

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 42 (1951)
Heft: 21

Artikel: Frequenzmodulations-Rundfunk-Empfang
Autor: Stürzinger, O.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061026>

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: 21.02.2026

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEM VEREINS

Frequenzmodulations-Rundfunk-Empfang¹⁾

Von O. Stürzinger, Zürich

621.396.619.13:621.396.62

Frequenzmodulierte Rundfunkübertragung ist eine Technik, die in den USA und neuerdings auch in Deutschland zur Selbstverständlichkeit geworden ist. Die vielen Vorteile der Frequenzmodulation, hauptsächlich in Bezug auf die Qualität der Übertragung, lassen es angezeigt erscheinen, auch bei uns nachdrücklich auf diese Technik hinzuweisen. Im folgenden sind die Probleme, die sich auf der Empfangsseite ergeben, und ihre Lösungen besprochen. Es wird bewusst keine allzu eingehende Erläuterung der theoretischen und technischen Grundlagen geboten, damit auch dem Nichtfernmeldetechniker Einblick in die neuartige Technik geben werden kann.

La transmission TSF en modulation de fréquence est un fait qui, des années déjà, est accepté en Amérique comme système normal de radio. Aussi en Allemagne on est arrivé à ce point. Les nombreux avantages de ce mode de transmission, spécialement en vue de la qualité de reproduction, justifient une propagande. L'article suivant décrit en brèves lignes les différents problèmes et leurs solutions qui se posent de la part du poste récepteur. Afin de donner un point de vue à tout ceux qui ne sont pas de la branche proprement dite, tous détails théoriques sont évités.

1. Einleitung

Die Tatsache, dass elektrische Wellen, die einen Informationsinhalt übertragen sollen, verschieden moduliert werden können, brachte den amerikanischen Major Armstrong in den dreissiger Jahren auf den Gedanken, Versuche mit frequenzmodulierten Wellen durchzuführen. Diese Untersuchungen ergaben so umwälzende Resultate, dass sich Armstrong in der Folge ganz für die Propagierung der Frequenzmodulation (FM) einsetzte. 1940 konnten in den USA die ersten öffentlichen Vorführungen stattfinden, welche eindeutig die Hauptvorzüge der FM-Musikübertragung darlegten, nämlich die Freiheit von atmosphärischen Störungen und die Möglichkeiten, ein sehr breites akustisches Frequenzband (20...15 000 Hz) auszunutzen und bei der Übertragung die volle Dynamik zu behalten. Diese Eigenschaften prädestinieren die Frequenzmodulation für Übertragungen, bei denen es weniger auf die Überbrückung grosser Entfernen als vielmehr auf möglichst naturgetreue Wiedergabe ankommt.

Bei einer der ersten öffentlichen Vorführungen um 1940 gelang Armstrong wohl die eindrücklichste Demonstration der naturgetreuen Wiedergabe bei Frequenzmodulation: Während auf der Bühne ein Pianist ein Stück vortrug, wurden unmerklich Lautsprecher eingeblendet, die, über einen FM-Kanal gesteuert, dasselbe Stück ausstrahlten, das im Studio von einem zweiten Pianisten gespielt wurde. Dieser stand zwecks «Synchronisierung» des Vortrags mit dem öffentlich sichtbaren Spieler in telefonischer Verbindung. Das Publikum merkte die Umstellung erst, als der Pianist auf der Bühne demonstrativ mit Spielen aufhörte.

¹⁾ Die Arbeit gibt in konzentrierter Form den Inhalt zweier Vorträge wieder, die der Autor im Sommer 1951 im Schosse des Fernseh- und Radioclubs Zürich und des Verbandes Schweizerischer Radiofachgeschäfte hielt.

In den Jahren während und kurz nach dem letzten Kriege wurde in den USA die FM-Technik sehr gefördert. Nach Europa gelangten darüber nur unbestimmte Nachrichten, und es wurden bei uns auch keine Grossversuche durchgeführt. Erst der Kopenhagener Wellen-Plan hat in Europa den Anstoß dazu gegeben, ebenfalls den Ultrakurzwellen-Rundfunk (UKW-Rundfunk) zu fördern. Leider erfolgte die Kopenhagener Wellenverteilung weniger nach technischen als vielmehr nach politischen Gesichtspunkten. Deutschland wurde der grösste Teil der stärkern Mittelwellen abgesprochen. Um dennoch einen vernünftigen Mehrprogramm-Dienst ausstrahlen zu können, sah sich der deutsche Rundfunk gezwungen, seine Zuflucht zum UKW-Gebiet zu nehmen. Innerhalb des letzten Jahres wurde in Deutschland ein ansehnliches Netz von UKW-FM-Sendern aufgestellt. Auch die Empfängerindustrie hält mit der Entwicklung Schritt. Bereits sind auf dem Markt kombinierte AM-FM-Empfänger (AM = Amplitudenmodulation) erhältlich, die weniger kosten als die vor einigen Jahren von amerikanischen Firmen erstmals gebauten Geräte.

Auch in Italien, Frankreich, Grossbritannien und anderwärts werden FM-Sendungen durchgeführt. Da die Entwicklung in diesen Ländern nicht durch eine wirkliche Notlage bedingt war, hat sie dort auch nicht diesen stürmischen Verlauf genommen. Ausserdem ist in diesen Ländern das Fernsehen entweder bereits gut eingeführt oder zumindest sehr weit entwickelt, so dass das Publikumsinteresse sich mehr dieser Technik zugewendet hat.

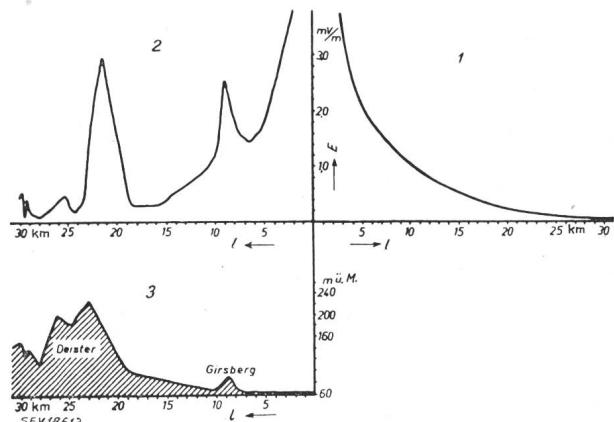
In der Schweiz wurden durch die PTT als Inhaberin des Fermenlderegals verschiedentlich Versuche auf dem FM-Gebiet durchgeführt; zur Zeit stehen in Bern und auf dem Chasseral zwei Versuchssender in Betrieb, die in erster Linie zur Ermittlung der Ausbreitungerscheinungen dienen sol-

len, denn unser Land besitzt bekanntlich eine topographisch recht komplizierte Struktur.

Die radiotechnische Übertragung beruht auf dem Resonanzprinzip. Der Empfangsschwingkreis wird so abgestimmt, dass er mit der einfallenden Welle in Resonanz gerät. Theoretisch kann er nur bei einer definierten Welle mitschwingen. Praktisch weist er aber eine gewisse Bandbreite auf, die auch Anregung durch Nachbarwellen zulässt.

Damit eine Übertragung mit Frequenzmodulation möglich ist, muss das Frequenzband eine viel größere Breite aufweisen als bei Amplitudenmodulation. Der Empfangskreis muss dieses Band möglichst vollständig und gleichmäßig aufnehmen. Da die Bandbreite gegeben, die Resonanzkurve eines Kreises bei Mittel- und Kurzwellen aber zu eng ist, um diese Breite durchzulassen, ist Frequenzmodulation mit vernünftigen Mitteln nur im UKW-Gebiet durchführbar, wo die Kanalbreite relativ schmal in Bezug auf den Träger ist. Gemessen an der Resonanzkurve eines guten Kreises geht die geforderte Kanalbreite allerdings über den normalen Durchlassbereich hinaus. Da jedoch im UKW-Gebiet die Verluste der Schaltelemente schon erheblich dämpfend auf die Schwingkreise einwirken,

haben diese eine flachere Resonanzkurve als Schwingkreise im Kurzwellen- oder Mittelwellen-Gebiet (KW- oder MW-Gebiet).



Feldstärkeverlauf des UKW-Senders Hannover in Richtung

- Südwesten-Nordosten**

 - 1 Feldstärkeverlauf in Richtung NO (über ebenem Gelände)
 - 2 Feldstärkeverlauf in Richtung SW
 - 3 Bodenprofil in Richtung SW
 - E Feldstärke: l Entfernung

E Feldstärke; t Entfernung
 Senderleistung 400 W; Höhe der Sendeantenne 52 m; Antennenhöhe über Meer 109 m; Antennenbündelung 4fach; Höhe der Empfangsantenne über dem Boden 2 m; Horizontale Polarisierung

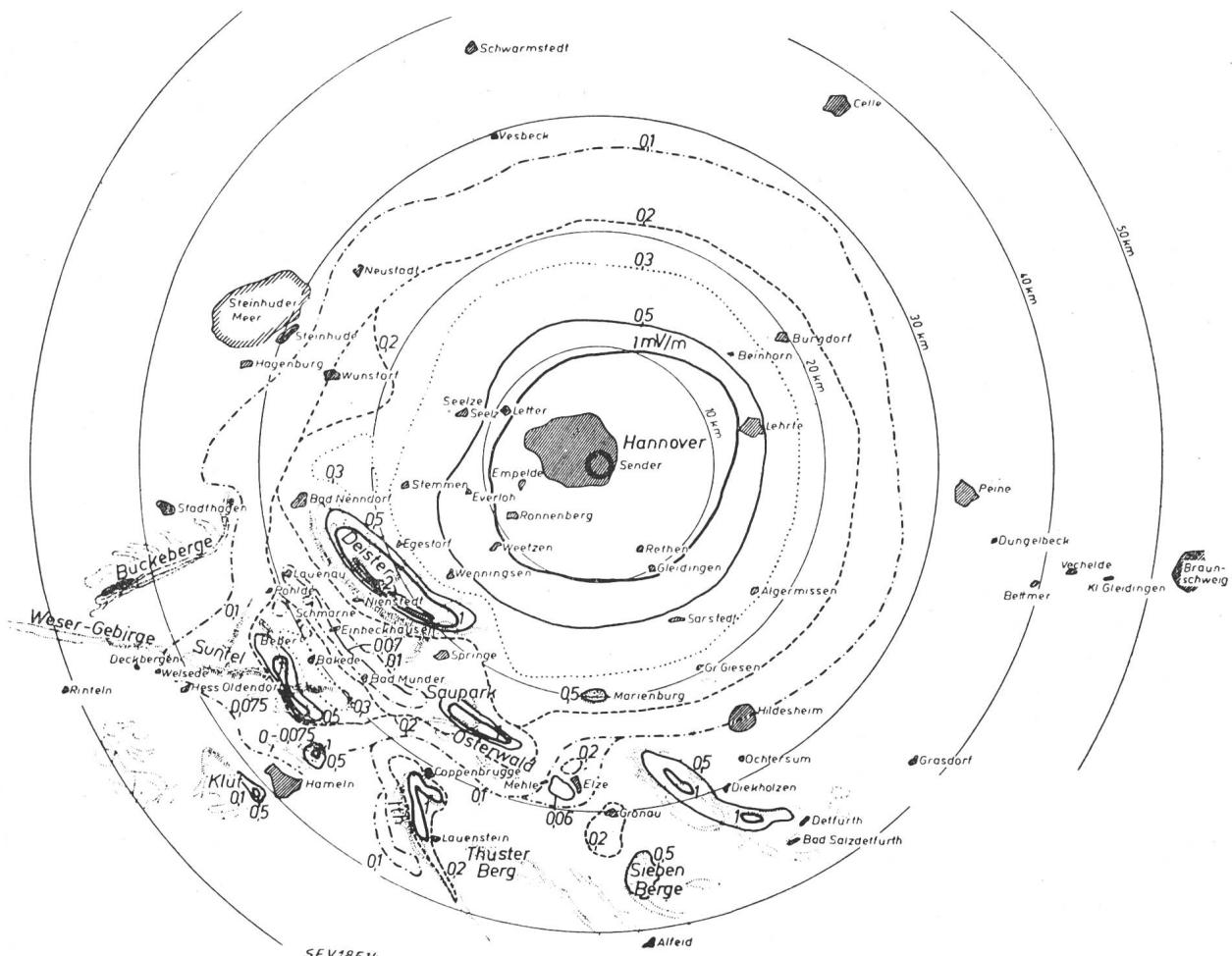


Fig. 1b

Feldstärkeverteilung um den UKW-Sender Hannover

Leistung 0,4 kW; Höhe der Empfangsantenne 2 m
 0,3 mV/m - - - 0,2 mV/m - · - - - 0,1 mV/m

2. Die Ausbreitung der Ultrakurzwellen

Ultrakurzwellen breiten sich im Gelände nach Gesetzen aus, die rechnerisch schwer zu erfassen sind. Sie liegen zwischen den Mikrowellen, die sich nur noch in Sichtrichtung (quasi-optisch) ausbreiten, und den Kurzwellen, die teils an der Ionosphäre noch reflektiert werden, teils sich der Erdoberfläche entlang ausbreiten. Empfangsverhältnisse im UKW-Gebiet sind von Fall zu Fall auszumessen und genau abzuklären; in der Ebene kann allerdings mit der theoretischen Abklingkurve gerechnet werden, d. h. die Linien gleicher Feldstärke verlaufen annähernd kreisförmig. In hügeligem Gelände jedoch ergeben sich sofort Reflexions- und Absorptionserscheinungen. Ein typisches Beispiel dafür zeigen die Fig. 1a und 1b²⁾. Nach Nordosten haben wir flaches Gelände, nach Südwesten Hügelland. Das oben Gesagte wird hier auf verblüffende Weise durch die Messungen bestätigt.

3. Die Antennen

Radioantennen sollen grundsätzlich (bei Sender und Empfänger) auf die zu empfangende Welle abgestimmt sein. Beim Mittelwellenempfang genügt jedoch der grossen Feldstärke wegen meist eine



Fig. 2
Zweielemente-Antenne
Empfangsversuche beim Tobelhof, Zürich

aperiodische Antenne. Es ist dies sogar erwünscht, da infolge der mechanischen Grössen eine variable Mittelwellenantenne zu kompliziert würde.

Im UKW-Gebiet bildet eine mechanisch abgestimmte Antenne kein Problem mehr, weshalb in

²⁾ Die Figuren 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9b, 10 und 11, für welche der Verlag Weidemann, Hannover, in verdankenswerter Weise das Nachdrucksrecht verliehen hat, entstammen dem Werk von A. Nowak und F. Schilling «Vom Dipol zum Lautsprecher». Die Figuren 3, 9a und 12 wurden dem von der FM-Company, Great Barrington, Mass., herausgegebenen FM-Radio-Handbook, Edition 1946, entnommen.

der Regel UKW-Antennen als einfache oder gefaltete Dipole gebaut werden. Eine Dipolantenne besteht grundsätzlich aus einem in der Mitte durch einen Isolator aufgetrennten Leiterstab, dessen Totallänge der halben Eigenwelle entspricht. Seine grösste Empfindlichkeit bzw. Strahlungsstärke liegt in senkrechter Richtung zu seiner Achse. Zwecks Erhöhung der Empfindlichkeit bei gleichzeitiger Verbesserung der Richtwirkung werden sogenannte strahlungsgekoppelte Zusatzelemente verwendet, wodurch die kombinierte Yagi-Antenne entsteht. Tannenbaum, Schmetterling, Rhombus usw. sind weitere Abarten von Mehrfachantennen. Solche Mehrfachantennen weisen eine breitere Resonanzkurve auf als der einfache Dipol und sind deshalb für Frequenzmodulation und ganz besonders für Fernsehen besser geeignet (Fig. 2).

4. Die Modulation

Im Gegensatz zum AM-Rundfunk, bei dem die Amplitudengrösse, also die ausgestrahlte Energie der Welle moduliert wird, arbeitet die Frequenzmodulation mit konstanter Sendeenergie; es wird, wie der Name sagt, die Schwingungszahl der Trägerwelle proportional dem Modulationssignal verändert, wobei die Amplitude konstant bleibt (Fig. 3). Als Norm ist allgemein festgelegt, dass die grösste zu übertragende Lautstärke einen Hub von 75 kHz erzeugen soll, wobei die Modulationsfrequenzen eine Bandbreite von 15 000 Hz aus praktischen Erwägungen nicht überschreiten sollen. Die Zusammenhänge zwischen der Stärke des Signals und jener des Trägers sind kompliziert, da der Träger in seiner Amplitude ja nicht von den Lautstärkeunterschieden beeinflusst wird. Ein weiterer Unterschied gegenüber der Amplitudenmodulation liegt im Entstehen einer Menge von Seitenbändern, deren Anzahl von Frequenz und Lautstärke des Signals abhängt.

5. Die Bandbreite

Ein reiner Sinuston hat bei Frequenzmodulation schon mehrere Seitenbänder zur Folge, im Gegensatz zu einem einzigen Paar bei Amplitudenmodulation (Fig. 4). Die aus dieser Tatsache sich er-

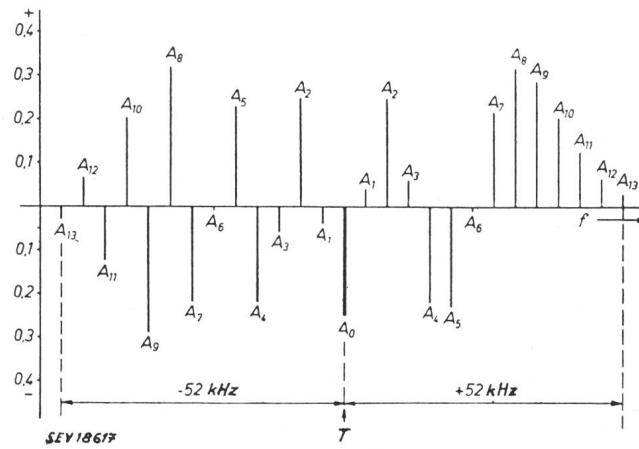


Fig. 4
Frequenzspektrum einer mit 4000 Hz bei einem Hub von ± 40 kHz frequenzmodulierten Welle
 $A_0 \dots A_{13}$ Seitenbänder; T Trägerwelle; f Frequenz

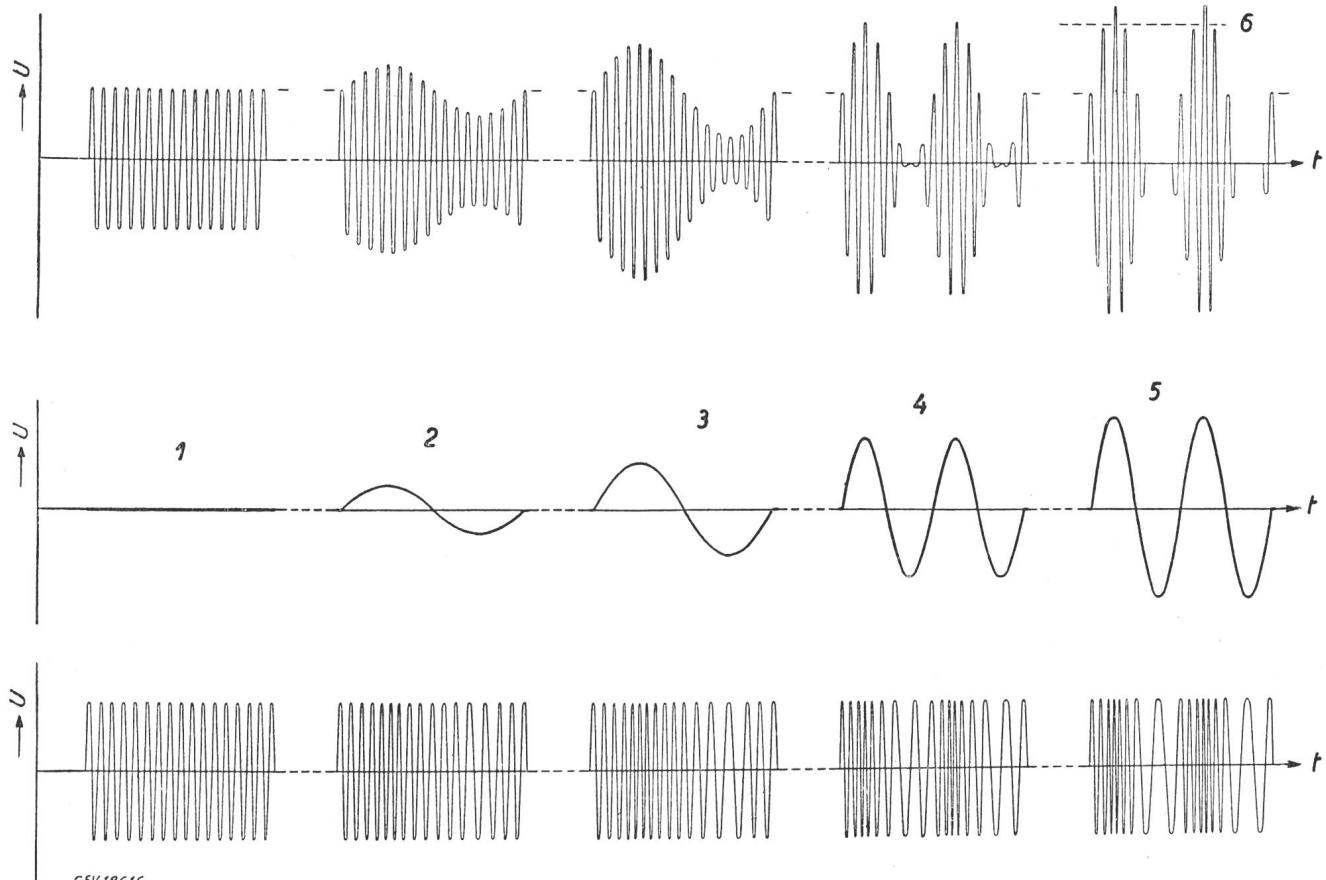


Fig. 3

Vergleichende Darstellung von Amplituden- und Frequenzmodulation
 Mitte: niederfrequentes Signal; 1 Ruhe; 2 leiser Tiefton; 3 lauter Tiefton; 4 sehr lauter Hochton; 5 überlauter Hochton
 Oben: amplitudinemodulierter Träger; 6 Übermodulation
 Unten: frequenzmodulierter Träger
 U Spannung; t Zeit

gebende erforderliche Mindestdurchlassbreite für Empfänger beträgt etwa 250 kHz. Aus diesem Grunde sind die innern Kreise der Empfänger meist zusätzlich zu dämpfen, um die Bandbreite (natürlich auf Kosten der Resonanzerhöhung) zu vergrössern. Die Antennenresonanzbreite ist, wie oben angeführt, ebenfalls zu erhöhen.

6. Die Zerrstufe

Eine Erscheinung, die den Elektroakustikern seit jeher Schwierigkeiten macht, ist das Rauschen. Je höher man einen Verstärker züchtet, um so mehr werden neben dem Nutzsignal Störgeräusche mitverstärkt, die ihren Ursprung in den Vorstufen selber haben. Da das thermische Rauschen ein Frequenzband ausfüllt, das von null bis in die höchsten Frequenzen reicht, ergibt sich daraus, dass auch HF-Verstärkerstufen als Vorstufen im obigen Sinne zu betrachten sind. Zu den Eigenstörungen treten beim Radio noch eine Menge Fremdstörungen hinzu, und gerade sie sind es, welche einwandfreien AM-Rundfunk in dicht besiedelten Gebieten heute praktisch verunmöglichen.

Da Störfrequenzen höherer Schwingungszahl viel deutlicher wahrgenommen werden als niederfrequente, wird vom Publikum die Klangregelung am Radio mehrheitlich auf dumpf gestellt. Diese Selbsthilfe steht dem Bestreben der Entwicklungsinge-

nieure entgegen, deren ganzes Trachten dahin geht, Geräte mit einer möglichst breitbandigen NF-Wiedergabe auf den Markt zu bringen.

Bei der Frequenzmodulation wird nun zum vornherein in alle Geräte eine fest eingestellte, wirksame Klangblende (Zerrstufe) eingebaut, die von 2000 Hz an aufwärts stark dämpft. Auf diese Weise wird ein Grossteil der Störgeräusche unterdrückt. Da nun aber gerade die Frequenzmodulation gestattet, Frequenzen bis zu 15 000 Hz ohne Schwierigkeiten zu übertragen, wird der Sender derart moduliert, dass die Nutzsignalfrequenzen von 2000 Hz an aufwärts stark angehoben werden. Schaltet man im Sender und Empfänger komplementäre Zerrstufen mit gleicher Zeitkonstante ein, so ist der Frequenzgang Mikrofon-Lautsprecher wieder linear; trotzdem bleibt aber im Empfänger die starke Klangblende in Bezug auf Störsignale wirksam.

Diese Vor- und Nachentzerrung (Pre- and De-Emphasis) kann beim AM-Rundfunk nicht durchgeführt werden. Dort zwingt uns die Modulationsart, die Dynamik des Orchesters stark zu komprimieren, um eine Übermodulation zu vermeiden. Der Minimalpegel ist dabei durch die Rauschstörungen gegeben. Man hat bei Amplitudenmodulation keine «überflüssige» Modulationsstärke zur Verfügung, um Fortissimi in den hohen Tönen noch lauter übertragen zu können. Die Störgeräuschunter-

drückung wurde deshalb erst durch Frequenzmodulation möglich.

Die Zerrstufe besteht meist aus *RC*-Gliedern. In den USA hat sich dabei eine Zeitkonstante von 75 μ s eingebürgert. Infolge des abweichenden Lautinhalts der deutschen Sprache wurden vom deutschen Rundfunk 50 μ s als Norm angenommen.

7. Die Verstärkung

Es ist sehr schwierig, im UKW-Gebiet mit einfachen Mitteln einen vernünftigen HF-Verstärker zu bauen. Die Antennenzuleitung, die meist aus einem Kabel konstanten Wellenwiderstandes besteht und auf den Empfängereingang und die Antenne anzupassen ist, wird in der Regel im Empfänger auf die Antennenstufe einer Mischschaltung geführt. In Fällen, wo die Feldstärke so klein ist, dass eine Vorstufe verlangt wird, ist diese unter Verwendung von Sonderröhren herzustellen. Solche Sonderröhren existieren auf dem amerikanischen Markt, wo die Frequenzmodulation nun an die zehn Jahre alt ist, schon seit Jahren. Bei uns mussten solche Röhren erst entwickelt werden. In Deutschland sind neue Stahlrohrtypen auf dem Markt erschienen, die eigens im Hinblick auf die UKW-Technik geschaffen wurden. Die in der Zwischenzeit entwickelten Miniaturröhren sind natürlich den Anforderungen der UKW-Technik auch angepasst worden, so dass sich die Tendenz zur Verkleinerung auch beim UKW-Empfänger abzuzeichnen beginnt.

Einige der wichtigsten Störfaktoren seien kurz erwähnt:

a) *Laufzeitscheinungen*. Wenn auch die Elektronengeschwindigkeit vom UKW-Gebiet aus betrachtet noch nicht als «langsam» bezeichnet werden kann, so ist immerhin schon ein merklicher Unterschied im Verhältnis von Schwingungszahl zu Laufzeit gegenüber Kurzwellen und Mittelwellen festzustellen. Elektronen, die von einem positiven Gitter aus der Kathode «herausgeholt» werden, treffen im Extremfall bei der «Ankunft» bereits ein negatives Gitter an.

b) *Streukapazitäten*. Zwei gegeneinander isolierte Leiter bilden einen Kondensator. Alle Röhrenelektroden sind somit Kondensatorbeläge. Die Gitter-Kathodenkapazität liegt als feste Größe parallel zum Schwingkreis des Verstärkers. Dies muss bei der Dimensionierung berücksichtigt werden, da im UKW-Gebiet die Kapazitäten der Schwingkreise in der Größenordnung von 20 pF liegen.

c) *Induktivität*. Jeder stromdurchflossene Leiter induziert bei Wechselstrom sich selber. Die Selbstinduktivität der Kathodenleitung, der Gitterleitung usw. tritt als störende Größe im System auf, da die Kreisinduktivitäten gleiche Größenordnungen aufweisen.

Aus diesen Überlegungen heraus sind UKW-Verstärkerstufen höchst kompakt aufzubauen. Eine grosse Schwierigkeit ergibt sich dann, wenn eine solche Stufe in das System eines Wellenschalters miteinbezogen werden muss, wo zwangsläufig lange Zuleitungen erforderlich sind. Hier kann oft nur noch der Spulenrevolver als letzter Ausweg dienen. Da er sehr teuer ist, wird er jedoch selten verwendet; überdies ist es der Industrie gelungen, diese Schwierigkeiten mit billigeren Lösungen zu meistern.

Vorstufenverstärker werden oft aperiodisch gebaut. Ist eine Abstimmung vorgesehen, so verwendet man ein separates Drehkondensatorpaket, das bei

kombinierten Empfängern auf der Achse des grossen Drehkondensators sitzt, oder aber man bedient sich der induktiven Abstimmung mit verschiebbaren Eisenkernen.

Zwei abstimmbare Kreise sind mindestens bei der Mischstufe vorzusehen.

8. Die Mischstufe

Dank seiner Vorteile hat sich das Arbeiten mit einer fest abgestimmten Frequenz im Radiowesen so eingebürgert, dass auch bei Ultrakurzwellen das System der festen Zwischenfrequenz ohne weiteres übernommen wurde. Schon aus der Überlegung heraus, dass sich mit den hohen Frequenzen schwer arbeiten lässt, drängt sich eine Transponierung (Verlagerung in ein anderes Frequenzband) auf. In

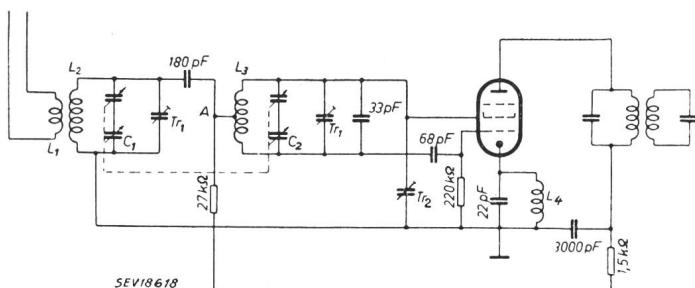


Fig. 5
Additive Mischung und Schwingungserzeugung in einer Röhre

Amerika wie in Europa wurde eine Zwischenfrequenz von 10,7 MHz als Norm für FM-UKW-Rundfunkempfänger festgesetzt. Diese Zwischenfrequenz wird häufig nach der klassischen Methode mit Doppelröhren (Triode-Hexode) erzeugt. Doch auch Schaltungen, die in den Pionierzeiten des Superheterodynapparates empfohlen wurden, haben sich bei Ultrakurzwellen erstaunlich gut bewährt (additive Mischung usw.). Nach einer in Europa gebräuchlichen Schaltung wird z. B. die Antennenenergie auf die Mitte der Oszillatorkoppele eingespist (Tropadyn, Fig. 5). In Amerika, dem Land der Zwillingsröhren, wird eine Doppeltriode nach Fig. 6 geschaltet. Antennen- und Oszillatorkreis haben als einziges die Kathodenleitung gemeinsam.

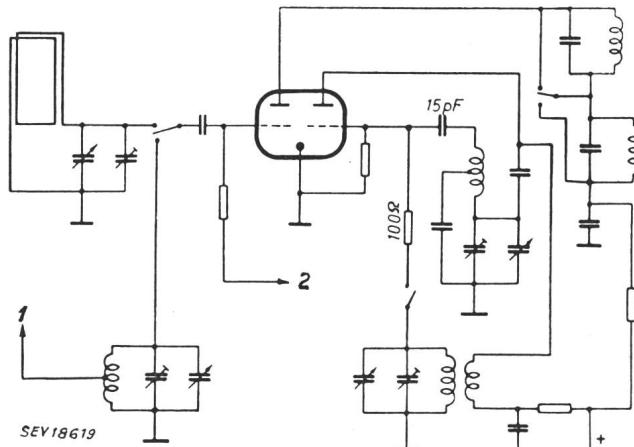


Fig. 6
Amerikanische Mischstufe für UKW- und Mittelwellenempfang mit Doppeltriode als Mischrohr
1 zur FM-Antenne; 2 zum Regelkreis

Wo eigentlich der Mischprozess stattfindet, ist auf den ersten Blick hin unklar. Da aber im Anodenkreis eine Zwischenfrequenz entsteht, ist anzunehmen, dass Kopplungen innerhalb der Röhre und in den Zuleitungen bereits zur Mischung genügen.

Der Oszillatorkreis muss ganz besonders sorgfältig aufgebaut werden, da er ja den Hauptanteil an der Frequenzstabilität des Empfängers trägt. In vielen Fällen werden der Schaltung deshalb temperaturkompensierte Elemente eingegliedert. Professionelle Geräte arbeiten mit getrenntem Oszillator, der in einem Thermostaten eingebaut ist und eine Anlaufzeit von bis zu 50 min benötigt.

9. Die Begrenzerstufe

Bei einem technischen Gerät, das auf eine bestimmte Kenngröße reagieren soll, ist es angezeigt, alle andern Größen, die sich störend auswirken könnten, möglichst zu eliminieren. Beim FM-Empfang besteht diese Kenngröße in der Grundfrequenz eines Senders und den entsprechenden Seitenbändern. Die Stärke der hochfrequenten Schwingung selbst wird gar nicht in Betracht gezogen. Falls also eine Schwingung innerhalb des eingestellten Frequenzbereiches liegt und eine minimale Stärke aufweist (d. h. den Störgrundpegel überragt), so soll sie den Empfänger aussteuern. Die Größe der Amplitude soll dabei keinen Einfluss auf diese Aussteuerbarkeit haben. Mit andern Worten: Die Distanz Sender-Empfänger soll bis zu einem maximalen Wert die Wiedergabegüte und Lautstärke nicht beeinflussen.

Um diesen Forderungen gerecht zu werden, wird am Ende der HF-Verstärkerkette (Zwischenfrequenzstufen) eine Begrenzerstufe eingebaut, die gerade dann voll ausgesteuert ist, wenn der Empfänger an der Antenne mit der für ihn charakteristischen minimalen Antennenspannung erregt wird. Alle höhern Amplituden werden an der Begrenzerstufe abgeschwächt und in gleicher Stärke durchgelassen.

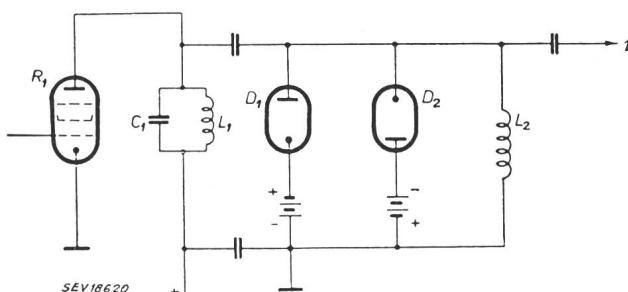


Fig. 7
Diodenbegrenzer

1 Ausgang der begrenzten Zwischenfrequenzspannung

Diese Bauart wirkt sich vor allem in einer enormen Dämpfung der lokalen impulsähnlichen Störungen aus, die infolge ihrer Stärke imstande wären, auch die nachfolgenden Modulationswandler (Demodulatoren) zu übersteuern und sich im Niederfrequenz-Teil bemerkbar zu machen. Einen weiteren Vorteil bildet die damit erreichte Stabilisierung der Empfangsverhältnisse, die durch Schwankungen der eintreffenden HF-Energie ver-

ändert werden könnten (Änderung der dielektrischen Eigenschaften der Luft, Schwunderscheinungen usw.).

Als Begrenzerstufen kommen in Frage: einfache Clipperstufen mit vorgespannten Dioden (Fig. 7) oder Pentoden mit automatischer Gitterspannungs-

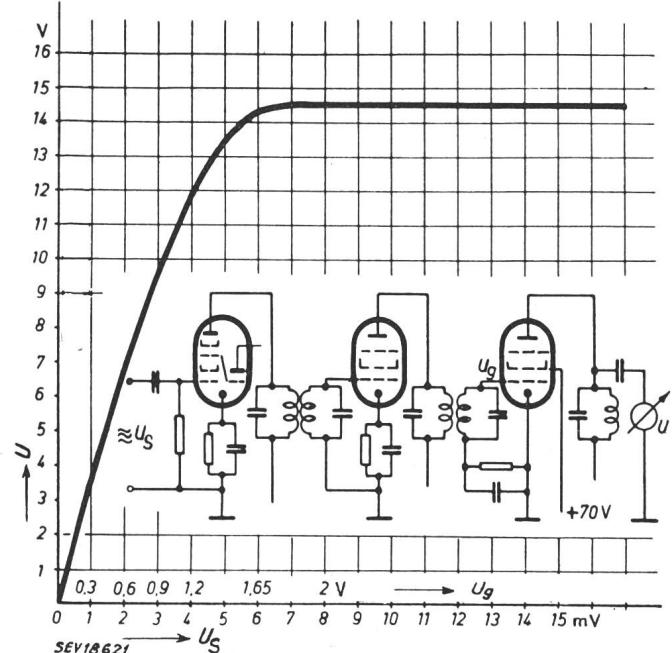


Fig. 8
Die Röhre EF 12 als Pentodenbegrenzer mit gleitender Schirmgitterspannung

U Ausgangsspannung; U_s Signalspannung; U_g Spannung am Gitter des Begrenzers

regelung, ähnlich den früheren Audionschaltungen. Auch Pentodenstufen, bei denen die Anodenstromsättigung ausgenutzt wird, gelangen zur Anwendung. Die Wirkung einer Begrenzerstufe zeigt Fig. 8.

10. Die Demodulation

Die Rückverwandlung der in ihrer Schwingungszahl variierenden Hochfrequenz in elektroakustisch erfassbare Niederfrequenz erfolgt in der Demodulationsstufe. Bei AM-Rundfunk bedient man sich einer einfachen Gleichrichterstufe, deren Zeitkonstante so eingestellt ist, dass die NF-Schwingung ausgesiebt wird.

Bei Frequenzmodulation muss anders vorgegangen werden. Das Kriterium bildet hier nicht mehr die Hochfrequenzamplitude, die im Begrenzer bewusst vereinheitlicht wird, sondern die Schwingungszahl. Ein Schaltglied, das eine Spannung abgeben kann, welche unter Umständen direkt von der Schwingungszahl abhängt, ist der einfache Resonanzschwingkreis. Die höchste Spannung entsteht an ihm im Resonanzfall; höhere oder niedrigere Schwingungszahlen vermögen den Kreis nur auf entsprechend kleinere Spannungswerte aufzuschaukeln. Wird der Kreis nun so eingestellt, dass die Nennfrequenz des zu empfangenden Senders (bzw. die Zwischenfrequenz) auf die Mitte einer Flanke, z. B. der niederfrequenzseitigen zu liegen kommt, so wird eine Erhöhung der Frequenz eine Span-

nungserhöhung zur Folge haben, eine Senkung hingegen eine Abnahme der Kreisspannung. Über einen Gleichrichter lässt sich somit Spannung abnehmen, die proportional zu der niederfrequenten Modulation des Trägers ist.

Da aber die Resonanzkurve eines Schwingkreises in den meisten Fällen kein längeres gerades Stück aufweist, empfiehlt sich diese Art von Demodulation nur in Behelfsfällen, da sie nichtlineare Verzerrungen erzeugt. Eine Verbesserung lässt sich durch Gegentaktschaltung von zwei um den gleichen Wert gegen die Nennfrequenz symmetrisch verstimmten Kreisen erreichen. Durch das Zusammenwirken der oberfrequenten Seite des einen mit der unterfrequenten Seite des andern Schwingkreises entsteht eine lineare Strecke im erforderlichen Frequenzbereich (Fig. 9a).

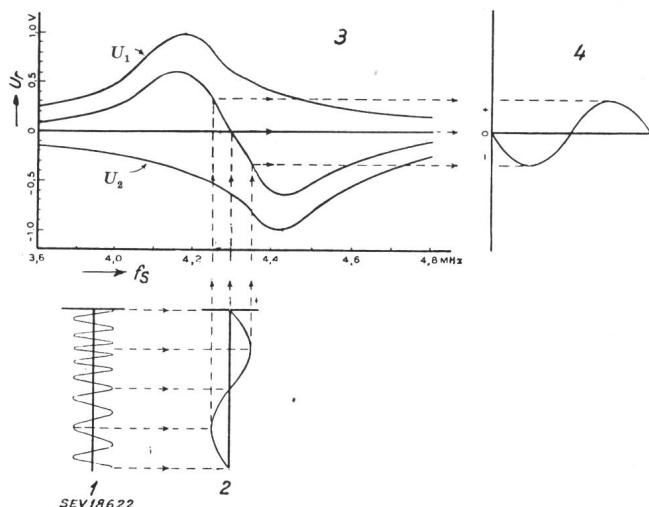


Fig. 9a

Darstellung der Kombinationswirkung im Zweikreisdiskriminator

U_r relative Ausgangsspannung; f_s Signalfrequenz;
1 FM-Signal; 2 Frequenzverlauf des FM-Signals; 3 Mischcharakteristik; 4 Ausgangsspannung

Einen weiteren Fortschritt stellt der Phasendiskriminator (Riegerkreis) dar, bei welchem die Phasenbeziehungen zwischen Primär- und Sekundärspannung von zwei gekoppelten Kreisen in der Nähe der Resonanzstelle zur Modulationswandlung ausgenutzt werden. Der Phasendiskriminator ist gegenüber dem Zweikreisdiskriminator empfindlicher auf Frequenzänderung und weniger empfindlich auf Amplitudenschwankungen, so dass er in

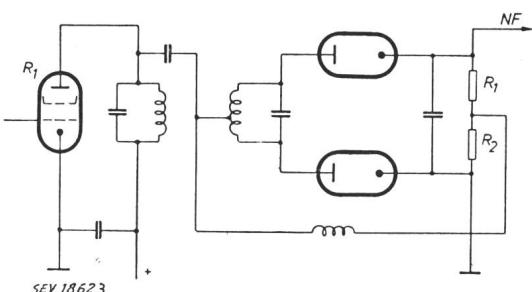


Fig. 9b

Riegerkreis (Phasendiskriminator)

den meisten Empfängern der letzten Jahre Verwendung gefunden hat (Fig. 9b).

In den neuesten Geräten ist eine Ratiotektorstufe eingebaut, die gegenüber dem Phasendiskriminator eine weitere Verbesserung bedeutet (Fig. 10). Auch sie nutzt die Spannungen von zwei gekoppelten Kreisen aus, beeinflusst aber den Primärkreis so, dass sie zugleich als stark wirkende Begrenzerstufe arbeitet. Da sie zudem nur relativ kleine Spannungen zur Aussteuerung benötigt, bedeutet ihre Verwendung eine erhebliche Einsparung. Es kön-

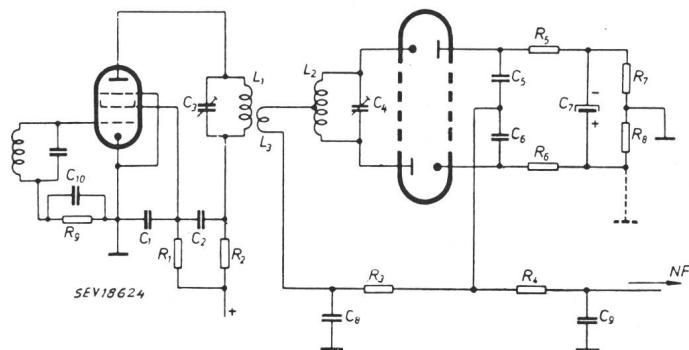


Fig. 10
Typische Schaltung eines symmetrischen Verhältnisgleichrichters (Ratiotektor)

nen in den meisten Fällen ein bis zwei Vorverstärkerstufen nebst Begrenzerstufen weggelassen werden. Die Ratiotektoren sind deshalb durchwegs in den neuern kombinierten Rundfunkgeräten zu finden, wo möglichst mit dem gleichen Röhrensatz sowohl amplitudenmodulierte als auch frequenzmodulierte Wellen empfangen werden sollen.

Verschiedentlich sind noch andere Demodulationsarten vorgeschlagen worden, doch verlangen die meisten kritische Abstimmungen, so dass sie für den Massenbau von Rundfunkempfängern nicht geeignet sind und nur in Spezialgeräten Verwendung finden. Eine dieser Arten, die multiplikative Mischungsdemodulation, wird in Verbindung mit der in Europa entwickelten Röhre EQ 80 angewendet.

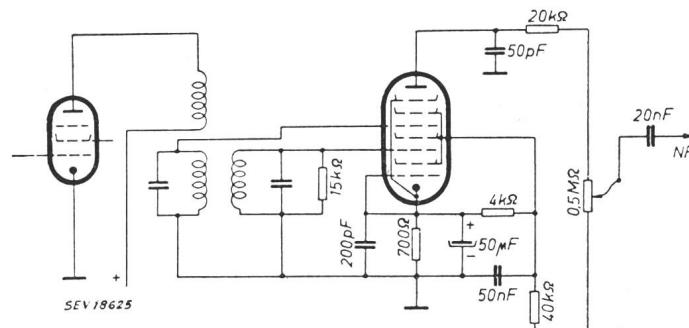


Fig. 11
FM-Demodulation mittels einer Röhre EQ 80

Die erwähnte Röhre arbeitet aber zugleich als Begrenzer und NF-Verstärker und stellt in ihrer Art ein Meisterwerk der Röhrentechnik dar (Fig. 11). Von der Vorstufe aus (Hochfrequenz- oder Zwischenfrequenz-Stufe) werden zwei Kreise so angelegt, dass sich in der Röhre eine Mischdemodula-

tion ergibt. Der im Takt der Niederfrequenz schwankende Elektronenstrom wird an der Anode abgenommen und ist so gross, dass direkt eine Endstufe ausgesteuert werden kann. Die hohe niederfrequente Energie wird allerdings nur erreicht durch entsprechend hohe Aussteuerung, die eine Mischstufe und mindestens zwei Zwischenfrequenzstufen erfordert.

11. Der Niederfrequenzteil

Die dem Modulationswandler entnommene NF-Spannung weist bei Berücksichtigung der für Frequenzmodulation geltenden Forderungen die gleiche Charakteristik auf wie jene am Ausgang des Studio-mikrophones oder Studiomagnetophons. Es gilt nun, diese NF-Spannung derart zu verstärken und in Schallwellen umzuformen, dass der Eindruck der Natürlichkeit möglichst erreicht wird.

Eine erste Forderung wird an den NF-Verstärker gestellt. Er soll ein breites Frequenzband möglichst linear übertragen, dabei keine nichtlinearen Verzerrungen erzeugen und die Dynamik in ihrer ganzen Fülle unbegrenzt durchgeben.

Eine zweite Forderung muss an den Ausgangstransformator gestellt werden. Dieses Glied wurde bisher meist sehr stiefmütterlich behandelt und lediglich als notwendiges Übel angesehen. Die Folge davon war meist eine erhebliche Kreuzmodulation

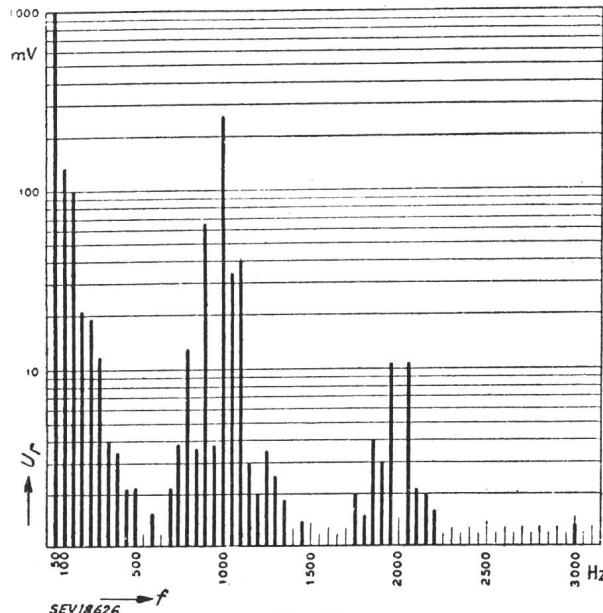


Fig. 12a
Kreuzmodulation
an einem üblichen kleinen Ausgangstransformator
Signalgemisch 1000 Hz + 50 Hz
 U_r relative Ausgangsspannung; f Frequenz

(Fig. 12 a), hervorgerufen durch Sättigungserscheinungen im Transformatoreisen. Bei Verwendung eines genügend grossen Transformators, der möglichst wenig ausgesteuert wird, bietet sich ein ganz anderes Bild (Fig. 12 b mit einem versuchsmässig verwendetem Netztransformator).

Eine dritte Forderung betrifft den Lautsprecher. In den meisten Fällen wird man Doppel- oder Dreifachlautsprecher verwenden, die entweder mit me-

chanischer Frequenzweiche arbeiten oder aber konzentrische Hoch- und Tieftonsysteme enthalten, die über eine elektrische Weiche gespeist werden. Die Aufteilung in Hoch- und Tieftonsysteme erfolgt deswegen, weil Lautsprechermembranen nur ein

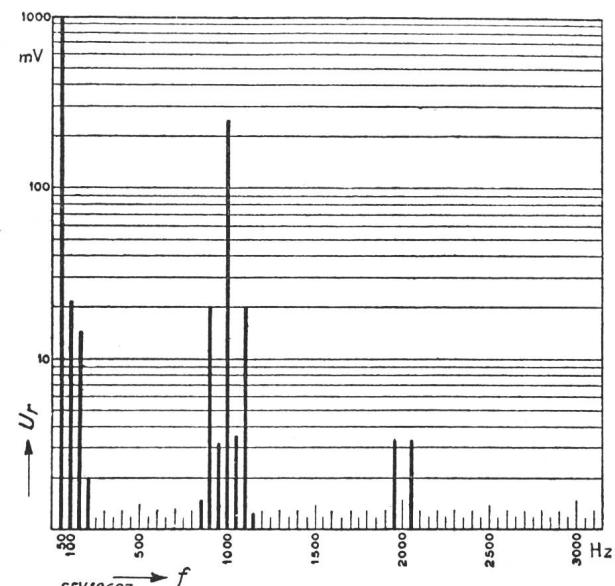


Fig. 12b
Kreuzmodulation an einem als Ausgangstransformator
verwendeten Netztransformator
 U_r relative Ausgangsspannung; f Frequenz

begrenztes Frequenzband gleichmässig abstrahlen können. Dass solche Lautsprecher in entsprechende Gehäuse einzubauen sind, versteht sich von selbst. Für den Hausgebrauch drängt sich vielfach der Einbau in eine Kastenwand oder ins Getäfer als die beste Lösung auf, da ein formgerechtes Möbel allzuviel Wohnraum beanspruchen würde.

12. Schlusswort

FM-Rundfunk ist ein noch junges Gebiet der Technik. Er hat sich in den USA im Verlauf der letzten Jahre gut eingeführt und seine weitere Ausbreitung wurde lediglich durch die schlagartige Entwicklung des Fernsehens gehemmt. Indessen darf nicht übersehen werden, dass die Begleitmusik zum Fernsehen mit Frequenzmodulation übertragen wird, wobei diese Übertragungen allerdings qualitativ nicht so hochwertig sind wie reine Musiksendungen.

Bei uns steht die Frequenzmodulation in den Anfängen. In Deutschland allerdings erfolgte unter dem Zwang der neuen Wellenverteilung die Entwicklung im Verlauf des letzten Jahres derart schlagartig, dass die Fachwelt Mühe hat, all die Neuerungen zu würdigen. Wenn einerseits dabei weitgehend auf den in den USA gemachten Erfahrungen aufgebaut werden kann, so muss andererseits hervorgehoben werden, dass die deutsche Industrie vielfach eigene Wege geht, teils aus patentrechtlichen, teils aus demographischen und lokaltechnischen Gründen heraus.

Wir in der Schweiz können von beiden Seiten lernen. Es ist zu hoffen, dass wir in nicht allzufer-

ner Zeit in Würdigung der Vorteile einer guten Übertragungstechnik die entsprechenden Konsequenzen ziehen, bevor unser Land mit ausländischen Sendungen überschwemmt wird.

Schon jetzt werden in Zürich, besonders auf dem Zürichberg, dem Hang gegen Gockhausen entlang, besonders günstige Empfangsverhältnisse festgestellt. Tab. I gibt eine Zusammenstellung süddeutscher Sender, die zur Zeit im Betrieb stehen.

Süddeutsche FM-Sender

Tabelle I

	Sender	Leistung kW	Frequenz MHz
Süddeutscher Rundfunk:	Stuttgart	0,25	93,7
	Stuttgart	3	90,1
	Mühlacker	1	87,7
	Ulm	0,25	87,7
	Heidelberg	0,25 (5)	91,3
	Aalen	3	92,1
	Mergentheim	0,25	88,5
	Geislingen	0,25	93,7
Südwestfunk:	Baden-Baden	3	92
	Koblenz	1	90,9
	Raichberg	3	88,9

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass bei uns in der Schweiz in der letzten Zeit die Meinung auftaucht, der Aufbau eines FM-Sendernetzes lohne sich nicht mehr, da es mit dem Fernsehen ohnedies geschaffen werde. Diese Ansicht ist aber falsch. Fernsehen ist eine vollkommen neue Unterhaltungs-

technik, bei welcher sich zufälligerweise die drahtlose, hochfrequente Übertragungsart als die wirtschaftlichste Verteilmethode erwiesen hat. Das Fernsehen an und für sich hat aber sonst keinen Zusammenhang mit dem FM-Rundfunk, und aus diesem Grunde ist die Erwähnung des Fernsehens bei Problemen des FM-Rundfunks falsch.

Der FM-Rundfunk kann im Gegensatz zum Fernsehen sofort aufgenommen werden. Er braucht keine organisatorisch und programmatisch kostspieligen Neuinvestitionen; einzig die technischen Studio- und Übertragungseinrichtungen müssen verbessert werden!

Wenn erwähnt wurde, dass die Begleitmusik zum Fernsehen auch mit Frequenzmodulation übertragen werde, so liegt der Grund in der erwähnten technisch einfachen Lösung. Dabei ist aber der Ton lediglich Begleitton zum Bild. Seine Qualität ist unter Umständen schlechter als beim bisherigen AM-Rundfunk; dies stört keineswegs, da es sich ja nur um Begleitmusik handelt.

FM-Rundfunk gestattet dagegen erstklassige Übertragung von Konzertmusik. Das Schweizer Publikum ist in bezug auf die Qualität der Musik sehr anspruchsvoll. Aus diesem Grunde wäre die Einführung des FM-Rundfunks eine dankbare Aufgabe.

Adresse des Autors:

O. Stirzinger, Dipl. El.-Ing. ETH, Hochstrasse 51, Zürich 44.

Beitrag zur Bestimmung der Berührungsspannung und der Kurzschlußstromstärke in genullten Sekundärnetzen¹⁾

Von W. Keller, Biel

621.316.13.053.24

Es wird ein Messverfahren angegeben, mittels welchem an irgend einem Sekundärstrang ohne Betriebsunterbruch die Impedanz der durch Polleiter und Nulleiter gebildeten Kurzschluß-Schleife und damit der Kurzschlußstrom auf einfache Weise bestimmt werden können. Der Verfasser macht ferner darauf aufmerksam, dass die in Art. 26 der bundesrätlichen Starkstromverordnung verlangte Abschmelzzeit von höchstens 5 s sehr oft mit Sicherungen nicht eingehalten werden kann, dass aber durch Verwendung von automatischen Schaltern mit stromunabhängigen Relais bei richtiger Einstellung diese Forderung erfüllt wird.

Procédé de mesure permettant de calculer l'impédance et par conséquent l'intensité de courant en cas de court-circuit entre conducteur polaire et conducteur neutre d'une ligne aérienne. Les mesures peuvent être effectuées sans nécessiter l'interruption du courant dans le réseau. En outre, l'auteur estime que le temps maximum de 5 s admis à l'article 26 de l'Ordonnance fédérale sur les installations électriques à fort courant pour la fusion des coupe-circuit est souvent dépassé. Pour répondre à cette prescription, il recommande de remplacer les coupe-circuit par des disjoncteurs à relais indépendants de l'intensité de courant, convenablement réglés.

In den Erläuterungen zu Ziff. 4 des Art. 26 der bundesrätlichen Starkstromverordnung vom 7. Juli 1933 heisst es wörtlich²⁾:

«Die gewöhnlichen Schmelzsicherungen, selbst für kleine Stromstärken, schmelzen nach der Norm beim 2^{3/4}fachen Nennstrom nur innert 10 Sekunden sicher. Da die Abschaltung bei 50 V übersteigenden Spannungen gegen Erde aber möglichst rasch, innert wenigen, allerhöchstens 5 Sekunden erfolgen soll, ist demnach für das sichere Auftreten einer entsprechend höheren Kurzschlußstromstärke zu sorgen; dazu dienen wieder dieselben, soeben zur Verminderung dieser Spannung angegebenen Mittel.»

Es stellt sich deshalb die Frage, ob der Nulleiter eines Leitungsstranges bei einem Kurzschluss zwischen Polleiter und Nulleiter am Ende der Leitung

eine Spannung von über 50 V gegen Erde annimmt und ob, wenn dies zutrifft, die vorgeschaltete Sicherung in höchstens 5 s durchschmilzt.

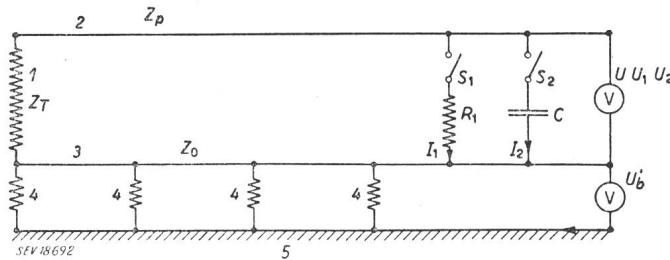


Fig. 1

Schema der Messanordnung

1) Die Arbeit wurde bei der Redaktion im November 1950 eingereicht.
2) Die kursiven Stellen wurden vom Autor hervorgehoben.