Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 39 (1948)

Heft: 19

Artikel: Bedeutung und Anwendung von Frequenzweichen bei Ultrakurzwellen-Mehrkanalsystemen

Autor: Staub, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057964

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: 22.08.2025

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

39e année | N° 19 | Samedi, le 18 Septembre 1948

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Bedeutung und Anwendung von Frequenzweichen bei Ultrakurzwellen-Mehrkanalsystemen

Vortrag, gehalten an der 11. Hochfrequenztagung des SEV vom 18. Oktober 1947 in Neuenburg,

von *F. Staub*, Zürich

621.392.52.029.6

Die Frage nach dem günstigsten System für eine drahtlose Mehrkanalübertragung ist heute noch nicht eindeutig abgeklärt. Die Gründe dafür sind mannigfaltiger Art. Zum Teil ist die technische Entwicklung der Bauelemente noch keineswegs abgeschlossen, wie dies z. B. in der Mikrowellentechnik der Fall ist, anderseits hängt die Wahl eines bestimmten Systems weitgehend von den speziellen Anforderungen ab, die es erfüllen soll. Grundsätzlich ist es wohl so, dass jedes System gegenüber einem anderen Vor- und Nachteile aufweist, und die Systemwahl wird wesentlich von deren Einschätzung abhangen. Die folgenden Ausführungen behandeln einige Probleme, die sich beim Bau eines Mehrkanalübertragungssystems hoher Kanalzahl gestellt haben. Sie wollen keineswegs als Abklärungsversuch der Systemfrage als Ganzes verstanden werden. Vielmehr war die spezielle Fragestellung, die zum Entwurf dieses Systems führte, die folgende: Wie kann eine sehr grosse Gesprächskanalzahl erreicht werden, wenn erstens der Aufwand pro Gesprächskanal trotzdem in tragbaren Grenzen bleiben, insbesondere die installierte Sendeenergie in einem günstigen Verhältnis zur abgestrahlten Energie stehen, und zweitens die Betriebssicherheit der erhöhten Kanalzahl entsprechend gross sein soll? In einem ersten Abschnitt wird gezeigt, dass mit der Anwendung von UKW-Frequenzweichen in bezug auf diese Fragestellung günstige Lösungsmöglichkeiten bestehen, und zwar unabhängig davon, welche Modulationsart im besonderen das System verwendet. Ein zweiter Abschnitt behandelt anschliessend die Probleme des Baues von UKW-Frequenzweichen und beschreibt eine gebaute Weiche [1] 1).

Dans le domaine des liaisons radiotéléphoniques multiplex en ondes ultra-courtes, la question de savoir quel est le système qui convient le mieux n'est pas encore entièrement résolue. Cela tient en partie au fait que la mise au point de certains éléments (notamment dans la technique des microondes) est loin d'être achevée. D'autre part, l'adoption d'un système déterminé dépend dans une large mesure des conditions particulières qui doivent être satisfaites. En principe, tous les systèmes envisagés présentent des avantages et des inconvénients, auxquels on attache plus ou moins d'importance. M. Staub traite de quelques problèmes soulevés par la construction d'un système de transmission multiplex à très grand nombre de voies. Il ne s'agit donc pas de résoudre l'ensemble de la question du choix du système, mais bien le problème suivant: De quelle manière est-il possible d'obtenir un très grand nombre de voies, tout en maintenant dans des limites raisonnables les dépenses d'énergie par voie de transmission vocable, notamment un rapport favorable entre l'énergie émise par l'émetteur et l'énergie radiée, et en conservant une sécurité d'exploitation aussi grande que possible, lorsque les voies sont très nombreuses?

Un premier chapitre montre que l'application de filtres sélectairs de fréquences en ondes ultra-courtes offre de très intéressantes possibilités pour résoudre convenablement le problème posé, quel que soit le système de modulation prévu.

Le deuxième chapitre concerne les problèmes soulevés par la construction des dispositifs de transposition des fréquences et renferme la description d'un tel dispositif [1] 1).

I. Das Problem der grossen Kanalzahl

Wenn wir unter Modulation irgend eine Frequenzumsetzung bezeichnen, von ihrer speziellen Art aber absehen wollen, so können wir trotzdem noch zwei grundsätzliche Möglichkeiten von Mehrkanalsystemen unterscheiden.

a) Die niederfrequenten Kanäle K_1 bis K_n (Fig. 1a) werden in einer ersten Modulation zu einem zwischenfrequenten Signal zusammengesetzt. Dieses gelangt auf einen zweiten Modulator und wird einem einzigen UKW-Träger aufmoduliert. Dieses System wollen wir als *Einträgersystem* bezeichnen.

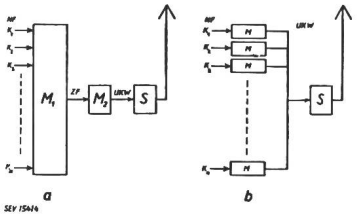

Fig. 1
Trägersysteme
a Einträgersystem; *b* Mehrträgersystem; $K_1 \ldots n$ niederfrequente Nachrichtenkanäle; *M*, M_1, M_2 Modulatoren; *S* Sendestufe

b) Jeder niederfrequente Gesprächskanal wird direkt durch je einen eigenen Modulator einem UKW-Träger aufmoduliert (Fig. 1b). Durch Parallelschalten gelangen diese verschiedenen Träger auf die gemeinsame Sendestufe. Dieses System bezeichnen wir als *Mehrträgersystem.*

Ausgehend von unserer Fragestellung hätten wir also das Problem einer möglichst grossen Kanalzahl zu diskutieren, wobei wir uns in diesen allgemeinen Betrachtungen im wesentlichen auf rein qualitative Untersuchungen beschränken müssen. Um die Kanalzahl zu erhöhen, stehen uns zwei Möglichkeiten offen:

1. Es wird lediglich die Kanalzahl vermehrt unter grundsätzlicher Belassung der System-Struktur, oder
2. es werden mehrere Systeme kleinerer Kanalzahl parallelgeschaltet (Fig. 2).

In beiden Fällen kann es sich um Ein- oder Mehrträgersysteme handeln.

Der erste Fall, Belassung der System-Struktur unter Erhöhung der Kanalzahl, soll zuerst bespro-

1) siehe das Literaturverzeichnis am Schlusse des Artikels.

chen werden. Hier erfordert eine grössere Kanalzahl eine grössere Sendestufe, wenn die Übertragungs-UKW-Energie pro Kanal festgelegt ist. Gleichzeitig wächst die Bandbreite, welche das System zu verarbeiten hat. Die Frage der Bandbreite erhält bei jedem System von einer gewissen Kanalzahl an eine

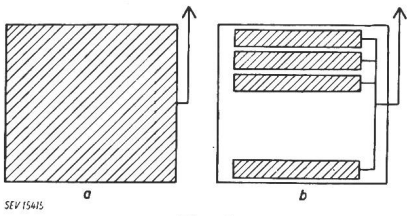

Fig. 2
Systemaufbau
a *Ein* System mit *grosser* Kanalzahl
b *Mehrere* Systeme mit *kleinerer* Kanalzahl

ganz wesentliche Bedeutung, besonders bei solchen Systemen, welche schon durch die besondere Modulationsart mit einem an sich grösseren Frequenzband ein kleineres zulässiges Nutz-Störspannungsverhältnis auf der Empfangsseite erkaufen. Als Beispiel sei die Frequenzmodulation genannt.

Beim Ein- und beim Mehrträgersystem wird die Grenze der erreichbaren Bandbreite im UKW-Übertragungsweg im wesentlichen durch die Röhreneigenschaften bestimmt. Die charakteristischen Grössen einer UKW-Röhre sind die Steilheit S und die Ein- und Ausgangs-Admittanzen. Fig. 3 stellt

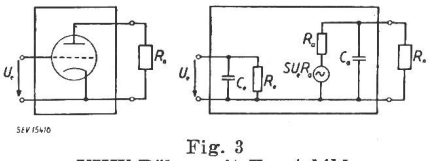

Fig. 3
UKW-Röhre mit Ersatzbild
Durchgriff vernachlässigt
maximale Leistungsverstärkung [2]: $v_n = \frac{S^2}{4} R_e R_a$ wenn $R_n = R_a$
S = Steilheit;
R_e, R_a Eingangs- bezw. Ausgangs-Röhrenwiderstand

eine UKW-Röhre mit ihrem Ersatzbild dar, wenn der Durchgriff vernachlässigt wird. Ihr maximal möglicher Leistungsverstärkungsgrad beträgt [2]:

$$v_n = \frac{S^2}{4} R_e \cdot R_a$$

An der folgenden einfachen Verstärkerschaltung soll der Zusammenhang zwischen Verstärkung und

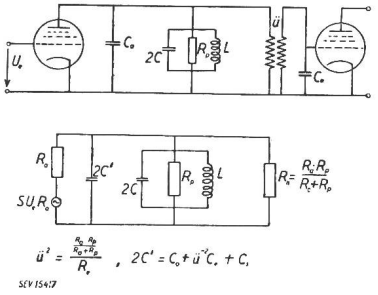

Fig. 4
Verstärkerschaltung zur Diskussion des Zusammenhangs zwischen Verstärkung und Bandbreite
Schaltung: $Q = \omega\,(C' + C)\,\frac{R_a \cdot R_p}{R_a + R_p}$
Schwingkreis: $Q_0 = 2\,\omega\,(C' + C)\,R_p$

Bandbreite diskutiert werden (Fig. 4). Als Belastung wirkt die Eingangsimpedanz der nächsten Röhre, welche durch einen idealen Transformator an die Vorröhre angepasst sei. Zur Abstimmung dient ein einfacher Schwingkreis.

Die angegebene Anpassung gibt optimale Verstärkung, welche gleich der maximal möglichen Verstärkung der Röhre wird, wenn der Schwingkreis keine Verluste aufweist. Dieser Fall sei vorderhand vorausgesetzt. Die Kapazität $2C'$ setzt sich zusammen aus der Röhrenausgangskapazität C_a, der transformierten Röhreneingangskapazität $\ddot{u}^{-2} C_e$ und eventuellen Schaltkapazitäten C_s. Wir fragen nach der maximal möglichen Bandbreite dieser Schaltung, d. h. also nach der minimal möglichen Kreisgüte Q. Diese wird offenbar dann erreicht, wenn die Schwingkreiskapazität zu null gemacht wird und beträgt

$$Q = \omega C' R_a$$

Die zugehörige (relative) Bandbreite $\frac{1}{Q} = \Delta$ wollen wir als kritische Bandbreite bezeichnen. Wenn wir nämlich die Bandbreite über diesen Wert vergrössern wollen, so können wir dies nur noch durch eine Verkleinerung des Nutzwiderstandes, also durch eine Fehlanpassung erreichen. Damit verlieren wir aber in zunehmendem Masse an Verstärkung. Wir erhalten einen Zusammenhang der Verstärkung und der Bandbreite, wie er in der Fig. 5 dargestellt ist.

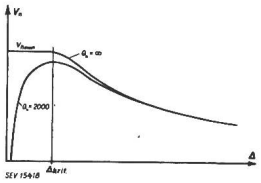

Fig. 5
Zusammenhang zwischen Verstärkung und Bandbreite
v_n Verstärkung; Δ Bandbreite
Erläuterungen im Text

Die Voraussetzung war, dass der Schwingkreis verlustlos sei, d. h. Q_0 soll unendlich sein, wenn wir seine Kreisgüte mit Q_0 bezeichnen. Diese Voraussetzung ist in der Tat in der Umgebung der kritischen Bandbreite genügend erfüllt, was die folgenden Zahlenwerte zeigen mögen. Für heute noch übliche UKW-Penthoden dürfen wir bei der Frequenz f = 200 MHz für R_a einen Wert von rund 16 kΩ setzen. Für C' gelte der Wert von 5 pF; der Kreis sei ein Schwingtopf mit einem Q_0 = 2000. Damit erhält man für den Kreisverlustwiderstand R_p den Wert von 160 kΩ. R_p übertrifft somit R_a um eine Grössenordnung. Rechnen wir für diesen Fall die kritische Bandbreite, so finden wir, dass $\Delta_{krit} \approx 1\,\%$ oder 2 MHz ergibt.

Betrachten wir noch die Verhältnisse für kleine Bandbreiten. Um solche zu realisieren, müssen wir die Kreiskapazität erhöhen, d. h. der Topf wird niederohmiger. Infolgedessen sinkt sein Verlustwiderstand R_p und der Verstärkungsgrad nimmt wieder ab. Setzen wir in unserem Beispiel für C = 50 pF, so wird R_p = 16 kΩ, d. h. gleich dem Werte von R_a. Die Verstärkung ist aber auf die Hälfte gesunken. Ähnliche Verhältnisse herrschen auch bei einer Sender-Endstufe. Massgebend ist dort nicht der Anpassungswiderstand, sondern der op-

timale Belastungswiderstand, um maximale Leistung zu erzielen. Auch dieser ist eine Röhrengrösse und bestimmt zusammen mit der Ausgangskapazität die kritische Bandbreite.

Auch wenn wir an Stelle eines einfachen Schwingkreises Bandfilter als Koppelelemente benützen, so bleiben die skizzierten Verhältnisse im Prinzip die gleichen. Bei gleicher zugelassener Welligkeit wird das Band breiter, oder umgekehrt erhalten wir die gleiche Bandbreite bei kleinerer Welligkeit. Für die kritische Bandbreite bleibt aber auch hier die Röhrengrösse $\omega C' R_a$ Proportionalitätsfaktor.

Zusammenfassend stellen wir fest:

1. Sowohl kleine, als auch insbesondere grosse Bandbreiten sind nur auf Kosten der Verstärkung zu realisieren. Der Abfall der Verstärkung bei kleinen Bandbreiten wird durch die Verluste der Schaltelemente, bei grossen Bandbreiten durch die Röhren bedingt.

2. Eine absolut minimale bzw. maximale Bandbreite wird dann erreicht, wenn die Verstärkung auf den Wert 1 abgesunken ist.

3. Von diesem Gesichtspunkt aus erscheint ein System als günstig, wenn es eine totale UKW-Bandbreite besitzt, welche ungefähr der kritischen gleich ist.

Während das Problem der Bandbreite im UKW-Übertragungsweg beim Ein- und Mehrträgersystem von gleicher Bedeutung ist, erhebt sich das Breitbandproblem beim Einträgersystem schon nach der ersten Modulation. Insbesondere muss der zweite Modulator die ganze Bandbreite verarbeiten, und die praktisch erreichbare Kanalzahl kann schon hier begrenzt werden. Es ist dies der Fall z. B. bei modernen Systemen mit Impulsmodulation. Diese Schwierigkeiten bestehen beim Mehrträgersystem nicht, dagegen soll bei diesem noch ein anderes Detail hervorgehoben werden, nämlich die Parallelschaltung der einzelnen Träger vor der gemeinsamen Endstufe (Fig. 1). Dies wird jedenfalls in der Art geschehen, dass sämtliche Anodenkreise der Vorröhren auf den Gitterkreis der ersten gemeinsamen Röhre geschaltet werden. Dabei wird jede Röhre durch die Summe der Ausgangsleitwerte aller anderen Röhren zusätzlich gedämpft, und zwar ohne dass dabei die Bandbreite wachsen würde, da sich auch alle Ausgangskapazitäten addieren. Nach den vorhin gemachten Betrachtungen über die Verstärkung lässt sich leicht zeigen, dass infolgedessen die Leistungsverstärkung jedes Kanales proportional der Kanalzahl abnimmt.

Ein weiteres wichtiges Problem bei allen Mehrkanalsystemen bildet das Übersprechen. Es ist in erster Linie bedingt durch die Modulationsart und die Kanalzahl. Wir wollen an dieser Stelle nur feststellen, wo in den beiden von uns betrachteten Systemen Übersprechen auftreten kann.

a) **Einträgersystem:** Übersprechen kann an den Nichtlinearitäten vor dem zweiten Modulator, im zweiten Modulator und im UKW-Übertragungsweg erfolgen, und zwar je nach Modulationsart an nichtlinearen Röhrenkennlinien oder an nichtlinearen Phasengängen der passiven Übertragungselemente. Im einen Falle darf die Kennlinie nur bis zu einem gewissen Masse ausgesteuert, im andern die verfügbare Bandbreite nur zum Teil ausgenützt werden. Beides bedingt eine Überdimensionierung der Verstärker und der Sendestufe.

b) **Mehrträgersystem:** Übersprechen kann entstehen an nichtlinearen Röhrenkennlinien des UKW-Übertragungsweges, was ebenfalls eine gewisse Überdimensionierung nötig macht.

Wie diese nötige Überdimensionierung mit der Kanalzahl zusammenhängt, lässt sich nicht in allgemeiner Form angeben. Immerhin kann für einige Systeme gezeigt werden, dass sie bei kleinen Kanalzahlen wächst, bei grösseren aber einem Grenzwert zustrebt.

Als letzten Gesichtspunkt bei der Beurteilung unserer beiden Systemtypen wollen wir noch feststellen, dass eine Störung der Sendestufe beim Einträgersystem, aber auch schon das Aussetzen des zweiten Modulators, einen Ausfall sämtlicher Kanäle bedeutet. Dies wird dann besonders unangenehm, wenn eine grosse Kanalzahl in einem einzigen System konzentriert ist.

Die prinzipiell gleichen Überlegungen gelten natürlich auch für die Empfänger (Fig. 6).

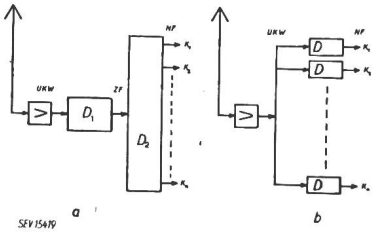

Fig. 6
Empfänger
a Einträgersystem; *b* Mehrträgersystem; *D*, D_1, D_2 Demodulatoren; $K_{1...n}$ niederfrequente Nachrichtenkanäle

Der Unterschied liegt einzig darin, dass beim Empfänger im Gegensatz zur Senderstufe nirgends grosse UKW-Energien zu verarbeiten sind. Im übrigen bleibt aber das Breitbandproblem bei grosser Kanalzahl bestehen.

Zusammenfassend sei wiederholt:

Bei einer Erhöhung der Kanalzahl wird von einer gewissen Kanalzahl an der Aufwand pro Gespräch infolge der wachsenden Bandbreite progressiv grösser, sowohl beim Sender, als auch beim Empfänger. Es gibt einen Grenzwert der Kanalzahl. Er ist erreicht, wenn die Verstärkungen auf den Wert 1 absinken. Auf der Sendeseite wird bei zunehmender Kanalzahl besonders das Verhältnis von installierter Sendeleistung zu abgestrahlter Nutzleistung ungünstig. Dies läuft z. B. bei der Anwendung von Breitbandmodulationen gerade der ursprünglichen Absicht entgegen, kleinere Sendeenergien auf Kosten eines breiteren Frequenzbandes zu erreichen.

Zur Erläuterung diene noch ein Zahlenbeispiel: Es handle sich um ein frequenzmoduliertes Mehrträgersystem. Die maximale Bandbreite eines Niederfrequenz-Kanales, die zu übertragen ist, sei 3,4 kHz. Mit einer Deviation von 10 erhalten wir ± 34 kHz Hub, d. h. ein Band von rund 70 kHz. Die Bänder müssen durch Zwischenräume getrennt sein, damit sie später wieder ausgefiltert werden können; bei Berücksichtigung dieser Forderung durch einen Faktor von 1,3 erhalten wir 90 kHz UKW-Bandbreite pro Kanal. Für 100 Kanäle ergibt

dies 9 MHz oder 4,5 % bei einer mittleren Bandfrequenz von 200 MHz. Dieses gesamte Band sei durch eine Vorverstärkerstufe und die Sendestufe zu übertragen, welche je einen Schwingkreis enthalten. Lassen wir einen Leistungsabfall von 20 % an den Bandrändern zu, so müssen wir mit einem $\Delta = \frac{1}{Q} = 3 \cdot 4{,}5\,\% = 13{,}5\,\%$ rechnen. Dieser Wert ist 13mal grösser als die kritische Bandbreite, welche wir als Beispiel berechnet haben.

Es bleibt uns noch die Betrachtung der zweiten Möglichkeit zur Erhöhung der Kanalzahl, welche in der Parallelschaltung mehrerer Systeme besteht (Fig. 2). Es handelt sich hier zunächst um die gleiche Aufgabe, die beim Mehrträgersystem bei der Zusammenschaltung der verschiedenen Träger auf die gemeinsame Endstufe vorliegt. Auf Grund der früheren Überlegungen ist daher ohne weiteres einzusehen, dass durch eine solche Massnahme unmittelbar kein Vorteil zu gewinnen ist. Die Sendestufen der einzelnen Systeme dämpfen sich gegenseitig; diesmal aber sinken die Sendeleistungen proportional der Systemzahl, was erheblich nachteiliger ist, als wenn nur der Verstärkungsgrad von Vorstufen kleiner wird. Die Bandbreite wächst natürlich auch hier nicht, ohne dass noch zusätzlich nach Massgabe der Zahl der parallel zu schaltenden Systeme eine Fehlanpassung vorgenommen wird. Das Verhältnis von installierter Sendeleistung zu abgestrahlter Leistung wird sehr ungünstig, dazu ist noch mit zusätzlichem Übersprechen zwischen den Systemen zu rechnen. Das Problem wird erst diskutabel, wenn wir zwischen Antenne und Systemen eine Frequenzweiche einschalten (Fig. 7).

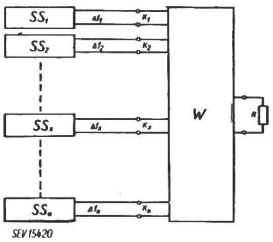

Fig. 7
Verwendung einer Frequenzweiche
$SS_{1...n}$ Sendesysteme; $\Delta f_{1...n}$ zugehörige Frequenzbänder; $K_{1...n}$ Eingangsklemmen; W Frequenzweiche; R Belastungswiderstand

Als ideale Frequenzweiche sei ein linearer, passiver Vielpol mit folgenden Eigenschaften bezeichnet: Von jeder Eingangsklemme K_x sollen nur Energien des zugehörigen Frequenzbandes Δf_x auf den Belastungswiderstand R gelangen, und zwar reflexionsfrei. Frequenzen ausserhalb des zugehörigen Bandes sollen total reflektiert werden. Dies bedeutet, dass keinerlei Energieaustausch zwischen den Eingangsklemmen möglich ist.

Schaltet man nun die Senderöhren der verschiedenen Systeme über eine solche Weiche zusammen, so werden sie gegenseitig nicht mehr gedämpft und es wird auch kein Übersprechen zwischen den Systemen stattfinden. Sämtliche Energie eines Systems gelangt auf den Belastungswiderstand. Das Breitbandproblem tritt erst hinter der Weiche in Erscheinung. Von hier weg folgen aber nur noch passive, lineare UKW-Übertragungselemente, deren Bandbreiten nicht mehr durch Röhren begrenzt werden.

Auf der Empfangsseite wäre eine einfache Parallelschaltung verschiedener Empfangssysteme ebenfalls ungünstig (Fig. 8). Die ankommende Energie eines Systems würde sich auf die Gitterimpedanzen aller Röhren gleichmässig verteilen, so dass die nutzbare Empfangsenergie proportional der Systemzahl reduziert würde, ein Tatbestand, der der gegenseitigen Dämpfung der Endstufen beim Sender entspricht. Eine gemeinsame Vorverstärkung hätte diesen Nachteil nicht, das Bandbreiteproblem aber würde bestehen bleiben. Eine Zusammenschaltung über eine Weiche wird auch hier zweckmässig sein.

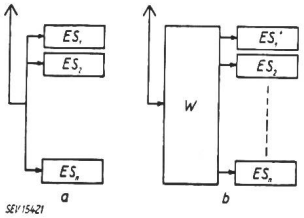

Fig. 8
Empfangs-Schaltungen
a ohne Frequenzweiche; *b* mit Frequenzweiche; $ES_{1...n}$ Empfangssysteme; W Frequenzweiche

Als Ergebnis fassen wir zusammen: Mit Hilfe von UKW-Frequenzweichen gelingt es, sehr grosse totale Frequenzumfänge zu verarbeiten. Wir können sogar die sonst gegebene, durch den Verstärkungsabfall auf den Wert 1 bedingte, absolute maximale Bandbreite überschreiten, weil uns die Weiche das Breitbandproblem vom Mehrkanalsystem distanziert. Zugleich wird die Betriebssicherheit des ganzen Systems dadurch erhöht, dass beim Ausfall einer Endstufe oder einer sonstigen Störung nur ein Bruchteil der gesamten Kanalzahl ausfällt.

Zum Schluss dieser allgemeinen Betrachtungen wäre noch die Frage zu stellen, warum wir das Weichenprinzip nicht konsequent anwenden in dem Sinne, dass wir die Weichenfrequenzbänder sehr eng machen und dafür nur noch einen einzigen NF-Kanal statt eines ganzen Systems darin übertragen. Dazu ist zu sagen, dass dies kaum wirtschaftlich wäre. Solange bei einem Mehrfachsystem der Aufwand pro Kanal nicht wesentlich zunimmt, und das ist, wie wir gesehen haben, erst bei grösseren Kanalzahlen der Fall, bedeutet die Weiche nur einen zusätzlichen und nicht unbeträchtlichen Aufwand. So wird denn die Frage nach der günstigsten Kanalzahl pro Weichenband eine solche des ökonomischen Gleichgewichtes sein. Zugleich sei aber hervorgehoben, dass wir gar nicht beliebig enge Weichenfrequenzbänder erreichen können, und zwar wegen der beschränkten Kreisgüte der zum Weichenbau benützten Schwingtöpfe. So liegen die erreichbaren minimalen Durchlassbreiten mindestens um eine Grössenordnung höher, als z. B. für die Übertragung eines einzigen frequenzmodulierten Niederfrequenz-Bandes nötig wäre.

II. Der Bau von UKW-Frequenzweichen

Eine Methode zur Gewinnung von Frequenzweichen besteht darin, dass man eine Anzahl Reaktanzbandfilter auf der einen Seite zusammenschaltet. Damit aber wirklich eine Weiche entsteht, müssen die Filter noch zusätzlichen Bedingungen genügen, über die wir später noch sprechen werden.

Vorerst handelt es sich darum, überhaupt einmal UKW-Bandfilter zu bauen. Da die diesbezüglichen Arbeiten schon veröffentlicht sind [3], möge hier eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse genügen. Unser Weichenproblem verlangt Filter mit verhältnismässig kleinen relativen Durchlassbreiten und genügender Flankensteilheit. Die Flankensteilheit soll nicht zu klein sein, damit die Ausnützung des totalen Frequenzbereiches gut ist. Die einzelnen Filterkanäle sollen also möglichst nahe beieinander liegen (Fig. 9).

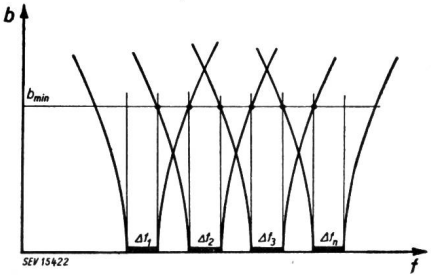

Fig. 9
Dämpfungsverlauf der Filterkanäle
b Dämpfung; *f* Frequenz

Beide Forderungen können im Meterwellen-Gebiet am besten mit Filtern realisiert werden, welche quasistationäre Schwingtöpfe mit sehr grosser Kreisgüte benützen. Die konsequente Bauweise mit Schwingtöpfen als Schaltelementen führte zu Topf-Filtern, welche infolge ihrer geschlossenen Bauart vollständig strahlungsfrei sind und keine dielektrischen Isoliermaterialien enthalten. Fig. 10 zeigt einen Schnitt längs der Topfsymmetrieachse durch ein solches Filter, wie es zur Weichenkonstruktion verwendet wird, sowie das entsprechende Ersatzschaltbild nebst dem qualitativen Vierpoldämpfungsverlauf. Das Filter besteht aus insgesamt vier Schwingtöpfen, von denen zwei in das Innere der beiden anderen eingebaut sind und stellt ein π-Glied mit vier Parallelschwingkreisen dar.

Die Vierpoldämpfung besitzt je einen Pol links und rechts des Durchlassbandes, wodurch die Flankensteilheit vergrössert wird. Fig. 11 stellt die gemessene Betriebsdämpfung eines solchen Filters dar. Die Frequenz der Bandmitte beträgt 175 MHz,

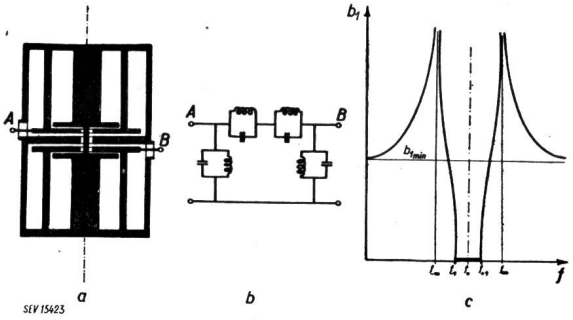

Fig. 10
Topf-Bandfilter
a Konstruktion; *b* Ersatzschema; *c* Vierpoldämpfung

die Bandbreite 1 bzw. 2,85 %. Die praktisch erreichbare minimale Bandbreite beträgt in diesem Frequenzgebiet je nach Topfgrösse und Filterschaltung 0,5 bis 1 %.

Das weitere Problem besteht nun in der Zusammenschaltung solcher Filter zu einer Frequenzweiche. In Betracht kommt nur eine Vornparallelschaltung, und da zeigt es sich, dass sich solche Filter nicht ohne weiteres parallelschalten lassen. Betrachten wir der Einfachheit halber zuerst nur einmal eine Weiche, die aus zwei solchen parallelgeschalteten Filtern besteht (Fig. 12).

Das Filter F_1 überträgt in seinem Durchlassbereich Δf_1 die vom Generator E_1 gelieferte Energie ungedämpft auf den Verbrauchswiderstand nur unter der Voraussetzung des richtigen Abschlusses mit R. In der Weichenschaltung liegt aber parallel zu R der Eingangsbetriebswiderstand W_{b2} des andern Filters F_2, in dessen Sperrbereich natürlich das Durchlassband des ersten fällt. Die Weiche arbeitet deshalb nur richtig, wenn für Frequenzen des Bandes Δf_1 der Eingangsbetriebswiderstand $|W_{b2}| \gg R$ ist und umgekehrt muss für Frequenzen des Bandes $\Delta f_2 |W_{b1}| \gg R$ sein. Das heisst allgemein: Sollen sich solche Filter zu einer Weiche parallelschalten lassen, so müssen die Beträge ihrer Eingangsbetriebswiderstände in den Sperrbereichen viel grösser als der Abschlusswiderstand R sein.

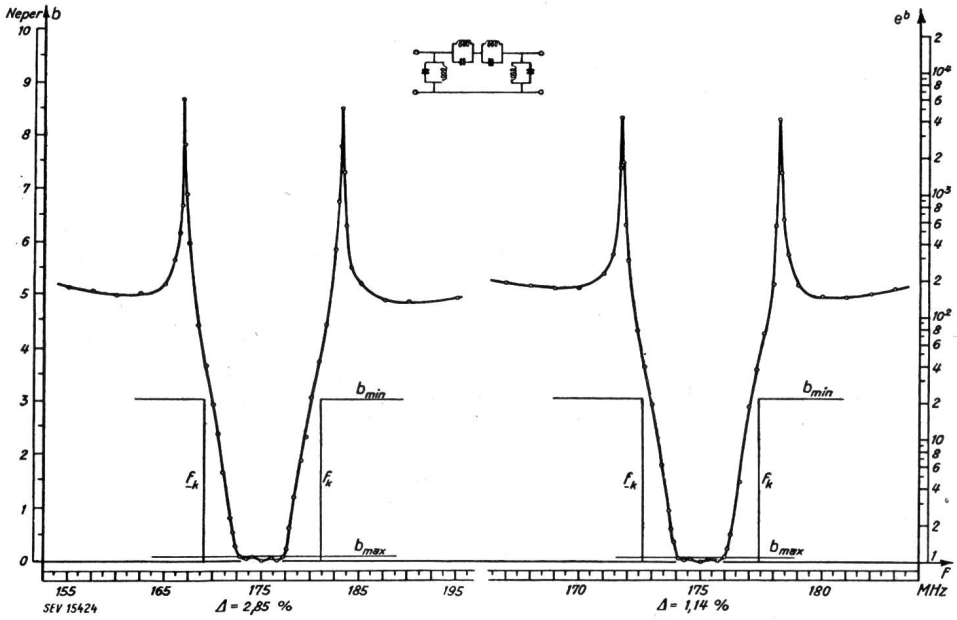

Fig. 11
Gemessene Betriebsdämpfung eines Topf-Bandfilters nach Fig. 10

Der Eingangsbetriebswiderstand von Reaktanzfiltern stimmt im Sperrbereich um so besser mit dem Wellenwiderstand W überein, je grösser die Vierpoldämpfung ist. Man kann z. B. zeigen, dass für 3 Neper Vierpoldämpfung der Fehler höchstens 0,5 % im Betrag und 0,005 in der Phase ausmacht. Der Betriebswiderstand ist also bei genügend hohen Vierpoldämpfungen gleich dem Wellenwiderstand, und daher rein imaginär. Darauf beruht natürlich umgekehrt die Filterwirkung.

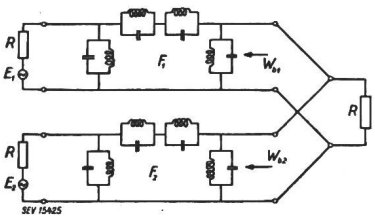

Fig. 12
Frequenzweiche mit 2 Bandfiltern
F_1, F_2 Bandfilter; W_{b1}, W_{b2} Eingangsbetriebswiderstand

Die Wellenwiderstandsfunktion dieser Filter ist

$$W = \pm i \frac{R}{\Theta} \cdot \frac{1}{\sqrt{\Omega^2 - 1}}$$

wobei Θ der Wellenwiderstandsparameter, Ω die normierte Frequenz und i die imaginäre Einheit bedeuten. Den Verlauf des Wellenwiderstandes zeigt Fig. 13.

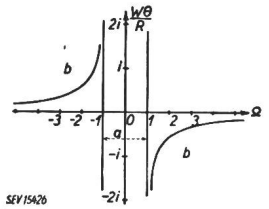

Fig. 13
Verlauf des Wellenwiderstandes eines Reaktanzfilters
a Durchlassbereich; *b* Sperrbereich

Er wird mit grösser werdender normierter Frequenz immer kleiner, ist also für Parallelschaltung nicht geeignet. Es gelingt nun durch Nachschalten eines konzentrischen Kabelstückes am Ausgang des Filters, den Wellenwiderstand im Sperrbereich zu transformieren, wodurch eine störungsarme Parallelschaltung möglich wird (Fig. 14).

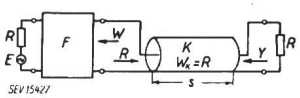

Fig. 14
Transformation des Wellenwiderstandes durch Nachschaltung eines konzentrischen Kabelstückes
F Filter; K Kabel; W Wellenwiderstand des Filters; W_K Wellenwiderstand des Kabels; s Länge des Kabels; Y Leitwert des Kabels, abgeschlossen mit W

Das Kabelstück muss einen Wellenwiderstand $W_K = R$ besitzen. Dann erscheint das Filter für alle Frequenzen mit seinem richtigen Abschlusswiderstand R abgeschlossen und sein Dämpfungsverlauf bleibt erhalten. Insbesondere hat die Kabellänge keinen Einfluss auf die Betriebsdämpfung, sie ist jedoch bestimmend für die Transformation des Filterwellenwiderstandes W im Sperrbereich. Vom Abschlusswiderstand gesehen erscheint ein Leitwert Y eines Kabelstückes von der Länge s und dem Kabelwellenwiderstand R, abgeschlossen mit dem imaginären Wellenwiderstand W des Filters. Der Leitwert Y ist somit ebenfalls rein imaginär und sollte möglichst gleich null sein. Fig. 15 zeigt den qualitativen Verlauf von Y bei verschiedenen Kabellängen in Funktion der normierten Frequenz unter der Voraussetzung einer kleinen relativen Bandbreite Δ.

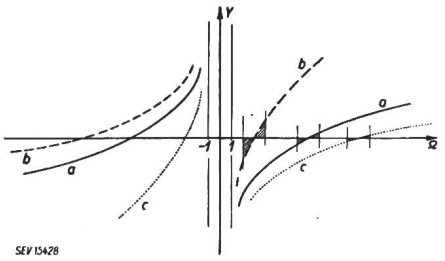

Fig. 15
Qualitativer Verlauf des Leitwertes Y
Verlauf bei verschiedenen Kabellängen in Funktion von Ω unter Voraussetzung einer kleinen relativen Bandbreite
Nähere Erläuterungen im Text

Die Funktion Y besitzt zwei Nullstellen, welche symmetrisch zu beiden Seiten des Bandes liegen, sofern die Kabellänge $s = \frac{\lambda}{4}$ für die Frequenz der Bandmitte beträgt (Kurve a). Wird die Kabellänge vergrössert, so wandern beide Nullstellen nach links (Kurve b), oder entsprechend bei einer Verkürzung nach rechts (Kurve c). Durch eine Variation der Kabellänge können also die Nullstellen beliebig verschoben werden, man kann sie insbesondere in die Bandmitte eines anderen Filters schieben. In Fig. 15 ist dies in den Nullstellen der drei Kurvenbeispiele angedeutet. Dabei bemerken wir, dass die *Variation* von Y über die Bandbreite um so grösser wird, je näher die beiden Bänder beieinander liegen. Eine Abweichung des Leitwertes von null kann aber eine zusätzliche Reflexionsdämpfung im Durchlassbereich des anderen Filters bedeuten. Liegt die Nullstelle in der Bandmitte, so wird die Zusatzdämpfung an den beiden Rändern maximal und gleich gross, d. h. die maximale Zusatzdämpfung ist minimal. Sie wird also grösser mit kleinerem Kanalabstand. Dabei ist die zweite Bedingung nicht zu vergessen, dass die Vierpoldämpfung im Nachbarkanal schon einen hinreichend grossen Betrag besitzen soll (Flankensteilheit).

Solange es sich um eine Weiche mit nur zwei Filtern handelt, sind diese Verhältnisse einfach zu überblicken. Das Grundsätzliche bleibt aber genau gleich, wenn es sich um Weichen mit vielen Durchlassbändern handelt. Komplizierend wird dabei die Forderung, dass für die Frequenz der Bandmitte eines beliebigen Durchlassbandes die Summe der Leitwerte aller anderen Filter null sein soll (Fig. 16).

Es soll also gelten:

$$\left(\sum_{1}^{k-1} Y + \sum_{k+1}^{n} Y \right)_{f=f_{ok}} = 0$$

wenn f_{ok} die Frequenz der Bandmitte des k-ten Kanals bedeutet. Diese Bedingung kann durch eine

geschickte Wahl der Kabellängen s_1 bis s_n für beliebige Kanalzahlen immer erfüllt werden. Die Variation des totalen Leitwertes über ein Durchlassband ist dann allerdings gleich der Summe der Variationen der einzelnen Leitwerte aller anderen Kanäle. Sie ist am grössten bei dem frequenzmässig in der Mitte liegenden Kanal und wächst einerseits

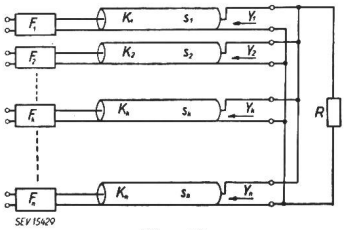

Fig. 16
Frequenzweiche mit n Bandfiltern
$F_{1...n}$ Bandfilter; $K_{1...n}$ Transformationskabel; $s_{1...n}$ Längen der betreffenden Kabelstücke; $Y_{1...n}$ Leitwert, vom Abschlusswiderstand aus betrachtet

mit der Kanalzahl und anderseits mit kleiner werdendem Kanalabstand (siehe weiter hinten).

Als Beispiel seien nun einige quantitative Angaben über eine gebaute Frequenzweiche angeführt. Das Frequenzgebiet liege um 185 MHz und die einzelnen Filterbänder sollen eine zwischen den Grenzfrequenzen gemessene Bandbreite von 1,5 MHz besitzen. Das entspricht einer relativen Bandbreite von 0,8 % im Mittel. Die praktisch ausnützbare Bandbreite beträgt dann zirka 1,3 MHz pro Band. Zu diesem Beispiel wurde der Zusammenhang zwischen maximal möglicher Zusatzdämpfung infolge Weichenschaltung b_{zw} an den Rädern des mittleren Filterbandes mit der Filterkanalzahl und dem Kanalabstand Δk berechnet. Fig. 17 zeigt diese Ver-

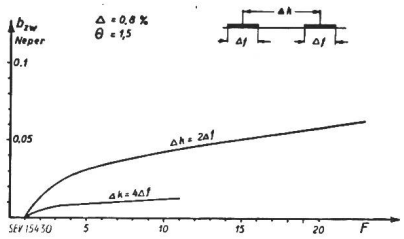

Fig. 17
Weichenzusatzdämpfung
Abhängigkeit der maximal möglichen Zusatzdämpfung infolge Weichenschaltung b_{zw} an den Rändern des mittleren Filterbandes von der Filterkanalzahl F, mit dem Kanalabstand Δk als Parameter

hältnisse, wobei b_{zw} als der im ungünstigsten Falle erreichbare Grenzwert der tatsächlich auftretenden Zusatzdämpfung aufzufassen ist.

Wir sehen, dass diese Leistungsdämpfung keinesfalls stark ins Gewicht fallen wird, beträgt sie doch z. B. bei 20 Filterkanälen und einem Kanalabstand $\Delta k = 2\,\Delta f$ rund 0,06 N. Für einen Kanalabstand $\Delta k = 4\,\Delta f$ wird sie verschwindend klein. Aus Gründen des Kostenaufwandes wurde die Kanalzahl unserer Weiche auf 6 beschränkt, bei einem Kanalabstand von $\Delta k = 2\,\Delta f$. Der Sperrbereich zwischen den Filtern ist dann gerade gleich gross wie ein Durchlassbereich, und der Durchlassbereich eines Nachbarkanals beginnt im normierten Frequenzmaßstab bei $\Omega = 3$. Der Dämpfungspol der Filter wurde zu $\Omega_\infty = 2{,}5$ festgelegt, so dass die Vierpoldämpfung nirgends unter 3 Neper sinkt und im Nachbarkanal schon erreicht wird. Fig. 18 zeigt die gemessene Betriebsdämpfung eines Filters, während Fig. 19 den berechneten Verlauf der imaginären

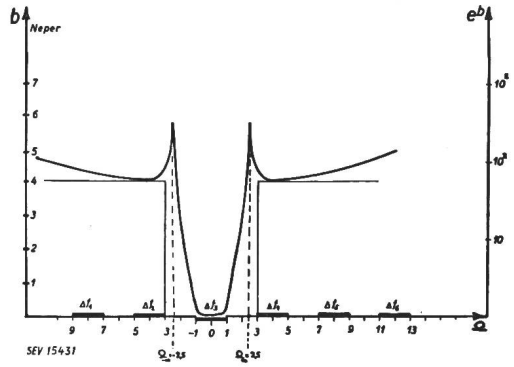

Fig. 18
Gemessene Betriebsdämpfung eines Filters

Komponente des Weichenleitwertes am Zusammenschaltpunkt der Kabelstücke zur Darstellung bringt.

Dabei wurden die Kabellängen so berechnet, dass die Summe der Leitwerte aller anderen Kanäle in der Bandmitte eines jeden Kanales zu null wird.

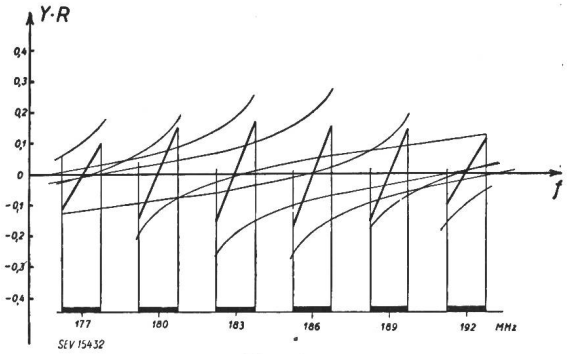

Fig. 19
Totale Eingangsreaktanz
Berechneter Verlauf der imaginären Komponente des Weichenleitwertes am Zusammenschaltpunkt der Kabelstücke

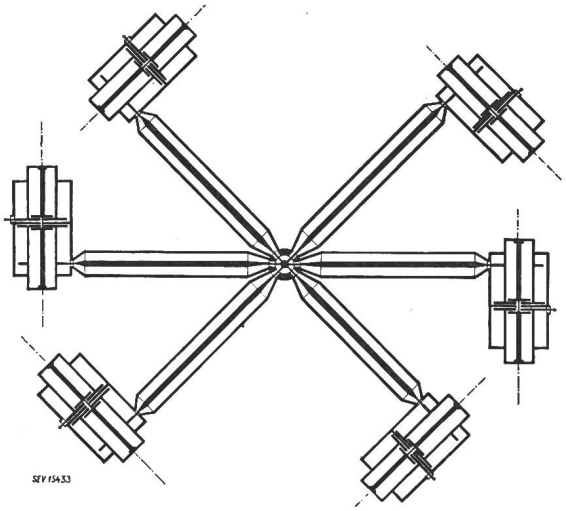

Fig. 20
Konstruktionsprinzip der Weiche

Fig. 20 zeigt das konstruktive Prinzip des Weichenbaues, Fig. 21 eine Konstruktionszeichnung eines Filterzweiges.

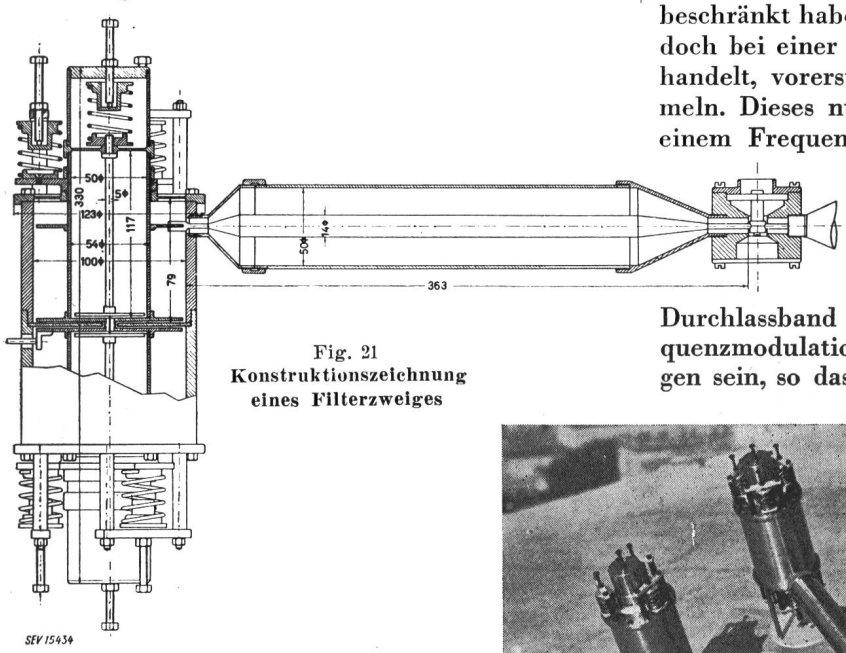

Fig. 21
Konstruktionszeichnung eines Filterzweiges

Auch hier wird die vollständig abgeschirmte und strahlungsfreie Bauart beibehalten, überdies enthält die ganze Weichenkonstrktion keine Dielektrika. Die Teilankopplung der Kabelstücke an den äusseren Schwingkreisen der Filter bewirkt eine Widerstandstransformation, so dass der Filterabschlusswiderstand von $R = 1700\ \Omega$ auf den Kabelwellenwiderstand von $75\ \Omega$ transformiert wird. Die Fig. 22 und 23 geben eine Ansicht der fertigen Weiche.

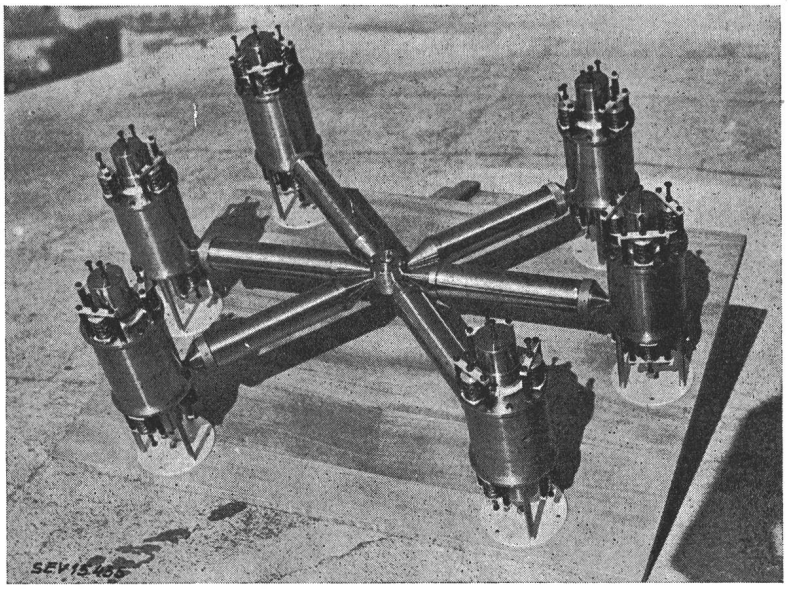

Fig. 22:
Ansicht der Frequenzweiche

Mit dieser Weiche erreichen wir somit ein totales ausnützbares Frequenzband von $6 \cdot 1{,}3$ MHz = 7,8 MHz, wobei wir uns aber willkürlich auf 6 Kanäle beschränkt haben. Immerhin genügt dies, da es sich doch bei einer ersten solchen Konstruktion darum handelt, vorerst einmal einige Erfahrung zu sammeln. Dieses nutzbare Frequenzband ist dabei in einem Frequenzgebiet von 16,5 MHz äquidistant verteilt, so dass wir insgesamt eine Frequenzausnützung von 0,5 erzielt haben. Voraussichtlich wird es aber möglich sein, diesen Wert noch zu verbessern. In einem Durchlassband werden bei Anwendung einer Frequenzmodulation zirka 15 Gespräche unterzubringen sein, so dass wir mit dieser kleinen Frequenzweiche mit der totalen Niederfrequenz-Kanalzahl in die Grössenordnung von 100 gelangen, wobei wir weder Bandbreiteschwierigkeiten in den einzelnen Mehrkanalsystemen selbst, noch Übersprechen zwischen den Kanalgruppen zu befürchten haben.

Ergänzungen

Als Ergänzung seien hier noch die Resultate der seither durchgeführten Messungen an der Weiche angeführt.

Fig. 24 zeigt den gemessenen Verlauf der Funktion $Y \cdot R$, d. h. der totalen Eingangsreaktanz aller anderen Filter am Zusammenschaltpunkt der Weiche über die Durchlassbereiche eines jeden Filters. Ein Vergleich der Messungen mit den vorausberechneten Werten der Fig. 19 zeigt die gute Übereinstimmung.

Fig. 25 stellt die gemessenen Betriebsdämpfungen der einzelnen, noch

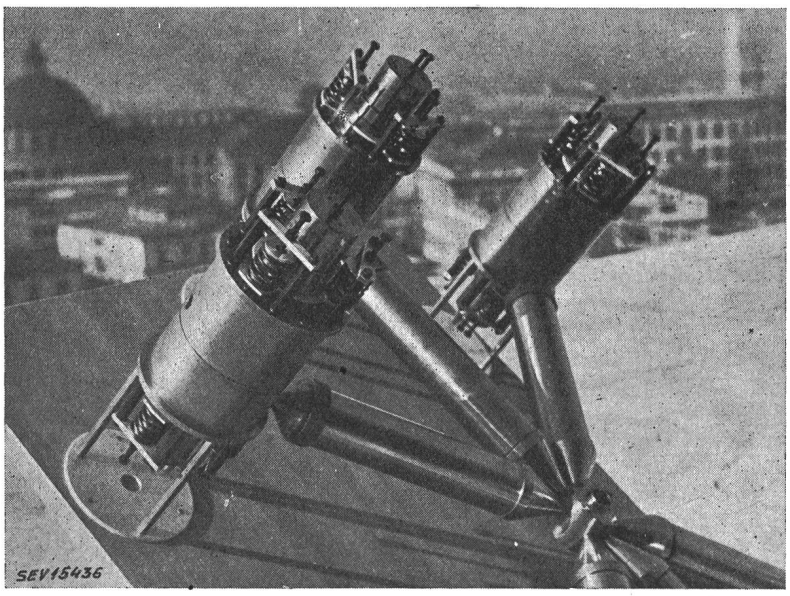

Fig. 23
Teilansicht der Frequenzweiche

nicht als Weiche geschalteten Filter dar, während die Betriebsdämpfungen der Weiche, gemessen zwischen jedem Eingangsklemmenpaar und dem gemeinsamen Ausgangsklemmenpaar, in Fig. 26 dargestellt sind.

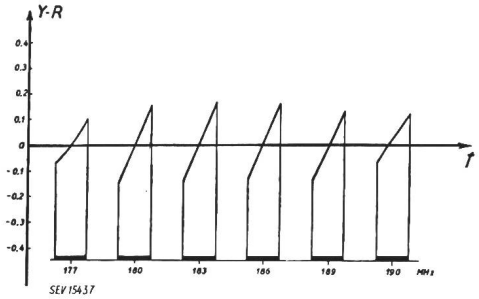

Fig. 24
Totale Eingangsreaktanz
Gemessener Verlauf der Funktion *YR*

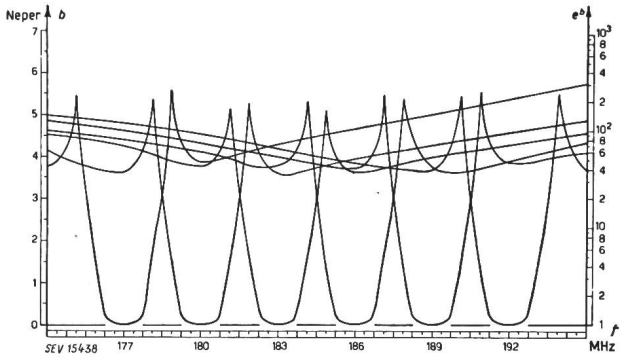

Fig. 25
Dämpfungsverlauf
Gemessene Betriebsdämpfungen der einzelnen, noch nicht als Weiche geschalteten Filter

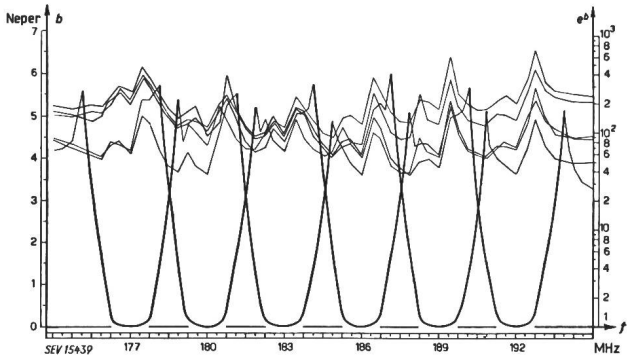

Fig. 26
Dämpfungsverlauf
Betriebsdämpfungen der zusammengebauten Weiche, gemessen zwischen jedem Eingangsklemmenpaar und dem gemeinsamen Ausgangsklemmenpaar

Literatur

[1] *Staub, Fridolin:* Eine Ultrakurzwellen-Frequenzweiche aus quasistationären Schwingtöpfen. Mitt". Inst. Hochfrequenztech. ETH, Nr. 11. — Zürich 1948.

[2] *Sigrist, W.:* Verstärkerprobleme der Ultrakurzwellen. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 1, S. 5...22.

[3] *Staub, Fridolin:* Kettenförmige Ultrakurzwellen-Bandfilter aus quasistationären Schwingtöpfen. Mitt". Inst. Hochfrequenztech. ETH, Nr. 8. — Zürich 1947.

Adresse des Autors:
Dr. sc. techn. *F. Staub*, dipl. Elektroingenieur ETH, Zeltweg 30, Zürich 32.

Die Fernwirkanlage Waltensburg—Ilanz

Von *W. Koenig, E. Walder* und *H. Masshardt*, Zug

621.398.2

Die kombinierte Fernwirkanlage für Simultan-Übertragung des EWBO dient zur Überwachung der unbedienten Kuppelstation Ilanz vom Kraftwerk Waltensburg aus. In der nachfolgenden Abhandlung sind zunächst die Betriebsaufgaben, welche die Anlage zu erfüllen hat, kurz skizziert, worauf das Prinzip und die Arbeitsweise der Anlage, sowie der Übertragungsmechanismus der Fernmessung nach dem Impuls-Frequenz-Verfahren und der nach dem Impuls-Intervall-Verfahren arbeitenden Wähler-Fernsteuerung erläutert werden. Leitungsplan, Prinzipschema und einige Abbildungen der Apparateschränke ergänzen den Text.

L'installation combinée de télécommande et de télémesure de l'EWBO, pour transmission simultanée permet de surveiller la station d'interconnexion d'Ilanz, non desservie, depuis l'usine électrique de Waltensburg. Dans cet exposé, les conditions de service requises de l'installation sont rapidement esquissées, puis le principe et le fonctionnement de l'installation y sont décrits. L'article donne simultanément une courte description du système de télémesure, basé sur le principe de la fréquence des impulsions, et sur celui de la télécommande à sélecteurs opérant d'après les intervalles d'impulsions. Un plan des lignes aériennes, un schéma de principe et quelques vues des tableaux de commande complètent ce texte.

1. Allgemeines

Das Versorgungsgebiet des Elektrizitätswerkes Bündner-Oberland A.-G. (EWBO) umfasst das Vorderrheintal von Disentis bis Valendas und Laax sowie einen Teil des Lugnez bis Vigens und Oberkastels. Sein 8,5-kV-Hochspannungsnetz wird durch das werkeigene Kraftwerk Waltensburg (850 kW) gespiesen. Daneben kauft das Werk, um den Bedarf decken zu können, Fremdenergie von der Patvag A.-G. für Biochemie, welche als Energielieferantin des Holzverzuckerungswerkes in Ems über folgende Kraftwerke verfügt: Russein (10 000 kW), Tavanasa (3500 kW) und Pintrun (6200 kW). Vom Kraftwerk Russein nach Ems besitzt die Patvag eine durchgehende Hochspannungsleitung von 55 kV Nennspannung, die je nach den Belastungsverhältnissen zwischen 49 und 66,5 kV schwanken kann (Fig. 1).

Die Kupplung der beiden Netze erfolgt in der unbedienten Schaltstelle Ilanz (ab Herbst 1948 auch in Russein), die einen unterspannungsseitig regulierbaren 1500-kVA-Stufentransformator 66,5... 49/8,5 kV, einen Parallelschaltapparat und die zugehörige Schaltausrüstung besitzt (Fig. 2 und 3). Um die Schaltstation Ilanz von dem etwa 10 km entfernten, bedienten Kraftwerk Waltensburg aus