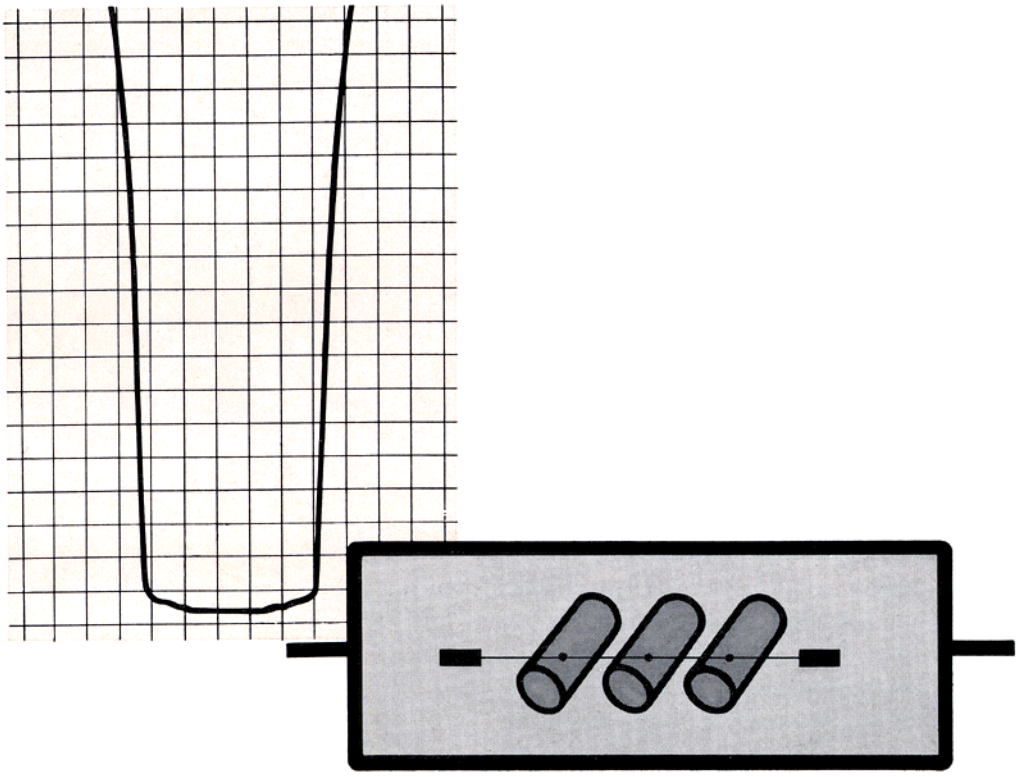
TELEFUNKEN

MECHANISCHE FILTER



Mechanische Einseitenbandfilter

Durch die ständig steigende Belegungsdichte der vorhandenen Frequenzbänder zur Nachrichtenübertragung ist man in den letzten Jahren immer mehr veranlaßt worden, möglichst bandbreitesparende Modulationsverfahren auch im drahtlosen Dienst zu verwenden. Nachdem man darangegangen ist, den Kanalabstand in kommerziellen Geräten mit Frequenzmodulation von 50 auf 20 und 25 kHz herabzusetzen, wird teilweise schon der nächste Schritt getan: auch bewegliche Stationen werden mit Einseitenbandmodulation ausgerüstet. Hierfür wurden hochwertige mechanische Einseitenbandfilter entwickelt. Die Filter sind klein, stoßunempfindlich und infolge der Umschaltmöglichkeit auf kleine Eingangsimpedanzen gut in transistorisierten mobilen Stationen anwendbar. Sie entsprechen in ihren Eigenschaften dem heutigen Stand der Bauelemente- und Gerätetechnik. Diese Filter werden weitgehend automatisch gefertigt. Aufbau und Eigenschaften der verschiedenen Einseitenbandfilter, Trägerfilter und zum System der Einseitenbandfilter passender Zweiseitenbandfilter werden im folgenden beschrieben, ebenso die dazugehörige Fertigungstechnik, die hohe Qualität bei niedrigem Preis ermöglicht.

1. Aufbau und Wirkungsweise der Filter

Der prinzipielle Aufbau der Filter wurde schon früher beschrieben [1] [2] [3], doch ergaben die weiteren Arbeiten, insbesondere die Entwicklung einer neuen Meß- und Fertigungstechnik, eine Reihe von Anregungen zur weiteren Vereinfachung und Vervollkommnung der Filterkonstruktion und Herstellung. Wir beschreiben die Wirkungsweise der Filter an Hand des Bildes 1.

Eine Reihe von Torsionsresonatoren ①, die auf ihrer $\lambda/2$-Resonanz schwingen und deren Länge die Bandmittenfrequenz bestimmt, werden über vier dünne Koppelleitungen ② miteinander verkoppelt. Diese Koppelleitungen schwingen longitudinal und sind etwa $\lambda/4$ lang. Die Bandbreite des Filters wächst bei fester Größe der Resonatoren mit dem Abstand der Schweißpunkte von der Mittelebene der Resonatoren und proportional dem Querschnitt der Koppeldrähte. Durch zwei zusätzliche Koppelleitungen ③ ist die Kopplung zwischen den äußeren Torsionsresonatoren verstärkt worden, um den Übertragungsbereich des Filters optimal einzuebnen. Der erste und letzte Torsionsresonator sind über die Koppelleitungen ④ mit den Ferritresonatoren ⑤ verbunden, die über zwei Spulen ⑥ magnetostriktiv zu $\lambda/2$-Längsschwingungen erregt werden. Die Magnete ⑦ magnetisieren die Ferritresonatoren so vor, daß eine möglichst lineare Umsetzung der elektrischen Energie in mechanische Energie und umgekehrt in den elektromechanischen Wandlern erfolgen kann. Die beiden Antriebsspulen ⑥ können über die Anschlüsse ⑧ parallel oder in Serie geschaltet werden. Um eine optimale Leistungsübertragung über das Filter zu ermöglichen, wird das Filter von der elektrischen Seite her durch die angeschlossene Schaltung bedämpft, die Blindkomponente des elektromechanischen Wandlers muß weggestimmt werden. Das mechanische Filter wird also über einen Kondensator und einen Widerstand abgeschlossen, wobei noch die Freiheit besteht, den elektromechanischen Wandler parallel oder in Serie abzustimmen. Deshalb ist auch die Abstimmung nicht fest in das Filter

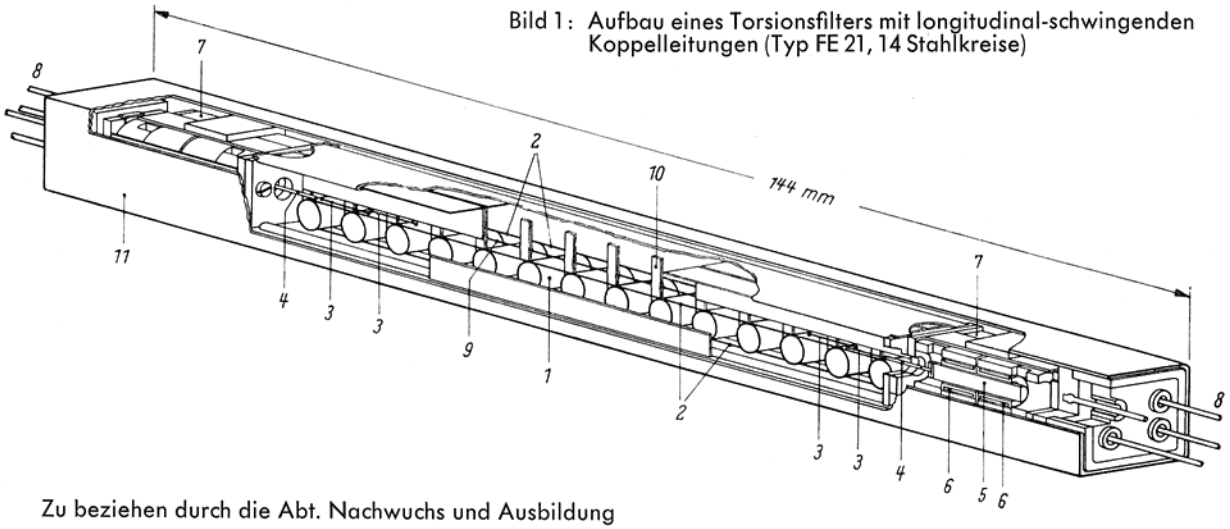


Bild 1: Aufbau eines Torsionsfilters mit longitudinal-schwingenden Koppelleitungen (Typ FE 21, 14 Stahlkreise)

Zu beziehen durch die Abt. Nachwuchs und Ausbildung
TELEFUNKEN AG
1 Berlin 10, Ernst-Reuter-Platz 7

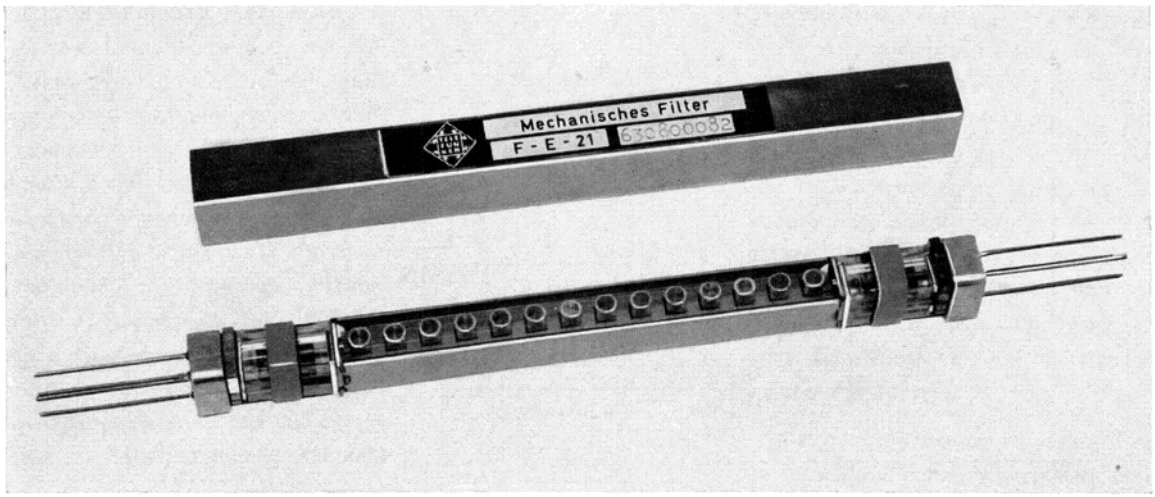


Bild 2: Mechanisches Filter vom Typ FE 21 (2/3 der natürlichen Größe)

eingebaut worden. Die Torsionsresonatoren sind über zwei Haltedrähte ⑨ mit einer Kunststofflagerung ⑩ verbunden, die genügend dämpfungs- und nebenwellenarm ausgebildet ist. Das ganze Filter ist luftdicht in einem Gehäuse verlötet. Bild 2 zeigt das Filter.

Die Berechnung mechanischer Filter kann bei Anwendung der bekannten elektromechanischen Analogien auf die Berechnung elektrischer Filter zurückgeführt werden [4]. In Bild 3 ist ein *n*-kreisiges elektrisches Koppelfilter dargestellt, das für ein schmales Frequenzband innerhalb und in der Umgebung des Durchlaßbandes des Filters als Ersatzschaltbild für ein mechanisches Leitungsfilter mit *n* Resonatoren Rs 1 bis Rs *n* verwendet werden kann. Auf Grund der hohen Güte der mechanischen Resonatoren ist es möglich, die Berechnung als Reaktanzfilter durchzuführen. Die Eigendämpfung der Resonatoren ist bei relativen Bandbreiten über 1% ohne Einfluß. Die Größen der dargestellten Reaktanzen sind bestimmt durch die mechanischen Eigenschaften und durch die Abmessungen der Resonatoren und Koppeldrähte und deren geometrische Anordnung. Der Amplituden- und Phasengang des mechanischen Filters entspricht dem des elektrischen Ersatzschaltbildes. Bei der Dimensionierung von Filtern sind wie in der elektrischen Filtertheorie die Methoden der Wellenparameter- und der Betriebsparameterberechnung anwendbar. Bei sehr sorgfältiger Auslegung der Filter ist eine Betriebsparameterberechnung erforderlich [5].

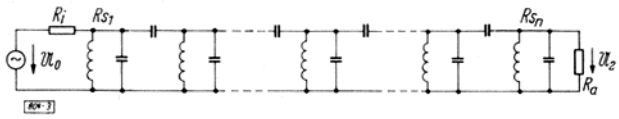


Bild 3:
Schmalband-Ersatzschaltbild für ein mechanisches Leitungsfilter

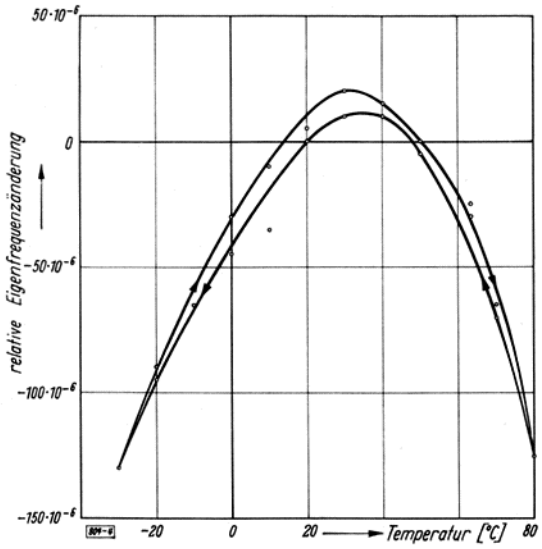


Bild 4: Relative Eigenfrequenzänderung eines Torsionsresonators aus Thermelast 5409 (Vacuumschmelze Hanau) in Abhängigkeit von der Temperatur

2. Die physikalischen Eigenschaften der Filterelemente

Für das Erreichen der genauen Sollwerte der Filter und deren Konstanz sind neben der Einhaltung der mechanischen Toleranzen beim elektrischen Verschweißen der Resonatoren und Koppel- bzw. Haltedrähte und der Einhaltung enger Fertigungstoleranzen für die Torsionsresonatoren noch eine Reihe anderer Punkte wichtig. Da die Filter auch bei erheblichen Temperaturabweichungen noch arbeiten sollen, werden an die Temperaturkoeffizienten der Werkstoffe hohe Ansprüche gestellt. Bild 4 zeigt den Gang der Eigenfrequenz vom Torsionsresonator aus Thermelast 5409 (Vacuumschmelze Hanau) nach einer Glühbehandlung in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Glühbehandlung (Auslagerung) zur Einstellung eines kleinen Temperaturkoeffizienten bringt gleichzeitig eine Stabilisierung der Eigen-

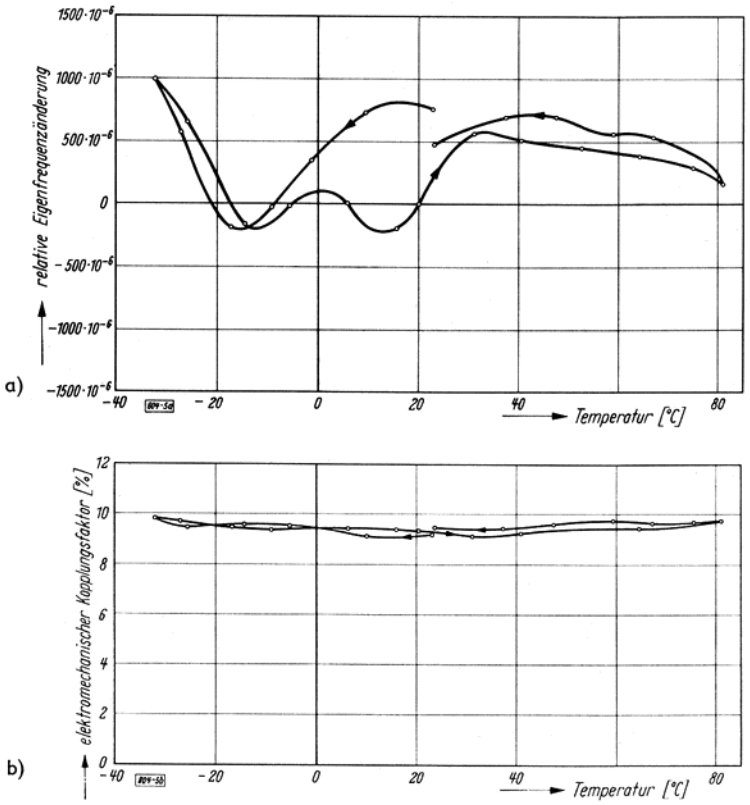


Bild 5: Verhalten eines Wandlerferritresonators aus Material S 3 (Telefunken) bei einem Temperaturzyklus

a) relative Eigenfrequenzänderung der Longitudinalschwingung

b) elektromechanischer Kopplungsfaktor der Longitudinalschwingung

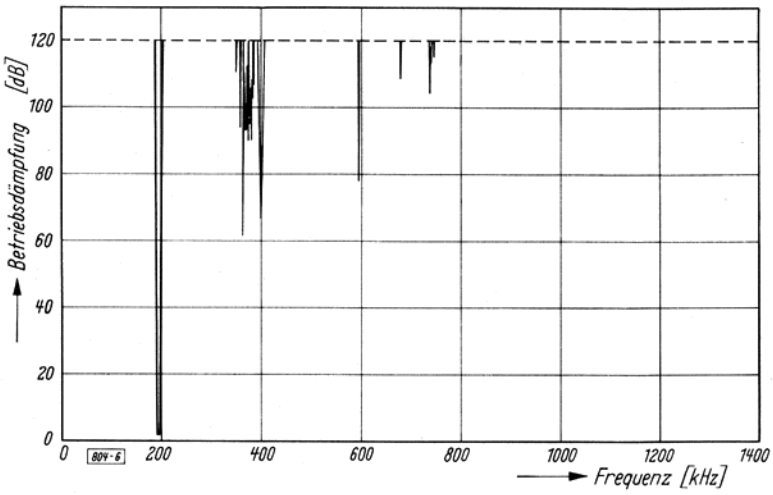


Bild 6: Weitabselektion eines Einseitenbandfilters vom Typ FE 21

frequenz der Resonatoren gegen Alterung. Diese Stabilität war bislang nicht bei allen für mechanische Filter verwendeten Metall-Legierungen gegeben. Bei einer Lagerung von 8000 Stunden bei 100°C konnte an den Metallresonatoren noch keine meßbare Frequenzänderung festgestellt werden (Meßgenauigkeit $\pm 1{,}5 \cdot 10^{-5}$). Die erreichte Schwinggüte der Metallresonatoren hat den ungewöhnlich hohen Wert von 15000 bis 25 000 bei einer Frequenz von 200 kHz. Um diesen Wert im Filter voll ausnutzen zu können, muß auch die Lagerung der Resonatoren extrem dämpfungsarm sein. Die Forderung an die Ferritresonatoren ist nicht ganz so hoch. Immerhin mußte auch hier bis an die Grenze des bei keramischen Materialien möglichen gegangen werden. Bild 5 zeigt die Temperatureigenschaften eines Longitudinalschwingers aus einem Spezialferrit, der im Telefunken-Ferritlaboratorium entwickelt wurde [6]. Aus Stabilitätsgründen und aus Gründen einer hohen, linearen Leistungsübertragung im Filter ist es nötig, den Wandler über eine Glasanschmelzung mit dem metallischen Koppeldraht zu verbinden [7]. Besondere Beachtung verdienen die Nebenwellen in mechanischen Filtern. Da sowohl die mechanischen Resonatoren als auch die der Verkopplung dienenden Elemente zu einer großen Anzahl verschiedener Resonanzen neigen [8] [9] [10], ist es wichtig, sowohl die im Filter verwendeten Einzelelemente als auch den Gesamtaufbau so zu wählen, daß sie keine Dämpfungsverschlechterung für die Weitabselektion bringen. Bild 6 zeigt den erreichten Nebenwellenabstand.

3. Das Telefunken-EB-Filter-System

Die beschriebene Filteranordnung läßt durch Änderung der Eigenfrequenz der Resonatoren, durch Änderung der Zahl der Resonatoren, durch Änderung der Größe der Kopplung innerhalb des Filters und damit dessen Bandbreite und schließlich durch Änderung der Abstufung der Kopplung die verschiedenen Anforderungen an das Übertragungsmaß und die Anpassung erfüllen. Da die Eigenfrequenz der Resonatoren die Filterabmessungen im wesentlichen festlegt, die mechanischen Abmessungen aber auch die Fertigungsmittel bestimmen, bedingt die Wahl einer wesentlich anderen Frequenz auch eine starke Änderung der Fertigungsmittel. Im allgemeinen ist man deshalb bestrebt, sich auf wenige Frequenzen festzulegen. Diese Tendenz steht durchaus im

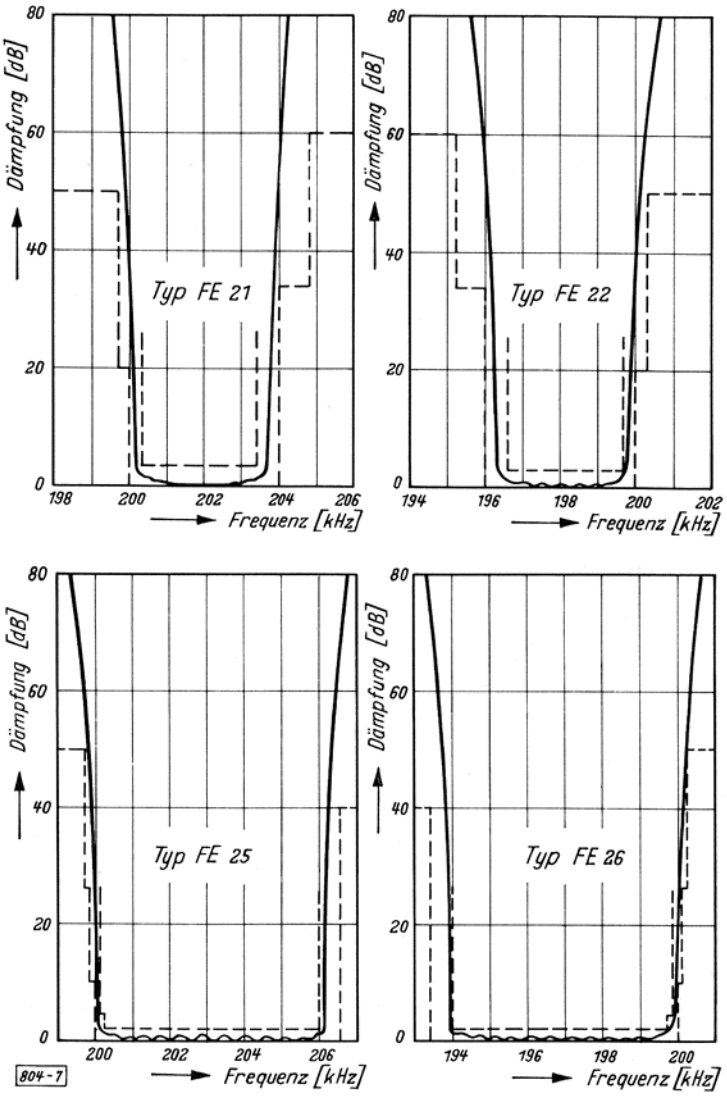


Bild 7: Dämpfung der Einseitenbandfilter vom Typ FE 21, FE 22, FE 25, FE 26

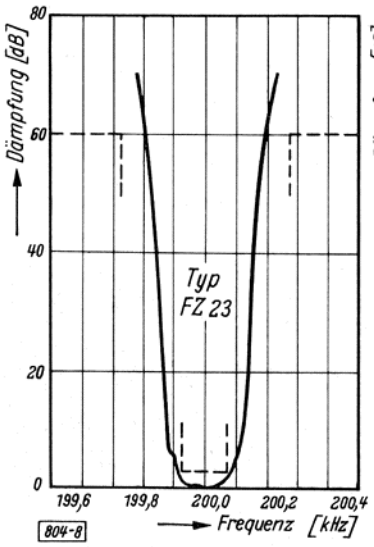


Bild 8: Dämpfung eines Trägerfilters vom Typ FZ 23

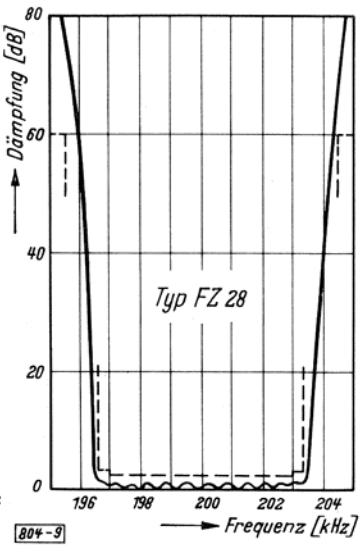


Bild 9: Dämpfung eines Zweiseitenbandfilters vom Typ FZ 28

Einklang mit dem bevorzugten, leider noch nicht genormten Gebrauch weniger Zwischenfrequenzen bei der Auf- und Abbereitung in Sendern und Empfängern. Da der Aufwand bei der Aufbereitung einer Einseitenbandmodulation um so geringer wird, je höher die Frequenz des Einseitenbandfilters liegt, legt man die Frequenz des Filters so hoch, wie es die Forderungen an Konstanz und Fertigungstoleranzen erlauben.

Das im folgenden beschriebene Telefunken-Einseitenbandfiltersystem ist in Übereinstimmung mit vielen Anwendern auf eine Trägerfrequenz von 200 kHz festgelegt worden. Eine Erhöhung der Frequenz in einem für mechanische Filter möglichen Maße bis ungefähr 600 kHz bringt einerseits der Schaltungstechnik keinen entscheidenden Vorteil mehr, andererseits nimmt die Qualität der Filter in vieler Hinsicht in gleichem oder stärkerem Maße ab, in dem die Frequenz zunimmt. Bei einer Frequenz von 455 kHz zum Beispiel können mechanische Filter in der bei 200 kHz möglichen Qualität nicht gebaut werden.

In Bild 7 sind die Dämpfungskurven der bei einer Einseitenbandaufbereitung mit einer ersten Umsetzungsfrequenz von 200 kHz benötigten Filter gezeigt. Die Filter FE 21 und FE 22 sind für die Übertragung je eines Einseitenbandkanals von 3,4 kHz Bandbreite oberhalb und unterhalb des Trägers gedacht. Die Filter FE 25 und FE 26 übertragen je einen 6 kHz-breiten Kanal oberhalb und unterhalb des 200-kHz-Trägers und sind für die Sendebetriebsart A 3 b geeignet [11]. Sie entsprechen den Forderungen der Deutschen Bundespost für ortsfeste Funk-Sendeanlagen. Die im gesamten Temperaturbereich garantierten Toleranzen sind in Bild 7 mit eingezeichnet. Dabei arbeiten die Filter FE 21 und FE 22 zwischen − 40° C und + 80° C und die Filter FE 25 und FE 26 wegen der erhöhten Anforderung zwischen + 10° C und + 50° C. Der selektiven Verstärkung von Trägerresten dient das Trägerfilter FZ 23 nach Bild 8.

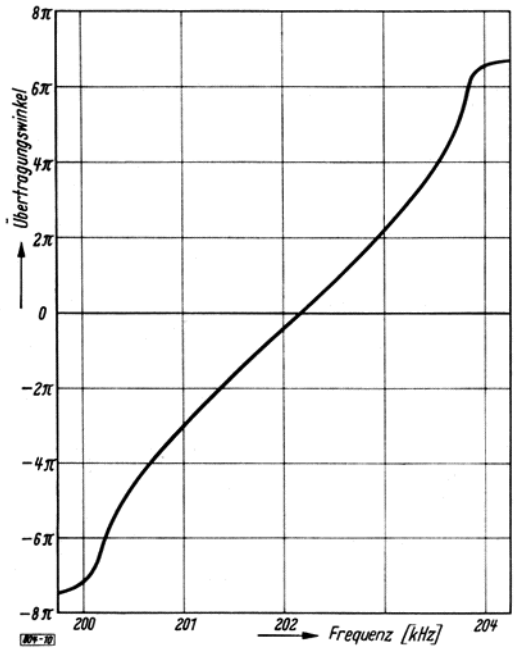


Bild 10: Übertragungswinkel eines Filters vom Typ FE 21

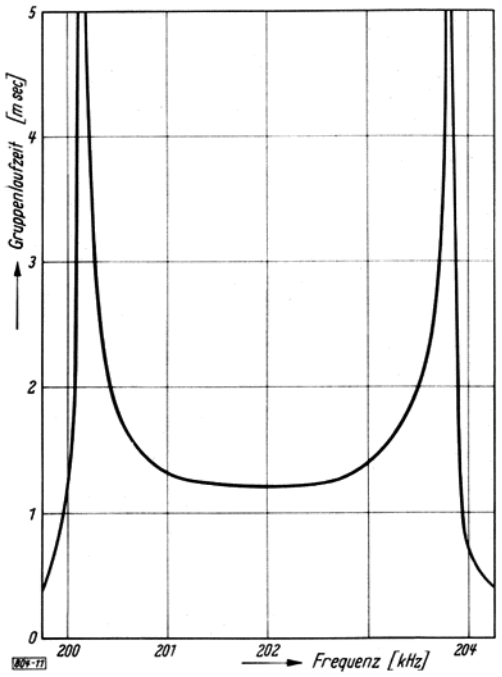


Bild 11: Gruppenlaufzeit eines Filters vom Typ FE 21

Die angegebenen Toleranzen werden zwischen − 40° C und + 80° C eingehalten. Zu dieser Gruppe von Einseitenbandfiltern gehört noch das Zweiseitenbandfilter FZ 28 nach Bild 9, das symmetrisch zum Träger liegt und zwei je 3,4 kHz breite Kanäle enthält. Dieses Filter wird zusammen mit den Typen FE 21 und FE 22 verwendet und arbeitet ebenfalls im Bereich zwischen − 40° C und + 80° C.

Neben diesen Filtern existieren noch einige weitere Typen, deren Bandmittenfrequenz in der Gegend von 200 kHz speziellen Wünschen angepaßt werden kann. Sie sind jedoch nicht ausschließlich für Einseitenbandzwecke gedacht. Darüber hinaus bereitet der Entwurf und die Fertigung von Filtern im Frequenzbereich um 200 kHz mit Bandbreiten zwischen 100 Hz und 8 kHz keine Schwierigkeiten.

Da in modernen Übertragungssystemen, besonders wenn sie zur Übertragung von Impulsfolgen verwendet werden, aber auch schon beim Auftreten von Störimpulsen, die Ein- und Ausschwingvorgänge interessieren, wurde dem Phasen- und Laufzeitverhalten der Filter besondere Beachtung geschenkt. Da alle bisher gebauten mechanischen Filter minimalphasige Netzwerke sind (in [12] wird erstmalig auf die Möglichkeit hingewiesen, allpaßhaltige mechanische Filter zu realisieren), hängt die Phasenkurve streng mit der Dämpfungskurve zusammen. Da jedoch in den Toleranzschemen für den Dämpfungsverlauf der Filter nach den Bildern 7, 8 und 9 noch die Freiheit besteht, die Dämpfungskurven insbesondere an den Bandkanten zu verrunden, hat man eine begrenzte Möglichkeit, die Laufzeit etwas einzuebnen bzw. die Phasenkurve zu linearisieren. Diese Möglichkeiten kann man jedoch nur ausschöpfen, wenn die Fertigungstoleranzen und die Temperatureinflüsse möglichst klein gegen die im Toleranzschema für den Dämpfungsverlauf zugelassenen Abweichungen sind. Bei der Dimensionierung unserer Filter machten wir von dieser Möglichkeit Gebrauch. Bild 10 zeigt den Übertragungswinkel eines Filters vom Typ FE 21, Bild 11 die entsprechende Gruppenlaufzeitkurve.

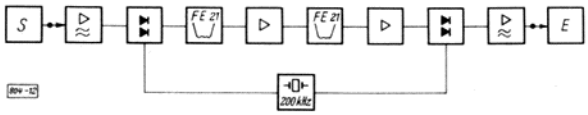


Bild 12:
Blockschaltbild einer Impulsübertragungsstrecke mit mechanischen Filtern vom Typ FE 21

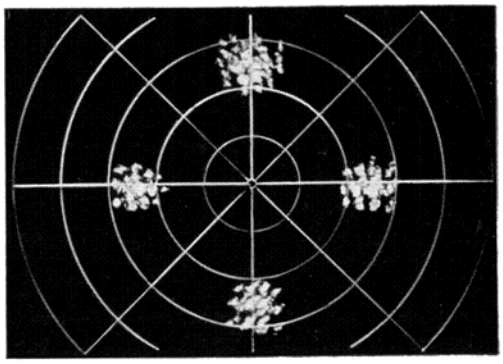


Bild 13 (rechts):
Empfangsvektoren bei einer Übertragung über einen Einseitenbandkanal mit mechanischen Filtern vom Typ FE 21 (2400 bit/s)

Zur Beurteilung des Verhaltens von Filtern bei Impulsübertragung untersucht man am besten ein vollständiges Übertragungssystem, in das die Filter einschließlich Modulator und Demodulator eingebaut sind. Bild 12 zeigt das Blockschaltbild einer solchen Einrichtung. Als Modulationsverfahren wird eine kodierte Phasentastung mit vier diskreten Phasenlagen verwendet [13]. Im Empfangsteil wird ein Phasendifferenzdemodulator eingesetzt. Dieses Verfahren eignet sich für die Impulsübertragung mit einem hohen Nachrichtenfluß besonders gut. Das Sendesignal ist ein geträgerter Glockenimpuls. In der Phase des Trägers, der zu 1,8 kHz gewählt wurde, ist die Nachricht enthalten. Bild 13 zeigt das demodulierte Empfangssignal in der Phasenebene für den Fall einer nach einem statistischen Programm zusammengestellten Nachricht, die mit einer Geschwindigkeit von 2400 bit/s gesendet wurde. Man erkennt, daß die vier Phasenlagen noch sauber zu trennen sind. Erst bei einem Nachrichtenfluß von 2800 bit/s beginnen sich die den vier übertragenen Phasenlagen zugeordneten Punkthaufen so anzunähern, daß bei Überlagerung von Störungen im Übertragungskanal Fehler bei der Auswertung der Empfangsvektoren möglich werden.

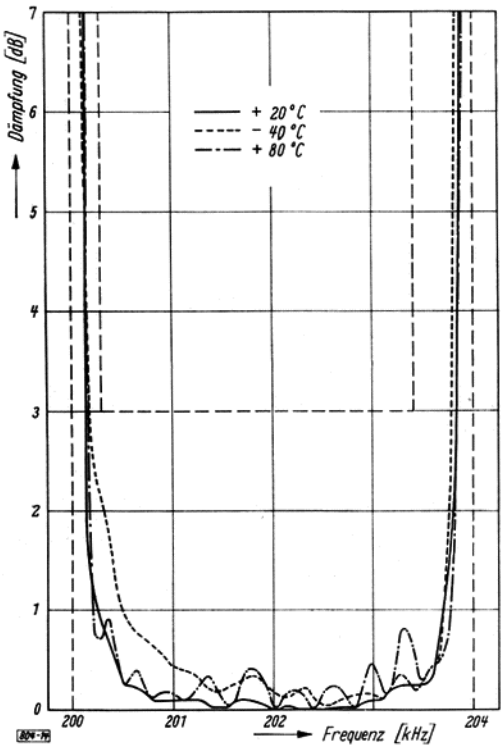


Bild 14: Temperaturverhalten der Selektionskurve eines Filters vom Typ FE 21

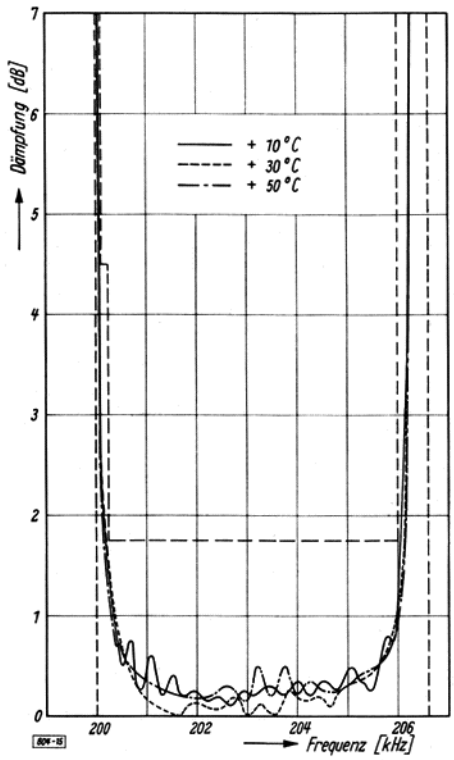


Bild 15: Temperaturverhalten der Selektionskurve eines Filters vom Typ FE 25

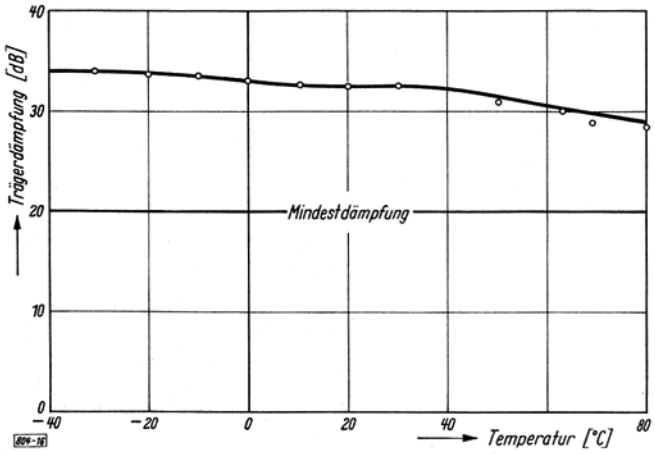


Bild 16: Trägerdämpfung eines Filters vom Typ FE 21 in Abhängigkeit von der Temperatur

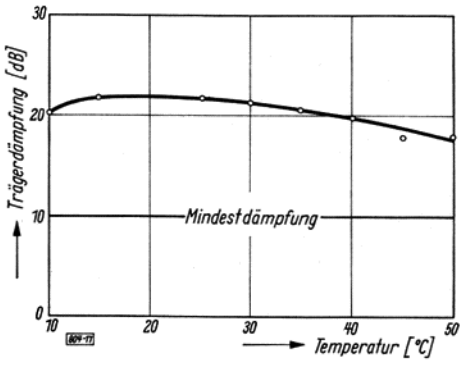


Bild 17: Trägerdämpfung eines Filters vom Typ FE 25 in Abhängigkeit von der Temperatur

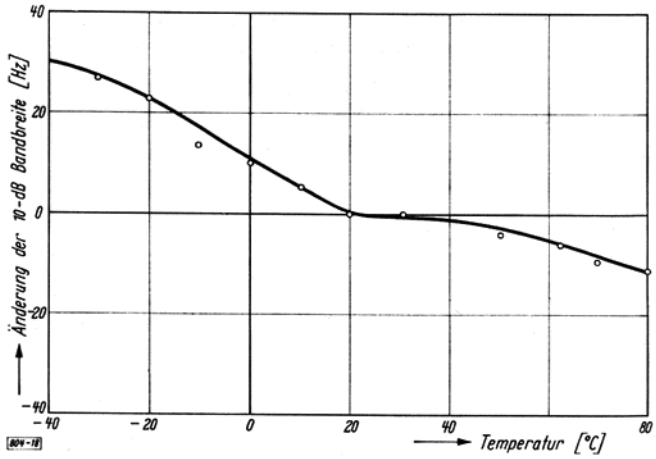


Bild 18: Änderung der 10-dB-Bandbreite eines Filters vom Typ FE 21 in Abhängigkeit von der Temperatur

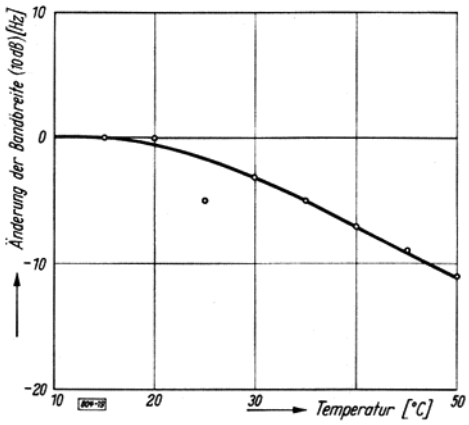


Bild 19: Änderung der 10-dB-Bandbreite eines Filters vom Typ FE 25 in Abhängigkeit von der Temperatur

Für den Betrieb der Filter sind noch Angaben über das Verhalten bei Temperaturschwankungen von Bedeutung. In Bild 14 sind für das Filter FE 21, in Bild 15 für das Filter FE 25 die Dämpfungskurven im Durchlaßbereich bei den Grenztemperaturen und für Zimmertemperatur angegeben. In den Bildern 16 und 17 sind für die Filter FE 21 und FE 25 die Temperaturabhängigkeit der Trägerdämpfung und in den Bildern 18 und 19 die der 10-dB-Bandbreite aufgetragen. Das insgesamt sehr günstige Temperaturverhalten wurde durch intensive Materialentwicklung erreicht.

Besonders wichtig für die Planung und Auslegung von Einseitenbandgeräten sind die Höhe der vom Filter übertragbaren Leistung und die Eingangsimpedanzen der Filter, die eine günstige Anpassung an andere Baugruppen des Gerätes ermöglichen sollen. Bei der Berechnung der Filter gingen wir von den niederohmigen Transistorschaltungen aus. Durch die Unterteilung der Erregerspulen der Ferritwandler in zwei gleiche Spulen, die wahlweise in Reihe oder parallel geschaltet werden können, hat man zusammen mit der Möglichkeit der Serien- oder Parallelabstimmung vier Arten des Filterabschlusses am Eingang und Ausgang. Die Schaltungsart am Eingang und Ausgang kann unterschiedlich gewählt werden. Für eine bestimmte Prüfschaltung (vgl. Bild 20) können enge Toleranzen eingehalten werden. Das wird durch einen besonderen Abgleich an den Wandlern während der Fertigung erreicht. Bei Anwendung der Prüfschaltung können tolerierte Festwerte für Kondensatoren und Widerstände eingebaut werden. Für die drei weiteren Schaltungsarten ist ein individueller Abgleich im Bereich ± 20% der angegebenen Werte auf minimale Durchlaßdämpfung mit Hilfe der Kondensatoren und auf minimale Welligkeit durch Einstellen der Widerstände notwendig.

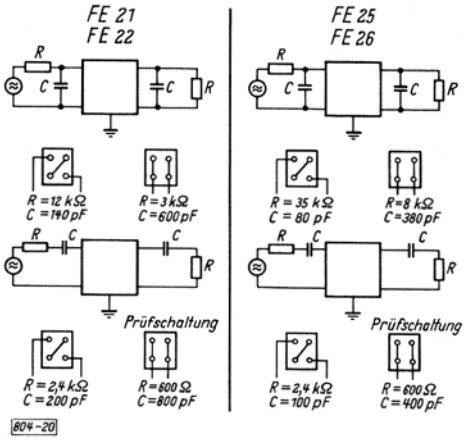


Bild 20: Anschlußschema für die Einseitenbandfilter vom Typ FE 21, FE 22, FE 25 und FE 26

Es ist ein gleichstromfreier Abschluß für das Filter anzustreben. Bis zu einem Wert von 0,5 mA je Spule tritt noch keine unzulässige Änderung der Vormagnetisierung des Ferrits und damit eine Änderung der Filtereigenschaften ein. Eine Zerstörung des Filters ist erst bei Pegeln weit über + 10 dB (10 mW an 600 Ω) zu erwarten. Die Aussteuerbarkeit wird eingeschränkt durch Forderungen an den Klirrfaktor. In Bild 21 ist die nach dem Doppeltonverfahren gemessene Übersprechdämpfung für die Filter FE 25 und FE 26 über der übertragenen Leistung aufgetragen. Dieses Übersprechen ist auf einen Klirrfaktor dritter Ordnung im magnetischen Kreis des Ferritwandlers zurückzuführen, der quadratisch mit der Aussteuerung wächst. Für sehr strenge Forderungen bezüglich

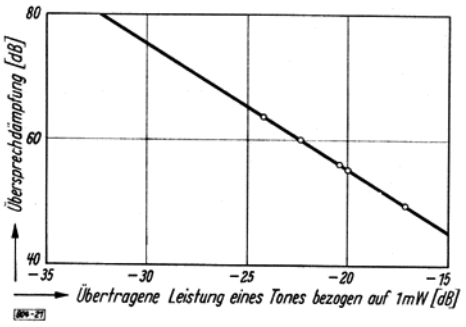


Bild 21: Übersprechdämpfung der Einseitenbandfilter FE 25 und FE 26, gemessen nach dem Doppeltonverfahren

der Übersprechdämpfung, wie sie für die Modulationsart A 3 b bei Übertragung von vier unabhängigen Kanälen nach dem ATT-Schema [11] notwendig sind, kann aber immer noch eine Leistung von — 20 dB (10 μW an 600 Ω) übertragen werden.

Die Werkstoffe und die daraus aufgebauten Filter wurden über einige Jahre ständig unter verschärften Arbeitsbedingungen beobachtet. Dabei wurden keine meßbaren Alterungserscheinungen gefunden. Dafür ist auch der mechanisch robuste Aufbau des Filters und die Sorgfalt bei den Fertigungsvorgängen maßgebend.

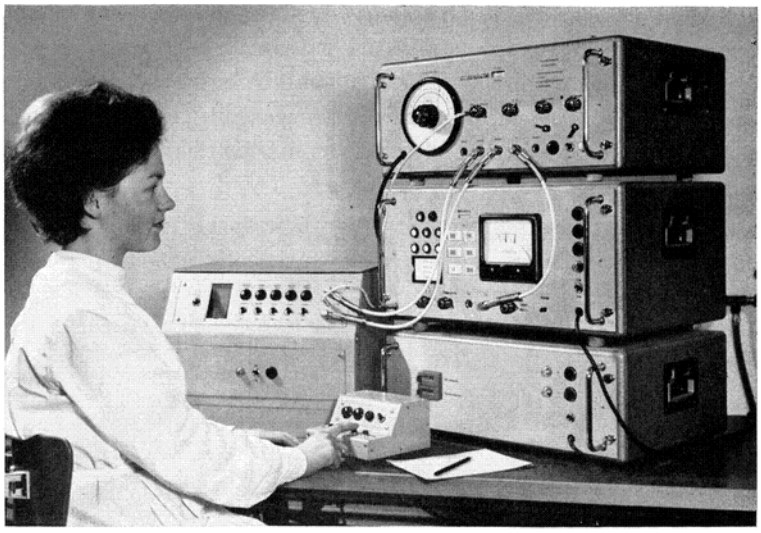


Bild 22: Meß- und Abgleichplatz für metallische Torsionsresonatoren

4. Fertigungstechnik

Bei der Entwicklung der Einseitenbandfilter lagen die Erfahrungen über den Entwurf und Bau von mechanischen Drehkörperfiltern vor [1]. Auf Grund der bei diesen Drehkörperfiltern gewonnenen Einsichten war man schon beim Entwurf der Einseitenbandfilter bemüht, eine Form zu finden, die einen einfachen Abgleich der Resonatoren des Filters gestattet. Ziel der Überlegungen war, den Abgleich der Resonatoren am einzelnen, noch nicht eingebauten Resonator vorzunehmen und dann alle weiteren Zusammenbauvorgänge so präzise auszuführen, daß kein Nachgleichen nach dem Zusammenbau nötig wird. In welchem Maße dies gelungen ist, zeigen besonders die Filter vom Typ FE 25 und FE 26 (Bild 7), bei denen die Streuung in der Filterflanke an der Trägerseite auf $\pm$ 10 Hz beschränkt werden kann. Um eine solche Genauigkeit im Endprodukt zu erhalten, muß die Genauigkeit im Abgleich der Resonatoren noch etwas höher sein. Durch abwechselndes Frequenzmessen und fein dosiertes Schleifen am Außenrand einer der Stirnflächen eines Resonators kann der Abgleich auf die Sollfrequenz in kurzer Zeit ausgeführt werden. Für die Fertigung der Filter ist ein halbautomatischer Meß- und Abgleichplatz entwickelt worden, der in Bild 22 gezeigt ist. Die mit üblichen Schleiftoleranzen hergestellten zylindrischen Schwinger werden in einen Speicher eingefüllt, von dem sie einzeln dem kombinierten Meß- und Schleifsystem zugeführt werden. Die Eigenfrequenz des freien Torsionsschwingers wird mit einer Sollfrequenz verglichen und die Differenz beider als Analogwert angezeigt. Mit der Anzeige ist zwangsläufig eine Sortierung und Zählung verbunden, um Ausschußstücke ganz sicher auszuscheiden.

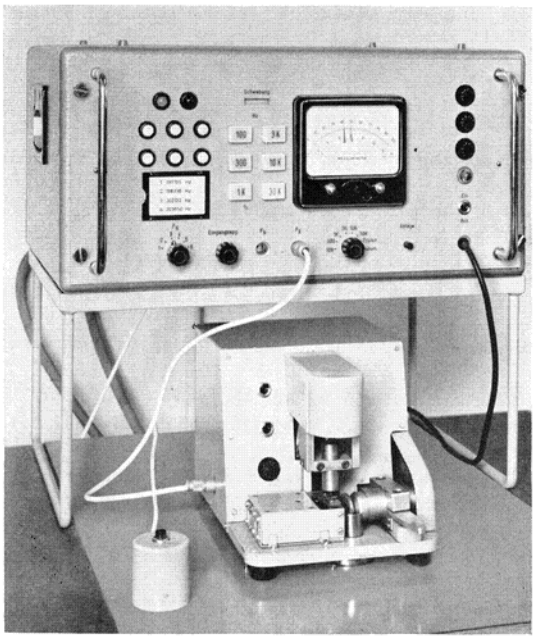


Bild 23: Meß- und Abgleichplatz für Ferritresonatoren

Bild 23 zeigt den Abgleichplatz für die elektromechanischen Ferritwandler. Der geringeren Zahl und auch der Genauigkeit des Abgleichs wegen kann hier der Aufwand beim Abgleich kleiner gehalten werden. Das Prinzip des Abgleichs wurde unverändert von dem der Metallresonatoren übernommen.

Neben diesen Abgleichvorgängen ist besonders auf die Gleichmäßigkeit und Genauigkeit auch der anderen Bauteile, insbesondere der Koppeldrähte, zu achten, die sehr enge Toleranzen im Durchmesser einhalten müssen.

Nach dem Abgleich muß der Zusammenbau der Resonatoren für Filter so genau durchgeführt werden,

daß keine undefinierte Verstimmung der Resonatoren eintreten kann. Das wird mit Schweißlehren großer Genauigkeit erreicht, die es gestatten, den Schwingerabstand im Filter und die Befestigungsstellen der Koppeldrähte sehr genau einzuhalten. Mit diesen Lehren können eine Reihe von Schweißvorgängen automatisch nacheinander durchgeführt werden. Als Stromquelle zum Schweißen werden die im Röhrenbau verwendeten elektronisch gesteuerten Schweißgeneratoren benutzt. Bild 24 zeigt den für die Fertigung entwickelten Schweißautomaten mit eingelegter Schweißlehre.

In weiteren Arbeitsgängen wird der Filterkörper nach dem Schweißen in eine Halterung eingebaut und die Erregerspulen mit dem magnetischen Kreis und den Magneten zur Vormagnetisierung auf Ferritwandler aufgeschoben und mit der Halterung des Filterkörpers verschraubt. Nach dem Zusammenbau dieser Teile, noch vor dem Einlöten in das Gehäuse, wird über eine Änderung der Vormagnetisierung im magnetischen Kreis das Filter auf die angegebenen Abschlußwerte eingestellt.

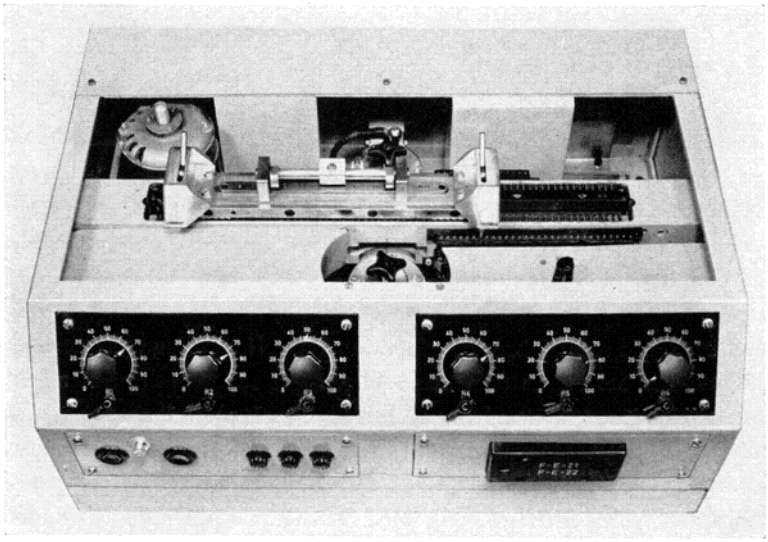


Bild 24: Schweißautomat zum Verschweißen der Koppeldrähte

In der Endkontrolle werden in der in Bild 20 angegebenen Prüfschaltung neben der Welligkeit des Filters und der Durchlaßdämpfung die Dämpfung an allen Eckfrequenzen der Toleranzschemas bei + 20 °C nachgemessen. Die Erfahrungen aus Temperaturversuchen am Material der Resonatoren und an Filtern erlauben es, mit Sicherheit von der Messung bei 20 °C auch auf die Werte bei den entsprechenden Grenztemperaturen zu extrapolieren. Diese Prüfungen werden an allen Filtern vorgenommen. In Stichproben werden die Anpassung in den verschiedenen Schaltungen, der Klirrfaktor, die Gruppenlaufzeit, die Schüttelfestigkeit und die Temperaturabhängigkeit und die Langzeitkonstanzen der Filterdaten kontrolliert.

Für die hier geschilderten Arbeiten gebührt allen weiteren Mitarbeitern der Filterwerkstatt, des Laboratoriums und des Konstruktionsbüros für mechanische Filter und der Werkstatt des Forschungsinstitutes besonderer Dank.

Literatur

[1] *M. Börner, E. Kettel* und *H. Ohnsorge:* Mechanische Filter für die Nachrichtentechnik. Telefunken-Zeitung Jg. 31 (1958) H. 120, S. 112...114.

[2] *M. Börner:* Mechanische Filter für die Trägerfrequenztechnik. Nachrichtentechn. Fachberichte Bd. 19 (1960) S. 34...37.

[3] *H. D. Pieper:* Mechanische Filter. Telefunken-Zeitung Jg. 32 (1959) H. 126, S. 279...283.

[4] *W. P. Mason:* Electro-mechanical transducers and wave filters. D. van Nostrand Comp. Inc., New York, London (1948).

[5] *E. Henze:* Bandfilter vom Tschebyscheffschen Typ mit beliebig vielen Kreisen. Arch. elektr. Übertragung Bd. 9 (1955) H. 3, S. 131...139.

[6] *S. Schweitzerhof:* Über Ferrite für magnetostriktive Schwinger in Filterkreisen. Nachrichtentechn. Z. Jg. 11 (1958) Nr. 4, S. 179...185.

[7] *M. Börner:* Mechanische Filter für die Trägerfrequenztechnik. Nachrichtentechn. Fachberichte Bd. 19 (1960) S. 37.

[8] *M. Börner:* Biegeschwingungen in mechanischen Filtern. Telefunken-Zeitung Jg. 31 (1958) H. 120, S. 115...123 und H. 121, S. 188...196.

[9] *M. Börner:* Mechanische Filter mit Biegekopplung. Arch. elektr. Übertragung Bd. 15 (1961) H. 4, S. 175...180.

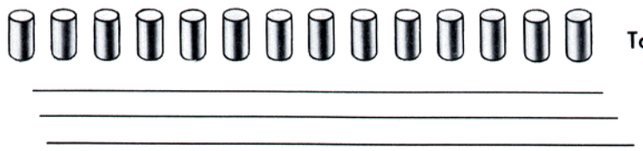
[10] *M. Börner:* Mechanische Filter mit biegegekoppelten Biegeresonatoren und koppelfreie Biegefilter. Arch. elektr. Übertragung Bd. 16 (1962) H. 9, S. 459...464.

[11] *C. Rint:* Handbuch für Hochfrequenz- und Elektro-Techniker. Verlag Radio-, Foto-, Kinotechnik GmbH., Berlin-Borsigwalde (1957) Bd. IV, S. 517...520.

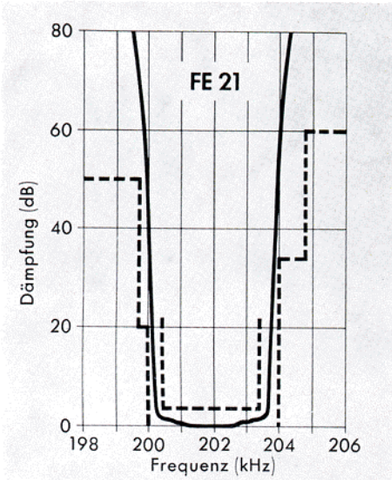
[12] *M. Börner:* Mechanische Filter mit Dämpfungspolen. Arch. elektr. Übertragung Bd. 17 (1963) H. 3, S. 103...107.

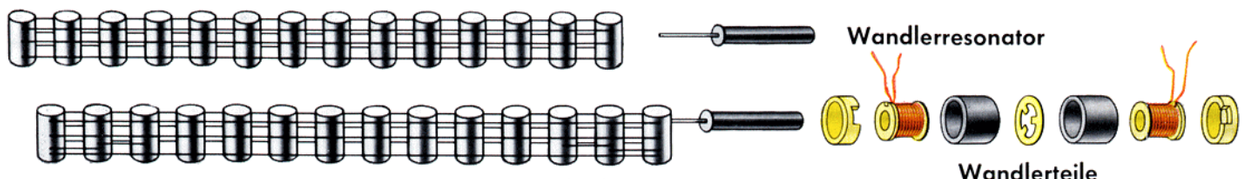
[13] *W. Hänisch* und *E. Kettel:* Experimentelle Untersuchungen an Systemen für die Datenübertragung über Fernsprechkanäle. Telefunken-Zeitung Jg. 36 (1963) H. 3/4, S. 189...199.

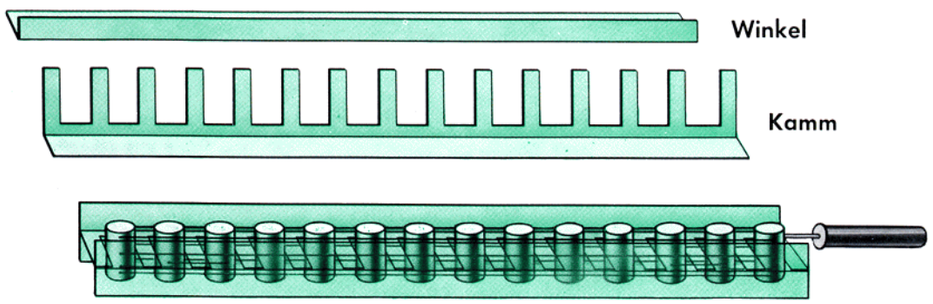
MECHANISCHE FILTER

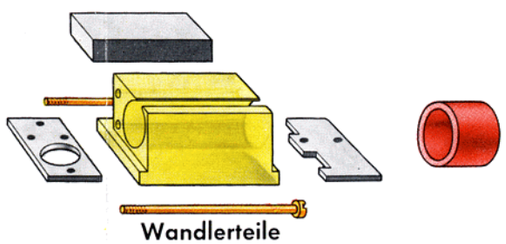


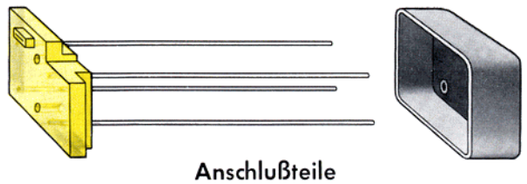
1/2 der Originalgröße

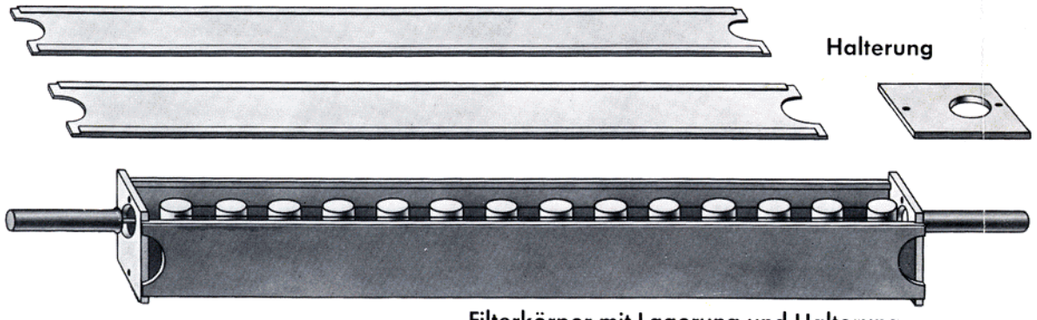




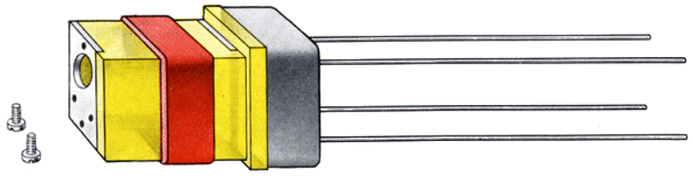


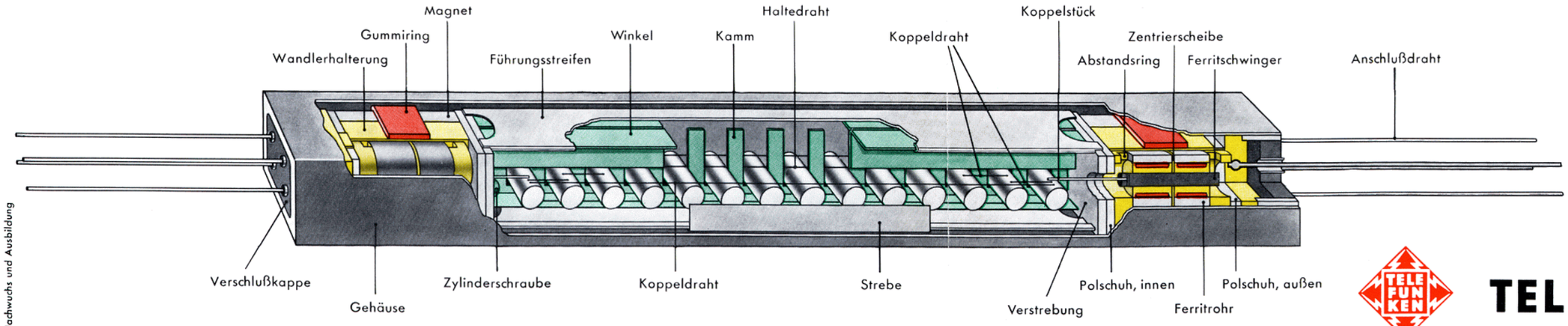






Elektromechanischer Wandler





Mechanisches Einseitenbandfilter FE 21

TELEFUNKEN

Abt. Nachwuchs und Ausbildung