen enthalten. Mechanische Zwischenfrequenzfilter, wie sie z. B. in ZF-Verstärkern von Kurzwellengeräten eingesetzt werden, haben eine Selektionskurve, die sich in herkömmlicher elektrischer Siebschaltungstechnik mit 20...30 Schaltelementen nur bei einer niedrigeren Zwischenfrequenz realisieren liess. Mechanische

Eigenschaften von Resonanzkreisen

Tabelle I

Resonanzkreise	Optimaler Frequenzbereich	Resonanzgüte	Temperaturkoeffizient TK (f)	Elektromechanischer Koeffizient %	Volumen cm ³
Kompensierte LC-Kreise	10... 50 kHz	200	$5 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$		2
Piezoelektrischer Resonator	50...500 kHz	500	$8 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	32	0,1
Ferritresonator S I	50...150 kHz	10 000	$4 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	12	0,5
Metallresonator	50...500 kHz	20 000	$1 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		0,1
Quarzresonator	0,5... 30 MHz	10^6	$5 \cdot 10^{-8}/^{\circ}\text{C}$	8	1
Hohlraumresonatoren, Topfkreise	1... 10 GHz	3 000	$1 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$		10

Filter werden daher hauptsächlich in Geräten eingesetzt, die sehr scharfe Selektionsforderungen erfüllen müssen, wie zum Beispiel in der Einseitenbandtechnik.

2. Materialeigenschaften

In Tabelle I sind einige wesentliche Eigenschaften von zur Selektion benutzten Resonanzkreisen angegeben. Dabei bestimmt die Frequenz die Abmessung. Die Zuordnung ist so getroffen, dass das Volumen jeweils bei der oberen Grenze des optimalen Frequenzbereiches angegeben wird. Für die Eigendämpfung ist ein mittlerer Wert angenommen worden, wie er bei Resonanzkreisen unter Fertigungsgesichtspunkten erreicht wird. Der Temperaturkoeffizient ist selten linear. Der angegebene Wert ist ein Mittelwert für einen üblichen Gebrauchstemperaturbereich von $-20...+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1...4]¹⁾.

2.1 Quarz

Vom Quarzresonator ausgehend würde man meinen, dass Quarz sowohl für Einzelresonatoren als auch für mechanische Filter einschliesslich der Wandler der geeignete Werkstoff sei. Bisher sind Versuche mit mechanischen Filtern aus 2...4 Quarzresonatoren als Flächenschwinger in einem Frequenzgebiet von 80...600 kHz und für Filter mit einer relativen Bandbreite von ungefähr 1 % gemacht worden [5]. Bei der mechanischen Herstellung dieser Filterstruktur, die aus einer Quarzscheibe herausgearbeitet wird, ist eine komplizierte Bearbeitung der Berandung der Quarzplatte nötig, ein in der Quarztechnologie nicht üblicher und teurer Arbeitsgang. Dabei werden die hohe mechanische Schwinggüte und die grosse thermische und zeitliche Stabilität von Quarzresonatoren bei Filtern in dem genannten Frequenzbereich überhaupt nicht ausgenutzt. Andererseits sind aufgrund der niedrigen relativen Dielektrizitätskonstante des Quarzes und des kleinen elektromechanischen Kopplungsfaktors in dem gewählten Frequenzgebiet besondere Massnahmen bei der Einfügung des Filters in die elektrische Schaltung nötig. Bei höheren Frequenzen, z. B. bei 10 MHz, wo mit Quarzresonatoren als Dickenschwinger ein besseres Zusammenspiel zwischen den Quarzeigenschaften und den angestrebten Filterdaten besteht, sind Vorschläge und einige Versuchsergebnisse bekannt geworden. Eine schwierige Aufgabe bei der Realisierung solcher Filter stellt die ausreichende Nebenwellenunterdrückung und Weitabselektion dar [6]. Dazu kommt, dass mit wachsender Mittenfrequenz die frequenzbestimmenden Abmessungen abnehmen und daher auch die zulässigen Toleranzen verkleinert werden müssen. Durch die Halbleitertechnologie sind aber sowohl bei der mechanischen Bearbeitung als auch in der Aufdampftechnik solche Fortschritte erzielt worden, dass diese Aufgaben lösbar sind.

2.2 Metallresonatoren

Für den niedrigen Zwischenfrequenzbereich von 10...500 kHz hat man spezielle und unterschiedliche Werkstoffe für Resonatoren und Wandler entwickelt. Für Resonatoren werden Stähle und Nickel-Eisen-Legierungen benutzt. Mit verschiedenen Legierungszusammensetzungen lassen sich hier Materialien herstellen, deren kompensierter Temperaturkoeffizient der Eigenfrequenz für Longitudinal-, Torsional- oder auch Biegeschwingungen kleiner als $1 \cdot 10^{-6}$ pro Grad ist. Vorteile bietet die Benutzung aushärtbarer Legierungen, da Resonatoren aus solchem Material eine hohe mechanische Schwinggüte bei sehr

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

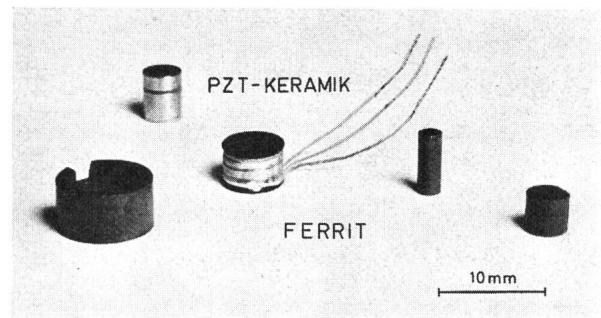


Fig. 1
Grössenvergleich eines piezoelektrischen und piezomagnetischen Keramikwandlers für $f_0 = 455\text{ kHz}$

geringer Alterungsrate der Eigenfrequenz, der Schwinggüte und des Temperaturkoeffizienten besitzen [4].

2.3 Keramikresonatoren und Wandler

Die grosse relative Dielektrizitätskonstante der Keramikmaterialien im Bereich $\epsilon_{33R}^T \approx 500...1500$ deutet auf einen zweckmässigen Einsatz im Niederfrequenzbereich und im Zwischenfrequenzbereich bis 500 kHz. Dazu kommen ein wesentlich grösserer elektromechanischer Kopplungsfaktor K_{EM} in der Grössenordnung von 25...70 % und eine um einen Faktor von etwa 100...1000 geringere Güte und schlechtere thermische und zeitliche Stabilität gegenüber Quarzresonatoren.

Gegenüber piezomagnetischen Resonatoren fällt vor allem der Vorteil geringeren Bauvolumens ins Gewicht, wobei ausserdem auch die besseren Schirmungsmöglichkeiten gegenüber elektrischen Feldern vergleichsweise zu magnetischen Feldern eine Rolle spielen.

Für die elektromechanischen Wandler wurde anfangs ein Nickeldraht oder ein Nickeldrahtbündel verwendet. Die piezomagnetischen Eigenschaften des Nickeldrahtes werden zur Energieumwandlung benützt. Die benötigte Vormagnetisierung wird mit einem Permanentmagneten erzeugt. Aus Gründen der niedrigen mechanischen und elektrischen Güte von Nickeldrähten bei höheren Frequenzen konnte man die Filter jedoch nicht von der elektrischen Seite anpassen und musste deshalb Betriebsdämpfungen von 20...30 dB in Kauf nehmen. Piezomagnetische Ferrite und piezoelektrische Keramiken erlauben es heute, breitbandige elektromechanische Resonanzwandler mit Kopplungsfaktoren bis zu 40 % und ausreichender mechanischer und elektrischer Güte zu realisieren. In Fig. 1 sind etwa äquivalente Anordnungen nach beiden Prinzipien dargestellt. Unterschiede ergeben sich im Bauvolumen der Wandler. Mit Ferritwandlern erreicht man bei einer Vormagnetisierung durch einen zusätzlichen Permanentmagneten auf Kosten eines grösseren Volumens eine etwas höhere zeitliche Stabilität des Wandlers als mit piezoelektrischen Keramikwandlern mit remanenter Polarisation. Der Verbundwandler nach Fig. 1 aus PZT-Keramik ist aus zwei Stahlteilen und einer zum Antrieb benutzten Keramikscheibe, zum Beispiel durch Löttechnik, zusammengebaut. Die elektrische Spannung wird zwischen den beiden Metallteilen angelegt. Die Güte und Stabilität kann bei guter Ausführung der Verbindungstechnik besser sein als die der zum Antrieb benutzten Keramikscheibe.

3. Herstellungstechniken

Für die Herstellungstechnik der Einzelresonatoren und Filterstrukturen griff man auf in der Feinwerktechnik übliche

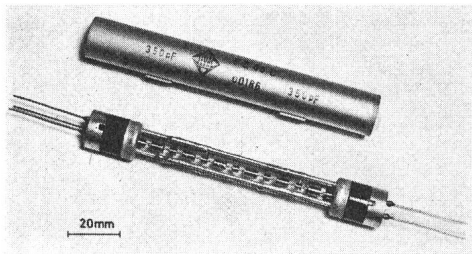


Fig. 2

Mechanisches Filter mit zylindrischen, longitudinal gekoppelten Longitudinalresonatoren und piezomagnetischen Keramikwandlern

Verfahren zurück. Es werden spanende Bearbeitung, Schleif-, Läpp- und Poliertechniken für die Herstellung der Resonatoren, Wandler oder der Gesamtstruktur und besonders die Punktschweisstechnik für den Zusammenbau der Filterstrukturen verwendet. Bei höheren Frequenzen der Filter werden Ätz- und Aufdampftechniken eingesetzt. Für die Auswahl der Schwingungsformen von Resonatoren, Koppelleitungen und Wandlern sind neben den Abmessungen, die aus der Filterdimensionierung errechnet werden können, auch die Möglichkeiten der Halterung des Filters, des Abgleiches der Resonatoren und der Herstellungstechnik der Filterstruktur von Bedeutung. Deshalb scheiden viele mögliche mechanische Konfigurationen aus, die bei einer Fertigung schwierig zu beherrschen sind.

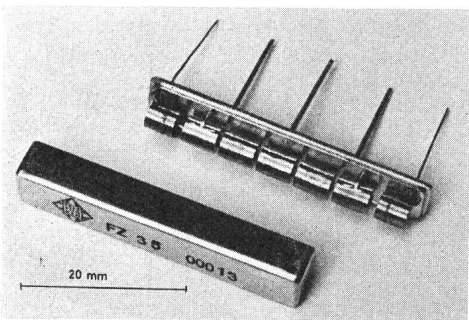


Fig. 3

Mechanisches Filter mit zylindrischen, longitudinal gekoppelten Longitudinalresonatoren und piezoelektrischen Keramikwandlern in Schweisstechnik

Ausserdem zwingen die Investitionen für eine stark automatisierte und kostengünstige Fertigung zu einer Beschränkung auf wenige Typenfamilien.

4. Realisierte Filter und Einsatzmöglichkeiten

Am Beispiel realisierter Filter soll die Funktionsweise erklärt werden.

4.1 Longitudinalresonatoren

Mechanische Filter mit longitudinal gekoppelten Longitudinalresonatoren zeigen die Fig. 2 und 3 [7; 8]. Die frequenzbestimmende Abmessung ist hier die Länge der Resonatoren. Nach diesem Prinzip lassen sich Filter mit einer Mittenfrequenz von 400...600 kHz und eine relativen Bandbreite von 2...8 % mit bis zu 9 Resonatoren aufbauen. Wendet man eine $3 \lambda_0/4$ -Koppelung an, was jedoch eine Vergrößerung der Baulänge mit sich bringt, so kann man auch Bandbreiten von 0,5%...2 % erzielen. Die Filter werden durch Ferritwandler oder piezoelektrische Wandler angeregt und mit besonderen Halterungsdrähten, die in den Schwingungsknoten der Resonatoren befestigt sind, gehalten. Die Filterstruktur lässt sich als Drehkörper herstellen oder kann in einer Punktschweisstechnik aus Einzelteilen zusammengesetzt werden. Werden enge mechani-

sche Herstellungstoleranzen eingehalten, so brauchen breitbandige Filter nicht abgeglichen zu werden. Bei schmalbandigeren Typen muss man je nach dem Herstellungsverfahren der Filterstruktur entweder einen Abgleich am Filterkörper oder einen Vorabgleich an den Einzelteilen vornehmen. Filter in dieser Technik werden in kommerziellen Kurzwellengeräten als Zweiseitenbandfilter mit verschiedenen Bandbreiten eingesetzt. Für UKW-Sprechfunkgeräte im 80- und 160-MHz-

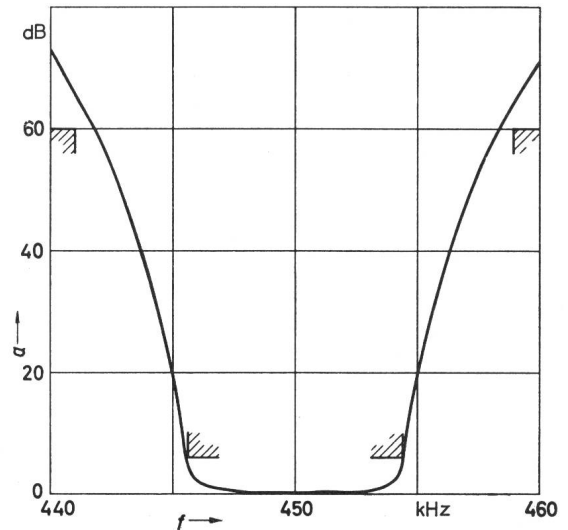


Fig. 4

Vorschlag einer Selektionskurve für AM-Rundfunkempfänger, die mit mechanischen Filtern entsprechend Fig. 3 realisiert worden ist
a Dämpfung; f Frequenz

Band ist eine Typenreihe für 20, 25 und 50 kHz Kanalabstand entwickelt worden.

Ausgehend von den guten Erfahrungen mit diesen Filtern ist überlegt worden, ob es möglich wäre, mit Filtern dieser Art die Empfangsqualität vom Rundfunk bei Lang-, Kurz- und Mittelwellenempfang zu verbessern [9]. Zu den Messungen sind Muster eines gegenüber dem in der Fig. 3 dargestellten Filters vereinfachten Typs benutzt worden, die eine Selektionskurve entsprechend Fig. 4 besaßen. Es handelt sich um 7kreisige Filter mit einem nach Tschebyscheff (1 % Welligkeit) approximierten Verlauf der Dämpfung. Die Bandbreite (6 dB) für das NF-Band war mit 4,5 kHz gewählt worden und die 9-kHz-Selektion war grösser als 60 dB. Filter diesen Typs wird man in Grossserien durch Automation auch zu Preisen bauen können, die

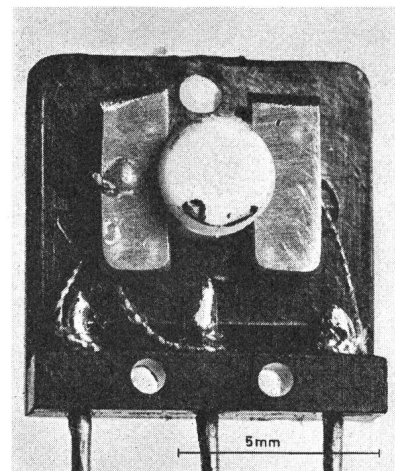


Fig. 5

Mechanisches Zweikreisfilter in H-Form

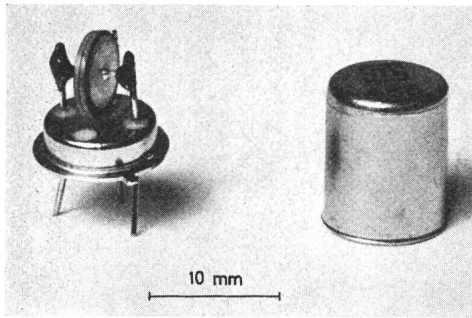


Fig. 6

Keramischer Dreielektrodenschwinger als Radialschwinger

für den Einsatz in Rundfunkgeräten in Frage kommen. Wenn man das ausgesendete Band eines Senders sendeseitig ebenfalls auf eine Bandbreite von $\pm 4,5$ kHz begrenzt, das gilt natürlich auch für die beiden frequenzmässig benachbarten Sender, dann erhält man bei Einsatz eines Empfängers mit mechanischem Filter gegenüber käuflichen Empfängern eine Verdoppelung der NF-Bandbreite und einen um 20 dB verbesserten Störabstand zu den Nachbarsendern, was sich in einer entsprechenden Qualitätsverbesserung oder einer Reichweiterehöhung auswirkt. Mechanische Filter, die die gesamte Selektion in der Zwischenfrequenz in einem Block vereinigen, passen sich gut ein in die neuen Techniken mit integrierten Verstärkern.

4.2 H-Filter

Als Konkurrenz sind H-förmige Filter auf dem Markt erschienen. Die mechanischen Filter sehr einfachen Aufbaus, die vor allem für die Rundfunktechnik gedacht waren, haben sich nicht eingeführt [10]. Das zweikreisige Filter nach Fig. 5, das eigentlich nur aus zwei mechanisch gekoppelten elektromechanischen Wandlern (die beiden rechteckförmigen Flächen) bestand, war in seiner Herstellungstechnologie ungünstig gewählt und brachte keine genügend reproduzierbare Selektionskurve, so dass das gesamte Gerät individuell auf die Selektionskurve des einzelnen Filterexemplares abgestimmt werden musste. Hinzu kam noch ein vollkommen unzureichender Nebenwellenabstand, der den Einsatz weiterer elektrischer Kreise zur Selektion nötig machte.

4.3 Keramikfilter

Als weitere Möglichkeiten für Rundfunkfilter bieten sich Filter aus piezoelektrischer Keramik an (PZT-Keramik). Für die Schaltungstechnik sind Zweielektrodenschwinger alleine schlecht einsetzbar, weil sie mit einer grossen Blindkomponente behaftet sind. Vorteilhafter scheinen Dreielektrodenanordnungen nach Fig. 6 zu sein [11; 12]. Zwei radialschwingende, kreiszylindrische Keramikscheiben mit Silberbelägen auf den Stirnflächen sind unter Einschluss einer Kupferfolie an einer Stirnfläche verlötet und schwingen als einheitlicher Körper. Die Selektionskurve eines solchen einkreisigen Filters ist in

Fig. 7
Selektionskurven eines einkreisigen Keramikfilters in Abhängigkeit von der Anpassung

a_B Betriebsdämpfung; $\frac{f}{f_0}$ Frequenzverhältnis; R Abschlusswiderstand; R_{opt} optimaler Abschlusswiderstand

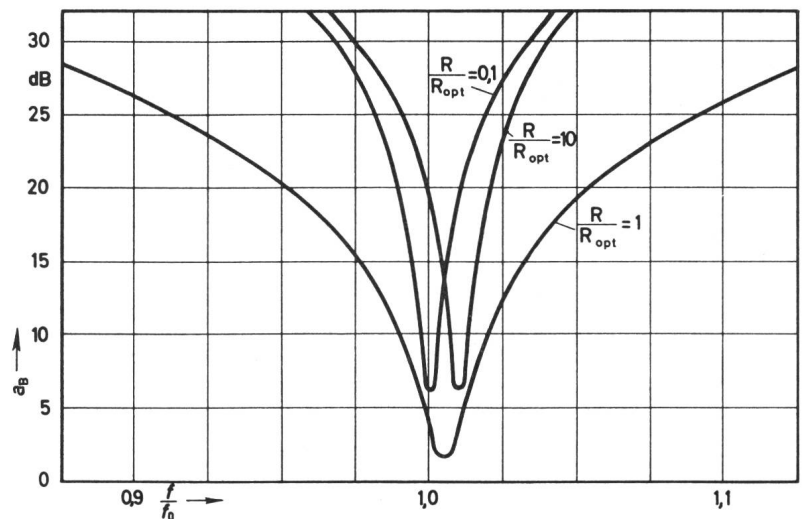


Fig. 7 für verschiedene Grössen der Anpassungswiderstände aufgetragen. Für einen optimalen Anpassungswiderstand liest man die geringste Durchlassdämpfung und die grösste Bandbreite an der Kurve ab. Erschreckend gross ist die Verstimmung der Bandmittenfrequenz und die Verkleinerung der Bandbreite bei Fehlanpassung. Ausserdem sind die Abstimmungsgenauigkeit und die Stabilität der Mittenfrequenz noch nicht ganz den Wünschen entsprechend. Hinzu kommen Nebenwellen, sowohl bei niedrigeren als auch bei höheren Frequenzen. Dem Trend zur Bildung je eines Blockes für Selektion und Verstärkung folgend, sind keramische Filter aus Kombinationen von keramischen Schwingern mit elektrischen Schaltelementen entwickelt worden [13]. In Fig. 8 ist eine Zusammenstellung über einige Schaltungsmöglichkeiten, die fortlaufend numeriert worden sind, gegeben. In der Schaltung 1...3 sind Filterschaltungen mit Zweielektrodenschwingern angegeben, wie sie zum Teil aus der Quarzfiltertechnik bekannt sind [14].

Schaltung 1 für Zweielektrodenschwinger in Abzweigschaltung ist für Quarze nicht angewendet worden. Als kommerzielle Filter werden Anordnungen mit bis zu 17 Zweielektrodenschwingern angeboten. Für Rundfunk kommt die dargestellte Anordnung in Frage mit vorgeschaltetem Schwingkreis zur besseren Anpassung und ausserdem zur Nebenwellenunterdrückung. Die Schaltungen 2 und 3 zeigen Differentialbrückenschaltungen mit einem bzw. vier Keramikschiwingern. In den Schaltungen 4...6 sind die zweckmässigen Kombinationen von Dreielektrodenschwingern mit Kondensatoren zusammengestellt. Die Schaltungen 7...9 enthalten Kombinationen von Zweielektrodenschwingern mit Dreielektrodenschwingern. Es ist im Augenblick noch nicht entschieden, welche Schaltungen am vorteilhaftesten sind. Beim Vergleich mit mechanischen Filtern muss aber immer darauf hingewiesen werden, dass infolge der geringeren Schwinggüte der Keramikresonatoren nur sehr viel stärkere verrundete Selektionskurven erreicht werden können, und dass die Frequenzstabilität der Filter sehr viel geringer ist als bei mechanischen Filtern. Das ist besonders zu beachten, wenn man an die Einführung der Einseitenbandtechnik für Kurz- und Mittelwelle denkt.

4.4 Kreisplattenbieger

Fig. 9 zeigt ein Zwischenfrequenzfilter mit longitudinal gekoppelten Biegeresonatoren. Als frequenzbestimmende Abmessungen von radialsymmetrischen Plattenbiegern gehen der Durchmesser der Platten und die Stärke der Platten ein [15].

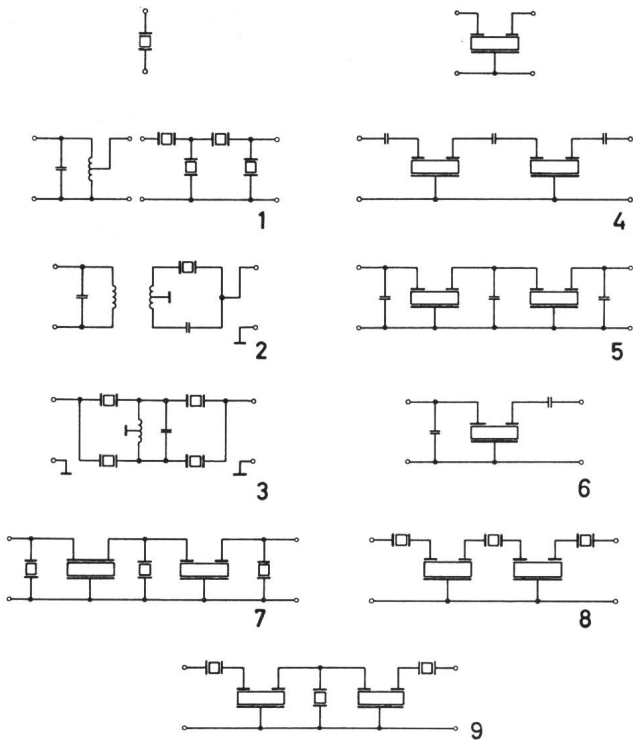


Fig. 8
Verschiedene Schaltungskonfigurationen für Keramikfilter
 Bezeichnungen siehe im Text

Nimmt man noch die Möglichkeit unterschiedlicher Ordnungszahl des verwendeten Modes hinzu, dann kann man mit einer geometrisch ziemlich ähnlich aussehenden Struktur Filter mit einer Mittenfrequenz von 60...600 kHz, einer relativen Bandbreite von 1%...10% und einer Kreiszahl bis zu 10 realisieren. Das Filter wird durch Nickeldrähte oder Ferritwandler ange-regt und nur über eine Befestigung der Koppeldrähte am Anfang und am Ende des Filterkörpers gehalten. Dieser Aufbau führt zu einer gewissen Schüttel- und Stossempfindlichkeit. Der Abgleich der Resonatoren wird als Vorabgleich vor dem Zusammenbau der Filterstruktur ähnlich dem Läpp-Prozess für Quarze durchgeführt. Bei schmalbandigen Typen ist ausserdem noch ein Nachgleich nach dem Zusammenbau durch Punktschweissen notwendig.

Derartige Filter werden in den USA in kommerziellen Kurzwellengeräten eingesetzt. Zur Verfügung stehen Typen für Zweiseitenbandempfang mit verschiedenen Bandbreiten, Telegraphieempfang und Einseitenbandempfang bei bescheidenen Selektionsforderungen. Die für FM-Geräte bestimmten Typen haben sich nicht so stark eingeführt, da in diesen Geräten noch Spulenfilter vorherrschen und neuerdings in steigendem Masse Quarzfilter mit der höheren Zwischenfrequenz von 10,7 MHz eingesetzt werden. Die für die Trägerfrequenztechnik

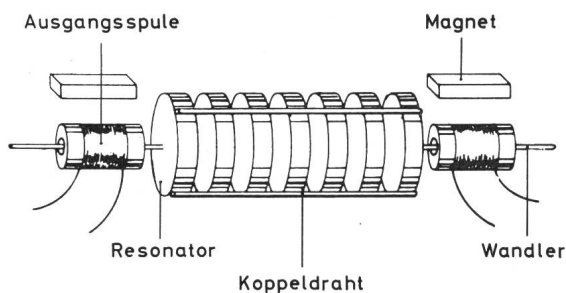


Fig. 9
Mechanisches Filter mit longitudinal gekoppelten Kreisplattenbiegern und piezomagnetischer Anregung

angebotenen 12-Kanalfilter in der Grundgruppenlage entsprechen nicht den CCITT-Anforderungen.

4.5 Torsionsresonatoren

In Fig. 10 erkennt man den Aufbau eines vielkreisigen Filters mit longitudinal-gekoppelten Torsionsresonatoren [7; 16; 17]. Einmal sind der Aufbau des Gesamtfilters und zum anderen Details des Ferritwandlers und einer speziellen Filterstruktur für die Erzeugung von Dämpfungspolen dargestellt. Die Länge der zylindrischen Resonatoren bestimmt die Mittenfrequenz des Filters. In dieser Technik sind bis zu 20kreisige Filter bei einer Zwischenfrequenz von 200 kHz und relativen Bandbreiten von 0,2%...3% realisiert worden. Das Filter wird über longitudinal-schwingende Ferritwandler angetrieben und durch zwei durchgehende, an allen Resonatoren im Schwingungsknoten befestigte Drähte gehalten. Zwischen den Resonatoren werden die Drähte in einer Halterung abgefangen. Nach dem Abgleich der Einzelresonatoren des Filters wird die Gesamtstruktur so definiert zusammengebaut, dass alle Typen nicht nachgeglichen werden müssen und dabei doch sehr genaue Spezifikationen eingehalten werden können.

In Fig. 11 ist eine realisierte Dämpfungskurve mit zwei symmetrischen Polpaaren dargestellt, die durch zusätzliche

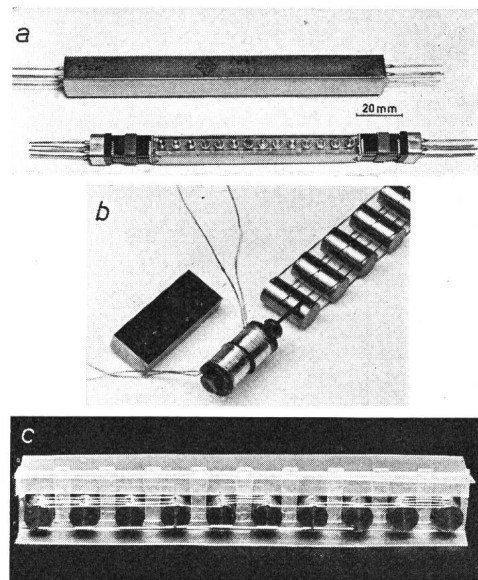


Fig. 10
Mechanische Filter mit longitudinal gekoppelten Torsionsresonatoren und piezomagnetischen Keramikwandlern

- a Gesamtaufbau;
- b Ferritwandler;
- c Filterkörper mit Kopplungen zwischen nichtbenachbarten Resonatoren als Polfilter

Koppeldrähte zwischen nicht benachbarten Resonatoren erzeugt werden.

Torsionsfilter werden als Einseitenbandfilter, Zweiseitenbandfilter und Trägerfilter zur Trägerrückgewinnung gebaut. Daneben gibt es einen Satz Telegraphieempfangsfilter für verschiedene Telegraphiergeschwindigkeiten. In dieser Technik sind auch bereits Prototypen eines Kanalfilters für die Trägerfrequenztechnik realisiert worden, das wie aus Fig. 11 erkennbar, eine Dämpfungsforderung von $\frac{1}{10}$ CCITT-Toleranz mit grossen Reserven erfüllt.

4.6 Miniaturfilter

Ganz in Richtung Miniaturtechnik ist das Miniaturfilter nach Fig. 12 aufgebaut, bei dem Longitudinalresonatoren

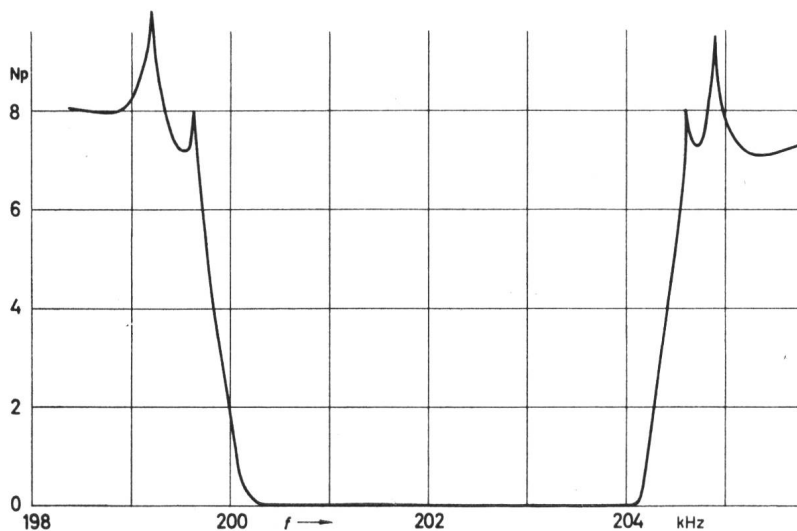
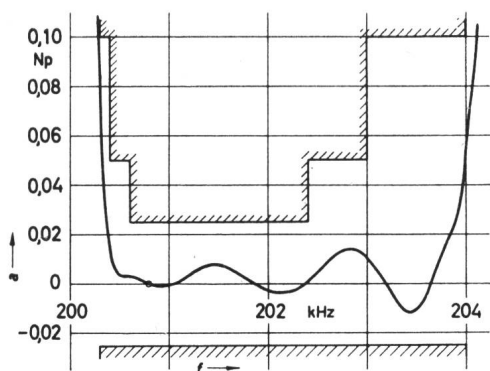


Fig. 11
Selektionskurve eines mechanischen Kanalfilters für $\frac{1}{10}$ CCITT-Toleranz
a Dämpfung; f Frequenz



durch Biegeleitungen gekoppelt sind, was eine sehr enge Packung der Resonatoren erlaubt [18]. Das Filter wird durch piezoelektrische Wandler angeregt, die ihrerseits wieder aus Stahl- und Keramikteilen zusammengesetzt sind. Es sind Filter mit acht Resonatoren mit 6 kHz Bandbreite bei einer Mittenfrequenz von 455 kHz gebaut worden. Die geringen Abmasse des Filters stellen besondere Anforderungen an die Herstellungstechnik der Einzelteile und des Gesamtfilters.

4.7 Quarzfilter in Brückenschaltung

Die zunehmende Belegungsdichte in den Kanälen im 80- und 160-MHz-Bändern für Funksprechverkehr zwangen zu geringerer Kanalbreite und zu geringerem Kanalabstand. Die benötigte Selektion wird mit Quarzfiltern im 10-MHz-Bereich

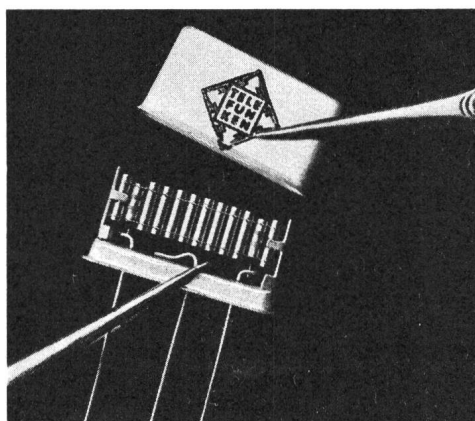


Fig. 12
Mechanisches Miniaturfilter mit biegegekoppelten Longitudinalresonatoren und piezoelektrischen Keramikwandlern

in der ersten ZF realisiert. In Fig. 13 ist ein Quarzfilter dargestellt und gezeigt, aus welchen Einzelteilen das Filter zusammengebaut wird. Deutlich erkennbar ist eine Quarzscheibe, die auf einen Halter aufgebaut ist. Die benötigten Differentialübertrager sind auf Ringkerne gewickelt, die ihrerseits wieder in Quarzgehäuse eingebaut werden. In Fig. 14 ist die Dämpfungskurve eines Quarzfilters für das 20-kHz-Kanalrastraster mit den Toleranzforderungen dargestellt. Das Filter enthält 8 Einzelquarze. Das Volumen des Filters ist trotz sehr enger Bauweise im Vergleich zu anderen Bauelementen besonders für tragbare Geräte schon wieder sehr gross. Deshalb sind Entwicklungen in Gang gekommen, die eine stärkere Miniaturisierung anstreben.

4.8 Mechanisch gekoppelte Quarzfilter

In diese Richtung deuten Versuche, das Prinzip mechanischer Filter mit Quarz als Werkstoff zu verwirklichen. Nach tastenden Versuchen bei niedrigen Frequenzen und mit nur zwei Resonatoren (siehe Fig. 15) [5] ist erkannt worden, dass bei höheren Frequenzen die Realisierung von Filtern mit Dickenserschwingern möglich sein muss. Untersuchungen über die Energieverteilung bei Oszillatorquarzen führten zum Ergebnis, dass die Schwingungsenergie fast ausschliesslich im Bereich der Anregungselektroden lokalisiert ist und mit dem

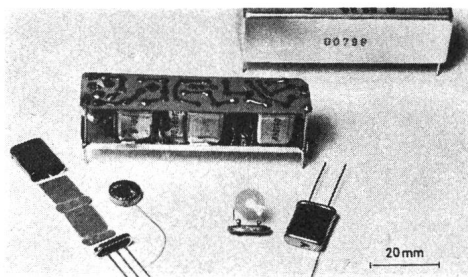


Fig. 13
Quarzfilter in Brückenschaltung mit Einzelteilen
Einzelheiten siehe im Text

Abstand von den Elektroden exponentiell fällt. Diese Erkenntnis führte zu Überlegungen, ob man aus Ersparnisgründen nicht mehrere Resonatoren, die akustisch unabhängig voneinander sind, auf einer Quarzscheibe unterbringen könnte. Erfolgversprechender scheint es aber, das Übergreifen der Schwingungsenergie in den Bereich um die Elektrodenfläche zur Kopplung zu benachbarten Resonatoren zu benutzen [6].

Es sind Resonatoren mit einer rechteckigen Elektrodenform durch Aufdampfen einer Silber- oder Goldschicht auf eine Quarzplatte hergestellt worden. Zur Kontaktierung und zum Anmessen sind von jedem Elektrodenpaar Leiterbahnen an den Rand der Quarzplatte herausgeführt, wobei nur die Anschlüsse des Resonators 1 und 4 für den Betrieb des Filters benötigt werden. Die gesamte Struktur wird wie ein mechanisches Filter aus Stahlresonatoren betrieben. Der 1. und 4. Resonator werden elektrisch kontaktiert und dienen als Wand-

lerresonatoren. Der 2. und 3. Resonator werden lediglich als mechanische Resonatoren in der Filterkette benützt. Durch den Abstand der Resonatoren, ihrer Länge längs des Zwischenraumes zwischen zwei Resonatoren und durch die Dicke der aufgedampften Schichten kann die Kopplung und damit die Bandbreite eingestellt werden. Die bisher erreichten relativen Bandbreiten liegen im Bereiche um einige Promille. Da die Frequenz der Resonatoren ebenfalls von der Dicke der aufgedampften Schicht abhängt, sind für eine Fertigung solcher Filter sehr enge Toleranzen für das Schleifmass der Quarzplatten einzuhalten.

Hervorstechend sind besonders die geringen Abmessungen des Filters. Es sind bereits Anordnungen mit 10 Resonatoren

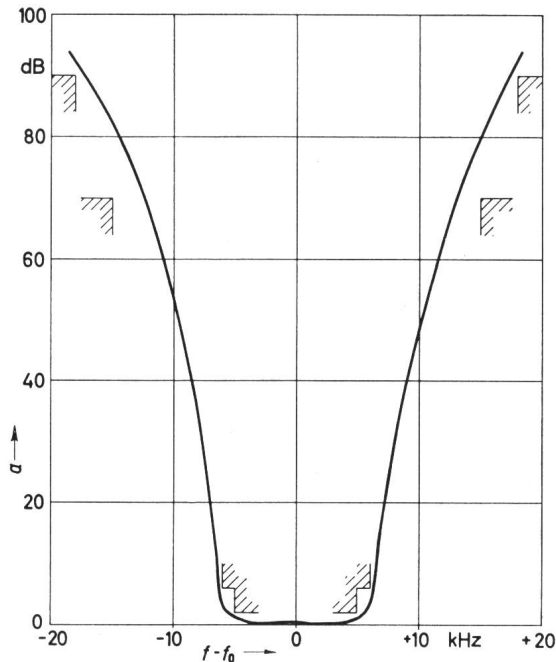


Fig. 14

Selektionskurve eines Quarzfilters für UKW-FM-Funksprechgeräte bei 20 kHz Kanalraster

a Dämpfung; f Frequenz; f_0 Mittenfrequenz, $f_0 = 10,700$ MHz

bekannt geworden. Die Möglichkeiten, bis in den Bereich von 100 MHz solche Filter zu bauen, deuten sich an. Es kommt dabei besonders auf eine gute Beherrschung aller technologischen Vorgänge an.

Mit Quarzfiltern im 100-MHz-Bereich sind ganz neue Gerätekonzepte möglich. Es wäre z. B. die Ausrüstung von Funksprechgeräten mit einer Vorselektion möglich und damit eine Steigerung der Reichweite.

Geht man weiter und erwägt den Einsatz piezoelektrischer Keramikmaterialien für solche Filterstrukturen, dann könnte

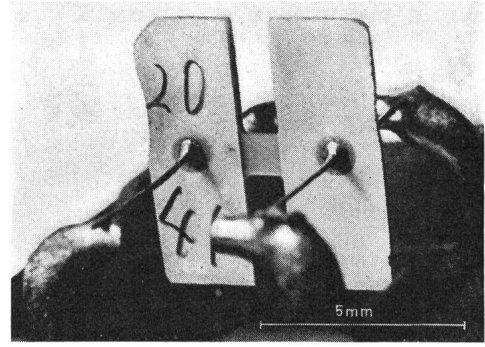


Fig. 15

Mechanisches Zweikreis-Quarzfilter mit Flächenschwingern

man Zwischenfrequenzfilter für UKW-Rundfunkgeräte realisieren. Eine Schwierigkeit ist besonders in der geringen Güte der bekannten Keramik und in der grossen benötigten relativen Bandbreite von 2 % zu sehen.

Literatur

- [1] K. Stärk: Piezoelektrische Keramik. Stemag-Nachrichten -(1967)40, S. 1095...1100.
- [2] S. Schweizerhof: Über Ferrite für magnetostruktive Schinger in Filterkreisen. NTZ 11(1958)4, S. 179...185.
- [3] C. M. van der Burgt: Ferroxcube-Werkstoffe für piezomagnetische Schwinger. Philips techn. Rdsch. 18(1956/57)10, S. 277...290.
- [4] D. Böhme und L. Jung: Elastische Eigenschaften einer aushärtbaren Eisen-Nickel-Molybdän-Legierung mit kleinen Temperaturkoeffizienten des Elastizitätsmoduls. Jubiläumsschrift 40 Jahre Vacuumschmelze AG 1923-1963, S. 64...71.
- [5] W. Poschenrieder und F. Schöfer: Das elektromechanische Quarzfilter — ein neues Bauelement für die Nachrichtentechnik. Frequenz 17(1963)3, S. 88...95.
- [6] R. A. Sykes and W. D. Beaver: High frequency monolithic crystal filters with possible application to single frequency and single side band use. Proc. 20th annual symposium on frequency control 20(1966), S. 288...308.
- [7] M. Börner, E. Kettel und H. Ohnsorge: Mechanische Filter für die Nachrichtentechnik. Telefunken-Ztg. 31(1958)120, S. 105...114.
- [8] H. Schüssler: Mechanische Filter mit piezoelektrischen Wandlern. Telefunken-Ztg. 39(1966)3/4, S. 429...439.
- [9] H. Eden: Gedanken zur Neuordnung des Lang- und Mittelwellenrundfunks. Rundfunktechn. Mitt. 11(1967)6, S. 304...313.
- [10] M. Kawakami, H. Tsuchiya and H. Maeda: H-Shaped ceramic filter forms miniature I. F. Electronics 37(1964)6, S. 55...57.
- [11] H. Schumacher: Piezoelektrische Festfrequenzfilter. Funkschau 35(1963)9, S. 235...238.
- [12] H. Schüssler: Einkreisige keramische Filterelemente. AEÜ 17(1963)5, S. 223...339.
- [13] H. Schüssler: Filtersätze aus keramischen Schwingern. AEÜ 17(1963)11, S. 519...524.
- [14] W. Herzog: Siebschaltungen mit Schwingkristallen. Wiesbaden, Dietrich, 1949.
- [15] R. R. Sharma: Theory and applications of electromechanical filters. 3. ICA-Kongress (1959) Stuttgart, S. 729...731.
- [16] M. Börner, E. Dürre und E. Schüssler: Mechanische Einseitenbandfilter. Telefunken-Ztg. 36(1964)5, S. 272...280.
- [17] B. Kohlhammer und H. Schüssler: Berechnung allgemeiner mechanischer Koppelfilter mit Hilfe von äquivalenten Schaltungen aus konzentrierten elektrischen Schaltelementen. Wissensch. Ber. AEG-Telefunken 41(1968)3, S. 000...000.
- [18] M. Börner und H. Schüssler: Miniaturisierung mechanischer Filter. Telefunken-Ztg. 37(1964)3/4, S. 228...246.

Adresse des Autors:

Hans Schüssler, Forschungsinstitut der AEG-Telefunken, Elisabethenstrasse 3, D-79 Ulm (Donau).

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Sitzungen des CE 1, Terminologie, vom 3. und 4. Dezember 1968 in Den Haag

Am 3. und 4. Dezember 1968 tagte das CE 1, Terminologie, unter dem Vorsitz seines Präsidenten, F. Cahen (Frankreich), in Den Haag. Das CES war durch zwei Delegierte vertreten. Die Hauptaufgabe des CE 1 ist bekanntlich die Herausgabe des Vocabulaire Electrotechnique International (VEI); dabei werden an den Plenarsitzungen des CE 1 in erster Linie Prozedurfragen behandelt und Grundsatzentscheide getroffen oder vorbereitet, wäh-

rend die technische Detailarbeit in den verschiedenen vorbereitenden Arbeitsgruppen geleistet wird. Gemäss der seit 1965 in Kraft stehenden Prozedur untersteht eine solche vorbereitende Arbeitsgruppe entweder einem spezialisierten Comité d'Etudes (CE), sofern für das betreffende Gebiet ein solches CE besteht, oder dem CE 1, sofern für einen Teil des Gebietes oder für das ganze Gebiet kein spezialisiertes CE besteht. Diese Prozedur-