

Mechanische Filter für elektrische Schwingungen

Autor(en): **Aschmoneit, Ernst-Karl**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen**

Band (Jahr): **36 (1963)**

Heft 4

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-563189>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Mechanische Filter für elektrische Schwingungen

de fréquence étant actuellement surchargée, le changement de fréquence n'aura pas un plus grand succès. Afin de supprimer cet effet masque, le choix d'un emplacement bien étudié est déjà nécessaire là où les émissions n'ont pas encore commencé, mais où le récepteur est enclenché.

Si tous les phénomènes que nous venons d'examiner influencent très fortement le choix de l'emplacement de stations, il faut également tenir compte qu'un emplacement libre et surélevé permettant une liaison optique ne peut pas être occupé en même temps qu'un emplacement à couvert. Et, en plus, la station radio devrait se trouver à l'emplacement du PC.

Dans ces conditions, il faut énormément d'exercice et surtout beaucoup d'expérience pour choisir l'emplacement le meilleur.

L'importance de l'emplacement approprié des stations et des antennes ne peut guère être surestimé. Si ces faits ne sont pas admis par le commandant et le soldat télégraphiste ou si les phénomènes examinés ne sont pas assez connus du personnel de transmission, le bon fonctionnement de la liaison radio sera constamment mis en question.

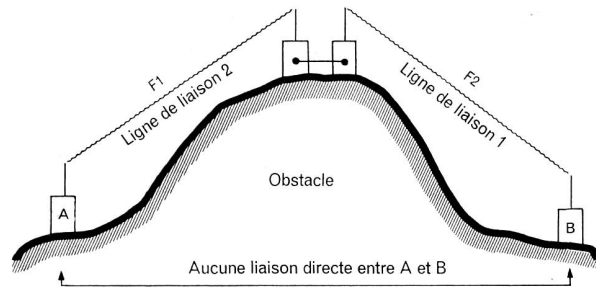


Fig. 6: Service de relais

Le choix de l'emplacement des stations est encore plus important pour le réseau de commandement que pour les liaisons d'un point à un autre. Le réseau de commandement comprend des stations qui se déplacent avec le commandant dans son secteur et dont la disposition entre elles est continuellement modifiée. Les officiers de transmission examineront à temps les possibilités de liaison et feront le nécessaire afin que les liaisons radio ne soient pas seulement possible entre les PC fixes et les PC de campagne, mais avant tout lorsque le commandant se déplace à l'extrémité de son secteur. La mise en action de stations de relais ou de transit pour les cas dans lesquels la liaison prévue n'est pas possible ou du moins semble difficile est un des premiers principes des officiers de transmission (fig. 5).

Le déploiement d'un réseau de transmission, le service et l'entretien du mécanisme de commandement, le choix approprié des installations techniques de transmission, la mise en service à temps des moyens de transmission appropriés, exigent une connaissance précoce des besoins du commandant, et cette tâche ne sera remise qu'à un organe qui connaît à fond les intentions tactiques et qui a bien en main les moyens de transmission. Ce qui importe c'est d'adaptation continue des moyens de transmission au développement de la situation, une bonne conception du déroulement des opérations afin d'assurer aux commandants la transmission de leurs ordres.

Adj. Gasser

Viele elektrische Geräte enthalten als unerlässliche Bauelemente einen oder mehrere Schwingkreise. Ob es gilt, eine beliebige Frequenz zu erzeugen, selektiv zu verstärken, aus einem Frequenzgemisch herauszusieben, zu vervielfachen oder zu teilen — fast immer sind Schwingkreise als frequenzbestimmende Glieder daran beteiligt.

Elektrische Schwingkreise bestehen vorwiegend aus einer Spule mit der Induktivität L und einem Kondensator mit der Kapazität C . Die Grösse von L und C ist für die Resonanzfrequenz des Schwingkreises massgebend. Fig. 1a veranschaulicht die ideale Charakteristik von Schwingkreisen; danach wird ein in der Breite begrenzt wählbares Frequenzband nahezu verlustlos aus dem gesamten Frequenzspektrum herausgetrennt, während die Dämpfung für alle Frequenzen ausserhalb dieses Bandes sehr hoch ist. Selbst mit den besten verfügbaren Bauelementen kann man jedoch nur eine Dämpfungskurve realisieren, die etwa Fig. 1b entspricht. Da die «Güte» eines solchen Schwingkreises demnach zu niedrig liegt, um eng benachbarte Frequenzbänder sauber zu trennen, benutzt man in vielen Geräten mehrere, auf verschiedene Stufen verteilte Kreise. Durch Summieren der Siebwirkung aller Einzelkreise entsteht dann eine Kurve, die sich dem idealen Verlauf besser annähert (Fig. 1c). Zur Erfüllung extremer Forderungen, wie sie u. a. in der Trägerfrequenztechnik hinsichtlich grosser Flankensteilheit und minimaler bzw. maximaler Dämpfungswerte im Durchlass- und Sperrbereich vorliegen, werden Filter aus einer Vielfalt von Serien- und Parallel-Schwingkreisen zusammengesetzt.

Schon lange ist bekannt, dass mechanische Schwingkörper eine 10- bis 100fach höhere Güte besitzen als der beste L/C -Kreis. Mechanische Resonatoren setzen aber das Umwandeln der elektrischen in mechanische Schwingungen und umgekehrt voraus. Da der piezoelektrische Effekt diese Umwandlung auf einfache Weise erlaubt, waren es folgerichtig Kristalle, vorzugsweise Quarze, die zuerst als mechanische Resonatoren Eingang in die Filtertechnik fanden. Das an den Quarz angelegte elektrische Signal bewirkt unmittelbar eine Längen- oder Dickenänderung, die ihrerseits wieder elektrische Potentiale an den Quarz-Aussenflächen auftreten lässt. Zwar ist es grundsätzlich möglich, auch nichtkristalline mechanische Resonatoren durch piezoelektrische oder elektrodynamische (Lautsprecherprinzip!) Wandler zum Schwingen

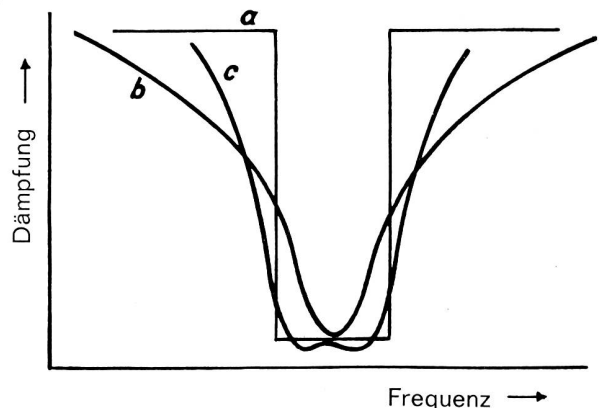


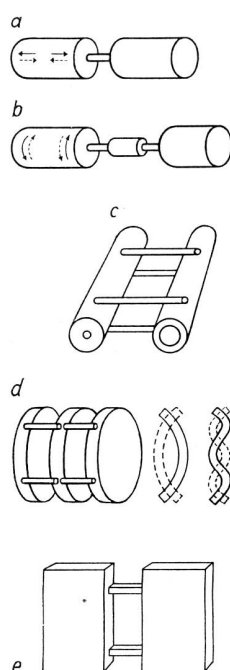
Fig. 1. Dämpfungskurven (a) eines idealen Filters, (b) eines üblichen Schwingkreises und (c) einer Schwingkreiskombination.

anzuregen, doch erwies sich allein der magnetostruktive Effekt als geeignet, ausreichend grosse innere Kräfte zu erzeugen und eine starke elektromechanische Verkopplung der Filterelemente zu gewährleisten. Die Entwicklung von Werkstoffen mit ausgeprägter Magnetostraktion war deshalb auch die Voraussetzung für mechanische Filter mit hervorragenden Eigenschaften: kleine Abmessungen, geringe Verluste, hohe Stabilität über lange Zeiträume und weite Temperaturbereiche, grosse Robustheit sowie niedrigere Kosten als bei Quarz- und mehrkreisigen L/C-Filtern.

In jedem mechanischen Filter befinden sich je ein elektromechanischer Wandler im Ein- und im Ausgang sowie der eigentliche Schwingkörper, der wiederum meist aus mehreren Resonatoren und den dazwischen angeordneten Koppelstegen besteht. Der Eingangswandler setzt Strom und Spannung (also die zugeführte elektrische Leistung) in Kraft und Geschwindigkeit (also die mechanische Leistung) um. Sein mechanischer Teil ist mit dem Schwingkörper gekoppelt, der im Resonanzfall mitschwingt und dabei die mechanische Energie auf den Ausgangswandler überträgt. Dieser leitet aus den mechanischen wieder elektrische Schwingungen ab.

Demnach führen die Resonatoren und die Koppelstege des Schwingkörpers sowie die mechanischen Teile der Wandler mechanische Schwingungen aus. Das können Biege- (bzw. Flexions-), Längs- (bzw. Longitudinal-) oder Dreh- (bzw. Torsions-) Schwingungen sein. Diese Schwingungsformen haben unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten. Da Frequenz f und Wellenlänge λ einer Schwingung über die Ausbreitungsgeschwindigkeit v miteinander verknüpft sind ($\lambda = v/f$), gehört zu einer Frequenz bei den einzelnen Schwingungsformen auch jeweils eine andere Wellenlänge. Schliesslich beeinflussen die verschiedenen Schwingungsformen noch das Koppelverhältnis zwischen den Filterelementen; dieses Verhältnis ist massgebend für die erzielbare Bandbreite. Nun bestimmen aber die Wellenlängen der Resonanzfrequenz und das Koppelverhältnis Grösse und Gewicht der schwingenden Körper und damit auch des gesamten Filters. Resonatoren müssen genau $\lambda/2$, Koppelstege annähernd $\lambda/4$ lang sein. Diesen Abmessungen sind nach unten durch die beherrschbaren Fertigungstoleranzen, nach oben durch die angestrebte Miniaturisierung Grenzen gezogen. Aus diesen Zusammenhängen ergibt sich die geeignetste Schwingungsform meist zwangsläufig.

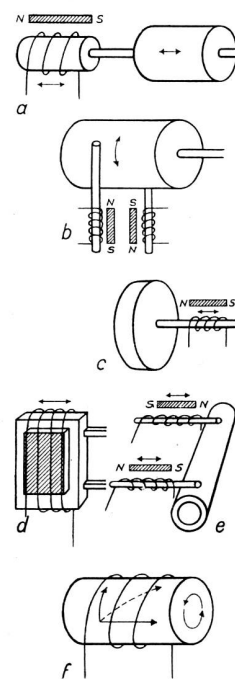
Am langsamsten breiten sich Biegeschwingungen aus, die deshalb auch nur in Filtern für niedrige Frequenzen (< 20 kHz) verwendet werden, weil die Resonatoren bei höheren Frequenzen untragbar grosse Abmessungen annehmen würden. Die grösste Ausbreitungsgeschwindigkeit zeigen Längsschwingungen, doch wächst der Koppelfaktor nur mit dem Quadrat des Durchmesserverhältnisses von Resonatoren und Koppelstegen. Das für die oft geforderten Bandbreiten notwendige Verhältnis lässt sich wegen zu grosser Werte nur selten verwirklichen. Aus diesem Grunde bevorzugt man Torsionsschwingungen, bei denen der Koppelfaktor mit der 4. Potenz des Durchmessers zunimmt, was schnell zu grossen Werten führt. Die etwas geringere Ausbreitungsgeschwindigkeit ist dabei nur ein kleiner Nachteil. Um eine Grössenvorstellung zu geben: Mit $v = 2,8 \cdot 10^5$ cm/s für Torsionsschwingungen beträgt die Länge eines Resonators für 250 kHz rund 5,6 mm.



Die gebräuchlichsten Ausführungsformen von Schwingkörpern sind in Fig. 2 dargestellt. Während die Koppelstege überwiegend aus dünnen Stäben bzw. Drähten bestehen, haben die Resonatoren Zylinder-, Scheiben-, Platten- oder Rohrformen. Gegenüber einfachen $\lambda/4$ -Koppelstücken kann man auch für schmalbandige Filter $3\lambda/4$ -Stücke mit unterschiedlichem Durchmesser verwenden (Fig. 2b). Die eingezeichneten Pfeile deuten die Bewegungsrichtung bei Längs- (Fig. 2a) und Torsionsschwingungen (Fig. 2b) an. Als Biegeschwinger kommen hauptsächlich Scheiben (Fig. 2d) mit einfacher oder doppelter Durchbiegung (< 200 kHz oder 200–600 kHz) in Betracht, als Längsschwinger Zylinder

Fig. 2. Ausführungsformen von Schwingkörpern.

und Platten sowie als Torsionsschwinger Zylinder und Röhrchen. Durch unterschiedliche Durchmesser und Resonatoren untereinander und der Koppelstücke bei Zylindern, durch voneinander abweichende Innendurchmesser und Ansatzpunkte der Koppelstege bei Röhrchen usw. gelingt es, unerwünschte Schwingungsmodi — also die einer guten Durchlasskurve abträglichen Nebenresonanzen — zu unterdrücken.



Der Aufbau von Wandlern entspricht dem eines Elektromagneten, dessen Spulenkern jedoch aus einem stark magnetostruktiven Werkstoff besteht (Fig. 3). Wenn durch die Spule ein elektrischer Strom fliesst, dann ändert der Kern seine Länge, und zwar unabhängig von der Polarität des entstehenden Magnetfeldes. Ein Wechselstrom wird also mit jeder Periode zwei Längsschwingungen des Kernes erzeugen. Um diese Frequenzverdopplung zu vermeiden, legt man dem Wandler einen Permanentmagneten parallel, so dass der durch die Spule fließende Wechselstrom kein Wechsel-, sondern ein pulsierendes Gleichfeld zur Folge hat. Durch entsprechende Bemessung dieses

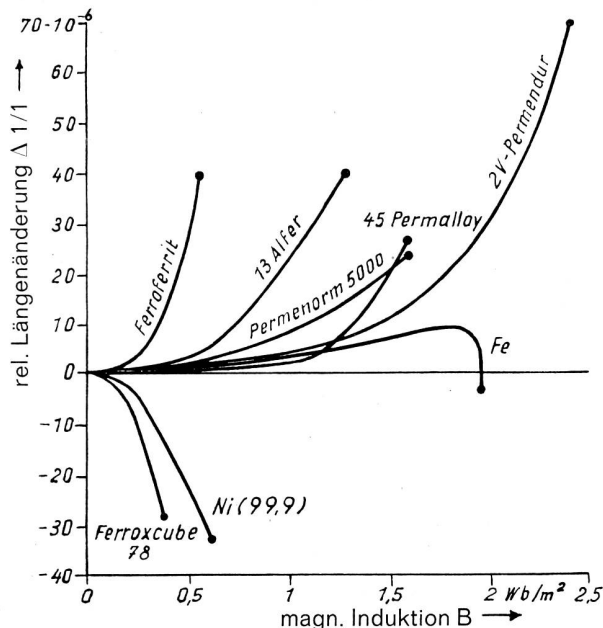
Fig. 3. Aufbau verschiedener Typen von magnetostruktiven Wandlern.

Magneten hat man auch die Möglichkeit, den günstigsten Arbeitspunkt auf der Magnetostruktions-Kennlinie einzustellen. Die Längenänderungen stossen Zylinder (Fig. 3a) oder Platten (Fig. 3d) zu Längs-, Scheiben (Fig. 3c) zu Biege- bzw. bei tangentialem Angriff im Gegentrakt Zylinder (Fig. 3b) oder Röhrchen (Fig. 3c) zu Torsionsschwingungen an. Ein zirkular vormagnetisierter Wandlerkern kann sogar direkt Torsionsschwingungen erzeugen, weil das axial ausgerichtete Magnetfeld der Spule und das feste Zirkularfeld aufeinander senkrecht stehen und gemeinsam eine Verwindung des Kerns, also eine Torsionsbewegung, hervorrufen (Fig. 3f).

Um die hohe Güte der Resonatoren nicht zu beeinträchtigen, ist der Lagerung des Schwingkörpers besondere Sorgfalt zu widmen. Damit die Resonatoren frei hängen und unbehindert schwingen können, werden nur die Koppelstege gelagert, und zwar entweder einige Zwischenstücke auf Spitzen bzw. Kugeln (kleine Berührungsflächen) oder zwei Endstücke in Klammern. Bei langgestreckten Schwingkörpern der Form Fig. 2a oder b hat es sich als zweckmässig erwiesen, in der Mitte eine zur Achse senkrecht stehende durchbohrte Wand anzuordnen, die stärkere seitliche Auslenkungen bei Stößen oder heftigen Beschleunigungen auffängt.

Werkstoffe

Der Werkstoff für den Wandlerkern soll möglichst stark magnetostruktiv sein. Von allen Metallen zeigt Nickel die grösste Magnetostruktion (die relative Längenänderung $\epsilon = \Delta l/l$ beträgt maximal $-33 \cdot 10^{-6}$); deshalb sind in vielen Wandlern für mechanische Filter Nickeldrähte oder -stäbe zu finden. Neuerdings verwendet man auch Nickel- und Kobaltlegierungen (Handelsnamen z. B. 45-Permalloy, Permendur) sowie verschiedene Ferrite (Handelsnamen z. B. Ferroxcube), deren Magnetostruktionswerte aus Fig. 4 zu ersehen sind. Bei besonderer Behandlung bestimmter magnetisch harter Ferrite (z. B.



113 Fig. 4. Magnetostruktion verschiedener Werkstoffe.

während der Herstellung Abkühlen unter Anlegen eines starken Magnetfeldes) lassen sich sogar ϵ -Werte von 10^{-4} und darüber erreichen.

Die wichtigste der von Werkstoffen für Schwingkörper, insbesondere für Resonatoren, geforderten Eigenschaften ist ein in weitem Bereich möglichst temperaturunabhängiger Elastizitätsmodul, also ein Temperaturkoeffizient $TK \approx 0$. Derartige Werkstoffe werden unter der Bezeichnung Thermalast 4009 und Thermalast 5409 (Vacuumschmelze, Hanau) sowie Ni-Span C (H. A. Wilson, Union, New Jersey) angeboten.

Thermalast 4009 ist eine etwa 40 % Nickel enthaltende Nickel-Eisen-Legierung mit 9 % Molybdänzusatz. Der Temperaturkoeffizient hängt von der Bearbeitung des Werkstoffs ab und lässt sich durch die Endbehandlung in gewissen Gren-

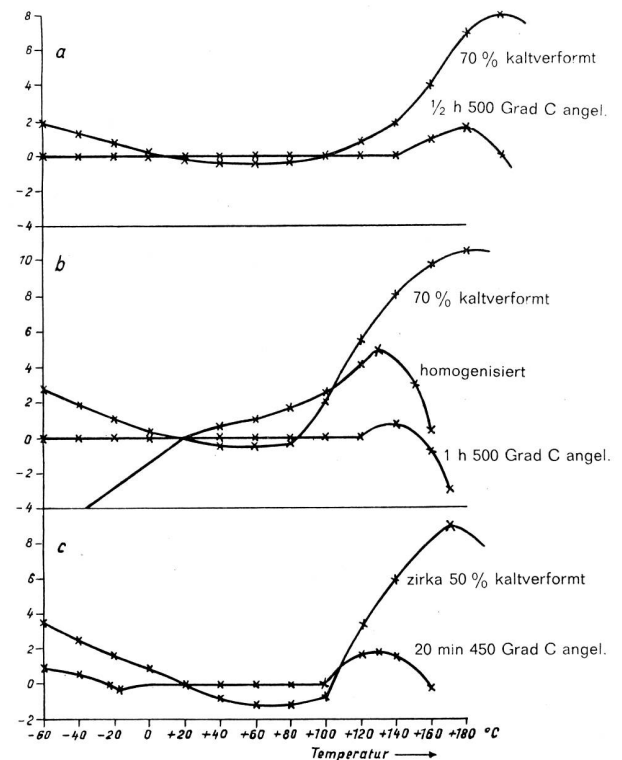


Fig. 5. Temperaturgang des Elastizitätsmoduls bei (a) Thermalast 4009, (b) Thermalast 5409, (c) Ni-Span C.

zen auf einen gewünschten Wert einstellen. Fig. 5a zeigt den Temperaturgang des E-Moduls für den kaltverformten und für den angelassenen Zustand. Im letzteren Fall bleibt der Temperaturkoeffizient über den Bereich $-60 \dots +140$ °C praktisch Null. Aufgetragen ist die auf Raumtemperatur bezogene relative Änderung des E-Moduls. Da dieser Werkstoff mit einer Vickershärte von $130 \dots 300$ kp/mm² stärkeren mechanischen Beanspruchungen nicht genügt, entwickelte die Vacuumschmelze zusätzlich Thermalast 5409. Gegenüber Thermalast 4009 entstand durch Zugabe von etwas Beryllium eine aushärtbare Legierung, die nach der Wärmeschlussbehandlung nicht nur einen ähnlichen Temperaturgang (Fig. 5b), sondern auch eine grössere Härte ($320 \dots 400$ kp/mm²) aufweist.

Mit 42 % hat Ni-Span C einen etwas höheren Nickelanteil; daneben enthält diese Nickel-Eisen-Legierung statt Molybdän und Beryllium zusammen etwa 7,5 % Chrom und Titan, ausserdem je 0,4 % Mangan, Silizium und Aluminium sowie Spuren von Schwefel und Phosphor (je $< 0,04\%$), aber auch Kohlenstoff (0,03 %). Nach deutschen Untersuchungen erstreckt sich die Temperaturkonstanz auf den Bereich 0... +100 °C (Fig. 5c), während der Hersteller für den Bereich -45...+65 °C eine E-Modul-Anderung von 0,1 % angibt. Die Härte von Ni-Span C beträgt, je nach Bearbeitung, 125...395 Brinell-Einheiten.

Bei geringeren Ansprüchen an die Temperaturkonstanz (etwa dann, wenn die Filter in ohnehin klimatisierten Räumen eingesetzt werden) kann man auch handelsübliche, oft nickelhaltige Stähle als Werkstoffe für die Schwingkörper verwenden. Ihr Temperaturkoeffizient liegt in der Grössenordnung von $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$; mit Spezialstählen kann man sogar den Wert $5 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ erreichen, der sich mit L/C-Schwingkreisen kaum realisieren lässt.

Bei Röhren-, Scheiben- und Plattenschwingern schweisst man Resonatoren, Koppelstege und Wandlerkerne aneinander. Sie können also aus unterschiedlichen Werkstoffen bestehen. Zylindrische Schwingler erlauben es jedoch, den Schwingkörper aus einem Stück herauszudrehen. Will man dabei auch die Wandlerkerne aus dem gleichen Stück gewinnen, dann muss der für den Schwingkörper unter dem Gesichtspunkt grosser Temperaturkonstanz ausgesuchte Werkstoff ausreichend magnetostruktiv sein. Aus Fig. 6, das die Magnetostruktion als Funktion des Nickelgehaltes einer Nickel-Eisen-Legierung nachweist, geht hervor, dass die Werkstoffe Thermoelast und Ni-Span C infolge ihres Nickelgehaltes von 40 bzw. 42 % relative Längenänderungen ε von $> +20 \cdot 10^{-6}$ erwarten lassen. Mit diesem Wert kommt man in vielen Fällen aus.

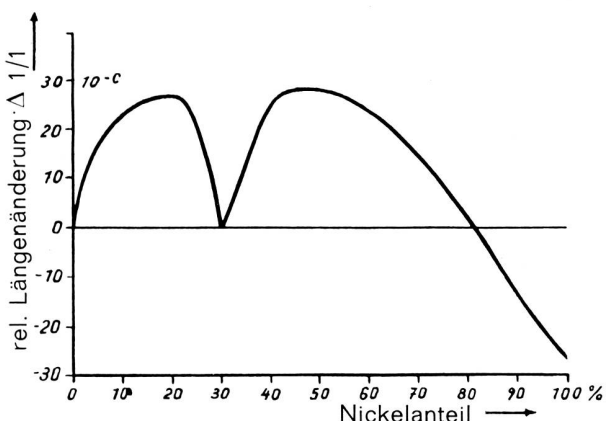


Fig. 6. Abhängigkeit der Magnetostruktion vom Nickelgehalt einer Nickel-Eisen-Legierung.

Aufbau und Einsatz mechanischer Filter

Den Aufbau eines mechanischen Filters mit zylindrischen Schwingern veranschaulichen die Figuren 8 und 9. In der Achse des als Gehäuse dienenden Rohres hängt — nur von Distanzdrähten gehalten — der Schwingkörper. Er besteht aus fünf Resonatoren (drei mit grossem, zwei mit kleinerem

Durchmesser) und sechs Koppelstegen, die aus einem Stück gedreht sind. An den beiden Enden befinden sich die mit den äusseren Koppelstegen verschweissten Wandlerkerne aus Ferrit. Die axial angesetzten Permanentmagnete liegen in Einstellschrauben, mit denen man das Filter vor dem Verschliessen des Gehäuses auf den günstigsten Arbeitspunkt abgleichen kann. In das evakuierte Gehäuse wird trockene Luft mit Unterdruck gegenüber der Atmosphäre gefüllt.

Das abgebildete Filter ist breitbeinig, da der Schwingkörper zwischen je zwei Resonatoren stets nur einen $\lambda/4$ -Koppelsteg besitzt. Bei einer Mittenfrequenz von 473 kHz beträgt die Bandbreite etwa 36 kHz (Fig. 7). Ein ähnlich aufgebautes Fil-

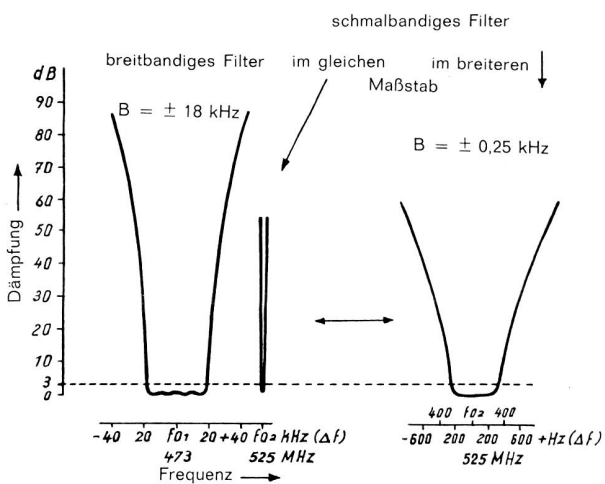
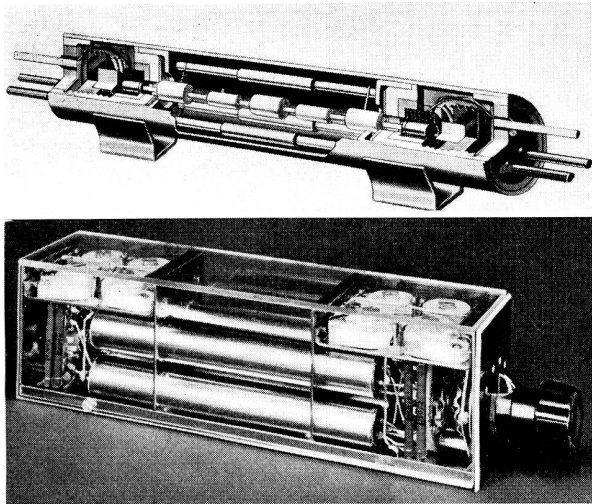


Fig. 7. Dämpfungskurven eines breit- und eines schmalbandigen mechanischen Filters; daneben die Kurve des schmalbandigen Filters mit auseinandergezogenen Frequenz-Massstab.

ter mit schmalbandigem Schwingkörper, der jeweils drei $\lambda/4$ -Koppelstege zwischen zwei Resonatoren aufweist, ergibt bei einer Mittenfrequenz von 525 kHz beispielsweise nur 0,5 kHz Bandbreite. Der Deutlichkeit halber ist die entsprechende Kurve in Fig. 7 noch einmal mit auseinandergezogenem Massstab gezeichnet. Fig. 10 gestattet einen Vergleich zwischen den beschriebenen Schwingkörpern des breit- und schmalbandigen Filters.

Die mechanischen Filter haben kleine Abmessungen. Das Gehäuse des Breitbandfilters ist 72 mm, das des Schmalbandfilters 106 bzw. 117 mm lang, jeweils bei einem Durchmesser von 15 mm; sie wiegen 35...50 g. Selbst eine Kombination von vier Filtern mit gleicher Mittenfrequenz, aber unterschiedlicher Bandbreite (Fig. 8 und 9) beansprucht nur einen geringen Raum.

Während L/C- und Quarzfilter möglichst im Leerlauf — also nur mit sehr hohen Widerständen belastet — arbeiten sollen, verlangen mechanische Filter einen verhältnismässig niedrigen Abschlusswiderstand, den man durch entsprechende Dimensionierung des Wandlers bis zu Werten von etwa 100 k Ω beliebig festlegen kann. (Die in den Fig. 8 und 9 gezeigten Filter sind beispielsweise für Ein- und Ausgangswiderstände von 60 Ω , 500 Ω und 18 Ω ausgelegt.) Mechanische Filter las-



Werkphotos Telefunken

Figuren 8 und 9: Perspektivische Schnittdarstellung eines mechanischen Filters (oben); aus vier mechanischen Filtern zusammengesetzter Satz mit umschaltbarer Bandbreite (unten).

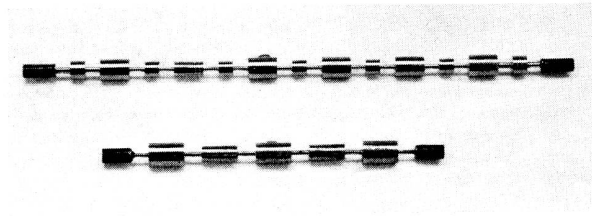


Fig. 10. Schwingkörper des breitbandigen (unten) und des schmalbandigen Filters (oben).

sen sich deshalb gut an die niedrigen Impedanzen von Transistoren anpassen. Ausserdem ermöglichen sie es, die gesamte für ein Gerät geforderte Selektion in einer einzigen Stufe ohne zwischengeschaltete Verstärkung zu konzentrieren. Mechanische Filter haben ihre Bewährungsprobe bereits in zahlreichen Geräten der Nachrichtentechnik bestanden. Die grossen Vorteile gegenüber herkömmlichen Filterarten lassen einen wachsenden Bedarf erwarten.

Ernst-Karl Aschmoneit

Schrifttumsverzeichnis

1. Vakuumschmelze AG: Firmenblatt F 001: Thermelast 4009; vorläufiges Firmenblatt V-F 2: Thermelast 5409.
2. H. A. Wilson Div.: Wilco Ni-Span C Constant Modulus Alloy.
3. Telefunken GmbH: Broschüre und Datenblatt: Mechanische Filter.
4. Bloch, H.: Das Magnetostruktionselement und seine Verwendung in Oszillatoren und Filtern. BBC-Mitt. 42 (1955) S. 292—97.
5. Hathaway, J. C., u. Babcock, D. F.: Survey of Mechanical Filters and their Applications. Proc. Inst. Radio Eng. 7 (1957) Nr. 1 S. 5—16.
6. Schweizerhof, S.: Über Ferrite für magnetostruktive Schwingen in Filterkreisen. NTZ 11(1958) Nr. 4 S. 179—85.
7. Börner, M., Kettel, E. u. Ohnsorge, H.: Mechanische Filter für die Nachrichtentechnik. Telefunken-Z. 31 (1958) Nr. 120 S. 105 bis 114.
8. Poschenrieder, W.: Physik und Technik der elektromechanischen Wellenfilter. Frequenz 12 (1958) Nr. 8 S. 246—55.
9. Thiele, A. P.: Narrow-band Magnetostrictive Filters. Electron. & Radio Eng. 35 (1958) Nr. 11 S. 402—11.
10. Grisdale, G. L.: Electro-mechanical Filters for Use in Telecommunication Equipment. Brit. Commun. & Electronics 6 (1959) S. 768—72.
11. Pieper, H. D.: Mechanische Filter. Telefunken-Z. 32 (1959) Nr. 126 S. 279—83.
12. Börner, M., u. Ohnsorge, H.: Mechanische Filter. Funkschau 31 (1959) Nr. 14 S. 337 bis 338.
13. Thiele, A. P.: Circuit Design Using Magnetostrictive Filters. Electronics 32 (1959) Nr. 25 S. 72—74.
14. Bache, H.: A Practical Electro-mechanical Filter. Marconi Rev. 22 (1959) Nr. 134 S. 144—53.
15. Pieper, H. D.: Mechanische Filter. Funk-Techn. 15(1960) Nr. 11 S. 409—12.
16. Kurth, C.: Magnetostruktive Wandler als selektive Vierpole. Frequenz 14 (1960) Nr. 8 S. 272—88.
17. Taeger, W.: Mechanische Filter für die Nachrichtentechnik. Frequenz 14 (1960) Nr. 9 S. 321—23.