Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 48 (1957)
Heft: 7

Artikel: Grundlagen, Aufgaben und Ziele des Ultrakurzwellenrundspruchs
Autor: Metzler, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060597

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: 15.12.2025

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

Grundlagen, Aufgaben und Ziele des Ultrakurzwellenrundspruchs

Vortrag, gehalten an der 20. Hochfrequenztagung des SEV vom 16. Oktober 1956 in Bern,

von *E. Metzler*, Bern

621.396.029.6(494)

Das Gebiet der Ultrakurzwellen ist heute z. T. auch dem Rundspruch erschlossen (Bereich 88...100 MHz). Im Gegensatz zur bisher üblichen Amplitudenmodulation wird in diesem Meterwellenbereich frequenzmoduliert. Das neue Sendeverfahren ermöglicht wesentliche Verbesserungen in der Sendequalität und wird heute allgemein und zusätzlich zum bestehenden Landessendersystem auch in der Schweiz eingeführt. Man erhofft damit durch Entlastung der Lang- und Mittelwellenbänder eine allgemeine Sanierung der Wellenverteilung in Europa.

Le domaine des ondes ultra-courtes (ondes métriques) est maintenant aussi utilisé en partie par la radiodiffusion (entre 88 et 100 MHz). On y applique la modulation de fréquence, au lieu de celle d'amplitude. Ce nouveau procédé d'émission permet d'importantes améliorations de la qualité et est désormais introduit, en Suisse également, en sus du système actuel appliqué par les émetteurs nationaux. On espère pouvoir ainsi assainir convenablement la répartition des longueurs d'onde en Europe, grâce à un allégement des bandes d'ondes longues et moyennes.

Wenn heute von Ultrakurzwellenrundspruch die Rede ist, so weiss jedermann, dass damit auch Frequenzmodulation gemeint ist. Bei den nachfolgenden Betrachtungen soll daher dieses Modulationsverfahren etwas in den Vordergrund gestellt werden.

Die drahtlose Telegraphie bediente sich der Frequenzmodulation seit ihren Anfängen und zwar dank der Entwicklung des Lichtbogengenerators für grosse Leistungen und hohe Frequenzen durch *Poulsen* im Jahre 1903. Die Schwierigkeit der Ein-Aus-Tastung hoher Antennenströme kam bei dieser Sendeart in Wegfall, statt dessen wurde die Frequenz des nun konstanten Antennenstroms im Takte der Morsezeichen umgesteuert. Wir möchten kurz darauf hinweisen, dass dieses Verfahren der Frequenzmodulation in der modernen Radiotelegraphie mehr und mehr wieder Eingang findet und in Fachkreisen als Frequency-Shift Keying (FSK) allgemein bekannt ist. Frequenzmodulation wird vielfach auch für Telephonieübertragung angewendet. Unsere heutigen Betrachtungen gelten aber der Anwendung der Frequenzmodulation im Ultrakurzwellenrundspruch, der gegenwärtig in unserem Lande auf breiter Grundlage eingeführt wird. Um das Wesen dieser Technik zu erläutern ist es notwendig, einige Grundbegriffe klarzustellen. Betrachten wir den Ausdruck [1])

$$y = A \cos (\Omega t + \psi)$$

Er stellt eine harmonische Schwingung dar, wo A die Amplitude, Ω die Kreisfrequenz und ψ die Phasenkonstante bedeuten. Das Argument der cos-Funktion, also den Klammerausdruck, wollen wir kurz als Phase der Schwingung bezeichnen. In komplexer Darstellung wäre y die Projektion des mit der Winkelgeschwindigkeit Ω rotierenden Vektors vom Betrage A und der Phase $\Omega t + \psi$ auf die reelle Achse. Unsere harmonische Schwingung weist drei Parameter auf, nämlich A, Ω und ψ, über die wir zum Zwecke der Nachrichtenübermittlung in geeigneter Weise verfügen können.

Schreibt man z. B.

$$A = A_0 \, [1 + m \cdot S(t)]$$

wo $S(t)$ das modulierende Signal bedeutet, so hat man den bekannten Fall der Amplitudenmodulation.

[1]) Im folgenden wird Ω zur Bezeichnung der Kreisfrequenz einer Trägerschwingung, gegenüber ω der Kreisfrequenz einer Modulationsschwingung verwendet.

Ganz analog kann man schreiben

$$\psi = \psi_0 \, [1 + m \cdot S(t)]$$

d. h. man moduliert die Phasenkonstante und bezeichnet diesen Fall als Phasenmodulation.

Beim Anschreiben des Ausdruckes für Frequenzmodulation heisst es etwas vorsichtig zu sein. Wir bedienen uns wieder der Vektordarstellung. Die Phase der harmonischen Schwingung im Zeitpunkt t setzt sich zusammen aus ihrem Anfangswert ($t = 0$) und dem Winkel, den der mit der Winkelgeschwindigkeit Ω rotierende Vektor in der Zeit t überstrichen hat. Dieser Winkel oder Weg berechnet sich nun im Fall einer variablen Winkelgeschwindigkeit $\Omega(t)$ nicht etwa einfach als $\Omega(t) \cdot t$, sondern richtig als $\int_0^t \Omega(t) \, \mathrm{d}t$. Schreiben wir jetzt unsere ursprüngliche harmonische Schwingung in der äquivalenten Form

$$y = A \cos \left[\int_0^t \Omega(t) \, \mathrm{d}t + \psi \right]$$

und setzen dazu noch

$$\Omega(t) = \Omega_0 \, [1 + m \cdot S(t)]$$

so lautet die Formel für Frequenzmodulation

$$y = A \cos \left\{ \int_0^t \Omega_0 \, [1 + m \cdot S(t)] \, \mathrm{d}t + \psi \right\} \qquad (1)$$

Die konstante Kreisfrequenz der harmonischen Schwingung erhalten wir als die zeitliche Ableitung der Phase, d. h.

$$\text{Kreisfrequenz} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \, (\text{Phase})$$

Analog gelangen wir zur Definition der Momentanfrequenz einer frequenzmodulierten Schwingung durch zeitliche Ableitung der Phase von Gl. (1)

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \left\{ \int_0^t \Omega_0 \, [1 + m \cdot S(t)] \, \mathrm{d}t + \psi \right\} = \Omega_0 \, [1 + m \cdot S(t)]$$

in Übereinstimmung mit dem Ansatz für Frequenzmodulation. In allen drei Fällen, also bei Amplituden-, Phasen- und Frequenzmodulation bezeichnen wir m als den Modulationsgrad. Setzt man in

dem uns interessierenden Fall der Frequenzmodulation $S(t) = \cos \omega t$, so geht der allgemeine Ausdruck der Gl. (1) über in

$$y = A \cos \left\{ \Omega_0 t + \frac{m \Omega_0}{\omega} \sin \omega t + \psi \right\} \qquad (2)$$

Das Produkt $m \Omega_0 = \Delta \Omega_0$ gibt uns die grösste momentane Frequenzabweichung von der Grundfrequenz Ω_0 oder den Frequenzhub.

Eine weitere wichtige Kenngrösse der Frequenzmodulation ist der Modulationsindex, gegeben durch das Verhältnis $\Delta\Omega_0/\omega$ [2])

Damit sind die Grundbegriffe der Frequenzmodulation festgelegt und es mögen jetzt einige für den Betrieb wichtige Fragen gestreift werden.

Werte des Frequenzhubes, rechts die Spektren der Emission bei dem für FM-Rundspruch in Europa genormten Frequenzhub von 75 kHz und verschiedenen Modulationsfrequenzen dargestellt. Der Wert von 75 kHz ist auf Grund qualitativer und konstruktiver Überlegungen gewählt. Die gezeigten Spektren umfassen alle Seitenbänder, deren Amplitude nicht weniger als 1 % der unmodulierten Trägeramplitude betragen. Halten wir noch fest, dass bei Frequenzmodulation die von der Sendeantenne abgestrahlte Leistung konstant ist. Demgemäss muss die Summe der Quadrate der einzelnen Spektrallinien gleich dem Quadrat der unmodulierten Trägeramplitude sein. Die Nachprüfung an den gezeigten Spektren bestätigt diese Aussage. Fig. 2 zeigt die notwendige relative Bandbreite als Funktion

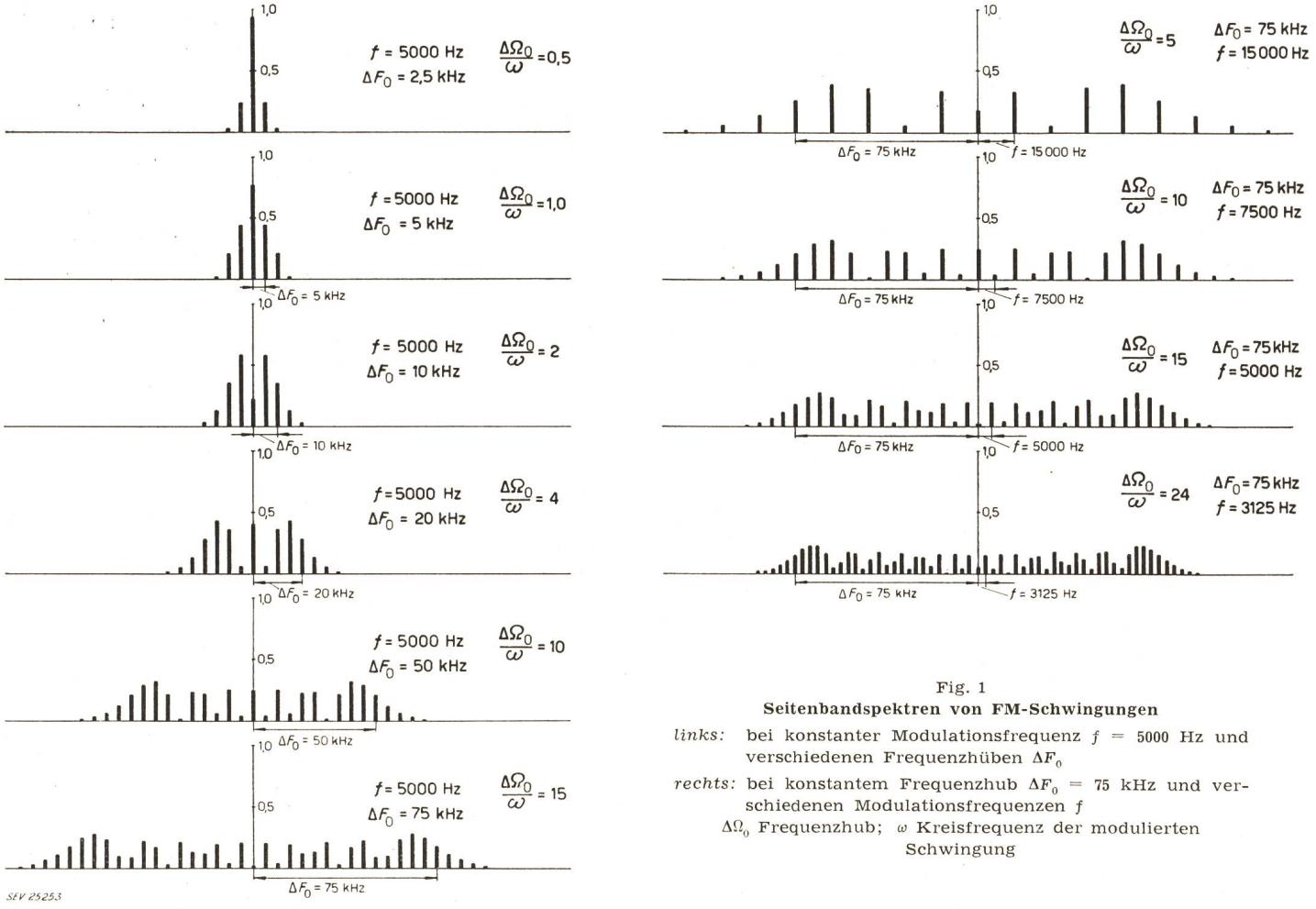

Fig. 1
Seitenbandspektren von FM-Schwingungen

links: bei konstanter Modulationsfrequenz f = 5000 Hz und verschiedenen Frequenzhüben ΔF_0

rechts: bei konstantem Frequenzhub ΔF_0 = 75 kHz und verschiedenen Modulationsfrequenzen f

$\Delta\Omega_0$ Frequenzhub; ω Kreisfrequenz der modulierten Schwingung

Von grosser Wichtigkeit für jede elektrische Nachrichtenübermittlung ist die Breite des beanspruchten Frequenzbandes oder kurz die Frequenzbandbreite. Unsere Gl. (2) lässt sich nach *Neumann* in eine unendliche Reihe von harmonischen Schwingungen beidseits der Trägerschwingung entwickeln mit dem festen Frequenzintervall ω und den Besselfunktionen J_0, J_1, J_n usw. des Arguments $\Delta\Omega_0/\omega$ also dem Modulationsindex, als festen Koeffizienten. In Fig. 1 sind links die Spektren bei konstanter Modulationsfrequenz von 5000 Hz für verschiedene

[2]) In der Praxis rechnet man mit

$$\frac{\Omega}{2\pi} = F; \quad \frac{\Delta\Omega_0}{2\pi} = \Delta F_0; \quad \frac{\omega}{2\pi} = f$$

des Modulationsindexes. Bei wachsendem Modulationsindex nähert sich die benötigte Bandbreite dem doppelten Wert des Frequenzhubes. In der Praxis hat man es mit komplizierten Gemischen von Modulationsfrequenzen zu tun. Die Einstellung eines mittleren Frequenzhubes entsprechend dem normalen mittleren Modulationsgrad hat mit etwelcher Vorsicht zu erfolgen, damit der maximal zulässige Hub in den Modulationsspitzen nicht überschritten wird.

Wenn wir hier die Zwischenfrage nach dem eigentlichen grossen Vorteil der Frequenzmodulation (FM) gegenüber Amplitudenmodulation (AM)

stellen, so kann man einfach auf die grosse Unempfindlichkeit der FM gegen alle Art von Störungen hinweisen. Diese Verbesserung liegt in der Grössenordnung von bis 30 db des Signal/Geräusch-Verhältnisses. Betrachten wir diese Verhältnisse kurz etwas näher.

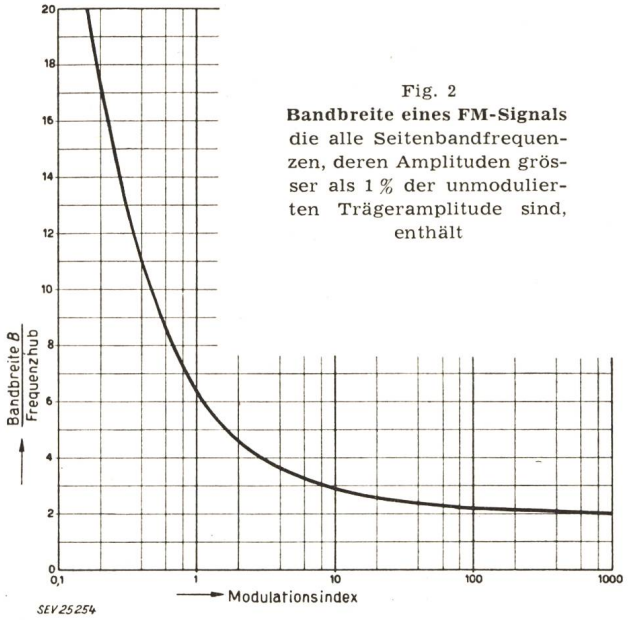

Fig. 2
Bandbreite eines FM-Signals die alle Seitenbandfrequenzen, deren Amplituden grösser als 1 % der unmodulierten Trägeramplitude sind, enthält

Jedes Signal, das ein Empfänger wiedergibt und das nicht mit dem gewünschten Signal übereinstimmt, wird als Störung bezeichnet. Es lassen sich drei wesentliche Gruppen von Störquellen unterscheiden:

1. Signale ungewünschter Sender (Interferenzstörungen);

2. Atmosphärische Entladungen, Industriestörungen, Zündstörungen von Benzinmotoren (Impulsstörungen);

3. Rauschen in den Empfänger-Eingangsstufen (Rauschstörungen).

Hier ist nun der Hinweis wichtig, dass ein FM-Empfänger nach der Zwischenfrequenz(ZF)-Verstärkung eine scharfe Amplitudenbegrenzung des verstärkten Signals vornimmt, dermassen, dass jede Amplitudenschwankung unterdrückt wird und lediglich die Frequenzschwankungen durch Diskrimination und Gleichrichtung in niederfrequente Spannungsschwankungen umgewandelt werden. Ein FM-Empfänger gibt auf einen AM-Eingang kein Ausgangssignal, womit bereits eine umfangreiche Kategorie von Störmöglichkeiten bei der FM ausgeschaltet ist.

Fig. 3 zeigt die Wirkung eines diskreten, unmodulierten Trägers. Das Vektorbild entspricht dem bekannten für Einseitenband-Amplitudenmodulation. Der Störträger rotiert um die Spitze des gewünschten Trägers, und zwar mit der Differenzfrequenz der beiden. Ist die Frequenz des Störträgers die höhere, so ist der Rotationssinn positiv. Wesentlich ist nun, dass deutlich zwei Störmodulationskomponenten unterschieden werden können, nämlich eine Amplitudenmodulation und eine Phasenmodulation. Die erste hat nach den gemachten Voraussetzungen keine Bedeutung, die zweite hingegen wirkt sich in eine Frequenzmodulation aus. Wie Fig. 3 zeigt, ist der maximale Phasenhub für kleine Verhältnisse von Störamplitude zum gewünschten Träger ungefähr dem Amplitudenverhältnis proportional. Die Momentanfrequenz des so phasenmodulierten Trägers ergibt sich nun, wie wir bereits fanden, als zeitliche Ableitung der Phase. Ändert sich diese, wie das in unserem Beispiel in 1. Näherung zutrifft, nach einem sin-Gesetz, so resultiert damit ein Frequenzhub, der der Differenzfrequenz der beiden Träger und annähernd dem Amplitudenverhältnis proportional ist. Dieser Umstand ist für die hörbare Störwirkung von Bedeutung.

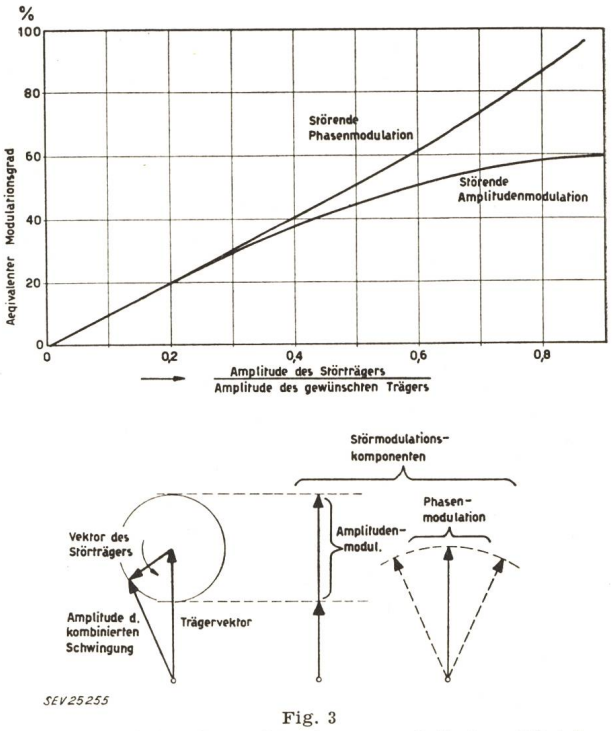

Fig. 3
Störcharakteristik eines diskreten unmodulierten Störträgers 100 % Phasenmodulation sei ± 1 rad, d. h. eine Phasenabweichung, die dasselbe Frequenzband beansprucht wie eine amplitudenmodulierte Übertragung mit identischem Nachrichteninhalt

Fig. 3 gibt auch einen Vergleich der äquivalenten Störamplitude und Phasenmodulation in Funktion des Amplitudenverhältnisses. Für kleine Verhältnisse sind die beiden Störgrade ungefähr gleich.

Die zweite Kategorie von Störungen, d. h. die Impulsstörungen, werden durch kurzdauernde Impulse mit relativ grossen Abständen in der Impulsfolge verursacht. Diese Störart wird hauptsächlich durch Funken-Entladungen erzeugt, wie sie beispielsweise bei der Zündung von Benzinmotoren, bei Kommutatormotoren und bei natürlichen atmosphärischen Entladungen auftreten. Die Fourier-Analyse zeigt, dass diese Impulsarten aus einer Grundwelle und einer praktisch unendlichen Reihe sinusförmiger Oberwellen bestehen.

Das von einem Empfänger verstärkte Spektrum stellt jeweils nur ein schmales Band Harmonischer höherer Ordnung dar. Da die Durchlassbandbreite relativ klein ist, weisen alle empfangenen Harmo-

nischen praktisch gleiche Amplituden auf, und da sie alle von einer gemeinsamen Grundwelle herrühren, sind sie auch in Phase. Alle Spannungskomponenten in dem vom Empfänger verstärkten Frequenzband addieren sich daher arithmetisch. Da die Einzelspannungen gleichmässig über die zu verstärkende Bandbreite verteilt sind, ist die Spitzenspannung des verstärkten Impulses nicht nur der Amplitude des ursprünglichen Signals, sondern auch der Bandbreite des Empfängers proportional.

Bei einem AM-Empfänger ist daher die durch ein impulsförmiges Eingangssignal erzeugte Ausgangsspannung von der Empfängerbandbreite abhängig, während dies für einen FM-Empfänger nicht der Fall ist. Die über die Empfängerbandbreite gleichförmig verteilten sinusförmigen Komponenten ergeben nämlich eine resultierende Momentanfrequenz, die mit der Mittelfrequenz des Empfängerdurchlassbereiches übereinstimmt. Ein impulsförmiges Signal hat also unter idealen Bedingungen eine resultierende wirksame Frequenz wie ein empfangener unmodulierter Träger. Ein unmodulierter Träger erzeugt aber in einem FM-Empfänger eine Ausgangsspannung Null. In der Praxis werden die erwähnten idealen Bedingungen — genaue Übereinstimmung des Diskriminatornullpunktes mit der Mittelfrequenz des Durchlassbereiches, Symmetrie der Diskriminatorkurve, Symmetrie der Durchlasskurve — jedoch selten erreicht, so dass gleichwohl ein NF-Ausgangssignal auftreten kann.

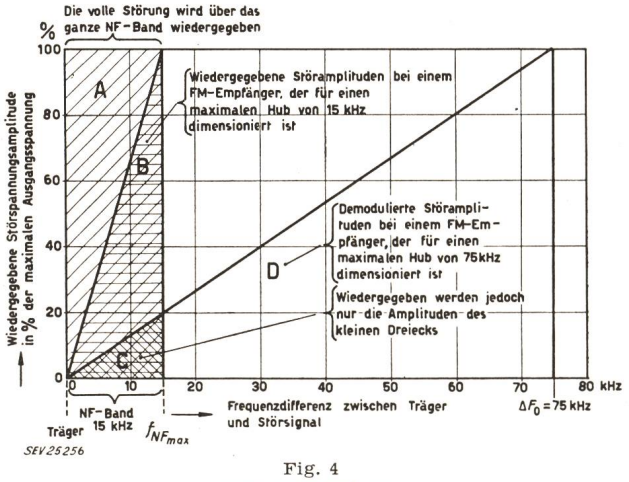

Fig. 4
Das «Stördreieck»
Auswirkung von Störungen bei AM- und FM-Empfang

Die dritte Art von Störungen, das Rauschen, entsteht in den Eingangsstufen des Empfängers und wird durch die thermische Elektronenbewegung in den Leitern und durch den Schroteffekt verursacht. Die durch die thermische Elektronenbewegung an den Leiterenden erzeugte Spannung schwankt in unregelmässiger Weise in Übereinstimmung mit der momentan vorherrschenden Elektronenbewegung. Die resultierende Energie ist über das ganze Frequenzspektrum gleichförmig verteilt. Der Schroteffekt hat seine Ursache im korpuskularen Charakter des Stromflusses in Elektronenröhren infolge endlicher Elementarladung. Der Strom setzt sich damit aus einer grossen Zahl von übergehenden Ladungsimpulsen zusammen. Die dadurch erzeugten Spannungsschwankungen sind über das ganze HF-Spektrum gleichförmig verteilt. In beiden Fällen ist die Rauschspannung proportional der Quadratwurzel aus dem verstärkten Frequenzband.

Wie wirken sich nun diese Verhältnisse bei FM-Empfang aus? Der vorhin betrachtete Fall des diskreten Störträgers lässt sich am einfachsten an Hand des sogenannten Stördreiecks diskutieren (Fig. 4). Als Vergleichsbasis dient die äquivalente Störwirkung an einem AM-Empfänger mit einem NF-Durchlassbereich von 0...15 000 Hz. Wie wir gesehen haben, besteht direkte Proportionalität zwischen Störfrequenzhub und Störfrequenz. Wäre nun unser FM-Empfänger mit dem Durchlassbereich 0...15 000 Hz auf einen maximalen Frequenzhub von 15 000 Hz eingestellt, so wären die Störamplituden im Ausgang des Empfängers offenbar durch die schräge Seite des Dreiecks *B* begrenzt gegenüber den für alle Frequenzen den maximalen Störwert von 100 % erreichenden Störamplituden bei AM. Der in Europa genormte FM-Empfänger arbeitet aber mit einem maximalen Frequenzhub von 75 kHz. Der maximale Störmodulationsgrad wird also erst bei einem Störfrequenzhub von diesem Wert erreicht und die Störamplituden sind daher entsprechend im Dreieck *D* enthalten. Hier wird nun sofort die Bedeutung des grossen Frequenzhubes deutlich, denn hörbar sind ja nur die Störamplituden, die im NF-Durchlassbereich liegen, also im kleinen Dreieck *C*. Der mittlere Störreduktionsfaktor gegenüber AM beziffert sich im besprochenen Fall allgemein auf das Doppelte des Modulationsindexes. Handelt es sich um Rauschstörungen, so reduziert sich der Faktor 2, wie *Crosby* theoretisch und *Armstrong* experimentell gezeigt haben, auf 1,7.

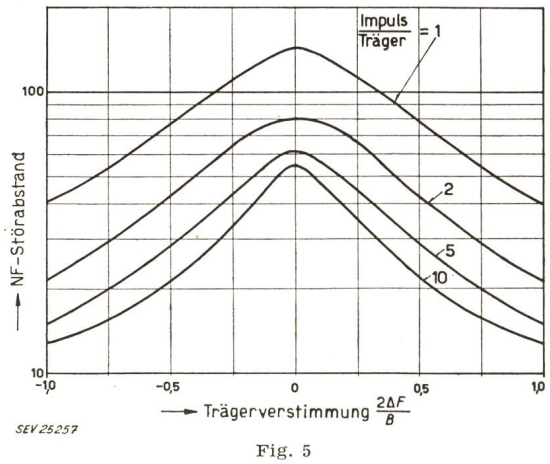

Fig. 5
NF-Störabstand bei Impulsstörungen eines FM-Empfängers als Funktion der Trägerverstimmung gegen die Bandmitte
1300 Störimpulse/s

Impulsstörungen verursachen unter normalen Bedingungen keine hörbaren Störeffekte. Weicht der zu empfangene Nutzträger von der Mittelfrequenz des Empfängerdurchlasses ab, so äussert sich die Impulsstörung in gleicher Weise wie die schon besprochene Interferenzstörung. Die Verhältnisse bei Impulsstörungen sind in Fig. 5 dargestellt. Diese zeigt den NF-Störabstand als Funktion der Trägerverstimmung gegen die Bandmitte.

Fig. 6 stellt einen Vergleich an zwischen den erzielbaren NF-Störabstandswerten für AM und FM, in diesem Fall noch für verschiedene Modulationsindizes. Nur bei Rauschspannungswerten von der Grössenordnung der Trägerspannung ist kein grosser Unterschied zwischen den beiden Modulationsverfahren festzustellen.

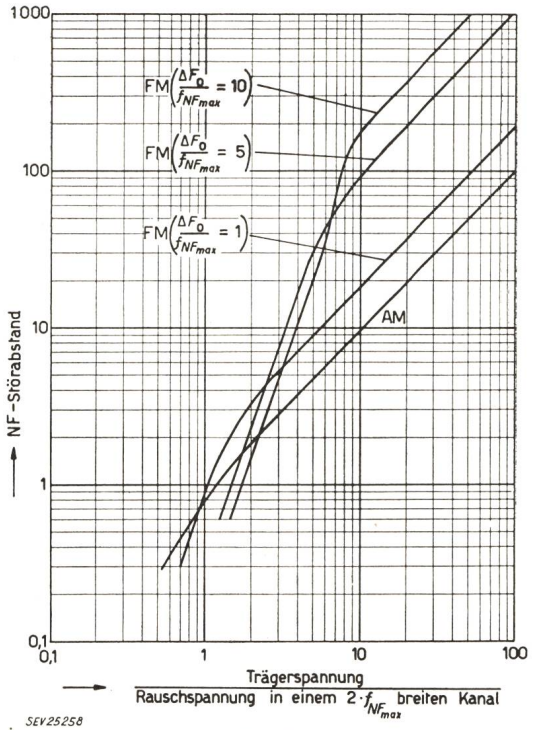

Fig. 6
NF-Störabstand in Funktion des HF-Störabstandes bei FM und AM

Der Frequenzhub, bzw. seine volle Ausnützung, sind massgebend für die erreichte Störunterdrükkung. Es ist daher wichtig, dass das Frequenzspektrum der zu übertragenden Modulation möglichst gleichmässig belegt ist. Dies ist bei normalen Rundspruchprogrammen von Haus aus nicht der Fall. Zur Korrektur wendet man daher einen kleinen Kunstgriff an und hebt oberhalb einer bestimmten Grenzfrequenz, in der Praxis oberhalb von 3000 Hz, die Amplituden proportional der Freqenz an. Man nennt dieses Verfahren Vorbetonung (pre-emphasis). Im Empfänger erfolgt die entsprechende Gegenkorrektur (Nachentzerrung). Das Mass der Anhebung ist gegeben durch die Zeitkonstante des benützten *RC*-Netzwerkes; sie ist in Europa auf 50 µs festgelegt. Auf diese Weise werden besonders die Rauschstörungen reduziert entsprechend den Verhältnissen, wie sie durch das Rauschdreieck beschrieben werden. Fig. 7 zeigt den Störabstand eines FM-Ballempfängers (Empfänger einer Relaisstation) in Funktion der Eingangsspannung, Fig. 8 veranschaulicht die Wirkung der Nachentzerrung bei einem gewöhnlichen FM-Empfänger.

Zum Abschluss der Ausführungen über die Störunterdrückung möge noch der Fall zweier, auf derselben Trägerfrequenz arbeitender FM-Sender erwähnt sein. Der Fall eines Störträgers ausserhalb des Netzträgers wurde bereits besprochen, allerdings mit der Annahme, dass dieser nicht moduliert ist. Die Störwirkung verschwindet denn auch in diesem Fall, wenn beide Träger gleiche Frequenz aufweisen.

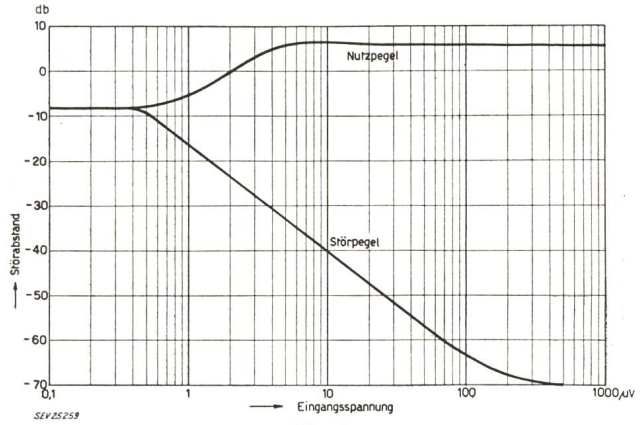

Fig. 7
Störabstand eines FM-Ballempfängers

Im Prinzip ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn beide Träger frequenzmoduliert sind. Die massgebende Differenzfrequenz ist dann gleich der Differenz der beiden Momentanfrequenzen von Netz und Störträger; sie kann also höchstens die Summe der beiden Frequenzhube betragen, anderseits aber auf 0 zurückgehen. Sind beide Träger ungefähr gleich stark, so resultiert eine ähnliche

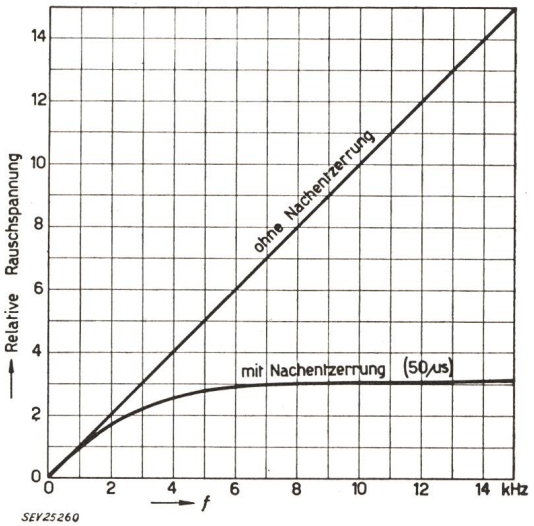

Fig. 8
Rauschspektrum eines FM-Empfängers

Störwirkung wie bei AM. Die Kurve in Fig. 9 gibt den Störabstand zweier frequenzmodulierter Gleichkanal-Sender in Abhängigkeit vom Netz-Störspannungsverhältnis HF-seitig. Auffallend ist, dass bereits ein Trägerverhältnis von 1 : 3 praktisch brauchbaren Empfang gibt, während bei AM dieses Verhältnis mindestens 1 : 25 betragen muss [3]).

[3]) Um in der Figur zu einem Vergleich zwischen FM und AM zu gelangen, kann man von der Überlegung ausgehen, dass bei AM der NF-Störabstand bei gleichen mittleren Modulationsgraden von Nutz- und Störträger dem Verhältnis dieser beiden proportional ist. Zieht man deshalb in Fig. 9 die Gerade durch den 0-Punkt und die db-Werte, entsprechend den Verhältnissen Netzspannung/Störspannung, so ergibt sich klar der Vorteil von FM für Verhältnisse in der Nähe von 1, und überdies liest man die Störverbesserung bei praktisch vorkommenden Verhältnissen zu ca. 25...30 db ab.

Ergänzend zu den Darlegungen über die Grundlagen möchte ich noch kurz auf das Problem der Trägerfrequenzwahl und damit im Zusammenhang auf die Fragen der Ausbreitung eingehen.

Ein wesentlicher Vorteil der FM liegt, wie wir sahen, im günstigen Signal/Geräusch-Verhältnis. Um diesen Vorteil voll auszunützen, ist das Verhältnis Frequenzhub/max. NF, also der Modulationsindex, für die höchste übertragene NF gross zu wählen. Die benötigte Bandbreite eines FM-Systems beträgt aber bei den tiefsten Modulationsfrequenzen bereits das Doppelte des Frequenzhubes. Wenn dieser nun an sich ein Mehrfaches der höchsten zu übertragenden NF betragen soll, so sieht man sofort, dass Kanalbreiten nötig sind, die ein Vielfaches der heute bei AM auf Mittelwellen

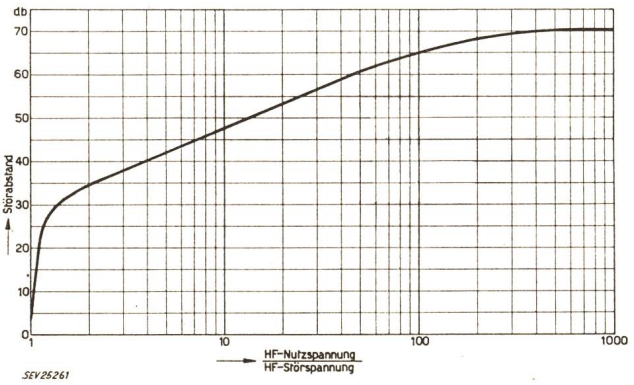

Fig. 9
Unterdrückung eines Störsenders durch den stärkeren Nutzsender

üblichen sind. Kurz gefasst: *die FM-Technik, auf Rundspruch angewendet, ist in ein Gebiet des Wellenspektrums zu verlegen, wo Kanalbreiten von einigen hundert kHz bei grosser Kanalzahl möglich sind.* Solche Verhältnisse trifft man in dem an das Kurzwellenspektrum anschliessenden Meterwellen- oder Ultrakurzwellengebiet. In der europäischen Zone ist für den Ultrakurzwellenrundspruch das Frequenzband von 88...100 MHz reserviert. In diesem verhältnismässig weiten Frequenzraum tritt nun die Frage der Kanalbreite etwas in den Hintergrund, und ausser dem grossen Vorteil, den die FM in bezug auf die Störfreiheit bietet, kann auch der Tonqualität hinsichtlich NF-Bandbreite weitgehend Rechnung getragen werden. So sind heute unsere FM-Sender für ein maximales NF-Band bis 15 kHz gebaut bei einem Frequenzhub von $\pm$ 75 kHz und einem resultierenden charakteristischen Modulationsindex von 5.

Was nun die Frage der Ausbreitung betrifft, so beschränkt sich diese auf ein enges Gebiet um die 3-m-Welle. Die theoretische Behandlung des Problems wurde vom CCIR unter idealisierten Bedingungen vorgenommen. Im besonderen liegen den angestellten Berechnungen folgende Hypothesen zu Grunde:

a) Die Erdoberfläche wird als glatte Kugelfläche angesehen;

b) Der Erdboden sei in elektrischer Beziehung homogen;

c) Die Troposphäre wird als geschichtet angenommen, wobei dem Gradienten des Brechungsindexes in Erdnähe durch Annahme eines fiktiven Erdradius von $^4/_3$ des wahren Erdradius Rechnung getragen wird;

d) Die Ionosphäre habe keinen Einfluss auf die UKW-Propagation.

Die in Fig. 10 gegebenen CCIR-Ausbreitungskurven für die 3-m-Welle zeigen den Feldstärkeverlauf in Abhängigkeit von der Distanz zwischen Sender und Empfänger bei verschiedenen Sendeantennenhöhen über dem Erdboden. Die resultierende Feldstärke am Empfangsort setzt sich aus einer direkt empfangenen Komponente und der am Erdboden reflektierten zusammen. Den Kurven

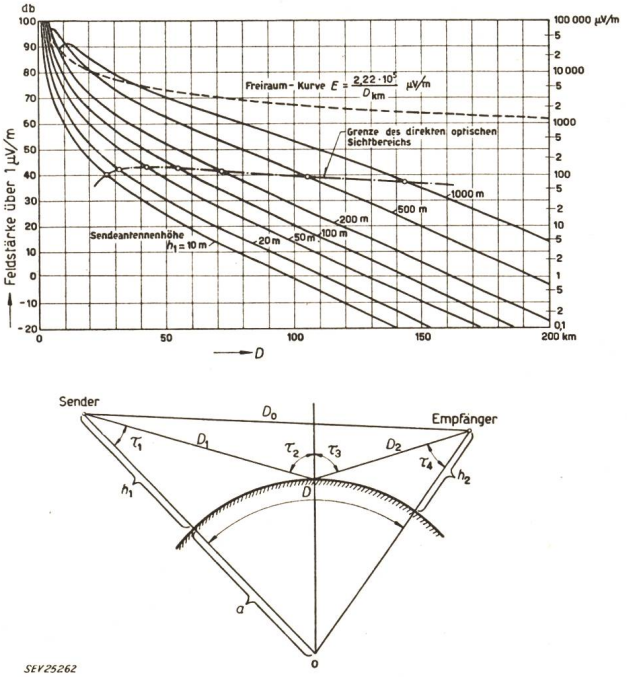

Fig. 10
CCIR-Propagationskurven

Quadratische Mittelwerte bezogen auf einen Halbwellen-Sendedipol und 1 kW Strahlungsleistung
Horizontalpolarisation: f = 100 MHz; λ = 3 m; ϵ = 10; $\sigma = 10^{-13}$
Empfangsantennenhöhe: h_2 = 10 m
$\tau_1 ... \tau_4$ Winkelgrössen definiert durch die Figur
D_0 Distanz Sender—Empfänger
$D_1 ... D_2$ Abstand des Senders bzw. Empfängers vom Reflektionspunkt auf der Erdoberfläche
h_1, h_2 Höhe des Senders bzw. Empfängers über der Erdoberfläche
a Erdradius

liegt eine horizontal polarisierte Senderstrahlung zu Grunde. Augenfällig ist die Zunahme der Feldstärke mit der Höhe der Sendeantenne über Boden.

Dank der kurzen Wellenlänge von 3 m steht der FM-UKW-Richtstrahltechnik ein weites und überaus fruchtbaren Anwendungsgebiet sende- und empfangsseitig offen, was hier nur im Prinzip festgehalten werden kann. Die Frequenzplanung für FM-UKW-Rundspruch macht sich denn neben der geringen Störempfindlichkeit von FM besonders auch die Richtstrahltechnik zu Nutze, so dass sich benachbarte Kanäle hinsichtlich der Seitenbänder im allgemeinen überlappen.

Wir haben soeben den günstigen Einfluss der Höhenlage des Senders auf seine Reichweite feststellen können. Höhenstationen erfassen so naturgemäss ein grösseres Gebiet. Schwere Nachteile können aber dann entstehen, wenn das Bedienungsgebiet selbst wieder grosse Bodenerhebungen aufweist, wofür die Schweiz ein ausgesprochenes Beispiel darstellt. Es treten dann Schattenzonen und Mehrwegeausbreitung auf, die sich durch zu schwache Feldstärken und Verzerrungen bemerkbar machen. Sehr oft helfen hier gute Richtantennen das Empfangsproblem zu lösen. Mehrwegeausbreitung ist auf Reflexionen an Berghängen zurückzuführen. Mitunter macht eine solche Reflexion in einem gegen die Senderrichtung abgeschirmten Gebiet den Empfang überhaupt erst möglich.

Über die für einen guten FM-UKW-Empfang unter verschiedenen Bedingungen notwendigen Empfangsfeldstärken liegen von der am 13. September 1956 in Warschau zu Ende gegangenen Plenarversammlung des CCIR folgende Empfehlungen vor:

1. Beim Fehlen von industriellen elektrischen Betrieben oder von Haushaltapparaten, die Störungen erzeugen, genügt eine Feldstärke von mindestens 50 μV/m.

2. Bei Vorhandensein solcher Störer benötigt man eine Feldstärke von mindestens:
250 μV/m in ländlichen Verhältnissen,
1 mV/m in dichter besiedelten Gebieten,
3 mV/m in grossen Städten.

Die schweiz. PTT-Verwaltung hat sich in den Nachkriegsjahren ziemlich eingehend mit den FM-UKW-Fragen befasst. Das Hauptgewicht der unternommenen Versuche lag auf der Abklärung der Wellenausbreitung; verbunden damit die Mehrwegeausbreitung, Abschattung, Verzerrungen usw. Probesendungen vom Chasseral aus, ferner die Betriebsversuche in den Städten Zürich, Bern und Genf ergaben viele Hinweise für eine künftige technische Gestaltung des schweizerischen FM-UKW-Rundspruchs.

Die eigentliche Aufgabe auf diesem Gebiet erwuchs der Verwaltung aber erst, nachdem die Lage im Mittelwellenband so hoffnungslos geworden war, dass neue Wege zur Verbesserung der schweizerischen Rundspruchversorgung beschritten werden mussten. In ähnlicher Lage befanden sich eine grosse Zahl europäischer Länder. Deutschland war durch den Plan von Kopenhagen bereits 1948 gezwungen, eine weitgehende Umstellung auf FM-UKW vorzunehmen.

Das schweizerische Problem stellte sich, kurz gefasst, etwa wie folgt: Die nach dem Kriege verstärkten Landessender ermöglichten etwa 89 % der Haushaltungen guten Empfang. Der Versuch, die restlichen 11 % mit kleinen Relaissendern ebenfalls auf Mittelwellen zu bedienen, musste wegen der allgemeinen politischen Rundspruchentwicklung in Europa aufgegeben werden. Demgemäss wurde hinsichtlich der Einführung von FM-UKW-Sendungen ins Auge gefasst:

1. Verbesserung des Empfanges der entsprechenden Landessenderprogramme in den Berggegenden;

2. Ersatz der bestehenden Mittelwellen-Relaissender durch FM-UKW-Sender;

3. Bereitstellung eines zusätzlichen UKW-Sendernetzes für die Verbreitung eines 2. Programmes.

Inzwischen fand in Stockholm 1952 eine Konferenz der europäischen Verwaltungen zur Frequenzverteilung in den Fernseh- und FM-UKW-Bändern statt. Einen Begriff vom Interesse, welches

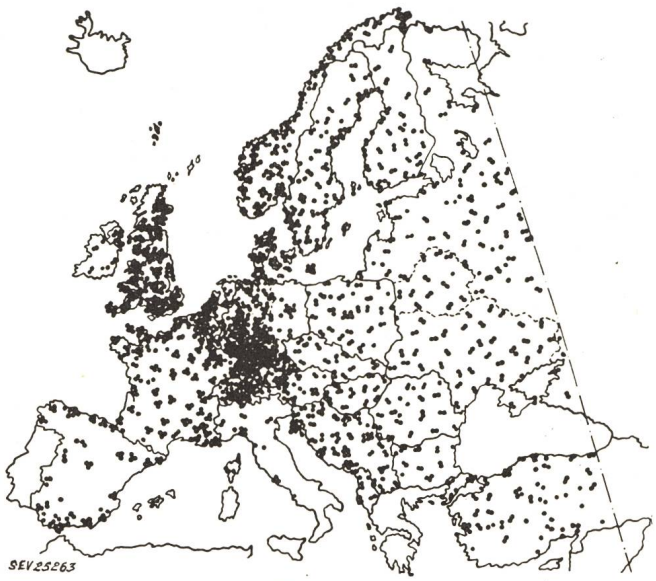

Fig. 11
Standorte der 1952 in Stockholm angemeldeten Frequenzbegehren für UKW

in Stockholm dem FM-UKW-Rundspruch entgegengebracht wurde, vermittelt Fig. 11: Standorte der in Stockholm angemeldeten Frequenzbegehren für UKW. Fig. 12 zeigt einen Ausschnitt des UKW-Frequenzplanes für Mitteleuropa. Es ist immerhin interessant festzustellen, dass der sog. Stockholm-Plan rund 2000 Zuteilungen im UKW-Band II, also von 87,5...100 MHz für FM-Sender aufweist. Daran ist die Schweiz mit 48 Frequenzpositionen an 29 Senderstandorten beteiligt.

Die finanziellen Mittel für eine auf breiter Grundlage gedachte Einführung des FM-UKW-Systems im schweizerischen Rundspruch waren allerdings nicht vorhanden. Zudem steht nach der Konzession vom 1. Januar 1954 der Schweiz. Rundspruchgesellschaft (SRG) das Recht zu, bei jedem technischen Ausbau der Anlagen mitzureden. Angesichts dieser Sachlage, und mit Rücksicht auf die immer lauter werdenden Wünsche aus Hörerkreisen nach Verbesserung der Empfangsverhältnisse, ferner auch angesichts der günstigen Resultate des seit Oktober 1952 in Betrieb stehenden FM-Senders St. Anton in der Ostschweiz, beschloss die Generalversammlung der SRG im Dezember 1954 einstimmig die Schaffung eines UKW-Dienstes mit folgenden Aufgaben:

1. Verbesserung des Radioempfangs in Gegenden, wo die Landessender schlecht gehört werden.

2. Verbesserung der Wiedergabe unserer Programmdarbietungen in der ganzen Schweiz.

3. Durchführung von zweiten Programmen mindestens während zwei Abendstunden.

Dass so grosse, neue Unternehmungen nur mit vermehrten Mitteln möglich waren, liegt auf der Hand. Diese wurden durch den Bundesratsbeschluss zur Erhöhung der Konzessionsgebühr auf 26 Franken ab 1. Januar 1956 gewährt. Inzwischen hatte eine gemischte Kommission der SRG und der PTT das Problem technisch soweit bereinigt, dass der Generalversammlung der SRG vom 30. Juni 1956 ein fertiges Ausbauprogramm unterbreitet werden konnte. Der Vorschlag wurde einstimmig gutgeheissen. In der Karte (Fig. 13) sind sämtliche projektierten Sender eingezeichnet. Die genauen Standorte einiger Anlagen, z. B. in der Innerschweiz, können noch gewisse Änderungen erfahren.

Zum Bauprogramm lässt sicht folgendes ausführen:

Die Sender D_1, F_1, I_1, gesamthaft mit UKW-1-Sender bezeichnet, dienen zur Erfüllung der 1. Aufgabe, d. h. der Empfangsverbesserung, die Sender D_2, F_2 und I_2, gesamthaft mit UKW-2-Sender bezeichnet, dienen der Erfüllung der Aufgaben 2 und 3.

Bereits gebaut und im Betrieb sind die UKW-1-Sender St. Anton, Ladir, Leuk-Feschel I (deutsch), Leuk-Feschel II (französisch), Les Ordons und Monte Morello. Die ersten Betriebsergebnisse entsprechen in jeder Beziehung den Erwartungen.

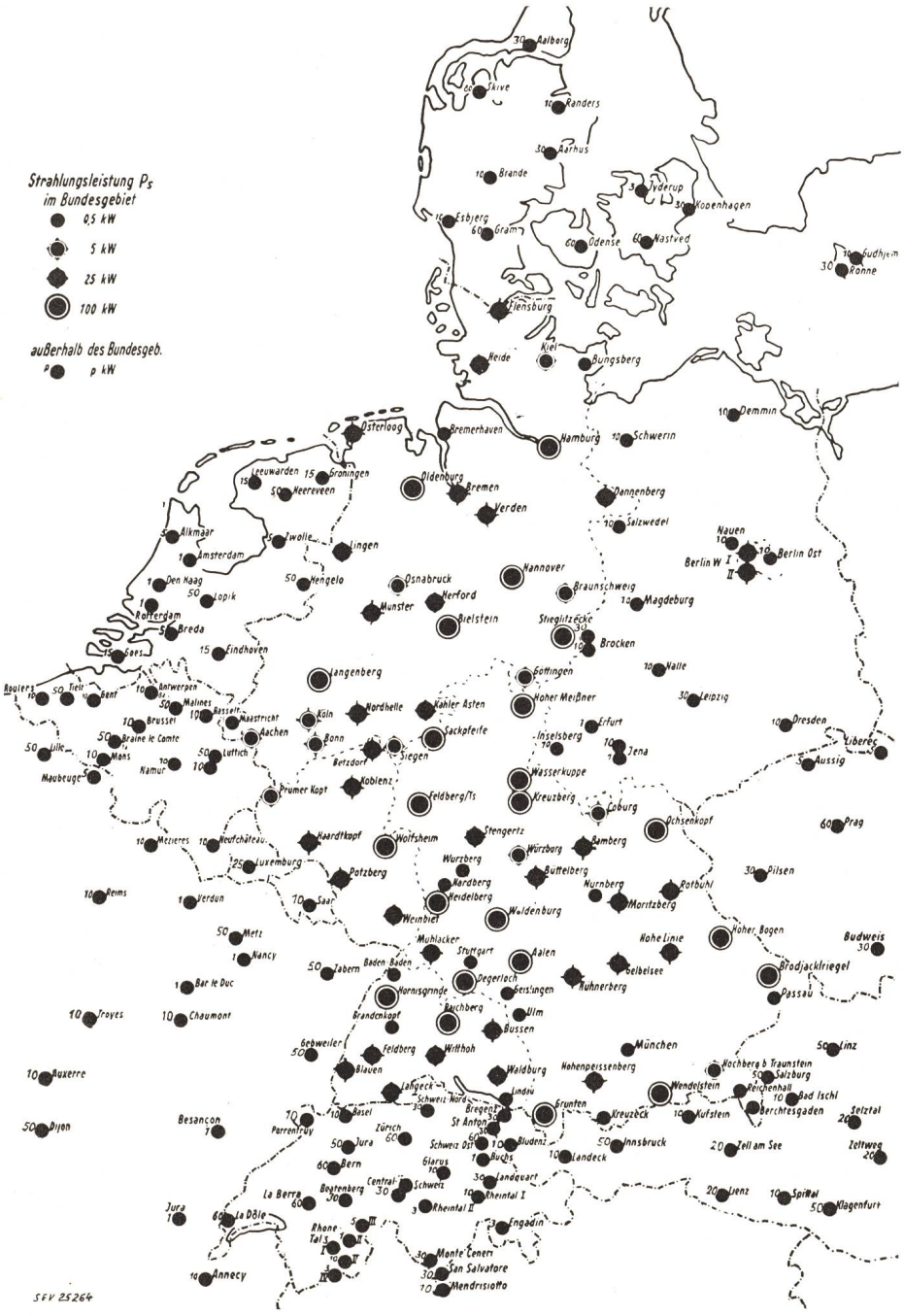

Fig. 12
Ausschnitt des UKW-Frequenzplanes für Mitteleuropa

Der weitere Ausbau des UKW-Netzes geschieht nach folgendem Zeitplan:

UKW-1: 1956, Tarasp, Sool, Niederhorn, Brig, Klosters-Davos, St. Moritz, Ravoire und Uri;
1957, Sarganserkessel, Domleschg/Albula, Château-d'Oex, Saanen, Biasca und Chrischona.

UKW-2: 1956, Ütliberg, Bantiger, Chrischona, La Dôle, Monte Ceneri;
1957, San Salvatore, Säntis, Neuenburger Jura, Zentralschweiz, Haslital, La Berra, Leuk-Feschel III (deutsch), Leuk-Feschel IV (französisch) und Ravoire.
1958, Les Ordons, Niederhorn, Saanen, Château-d'Oex, Brig, Biasca, Monte Morello, St. Moritz, Domleschg/Albula, Ladir, Sool, Sarganserkessel, Klosters/Davos und Tarasp.

Die Sendungen des 2. Programms beginnen im Dezember 1956. Man darf annehmen, dass nach dem Vollausbau über 97 % der Haushaltungen in der Schweiz gesicherte Empfangsbedingungen geboten sind.

Es liegt auf der Hand, dass die PTT-Verwaltung, der noch andere grosse Aufgaben obliegen und die namentlich an der Verbilligung und Sicherung des Betriebes interessiert ist, wo immer möglich Zusammenlegung exponierter, gleichgearteter, aber verschiedenen Zwecken dienender Anlagen anstrebt. So hat sich der Begriff der Mehrzweckanlagen herausgebildet. Im besonderen kommen für

Fortsetzung des allgemeinen Teils auf Seite 303
Es folgen «Die Seiten des VSE»

Fortsetzung von Seite 290

Grundlagen, Aufgaben und Ziele des Ultrakurzwellenrundspruchs (Fortsetzung)

die Zusammenlegung in Frage: FM-UKW-Rundspruch- und Fernsehstationen, Stationen für feste und mobile Telephonie und die Richtstrahlanlagen. Ein typischer Standort für Mehrzweckanlagen ist der Säntis.

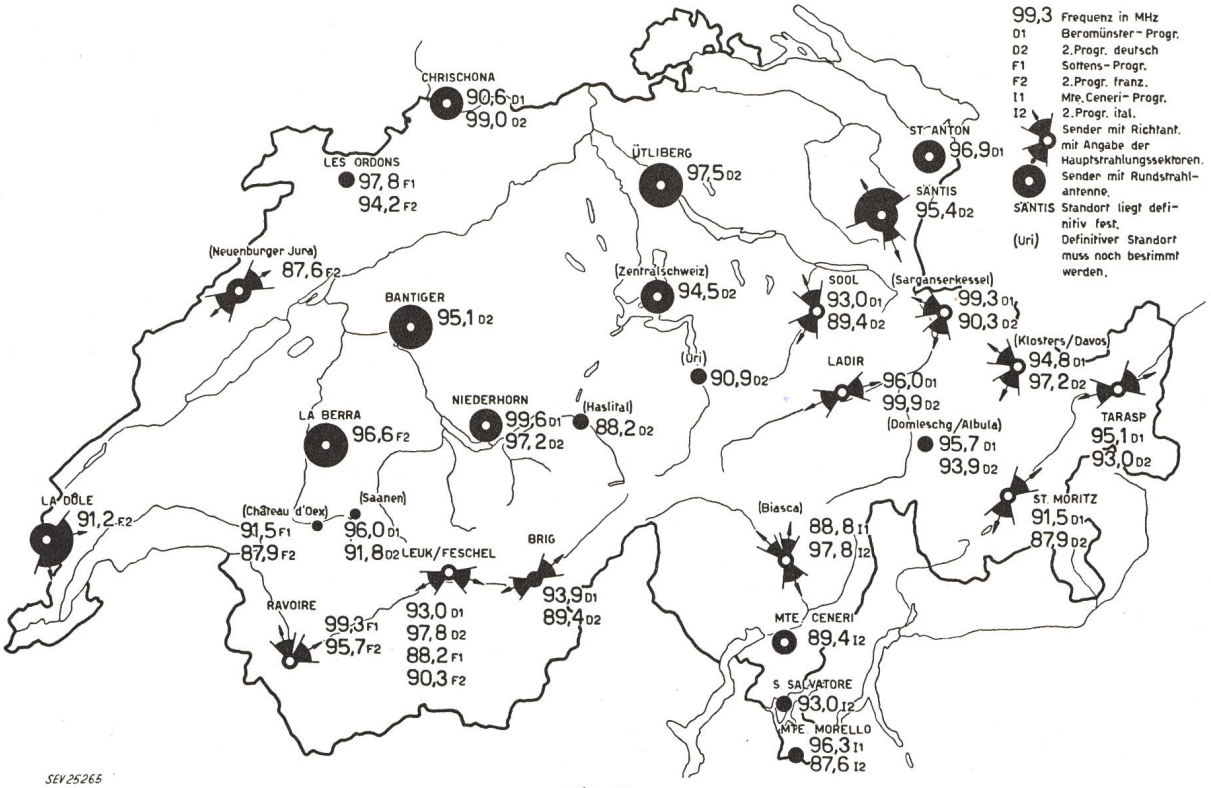

Fig. 13
Mutmasslicher Ausbau des schweizerischen FM-UKW-Netzes

Die Schaffung eines UKW-Sendernetzes verlangt von der PTT nicht nur den Bau all der vorgesehenen Sender, sondern darüber hinaus die Bereitstellung der notwendigen Verbindungen zur Übertragung der Programme.

Fig. 14
FM-UKW-Station Leuk-Feschl, Wallis

Die Grundlage für diese Verbindungen bildet das schweizerische Musikleitungsnetz, dessen bestehende Pupinisierung eine Bandbreite von 8 kHz zu übertragen gestattet. Mit dem Beschluss zur Einführung des FM-Rundspruchsystems musste die Frage der Bandbreite neu geprüft werden, da der FM-Sender auch in dieser Beziehung mehr als das hergebrachte AM-System leisten kann. Nach Abwägen aller Vor- und Nachteile verschiedener Lösungen entschied man sich grundsätzlich für eine Ausdehnung bis 10 000 Hz. Zur Übertragung dieses Bandes wird man neben unpupinisierten Leitungen solche benützen, die mit H-6, also 6 mH/1830 m, belastet sind. Der Umbau des Rundspruchnetzes wird einige Jahre beanspruchen. Die Begrenzung des Frequenzbandes auf 10 000 Hz trägt dem Umstand Rechnung, dass eine Erweiterung über diese Grenze hinaus nur eine unbedeutende Qualitätsverbesserung brächte. Auf der Empfangsseite sind die Voraussetzungen zur vollen Ausnützung der neu gebotenen FM-Tonqualität leider erst bei den teureren Apparateklassen, ausgerüstet mit kombinierten Lautsprechern, erfüllt.

Fig. 14 und 15 zeigen einige bereits im Betrieb befindliche Anlagen.

Mit dem Gesagten sind denn auch bereits die Ziele des UKW-Rundspruchs, wenigstens in unserem nationalen Bereich, ziemlich genau umschrieben. Von den vielen technischen Errungenschaften unserer Zeit sind etwelche, die vieles gemeinsam haben: Telegraph und Telephon, Rundspruch und Presse, um nur zwei Beispiele aus dem Nachrichtenwesen zu nennen. Besondere Eigenheiten und Möglichkeiten sichern jedem Dienst in unserer technisch so verwöhnten und anspruchsvollen Welt den Platz, den eben die Konkurrenz nicht auszu-

füllen vermag. So dürfen wir auch annehmen, dass Fernsehen und UKW-Rundspruch eine Parallelentwicklung erfahren, obschon sich in der Schweiz einmal eine abweichende Tendenz bemerkbar machte. Das heute allgemein angewendete Intercarrier-Verfahren der Fernsehtechnik hat dann der Entwicklung einen anderen Weg gewiesen.

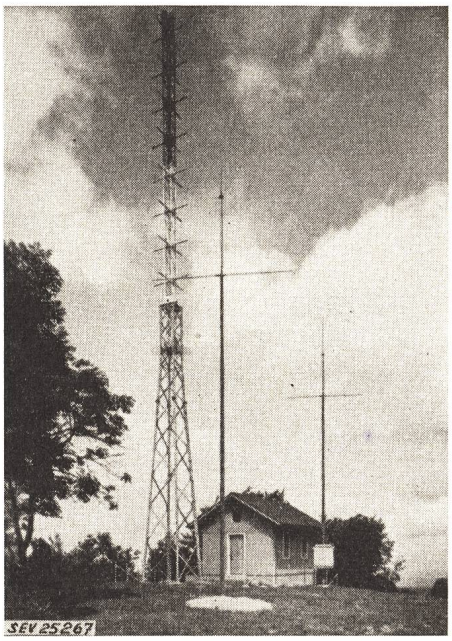

Fig. 15
FM-UKW-Station «Les Ordons», Ajoie

Zuletzt zeigt Fig. 16 graphisch den Entwicklungsgang der verschiedenen Rundsprucharten in unserem Lande.

Zum Schluss möchte ich noch besonders hervorheben, dass es mit der nationalen Zielsetzung für den UKW-Rundspruch nicht sein Bewenden haben wird. Er wird dazu berufen sein, jene Ordnung im europäischen Rundspruch zu ermöglichen, die sich jeder Radiofreund wünscht, d. h. eine Befreiung von dem nun seit Jahren dauernden Chaos im Mittel- und Langwellengebiet. Es wird einer nächsten Rundspruchkonferenz ein leichtes sein, unter Einbezug der UKW jedem Lande seine Mindestzahl von exklusiven Mittelwellen zuzuteilen. Diese sind wie kein anderes Mittel geeignet, den direkten, keiner Kontrolle unterliegenden Kontakt zwischen den

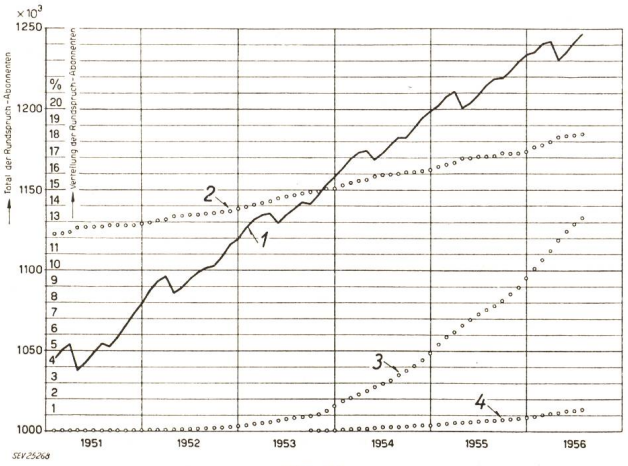

Fig. 16
Entwicklung von Radio, Telephonrundspruch und Fernsehen in der Schweiz in den letzten Jahren

1 Rundspruch-Abonnenten (Total der Radio-, Telephonrundspruch- und Fernseh-Abonnenten)
2 Telephonrundspruch-Abonnenten in Prozenten der Rundspruch-Abonnenten
3 UKW-Hörer in Prozenten der Rundspruch-Abonnenten
4 Fernseh-Abonnenten in Prozenten der Rundspruch-Abonnenten

Völkern Europas zu ermöglichen. Zu dieser neuen Wellenordnung sind indes die politischen Voraussetzungen erst noch zu schaffen.

Literatur

[1] *Metzler, E.:* Trägerwellen und Einseitenband-Modulation. Techn. Mitt. TT Bd. 12(1934), Nr. 6, S. 222...226.

[2] *Pol, B. van der:* The Fundamental Principles of Frequency Modulation. J. Instn. Electr. Engrs. Bd. 93(1946), Part 3, Nr. 23, S. 153...158.

[3] *Tibbs, Ch. E.:* Frequency Modulation Engineering. London: Chapman & Hall 1947.

[4] *CCIR:* Propagation de l'onde de sol. Genf: Comité Consultatif International des Radiocommunications 1955.

[5] *Taschenbuch der Hochfrequenztechnik.* Hg. von *H. Meinke* und *F. W. Gundlach.* Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1956.

[6] *Matricon, M.:* La modulation en fréquence. Rev. techn. CFTH, Extrait Doc. 638.

Adresse des Autors:
Dr. sc. techn. *E. Metzler,* Haldenstrasse 41, Bern.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Die Infrarot-Raumheizung

621.384.3 : 697.71

[Nach *K. A. Lohausen:* Elektrische Infrarot-Raumheizung. Dtsch. Elektrotechn. Bd. 11(1957), Nr. 1, S. 24...27]

In letzter Zeit bemühten sich die Heizungstechniker mehr und mehr, statt der bisher üblichen Raumheizung, bei welcher danach getrachtet wurde, die Raumluft und die Wände eines Raumes auf etwa 20 °C zu erwärmen, durch die elektrische Infrarotheizung zu ersetzen. Diese basiert auf der Erkenntnis, dass der menschliche Körper im Ruhezustand und bei etwa 20 °C Umgebungstemperatur durch Strahlung, Konvektion und Transpiration eine Wärmeleistung von etwa 125 W der Umgebung abgibt. Ist die Umgebungstemperatur weniger als 20 °C, so wird die abzugebende Wärmeleistung grösser als 125 W; der Mensch wird frieren. Kann nun in einem Raum, in welchem man friert, der Körper allseitig mit Infrarot-Strahlen bestrahlt werden, so wird es möglich, die durch die niedrige Umgebungstemperatur abzugebende, erhöhte Wärmeleistung wieder auf 125 W zu reduzieren, so dass das Gefühl des Frierens aufhört.

Die zweckmässigste Anordnung einer Infrarotheizung besteht aus langen, in muldenförmigen Reflektoren eingebauten Strahlstäben (Fig. 1). Die Reflektoren sind zur besten Ausnützung der Strahlenwirkung in eine Hohlkehle zwischen Wand und Decke eingebaut, denn, wie Versuche bewiesen, sind sie hier am wenigsten einer konvektiven Kühlung ausgesetzt. Mit auf diese Art ausgebildeten Strahlern (Voutenstrahlern) ist es möglich, einen ganzen Raum auf gleichmässige Temperatur zu bringen.

Die erwähnte Strahleranordnung darf nur in Räumen mit horizontaler Decke verwendet werden, in denen sich die Höhe zur Breite des Raumes 1 : 1,3 bis 1 : 3 verhält. Bei breiterem Raum als 1 : 3 ist eine Unterteilung des Gesamtraumes in mehrere Teilräume zweckmässig, oder es muss