Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 32 (1954)

Heft: 4

Artikel: Ein Tonfrequenzfilter mit stetig einstellbarer Dämpfungscharakterisitk

Autor: Spälti, Alfred

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874469

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: 09.12.2025

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

Nº 4 - BERN, 1. IV. 1954 - JAHRGANG - ANNÉE - ANNO XXXII

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Ein Tonfrequenzfilter mit stetig einstellbarer Dämpfungscharakteristik

Von *Alfred Spälti*, Zürich

621.372.54
621.392.52

Zusammenfassung. *Das hier beschriebene regelbare Tonfrequenzfilter (85...7000 Hz) dient unter anderem dazu, die optimale Dämpfungscharakteristik von Entzerrerschaltungen zu bestimmen (Lautsprecheranlagen, Rundfunkgeräte), oder besondere akustische Effekte bei Radiosendungen zu erzielen. Es besteht aus zwei Filtersätzen mit je 24 Teilfiltern. Die durch jedes einzelne Teilfilter hervorgerufene Dämpfung kann stetig geregelt werden, so dass praktisch alle gewünschten Dämpfungscharakteristiken eingestellt werden können.*

Résumé. *Le filtre à fréquence musicale (85...7000 Hz), décrit ici, peut servir, entre autres, à déterminer la courbe de fréquence optimale de quadripôles correcteurs (installations de haut-parleurs, appareils de radio) ou à produire des effets spéciaux dans les émissions de radio. Il se compose de deux groupes de 24 filtres partiels chacun. L'amortissement produit par chacun de ces filtres partiels peut être réglé individuellement et de façon continue. Il est ainsi possible d'obtenir pratiquement toutes les courbes d'amortissement que l'on pourrait désirer.*

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Bei Lautsprecheranlagen in akustisch ungünstigen Räumen werden oft mit Erfolg Entzerrervierpole in den Verstärkerkanal eingefügt, welche die linearen Verzerrungen kompensieren, Frequenzbänder mit besonders ausgeprägten Raumresonanzen unterdrükken und damit ganz generell den Zweck erfüllen, die Verständlichkeit zu erhöhen. Die empirische Ermittlung der Dämpfungscharakteristik solcher Vierpole für optimale Verständlichkeit bereitet jedoch meist beträchtliche Schwierigkeiten, da es bisher kein Gerät gab, mit dem der Frequenzgang beliebig verändert werden kann. Höhen- und Tiefenregler von Verstärkern sowie Oktavfilter bieten eine nur ganz ungenügende Variationsmöglichkeit.

Diese Lücke soll das Tonfrequenzfilter mit einstellbarer Dämpfungscharakteristik der Firma Albiswerk Zürich AG. ausfüllen, das im wesentlichen einen Vierpol darstellt, bei welchem das Übertragungsmass für eine Vielzahl von schmalen, sich aneinander anschliessenden Frequenzbändern einzeln regelbar ist. Die Regelorgane der einzelnen Bandfilter sind dabei zweckmässigerweise in der Ebene eines Koordinatensystems mit der Frequenz als Abszisse und der Dämpfung als Ordinate angeordnet, so dass die Reglerstellungen in ihrer Gesamtheit den resultierenden Frequenzgang in der geläufigen graphischen Darstellung näherungsweise angeben.

Mit dem in Figur 1 dargestellten Gerät ergaben sich bald eine ganze Reihe weiterer Anwendungsgebiete. Die empirische Ermittlung des optimalen Frequenzganges wurde auch auf Radiogeräte und Wechselsprechanlagen ausgedehnt. In Radiostudios können damit bei Hörspielen besondere akustische Effekte erzielt werden, wie zum Beispiel die Nachbildung eines Telephongespräches oder die Wiedergabe eines Reisegrammophons, und bei Mitverwendung des Hallraumes lassen sich die verschiedenartigsten Echos

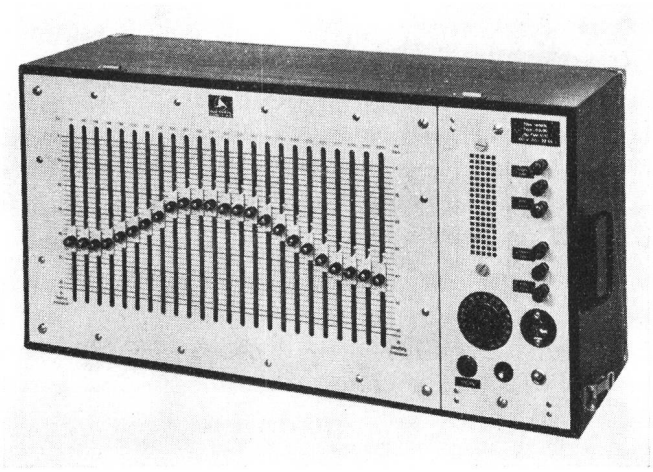

Fig. 1. Ansicht des einstellbaren Filters

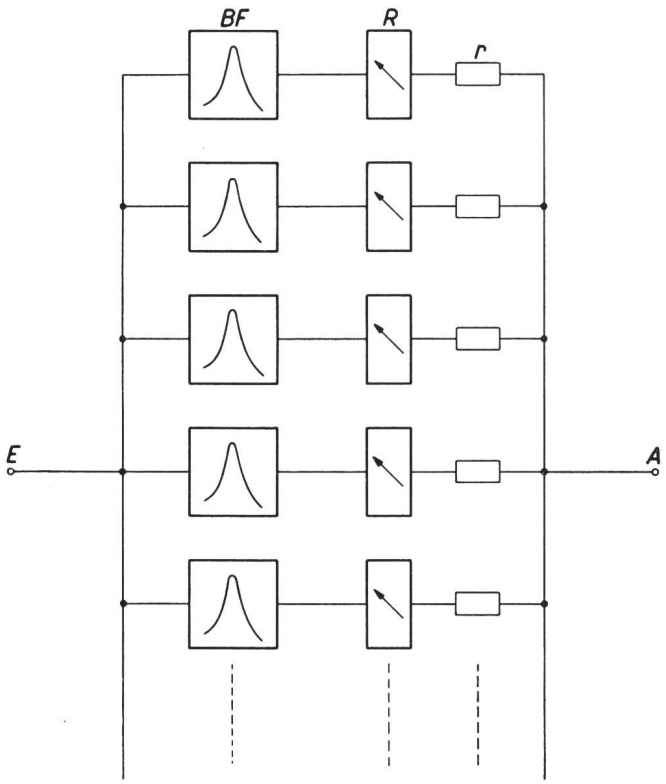

Fig. 2. Grundsätzliche Schaltung eines einstellbaren Filters
E Eingang
A Ausgang
BF Bandfilter
R Regler
r Entkopplungswiderstand

imitieren. Auch wurde das Gerät schon mit Erfolg für Untersuchungen an der menschlichen Stimme verwendet; ausserdem findet es als Hoch-, Tief- und Bandpass mit einstellbarer Grenz- bzw. Mittelfrequenz ganz generell im Labor des Nachrichtentechnikers Verwendung.

2. Die prinzipiellen Probleme

Der Grundgedanke eines veränderlichen Filters liegt nach Figur 2 darin, dass man eine Vielzahl von schmalen Bandfiltern, die sich mit ihren Grenzfrequenzen gerade berühren, eingangsseitig direkt und ausgangsseitig nach Zwischenschaltung eines einstellbaren Dämpfungsgliedes parallel schaltet. Dabei lässt sich mit genügend hohen Entkopplungswiderständen stets ein praktisch rein ohmscher und konstanter Abschlusswiderstand für die Teilfilter erreichen, und die resultierende Ausgangsspannung wird proportional der vektoriellen Summe der Teilfilter-Ausgangsspannungen.

Der Wunsch, dass die Reglerstellungen in ihrer Gesamtheit den Frequenzgang näherungsweise darstellen, heisst nun beispielsweise, dass bei gleicher Dämpfung sämtlicher Regler der Frequenzgang gerade sein soll. Die nähere Untersuchung zeigt, dass gerade bei Verwendung mehrkreisiger Teilfilter mit hoher Flankensteilheit und konstanter Dämpfung im Durchlassbereich ein wesentlich unausgeglichenerer Frequenzgang resultiert als bei sehr einfachen Filtern. Die Ursache liegt darin, dass die Phase des vektoriellen Übertragungsmasses U_E/U_A im Durchlassbereich mehrkreisiger Filter um ein Mehrfaches von π ändert, während beim einfachsten Bandfilter, dem Schwingungskreis, diese Änderung nur zwischen $-\frac{\pi}{2}$ und $+\frac{\pi}{2}$ verläuft (Fig. 3).

Bei einer Anordnung gemäss Figur 2 ergeben sich nun bei Verwendung von einfachen Schwingkreisen als Teilfilter nach Figur 4 und einheitlichen Reglerdämpfungen etwa folgende Verhältnisse:

Wir nehmen an, die einzelnen Bandfilter seien in der Reihenfolge ihrer Mittelfrequenzen mit den Ordnungszahlen 1...n numeriert und das Verhältnis zweier aufeinanderfolgender Mittelfrequenzen sei konstant

$$\frac{f_m}{f_{m-1}} = \alpha.$$

Dann wird das Gesamtübertragungsmass bei der Mittelfrequenz f_m

$$k\,\frac{U_{Am}}{U_E} = \frac{1}{1 - j\,Q\left(\frac{1}{\alpha^m} - \alpha^m\right)} + \frac{1}{1 - j\,Q\left(\frac{1}{\alpha^{m-1}} - \alpha^{m-1}\right)} + \ldots$$

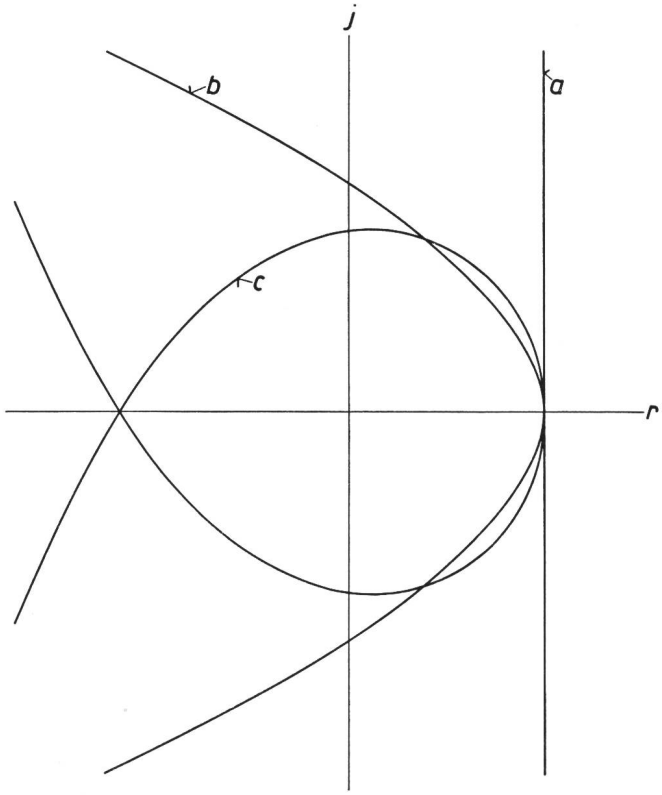

Fig. 3. Übertragungsmass von Bandfiltern
a einkreisig
b zweikreisig
c dreikreisig

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{1}{1 - jQ\left(\frac{1}{\Omega} - \Omega\right)}$$

$$Q = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R} \qquad \Omega = \frac{\omega}{\omega_0} \qquad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

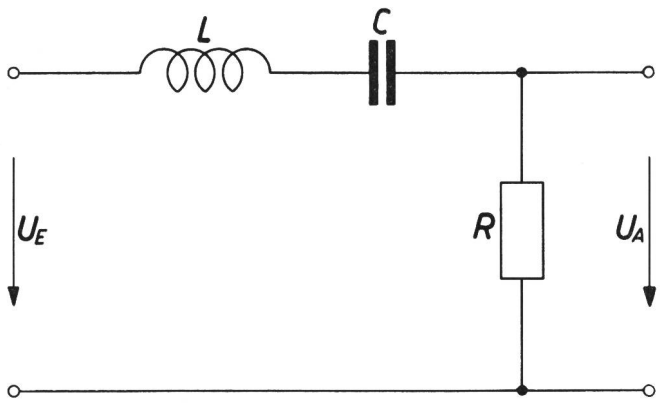

Fig. 4. Einkreisiges Bandfilter

$$\ldots + \frac{1}{1 - j\,Q\left(\frac{1}{\alpha} - \alpha\right)} + 1 + \frac{1}{1 + j\,Q\left(\frac{1}{\alpha} - \alpha\right)} + \ldots$$

$$\ldots + \frac{1}{1 + j\,Q\left(\frac{1}{\alpha^{n-m-1}} - \alpha^{n-m-1}\right)} + \frac{1}{1 + j\,Q\left(\frac{1}{\alpha^{n-m}} - \alpha^{n-m}\right)} \quad (1)$$

k = Proportionalitätsfaktor

Für das geometrische Mittel der Frequenzen f_m und f_{m+1} wird derselbe Ausdruck zu:

$$k\,\frac{U_A\sqrt{m,\ m+1}}{U_E} = \frac{1}{1 - j\,Q\left(\frac{1}{\alpha^{m+1/2}} - \alpha^{m+1/2}\right)} + \ldots$$

$$\ldots + \frac{1}{1 - j\,Q\left(\frac{1}{\alpha^{m-1/2}} - \alpha^{m-1/2}\right)} + \ldots$$

$$\ldots + \frac{1}{1 - j\,Q\left(\frac{1}{\alpha^{1/2}} - \alpha^{1/2}\right)} + \frac{1}{1 + j\,Q\left(\frac{1}{\alpha^{1/2}} - \alpha^{1/2}\right)} + \ldots$$

$$\ldots + \frac{1}{1 + j\,Q\left(\frac{1}{\alpha^{n-m-3/2}} - \alpha^{n-m-3/2}\right)} + \ldots$$

$$\ldots + \frac{1}{1 + j\,Q\left(\frac{1}{\alpha^{n-m-1/2}} - \alpha^{n-m-1/2}\right)} \quad (2)$$

Beide Reihen konvergieren bezüglich ihrer Mittelsummanden, was bedeutet, dass die Anteile der frequenzmässig weiter entfernten Filter zur Gesamtspannung immer kleiner werden. Wählt man nun die Werte α und Q derart, dass die beiden Ausdrücke (1) und (2) gleich gross werden, so darf man mit einiger Sicherheit erwarten, dass sich das Übertragungsmass zwischen den beiden Frequenzen f_m und $\sqrt{f_m \cdot f_{m+1}}$ nicht wesentlich ändert, da die einzelnen Summanden nur wenig und stetig variieren.

Die Anzahl n der Teilfilter kann man nun aus wirtschaftlichen und praktischen Gründen nicht beliebig gross wählen. Anderseits besteht zwischen α, n und dem gesamten zu regelnden Frequenzband $f_1 \ldots f_n$ die Relation:

$$\alpha^n = \frac{f_n}{f_1} \quad (3)$$

Wenn man beispielsweise für den Tonfrequenzbereich von 85...7000 Hz mit 24 Teilfiltern auskommen will, berechnet sich α nach (3) zu 1,2. Aus der Forderung nach Gleichheit der beiden Ausdrücke (1) und (2) erhält man eine Bestimmungsgleichung für Q, das in dem angeführten numerischen Beispiel etwa 3 wird. Es ist offensichtlich, dass sich bei Verwendung von derart stark gedämpften Schwingungskreisen keine Filter mit einigermassen befriedigender Flankensteilheit realisieren lassen und dass deshalb der effektive Dämpfungsverlauf des Filters bei Hoch-, Tief- und Bandpaßschaltungen von dem durch die Reglerstellungen angegebenen erheblich abweicht. Dieser Mangel lässt sich grundsätzlich nur durch Erhöhung der Filterzahl n, also des Aufwandes beheben. Bei Verdopplung von n wird auch Q und damit die erzielbare Flankensteilheit etwa doppelt so gross. Verwendet man jedoch die Verdoppelung des Aufwandes für ein zweites komplettes Filter, gemäss Figur 2, und verwendet dieses zusammen mit dem ersten in Kettenschaltung, so hat man natürlich ebenfalls eine Verdopplung der Flankensteilheit erreicht. Gegenüber dem vorangehenden Vorschlag hat diese Lösung den grossen Vorteil, dass man mit stark gedämpften Schwingungskreisen auskommt. Die entscheidende Überlegenheit dieser Anordnung besteht aber darin, dass Gleichheit der Ausdrücke (1) und (2) für die beiden Filtersätze allein nicht erfüllt sein muss, da für das resultierende Übertragungsmass das Produkt der Übertragungsmasse der beiden Filtersätze massgebend ist. Zweckmässigerweise versieht man die Dämpfungskurven der beiden Filtersätze – immer gleiche Dämpfung der Regler vorausgesetzt – durch Erhöhung der Kreisgüte mit ausgesprochenen Maxima und Minima (siehe Figur 5) und legt die Mittelfrequenzen des zweiten Filtersatzes zwischen die Mittelfrequenzen des ersten.

Die Zahl der in Kette zu schaltenden Filtersätze liesse sich ohne weiteres erhöhen, jedoch ergeben sich gegenüber der Parallelschaltung auch grundsätzliche Nachteile. Bei reiner Parallelschaltung ist zum Beispiel eine Bandpasswirkung denkbar, wenn die

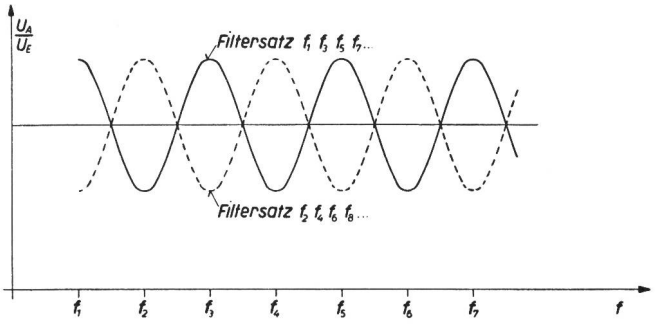

Fig. 5. Dämpfungskurven zweier in Kette geschalteter Filtersätze

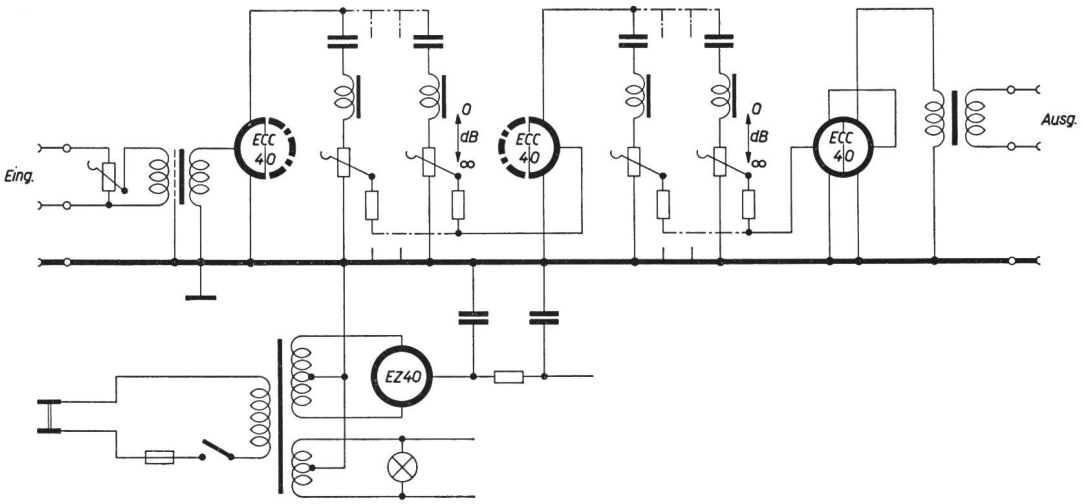

Fig. 6.
Prinzipschaltung des einstellbaren Filters

Dämpfungen sämtlicher Regler bis auf einen einzigen unendlich sind. Die gemessene und die durch die Reglerstellungen dargestellte Frequenzgangkurve würde sich mindestens qualitativ entsprechen. Bei Kettenschaltung von zwei Filtersätzen müssen mindestens je ein Teilfilter jedes Satzes endliche Dämpfung aufweisen, um eine Bandpasswirkung zu erzielen. Ist nur ein einziges Teilfilter geöffnet, so werden sämtliche Frequenzen gesperrt. Die nähere Untersuchung zeigt, dass eine zweistufige Filteranordnung dann vorteilhaft ist, wenn die mit dem gesamten Filter beabsichtigten Frequenzganganhebungen und Absenkungen frequenzmässig nicht näher beisammen sind als der doppelte Abstand der Mittelfrequenzen a. Diese Voraussetzung dürfte wohl bei Verwendung des Gerätes für akustische Zwecke fast immer erfüllt sein.

3. Wirkungsweise und Eigenschaften des Gerätes

Figur 6 zeigt die Prinzipschaltung des in Figur 1 dargestellten Gerätes, das für die Verwendung in Radiostudios gebaut wurde.

Ein- und Ausgang sind symmetrisch. Die dazugehörigen Scheinwiderstände betragen entsprechend dem in solchen Anlagen üblichen Wellenwiderstand 200 Ω. Die Eingangsspannung gelangt über ein Dämpfungsglied und einen Symmetrieübertrager zunächst zu einem einstufigen Verstärker mit starker Spannungsgegenkopplung. Die Verstärkerausgangsspannung ist damit praktisch unabhängig von der durch den nachfolgenden Filtersatz gebildeten, etwas frequenzabhängigen Belastung. Dieser besteht aus einfachen Serieschwingkreisen mit den Mittelfrequenzen 113, 163, 235...3010, 4340, 6250 Hz, an welchen mit Potentiometern ein 30-dB-Bereich in Stufen von 1 dB abgegriffen werden kann. Die Potentiometerabgriffe sind über Entkopplungswiderstände parallel geschaltet, worauf eine gleiche Verstärker- und Filterstufe mit den Mittelfrequenzen 94, 136, 196...2510, 3620, 5210 Hz folgt. Infolge der Serieschaltung der beiden Filtersätze addieren sich die Reglerdämpfungen, so dass der totale Regelbereich 60 dB beträgt. Zudem lassen sich die Teilfilter in der Endstellung der Regler noch ganz ausschalten. Die Potentiometer sind Drehregler, deren Antrieb jedoch über Rollen und Saiten durch eine Schiebebewegung erfolgt. Dem zweiten Filtersatz folgt ein zweistufiger Verstärker, der, wie die vorangehenden Verstärker, die Aufgabe hat, die durch die Parallelschaltung der Teilfilter entstandene Dämpfung zu kompensieren. Wenn sämtliche Regler auf minimale Dämpfung eingestellt sind, besteht zwischen Aus- und Eingang eine Verstärkung von 20 dB.

Der Netzteil ist für alle gebräuchlichen Wechselspannungen 50 Hz umschaltbar und nimmt etwa 22 VA auf.

Aus der Vielfalt der einstellbaren Frequenzgänge sind in Figur 7 einige ganz charakteristische Reglerstellungen mit Hoch-, Tief-, Bandpass und Bandsperrwirkung dargestellt.

Bei reiner Tiefpaßstellung der Regler, nach Figur 7a, zeigt die gemessene Frequenzgangkurve eine gewisse Überhöhung gegen die Grenzfrequenz. Durch Absenken der entsprechenden Regler kann man aber eine bessere Tief- bzw. Hochpasskurve erzielen (Figur 7b und c).

Beim Bandpass nach Figur 7f lässt sich die Einsenkung in der Bandmitte nicht etwa durch stärkere Anhebung des entsprechenden Reglers korrigieren. Durch diese Massnahme würde nur der gesamte Pegel gehoben, da das entsprechende Teilfilter vom ersten oder zweiten Filtersatz allein eingeschaltet ist und eine Regleränderung den Frequenzgang dieses Filtersatzes natürlich nicht ändern kann. Werden aber in jedem Satz mindestens zwei Teilfilter eingeschaltet, so ist eine solche Korrektur möglich (siehe Figur 7g und h).

Nach den genannten Beispielen geben die Reglerstellungen den Frequenzgang also nur approximativ wieder. Wird eine höhere Genauigkeit verlangt, so ist es ratsam, die Dämpfungskurve durch Messung zu bestimmen.

Adresse des Verfassers: Dr. Ing. *Alfred Spälti*, i. Fa. Albiswerk Zürich AG., Albisriederstr. 245, Zürich 47.

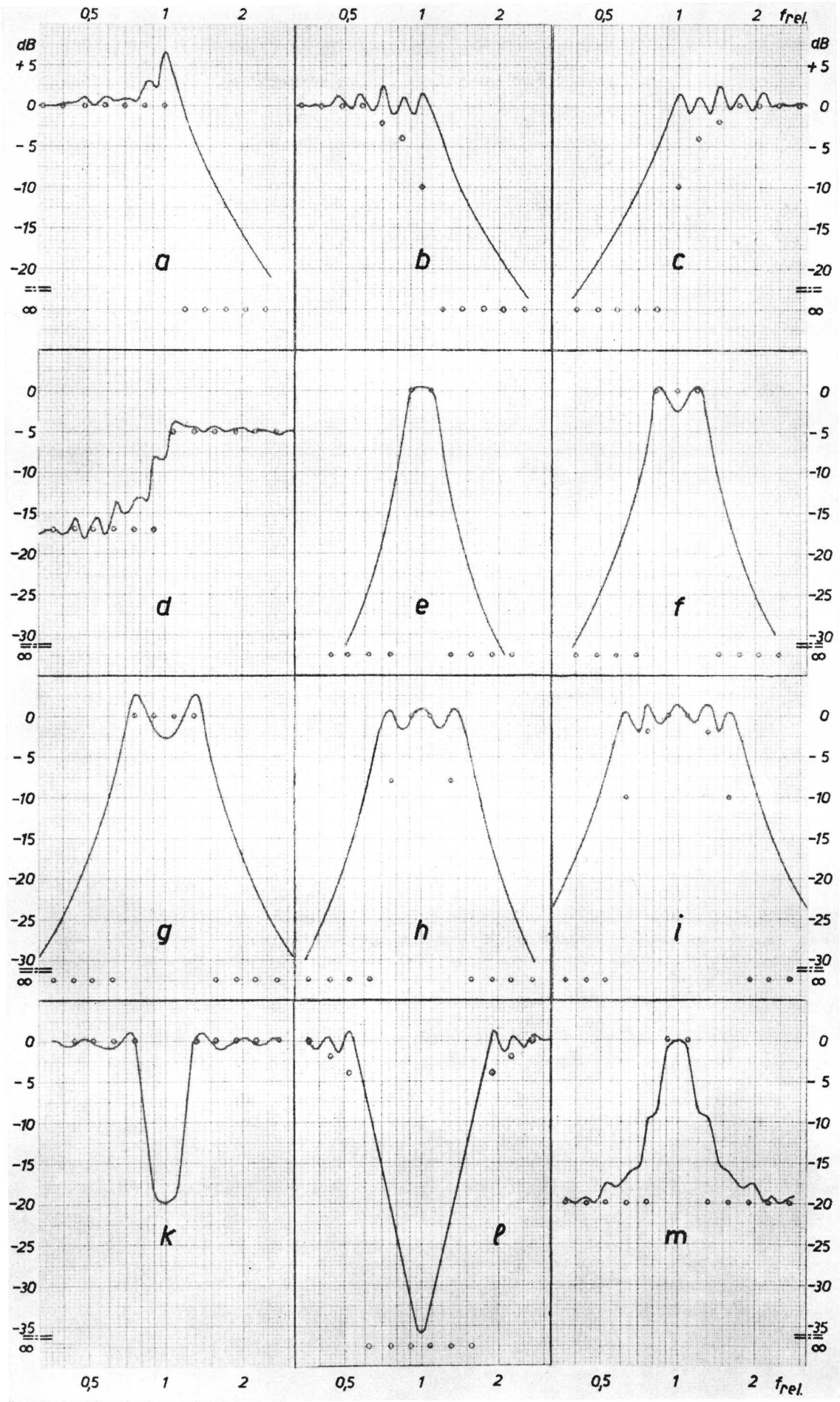

Fig. 7. Frequenzgänge bei einigen charakteristischen Reglerstellungen ——— gemessener Frequenzgang O Stellung der Regler