

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 47 (1956)
Heft: 12

Artikel: Einige Probleme bei mobilen Funkgeräten mit kleinem Kanalabstand
Autor: Guanella, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060096>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

Einige Probleme bei mobilen Funkgeräten mit kleinem Kanalabstand

Vortrag, gehalten an der 19. Hochfrequenztagung des SEV am 26. Oktober 1955 in Solothurn,
von G. Guanella, Baden (AG)

621.396.93

Eine Verkleinerung des Kanalabstandes im Frequenzraster der mobilen Funkstationen wurde notwendig zur besseren Ausnutzung der verfügbaren Frequenzbänder. Die Forderung des ungestörten Betriebes mehrerer Stationen auf benachbarten Frequenzen führte dabei zu interessanten Problemen: Auf der Senderseite muss die Abstrahlung störender Komponenten ausserhalb des Nutzfrequenzbandes möglichst vermieden werden. Zu diesem Zweck wird die Amplitude wie auch der Frequenzumfang des Modulationssignales begrenzt. Auf der Empfängerseite sind dagegen störende Auswirkungen der Nebenkansalsignale durch besondere Selektionsmittel und sorgfältige Wahl des Pegelplanes zu vermeiden. Damit wird erreicht, dass der Empfang des Nutzsignals im 460-MHz-Band bis zur Erreichung der Empfindlichkeitsgrenze durch Nebenkansalsender mit einem Frequenzabstand von 50 kHz aus einer minimalen Entfernung von ca. 100 m nicht gestört wird.

Une réduction des écarts entre canaux dans le domaine des fréquences prévues pour les postes mobiles était nécessaire afin de pouvoir mieux utiliser les bandes de fréquences disponibles. L'exigence d'un service sans perturbations de plusieurs postes travaillant avec des fréquences voisines avait posé d'intéressants problèmes. Côté émetteur, il fallait éviter autant que possible l'émission de composantes gênantes en dehors de la bande de fréquences strictement nécessaire. Dans ce but, l'amplitude et la gamme de fréquences du signal de modulation sont limitées. Côté récepteur, il fallait éviter les effets perturbateurs de signaux de canaux voisins, grâce à des moyens de sélection appropriés et à un établissement minutieux du plan des niveaux. On obtient ainsi que la réception du signal utile dans la bande de 460 MHz jusqu'à la limite de sensibilité n'est pas troublée par des émetteurs distants d'au moins 100 m et travaillant dans des canaux voisins, écartés de 50 kHz.

1. Einleitung

Die Zahl von mobilen Funkstationen für zivile Zwecke ist in den letzten Jahren erheblich angewachsen und sie nimmt weiter zu. In den USA sind bereits etwa $1\frac{1}{2}$ Million solcher Geräte im Betrieb, von denen je etwa $\frac{1}{3}$ für Sicherheitsdienste (z. B. Polizei), Transportdienste (z. B. Taxi-Unternehmungen) und für industrielle Betriebe eingesetzt sind. Die ersten Anlagen kamen in einem Frequenzband von 30...40 MHz zum Einsatz. Im Laufe der Entwicklung wurden dann weitere Bänder von je ca. 20 MHz Breite bei 80 MHz, 160 MHz und 460 MHz erschlossen und es werden nun auch in Europa mobile Geräte für das oberste Band bei 460 MHz serienweise gebaut. Noch höhere Frequenzen sind zur Übertragung während der Fahrt im allgemeinen nicht mehr geeignet.

Da eine Erweiterung der für mobile Dienste geeigneten Frequenzbänder nicht in Frage kommt, werden Massnahmen zur verbesserten Ausnutzung der verfügbaren Frequenzen notwendig: Der pro Kanal benötigte Frequenzbereich muss möglichst reduziert werden. Nachdem man zunächst gewöhnlich mit einem Kanalabstand von mindestens 100 kHz arbeitete, wird nun in den wichtigsten europäischen Ländern ein Frequenzraster von 50 kHz verlangt. Eine entsprechende Entwicklung ist auch in den USA zu beobachten, wo bei den tieferen Frequenzen bereits ein Übergang von 60-kHz- auf 30-kHz-Kanalabstand vorgesehen wird¹⁾. Verschiedene Probleme, welche durch diese Verfeinerung des Rasters besondere Bedeutung erhielten, sollen zur Sprache kommen.

Der Empfänger R in Fig. 1 einer Sende-Empfangsstation empfängt im allgemeinen nicht nur die vom Sender T der Gegenstation ausgesandten Signale, sondern auch verschiedene Störsignale benachbarter Stationen. Von besonderer Bedeutung sind die Signale eines örtlich nahegelegenen Nebensenders, dessen Frequenz im Frequenzraster unmittelbar neben dem empfangenen Nutzsignal

des Gegensenders liegt. Auch vom Empfänger R einer benachbarten Station können störende Signale ausgehen, und bei Gegensprechbetrieb ist zudem Störung durch die Signale des Eigensenders möglich. Die beim Empfänger R einfallenden Nutzsignale können sehr grosse Pegelunterschiede auf-

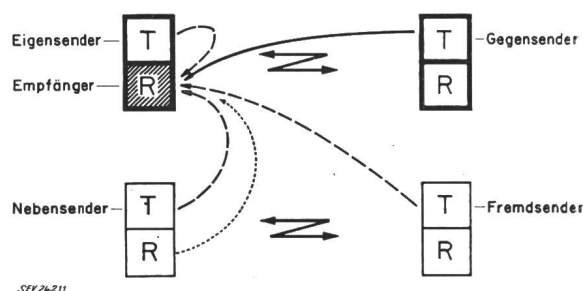


Fig. 1
Störmöglichkeiten eines Empfängers durch verschiedene Sender

T Sender
R Empfänger
gestörter Empfänger
— — — Störsignale

weisen: Im Frequenzband von 460 MHz liegt die Empfindlichkeitsgrenze bei etwa $1 \mu V$. Mit abnehmender Entfernung des Gegensenders können die Empfangsspannungen jedoch bis zu ca. 1 V ansteigen²⁾. Es wird nun verlangt, dass der Empfang auch bei schwächstem Nutzsignal durch viel stärkere Signale des Nebenkansals nicht gestört wird.

Die Verhältnisse liegen also nicht gleich wie bei der sog. Mehrträger-Mehrkanalübertragung, wobei die Signale mehrerer Sender auf unmittelbar benachbarten Kanälen über die gleiche Strecke übertragen werden, so dass grössere Unterschiede der Empfangspegel nur bei Selektiv-Fading auftreten³⁾. Die normalen Sende-Empfangsgeräte für kleinen Kanalabstand sind bei geeigneter Entkopplung der Antennenkreise bzw. gemeinsamem An-

¹⁾ Über die amerikanischen Arbeiten auf diesem Gebiet orientieren die interessanten Berichte aus den Fachgruppen des IREL [1; 2], aus denen wir einige Figuren übernommen haben. Die eckigen Klammern weisen auf die Angaben im Literaturverzeichnis, am Schluss der Arbeit, hin.

²⁾ Dies entspricht einem Leistungsverhältnis von $1:10^{12}$ der empfangenen Nutzsignale. Zur Illustration dieses Verhältnisses kann die Leistung einer Taschenlampe mit der Leistung sämtlicher Kraftwerke der Erde verglichen werden.

³⁾ Eine Versuchsanordnung zur Erprobung dieses Systems wurde 1947 in der Schweiz gebaut [3; 4; 5]. In neuerer Zeit wurden solche Systeme zur Mehrkanalübertragung erneut und auch an anderer Stelle untersucht [6; 8].

tennenverstärker für diese Mehrträger-Übertragung ebenfalls geeignet.

Die Störselektion eines Empfängers, wie auch das Leistungsspektrum des von einem Nebensender empfangenen Signals sind in Fig. 2 dargestellt. Die Amplitude des in der Figur nicht gezeigten Nutz-

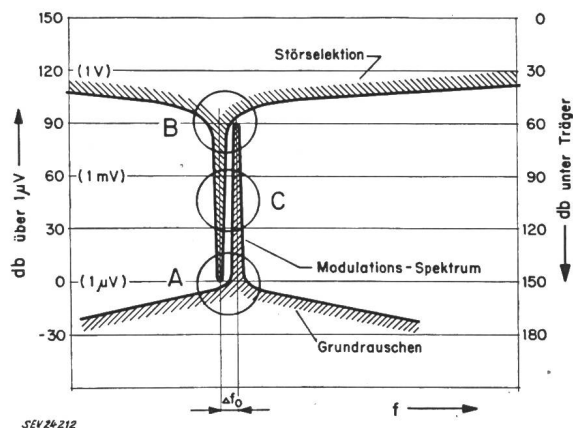


Fig. 2

Einwirkung eines Nebenchannels auf den Empfänger

Die Störselektion des Empfängers, sowie Modulationsspektrum und Grundrauschen des störenden Signals sind über der Frequenz f aufgetragen

Δf_0 Frequenzabstand zwischen Störträger und Abstimmfrequenz des Empfängers

A Spektrum im Bereich der maximalen Störempfindlichkeit des Empfängers

B Störselektion im Bereich des störenden Trägers

C steil abfallender Bereich des Modulationsspektrums und Empfangsselektion

signals muss über der Empfindlichkeitsgrenze von ca. $1 \mu\text{V}$ liegen. Ungestörter Empfang dieses Signals ist gewährleistet bei genügender Unterdrückung aller Fremdsignale durch die Störselektion des Empfängers. Dabei gelten folgende Forderungen:

a) Das Grundrauschen des Störsenders darf die Empfindlichkeitsschwelle des Empfängers nicht erreichen (vgl. Fig. 2, Bereich A).

b) Die Abflachung der Störselektionskurve infolge Übersteuerung des Empfängers darf eine durch die Trägerleistung des Störsenders gegebene Grenze nicht überschreiten (vgl. Fig. 2, Bereich B).

c) Das Seitenbandspektrum des Störsenders muss ausserhalb der Empfangsselektionskurve liegen (vgl. Fig. 2, Bereich C).

Die Forderungen a) und b) gehen in erster Linie aus dem Pegel des störenden Nebensignals hervor. Dieser soll etwa 90 db über der Empfindlichkeitsgrenze des Empfängers liegen können, entsprechend einem Leistungsverhältnis von $1 : 10^9$ gegenüber dem kleinsten brauchbaren Nutzsignal^{4, 5)}. Unter Annahme einer Sendeleistung von 20 W, welche ca. 150 db über der Empfindlichkeitsgrenze liegt, ergibt sich daraus ein minimaler Pegelunterschied von etwa 60 db zwischen den am Nebensender bzw. am Empfänger gemessenen Störsignalen. Diese Grenze wird im 460-MHz-Band mit mo-

⁴⁾ Es empfiehlt sich, die hier auftretenden sehr grossen Pegelunterschiede in Dezibel (db), d. h. durch den 10fachen Briggschen Logarithmus des Leistungsverhältnisses auszudrücken.

⁵⁾ Die Empfindlichkeitsgrenze wird erreicht, wenn die Leistung des niederfrequenten Ausgangssignals 20 db über der in diesem Signal enthaltenen Rauschleistung liegt.

bilen Stationen in einer kleinsten zulässigen Entfernung von etwa 100 m erreicht. Die Forderung c) ist dagegen in erster Linie durch den Kanalabstand Δf_0 des Nebensenders gegeben, der beim heute üblichen Frequenzraster auch im 460-MHz-Band 50 kHz beträgt.

Die wichtigsten Massnahmen zur Erfüllung dieser Forderungen auf der Sende- und Empfangsseite sollen nun erläutert werden.

2. Der frequenzmodulierte Sender

Das *Seitenband-Spektrum* der frequenzmodulierten Hochfrequenz-Schwingung ist aus zahlreichen Komponenten zusammengesetzt, deren Abstand der jeweiligen Modulationsfrequenz entspricht. Der energiereiche Teil dieses Spektrums, welcher die zu übertragende Nachricht kennzeichnet, liegt im Selektionsbereich der Gegenstation. Die Gesamtleistung der weiteren Komponenten, welche in den Selektionsbereich des Nebenchannels-Empfängers fallen, soll dagegen bereits 90 db unterhalb der Sendeleistung liegen. Daraus ergibt sich die Forderung nach einem möglichst steil abfallenden Seitenband-Spektrum.

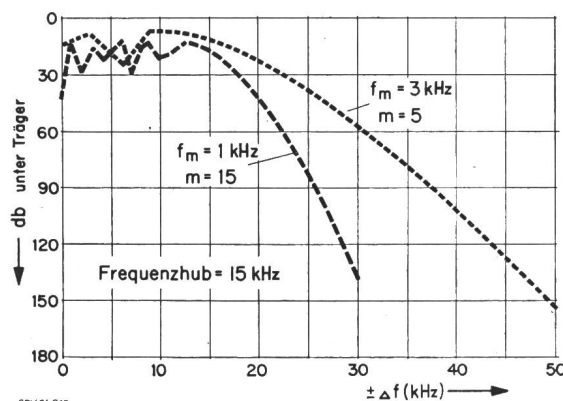


Fig. 3

Seitenbandspektrum einer frequenzmodulierten HF-Schwingung

Modulationssignal: Sinusspannung

Modulationsfrequenz: $f_m = 1$ bzw. 3 kHz

Frequenzhub: 15 kHz

Modulationsindex: $m = 15$ bzw. 5

Die Komponenten maximaler Amplitude der frequenzmodulierten Schwingung liegen innerhalb einer Hüllkurve, welche gemäss Fig. 3 umso rascher abfällt, je kleiner die Modulationsfrequenz bei gegebenem Frequenzhub gewählt ist. Bei einem Frequenzhub von 15 kHz ergibt z. B. eine Modulationsfrequenz von 1 kHz Seitenband-Komponenten, die in 30-kHz-Abstand von Bandmitte bereits etwa 130 db unterhalb der Trägerleistung liegen. Der mit 50 kHz Frequenzabstand im Nebenchanel arbeitenden Empfänger, dessen Bandbreite kleiner ist als ± 20 kHz, wird dadurch nicht gestört. Bei Erhöhung der Modulationsfrequenz auf 3 kHz wird dagegen bereits die Grenze des Zulässigen erreicht. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei zunehmendem Oberwellengehalt des Modulationssignals (vgl. Fig. 4).

Die Gesamtheit der ausserhalb des notwendigen Nutzbereiches liegenden Seitenband-Komponenten lässt sich durch Filterung wegen der kleinen relativen Bandbreite mit tragbaren Mitteln nicht un-

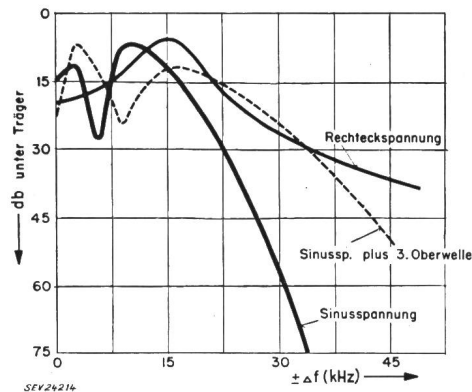


Fig. 4

Seitenbandspektren einer frequenzmodulierten HF-Schwingung
(nach W. L. Firestone)

Modulationssignale: Sinusspannung ohne und mit 3. Oberwelle, Rechteckspannung

Grundfrequenz des Modulationssignals: $f_m = 3$ kHz

Frequenzhub: 15 kHz

Modulationsindex: $m = 5$

terdrücken. Zur Vermeidung unzulässiger Empfangsstörungen im Nebkanal ist deshalb bereits vor der Modulation Abschwächung bzw. völlige Unterdrückung der höheren Modulationsfrequenzen erforderlich. Fig. 5 zeigt z. B. die Wirkung der Tiefpassfilterung bei Sprache.

Eine *Amplitudenbegrenzung des Modulationssignals* ist notwendig zur Vermeidung einer unzulässigen Verbreiterung des Seitenbandspektrums bei zu grossen Modulations-Amplituden. Nach

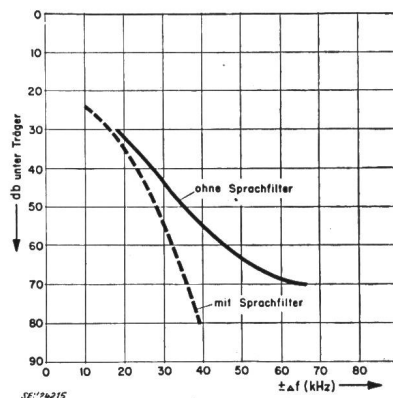


Fig. 5

Seitenbandspektrum einer frequenzmodulierten HF-Schwingung
(nach A. A. Mac Donald)

Modulationssignal: Sprache ohne bzw. mit Unterdrückung der Frequenzen über $f_0 = 2,5$ kHz
Mittlerer Frequenzhub: 6,4 kHz

Fig. 6 wird dabei eine bestimmte Grenzspannung nicht überschritten. Aus sinusförmigen Spannungen grösserer Amplituden entstehen Trapez- oder Rechteckspannungen. Die bei dieser Begrenzung gebildeten schädlichen Oberwellen würden wieder

eine Verbreiterung des Seitenband-Spektrums bewirken; sie werden deshalb durch eine Tiefpassfilterung des begrenzten Signals unterdrückt.

Bei steigender Amplitude des Modulationssignals entstehen durch die Begrenzung unangenehme nichtlineare Verzerrungen im hörbaren Bereich. Es sind deshalb noch besondere Mittel zur möglichst weitgehenden Vermeidung unzulässiger Amplituden-Überschreitungen vorgesehen: Durch automatische Pegelregelung wird das Modulationssignal jeweils auf einen zulässigen Pegel abgeschwächt. Jede Überschreitung der Schwellenspannung bewirkt dabei mit kleiner Zeitkonstante eine

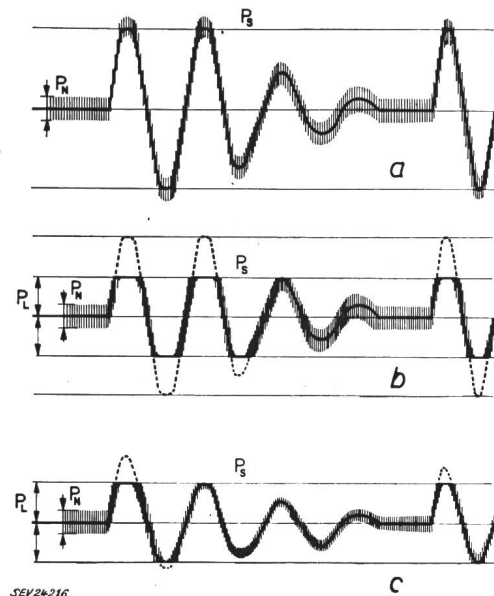


Fig. 6

Amplitudenbegrenzung und Pegelregelung des Modulationssignals

a ohne Amplitudenbegrenzung; b mit Amplitudenbegrenzung; c mit Pegelregelung und Amplitudenbegrenzung

P_S ursprünglicher bzw. begrenzter Scheitelwert des Modulationssignals

P_L Grenzspannung des Begrenzers

P_N ursprüngliche Amplitude des überlagerten niederfrequenten Störgeräusches

■ Andeutung des überlagerten niederfrequenten Störgeräusches

Reduktion der Verstärkung, welche dann nur verhältnismässig langsam wieder ansteigt. Die gerade bei mobilen Geräten oft sehr grossen Pegelunterschiede werden auf diese Weise weitgehend ausgeglichen und die automatische Amplitudenbegrenzung tritt dabei nur noch kurzzeitig und unmerklich in Funktion.

Die Sprechlautstärke steigt erfahrungsgemäss mit der Amplitude der Raumgeräusche. Die dabei einsetzende Pegelregelung schwächt das Modulations-Nutzsignal wieder auf zulässige Amplitudenwerte ab. Im Gegensatz zur einfachen Amplitudenbegrenzung wird dabei in gleichem Masse auch das Störsignal geschwächt, so dass eine brauchbare Verständigung im allgemeinen auch unter lärmigen Verhältnissen gewährleistet bleibt. Das derart geregelte Modulationssignal ist frei von nichtlinearen Verzerrungen, abgesehen von der praktisch bedeu-

tungslosen Beschneidung der ersten Spannungsspitzen.

Da sich das Seitenband-Spektrum mit steigen der Modulationsfrequenz verbreitert, empfiehlt sich Herabsetzung der Amplitudenschwelle für die höhern Modulationsfrequenzen. Diese Wirkung kann erreicht werden durch Anhebung der höhern Modulationsfrequenzen vor der Schwelle und entsprechende Abschwächung nach der Schwelle.

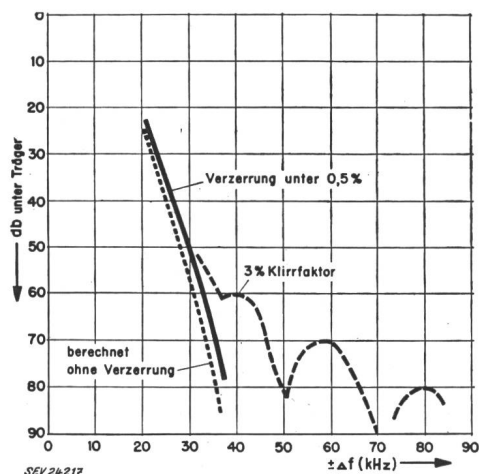


Fig. 7

Verbreiterung des Seitenbandspektrums durch nichtlineare Kennlinie des Phasenmodulators
(nach A. A. Mac Donald)

Modulationsfrequenz: 3 kHz; Frequenzhub: 15 kHz; $m = 5$

Durch *nichtlineare Verzerrungen am Modulator* infolge Krümmung der Modulationskennlinie entstehen Oberwellen des Modulationssignales, welche sich durch Filterung natürlich nicht mehr unterdrücken lassen. Eine unzulässige Verbreiterung des Seitenband-Spektrums kann auch hier die Folge sein (Fig. 7). Es sind immerhin genügend Massnahmen zur Verbesserung der Linearität bei der Frequenz- oder Phasenmodulation bekannt. Man kann ja auf einem verhältnismässig kleinen und deshalb annähernd geraden Teilbereich der Modulations-Kennlinie mit entsprechend kleinem Frequenz- bzw. Phasenhub arbeiten und diesen Hub nachträglich durch Frequenz-Vervielfachung vergrössern. Viel schwieriger sind die Verhältnisse bei der Amplitudenmodulation, wo volle Aussteuerung der Modulationskennlinie zur Erzielung eines möglichst grossen Modulationsgrades verlangt wird. Hier liegt der wesentliche Grund, dass die durch kleinen Kanalabstand gegebenen Forderungen an das Seitenband-Spektrum bei amplitudenmodulierten Geräten meist nur sehr schlecht erfüllt sind.

Das *Seitenbandrauschen des Senders* umfasst schliesslich alle Störsignale, welche mit dem eigentlichen Modulationsspektrum nicht zusammenhängen (Fig. 8). Bei ungenügender Beruhigung oder Abschirmung können zunächst unerwartete Störfrequenzen entstehen, deren Ursache in der Energieversorgungs-Anlage liegt (z. B. Vibratorstörung). Weit grössere Bedeutung kommt dem Restrauschen zu, welches als Grundgeräusch in den verschiedenen

Elektronenröhren entsteht. Dieses elektronisch bedingte Senderrauschen wurde bisher im Gegensatz zum Rauschen des empfindlichen Empfängers wenig beachtet, da es erst nach sorgfältiger Vermeidung der übrigen Seitenband-Störfrequenzen in Er-

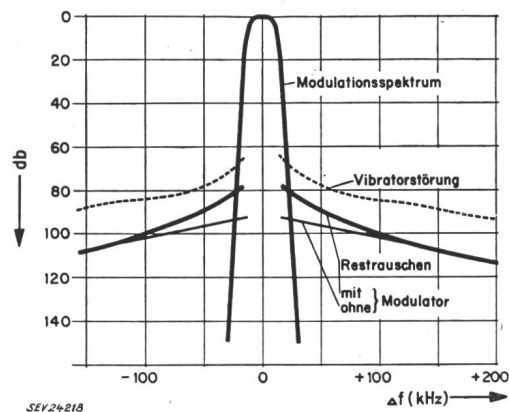


Fig. 8

Seitenbandrauschen des Senders

Das gesamte Seitenbandspektrum umfasst die Komponenten des Modulationsspektrums, das durch Elektronenübergang in den Röhren bedingte Grundgeräusch sowie allfällige zusätzliche Störfrequenzen (z. B. Vibratorstörung)

scheinung tritt und da die Messung dieser verhältnismässig sehr schwachen Signale neben dem um viele Grössenordnungen stärkeren Träger recht schwierig ist. Der verlangte Pegel-Abstand von ca. 90 db gegenüber der Trägerleistung lässt sich im-

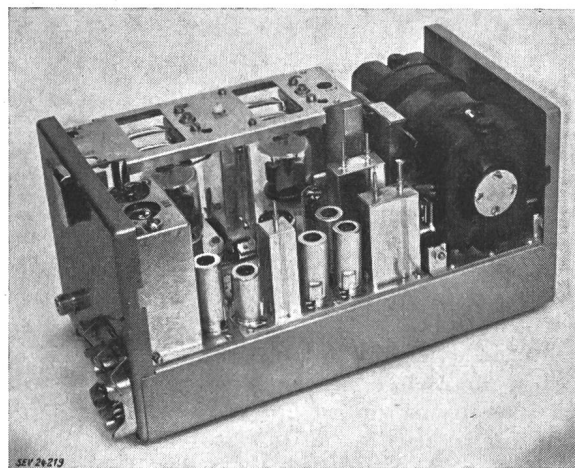


Fig. 9

Mobiler Sender

Sendefrequenz: im 160-MHz-Band; Frequenzhub: 12...15 kHz;
Frequenzwechsel: umschaltbar auf 6 benachbarte Kanäle;
Sendeleistung: ca. 30 W

merhin bei sorgfältig disponierter Schaltung bereits erreichen.

Die *Stabilität der Sendefrequenz* erhält natürlich beim Betrieb mit kleinem Kanalabstand entscheidende Bedeutung. Die Forderungen an die relative Stabilität des quartzgesteuerten Oszillators steigen mit zunehmender Sendefrequenz. Im 460-MHz-Band dürfen Abweichungen von $\pm 10^5$ unter veränderlichen Betriebsbedingungen nicht über-

schritten werden⁶⁾. Der Schwingquarz wird deshalb durch einen Thermostaten gegen äussere Temperaturschwankungen geschützt. Zum Ausgleich der verbleibenden Abweichungen ist auf der Empfangsseite eine automatische Abstimmungskorrektur vorgesehen.

Der Aufbau eines mobilen Senders ist aus Fig. 9 ersichtlich. Das Gerät enthält Amplitudenbegrenzer und automatische Pegelregelung. Besondere Filter zwischen den einzelnen Vervielfacherstufen dienen zur Unterdrückung der unerwünschten Harmonischen. Bei ortsfestem Betrieb wird anstelle des eingebauten rotierenden Umformers ein Netzgerät verwendet [7].

3. Der Empfänger

Neben einem möglichst steil abfallenden Modulationsspektrum des Senders ist die Selektionskurve des Empfängers für ungestörten Betrieb mit kleinem Kanalabstand besonders wichtig.

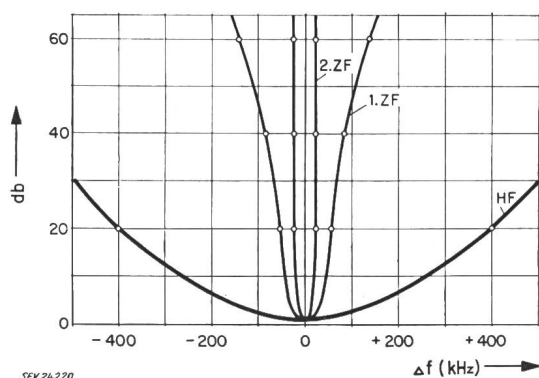


Fig. 10

Dämpfungskurven der Selektionskreise eines 160-MHz-Empfängers

Die Filter mit dem verlangten schmalen Durchlassbereich lassen sich nur bei tieferen Zwischenfrequenzen realisieren, welche aus den hohen Empfangsfrequenzen durch Frequenz-Transponierung hervorgehen. Zur Vermeidung der störenden Spiegelfrequenzen und verschiedener weiterer Intermodulationsfrequenzen sind dem Überlagerer Eingangsfiler vorgeschaltet, welche z. B. die um die doppelte Zwischenfrequenz abweichenden Empfangsfrequenzen unterdrücken. Um untragbare Forderungen an diese Filter zu vermeiden, wird die Frequenz bis zur Erreichung der letzten tiefen Zwischenfrequenz in mehreren Stufen schrittweise reduziert, wobei die Durchlassbreite der Selektionskreise fortschreitend abnimmt (Fig. 10). Die Selektionskurve des Empfängers ist dann in erster Linie durch die Filter des letzten ZF-Verstärkers bestimmt. Zur Gewährleistung höchster Stabilität werden die Selektionskreise dieses Filters in einem mehrstufigen Bandfilter zusammengefasst, welches dem zugehörigen Verstärker vorgeschaltet ist. Die abgestimmten Kreise sind dabei in einem teilweise ausgegossenen und hermetisch verschlossenen Gehäuse gegen äussere Störeinflüsse geschützt. Eine Änderung der Selektionseigenschaften bei Röhren-

⁶⁾ Dies entspricht der Gangabweichung einer Uhr von ca. ± 1 s pro Tag.

wechsel, schwankenden Betriebsspannungen usw. kann dabei naturgemäss nicht mehr auftreten. Die Dämpfungskurve eines solchen Filters zeigt Fig. 11.

Eine vergrösserte Bandbreite des HF-Kanals ist erwünscht bei Übertragung von Musik oder

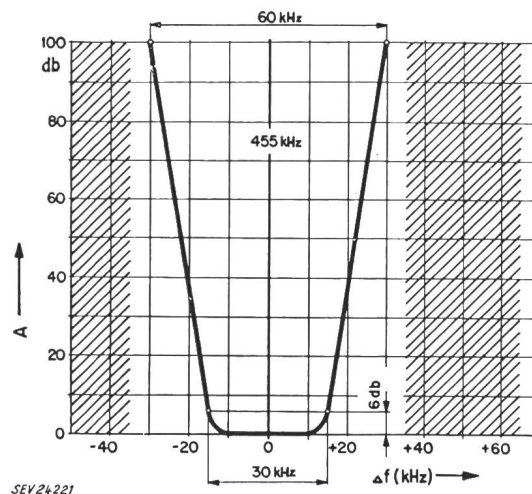


Fig. 11

Dämpfungskurve des Zwischenfrequenz-Bandfilters

Die Durchlass-Bandbreite von 30 kHz ist vorgesehen für sprachmodulierten Träger bei einem Kanalabstand von 50 kHz

schraffiert: Frequenzbereich der Nebenchäle
A Dämpfung; Δf Frequenzabweichung gegenüber Durchlassmitte

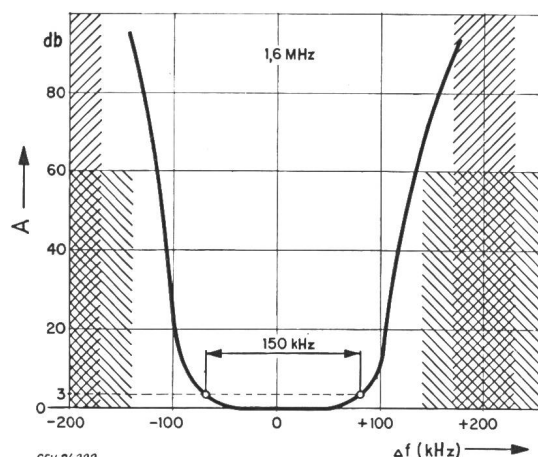


Fig. 12

Dämpfungskurve eines Zwischenfrequenz-Breitbandfilters

Die vergrösserte Durchlass-Bandbreite ist vorgesehen für Übertragung von Musik- oder Mehrkanalsignalen bei einem Kanalabstand von 200 kHz. Durch die übrigen Selektionskreise wird die Flankensteilheit vergrössert

schraffiert: Bereich des sprach-modulierten Nebenchals
gestrichelt: Bereich des breitband-modulierten Nebenchals

breitbandigen Trägerfrequenz-Mehrkanalsignalen. Fig. 12 zeigt die Dämpfungskurve eines hierfür geeigneten Filters, welches anstelle des normalen Schmalbandfilters eingebaut wird. Andererseits ist aber auch eine Verschmälerung der Selektionskurve durch Einbau entsprechender Schmalbandfilter für

den Fall einer weiteren Reduktion des Kanalabstandes möglich.

Der Aufbau eines Empfängers für das 460-MHz-Band ist aus Fig. 13 ersichtlich. Bei diesem Gerät wird das Empfangssignal nach Vorselektion und Vorverstärkung in einer ersten Überlagerungsstufe

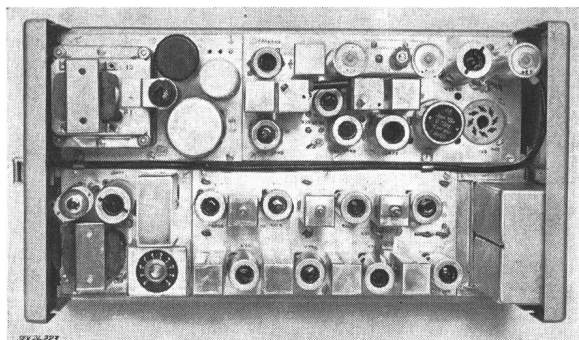


Fig. 13

mobiler Empfänger

Empfangsfrequenz: im Frequenzband bei 460 MHz

Empfindlichkeit: ca. 1 μ V

Frequenzwechsel: umschaltbar auf 6 benachbarten Kanälen

zunächst auf die erste Zwischenfrequenz von ca. 80 MHz gebracht. Durch weitere Frequenzumsetzungen entstehen daraus die zweite Zwischenfrequenz bei 8,5 MHz und schliesslich die dritte Zwischenfrequenz bei 455 kHz. Das so gewonnene Zwischenfrequenzsignal wird dann über das luftdicht verlötete Bandfilter dem mehrstufigen Verstärker zugeführt, dessen Bandbreite gegenüber der Filter-

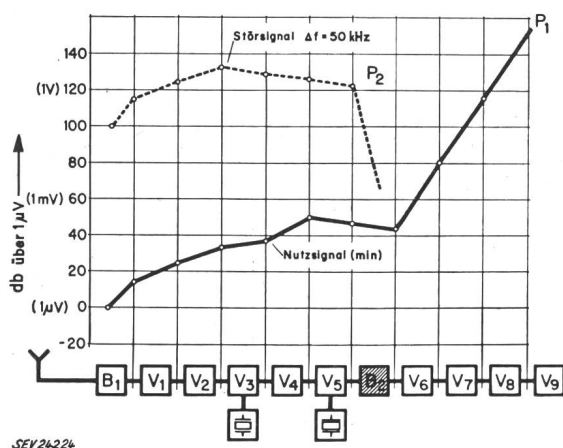


Fig. 14

Pegeldiagramm eines mobilen FM-Empfängers

- $V_1 \dots V_9$ Verstärker- und Mischstufen
 B_1 Eingangsfiler
 B_2 mehrkreisiges Zwischenfrequenzfilter
 Kurve P_1 : Pegel des Nutzsignals in den einzelnen Stufen bei minimaler Eingangsspannung von 1 μ V
 Kurve P_2 : Pegel des maximal zulässigen Nebensignals in den einzelnen Stufen bei einem Kanalabstand von 50 kHz und maximaler Eingangsspannung von 100 mV

Durchlassbreite verhältnismässig gross ist. Das Gerät enthält auch Mittel zur automatischen Abschaltung des Niederfrequenz-Kanals, sobald das Empfängerrauschen bei aussetzendem Träger ansteigt (Squelch).

Die Pegelverhältnisse im Empfänger verdienen wegen den sehr grossen Amplituden-Unterschieden zwischen Nutz- und Störsignalen besondere Beachtung. Eine wirksame Unterdrückung der Nebensignale kommt wegen dem sehr kleinen relativen Frequenzabstand erst im Bandfilter des letzten Zwischenfrequenzverstärkers zustande. Da diese Signale mit sehr hohem Pegel (ca. 100 db über der Empfindlichkeitsgrenze des Empfängers) einfallen können, muss die Verstärkung in allen dem Filter vorausgehenden Stufen möglichst klein sein, damit schädliche Übersteuerungen unterbleiben (Fig. 14). Zur Vermeidung einer unerwünschten Vergrösserung des Röhrenrauschens müssen die Signale immerhin über den Rauschpegel der Eingangsröhren genügend angehoben werden.

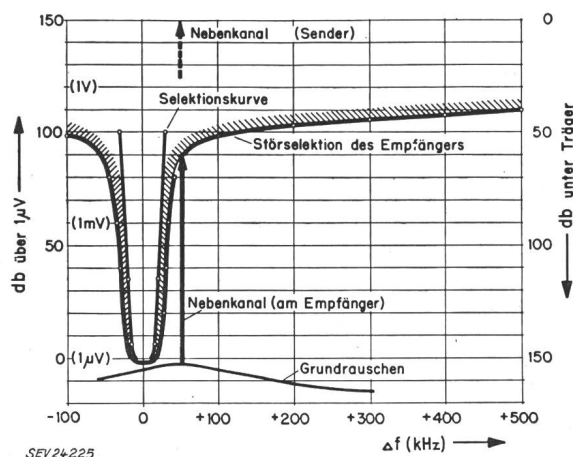


Fig. 15

Störselektion des Empfängers

Die Kurve zeigt den maximal zulässigen Pegel des Nebensignals, der mit 1 kHz bei 10 kHz Hub frequenzmoduliert ist, beim Empfang des Nutzsignals auf Empfindlichkeitsgrenze Δf Frequenzabstand des Nebensignals-Trägers gegenüber Abstimmung des Empfängers

Die Übersteuerung der Verstärker- und Überlagerungsstufen durch starke Nebensignale bewirkt Störung oder Unterdrückung eines schwächeren Nutzsignals. Die Störselektionskurve zeigt den gerade noch zulässigen Pegel eines Störsignals (Fig. 15). Diese Charakteristik ist entsprechend dem Frequenzhub breiter als die Selektionskurve. Die Abflachung bei grösseren Amplituden ist bedingt durch die erwähnte Übersteuerung⁷⁾.

4. Betriebs-Probleme

Bei *Gegensprechbetrieb* mit gemeinsamer Sendempfangsantenne ist Abschwächung des vom eigenen Sender über den gemeinsamen Antennen-Anschlusspunkt zum Empfänger kommenden Signals bis auf einen zulässigen Pegel nötig, der aus der Störselektionskurve zu entnehmen ist. Eine Entkopplung durch Gabelschaltungen kann wegen der Schwierigkeit der genauen Impedanz-Nachbildung der Antenne im allgemeinen nicht genügen. Die

⁷⁾ Als Störsignal dient bei der Aufnahme dieser Kurve ein Träger, der mit einer Modulationsfrequenz von 1 kHz bei einem Hub von 10 kHz frequenzmoduliert ist. Massgebend ist dabei jeweils eine Verschlechterung des Geräusches um 6 db bei Empfang des Nutzsignals auf der Empfindlichkeitsgrenze.

Verwendung besonderer Vierpole mit nur einseitig gerichtetem Energiedurchlass unter Ausnutzung des Faraday-Effektes (uniline) kommt erst bei den höheren Frequenzen des cm-Wellenbereiches in Betracht. Man behilft sich deshalb im allgemeinen

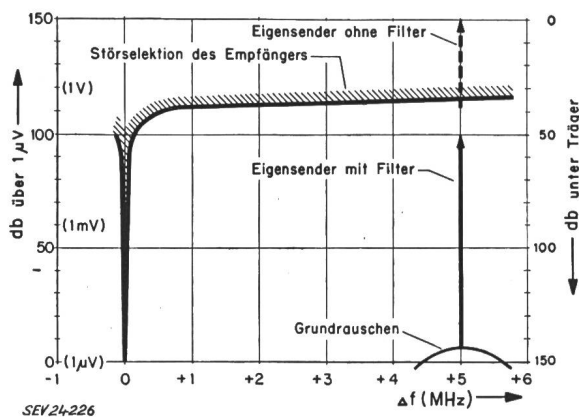


Fig. 16

Wirkung der Antennenweiche bei Duplex-Betrieb

Δf Frequenzabstand des Eigensenders gegenüber Abstimmung des Empfängers

mit Sperrfiltern im Antennenkreis des Empfängers, welche das störende Sendesignal bis auf zulässige Werte abschwächen. Eine Sperrdämpfung von ca. 50 db reicht bei einem Kanalabstand von 5 MHz aus (Fig. 16). Gleichzeitige Filterung des Sendesignals empfiehlt sich zur Abschwächung des Rauschens im Bereich der Empfangsfrequenzen. Durch

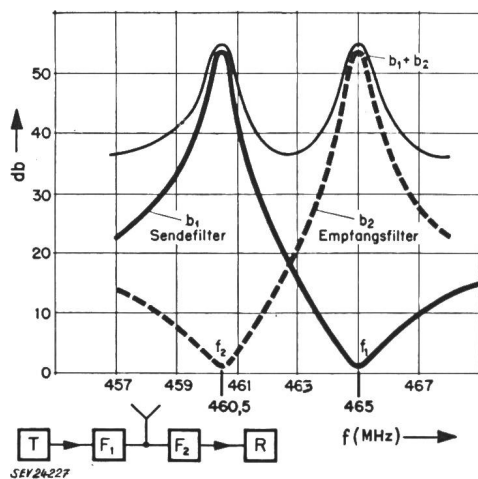


Fig. 17

Dämpfungscharakteristik einer Frequenzweiche

T Sender; R Empfänger; F_1 Sendefilter; F_2 Empfängsfilter; f Frequenz der gefilterten Schwingung; f_1 Sendefrequenz; f_2 Empfangsfrequenz; b_1 Dämpfung des Sendefilters; b_2 Dämpfung des Empfängsfilters

besondere Massnahmen wird bei diesen Filtern dafür gesorgt, dass die von der Antennenklemme aus betrachtete Impedanz im Sperrbereich möglichst hoch ist. Zusammenschaltung und Dämpfungskurve der aus Schwingtöpfen aufgebauten Filter sind aus Fig. 17 ersichtlich.

Unangenehme Störungen sind möglich, wenn neben dem Nutzsignal noch mindestens zwei der

Empfangsfrequenz benachbarte Fremdkanäle empfangen werden. Diese Signale werden durch die relativ breitbandige Vorselektion nur unwesentlich abgeschwächt und führen durch *Intermodulation* in den ersten Verstärker- bzw. Überlagerungsstufen

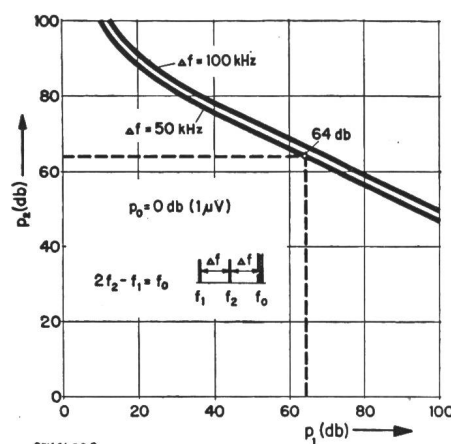


Fig. 18

Intermodulation

Maximal zulässige Pegel von zwei Nebensignalsignalen bei Empfang des Nutzsignals auf Empfindlichkeitsgrenze f_0 Frequenz des Nutzsignals; f_1, f_2 Frequenzen der Nebensignalsignale; Δf Kanalabstand; p_1, p_2 zulässige Pegel der beiden Nebensignalsignale

zur Bildung von Kombinationsfrequenzen, welche in den Frequenzbereich des Nutzsignals fallen. Die gerade noch zulässigen Pegel von zwei derart zusammenwirkenden Nebensignalsignalen (bezogen auf die Empfindlichkeitsgrenze des Empfängers)

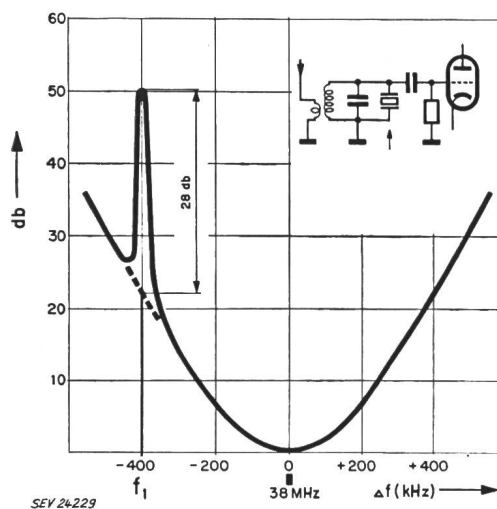


Fig. 19

Quarz-Saugkreis im Eingangsfilter

breite Kurve: Dämpfung des abgestimmten Eingangsfilters
schmale Kurventeil: Anhebung der Dämpfung um ca. 28 db bei der Frequenz f_1 des Störsignals

sind in Fig. 18 aufgetragen. Bei bekannter und konstanter Frequenz eines solchen Störsignals ist wirkungsvolle Abhilfe möglich durch Abschwächung mit einem auf dieses Signal abgestimmten Saugkreis. Zur Erzielung der verlangten schmalen Sperrbandbreite wird dieses Sperrfilter zweckmässig durch einen in Serieresonanz auf Oberwelle schwingenden Schwingquarz gebildet (Fig. 19).

Die Bildung unerwünschter Kombinationsfrequenzen ist aber auch in der Endstufe eines Senders möglich. Wenn ein Fremdsignal über die Antennenschaltung auf die Endstufe eines Senders einwirkt, so können an dieser Stelle Kombinationsfrequenzen entstehen, welche wieder abgestrahlt werden und u. U. einen benachbarten Empfänger stören.

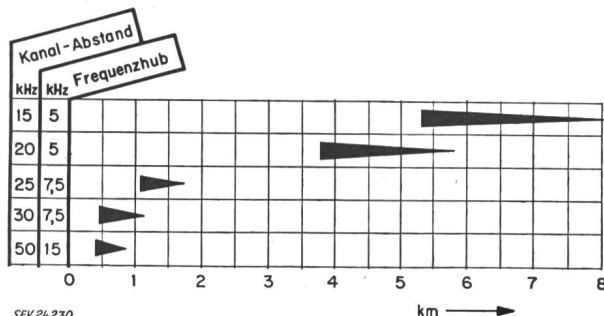


Fig. 20

Minimalentfernung des Nebensenders bei Änderung von Kanalabstand und Frequenzhub
(nach H. H. Davids)

Leistung des Nebensenders: 250 W

Amplitude des Nutzsignals: 1 μ V

Spitze der Pfeile: die Störung wird bemerkbar

Fuss der Pfeile: der Empfang wird unbrauchbar

Die Geräte wurden den veränderten Verhältnissen bei verkleinertem Frequenzhub und Kanalabstand nur teilweise angepasst

Im Entwicklungslaboratorium wie auch bei der Geräteprüfung führt die Verkleinerung des Kanalabstandes zu interessanten und teilweise schwierigen *messtechnischen Problemen*, welche namentlich durch die sehr grossen Pegelunterschiede innerhalb kleiner Frequenzbereiche gekennzeichnet sind. Diese Arbeiten müssen gewöhnlich im abgeschirmten Käfig durchgeführt werden.

Schon heute wird zuweilen die Frage einer weiteren Verminderung des Kanalabstandes aufgeworfen. Grundsätzlich sind gewisse Möglichkeiten dazu auch im 460-MHz-Band durchaus geboten und die nötigen Vorkehrungen sind heute klar zu übersehen. Die gesteigerten Forderungen hinsichtlich Frequenzstabilität und Empfängerselektion bedingen dabei allerdings eine Erhöhung des Aufwandes. Bei Verzicht auf gewisse besondere Vorkehrungen führt die weitere Verminderung des Kanalabstandes dagegen schliesslich zu einer Verschlechterung der Übertragungsqualität und zu einer Vergrösserung der Nebenkanaempfindlichkeit. Diese Feststellung wird u. a. durch Versuche bestätigt, welche man in den USA mit Geräten durchführte, die nur teilweise den gesteigerten Forderungen entsprachen. Die wesentliche Vergrösserung des im Nebkanalbetrieb notwendigen Minimalabstandes der Geräte ist aus Fig. 20 ersichtlich.

Literatur

- [1] Trans. IRE, Professional Group on Vehicular Communications, PGVC-1(1952), Februar; PGVC-3(1953), Juni; PGVC-4(1954), Juni; PGVC-5(1955), Juni.
- [2] Convention Record of the IRE, 1953 National Convention, Part 2: Antennas and Communications; 1955 National Convention, Part 8: Communications and Microwave.
- [3] Güttinger, P. und G. Valko: Einige Vergleiche zwischen Einträger- und Mehrträger-Mehrkanalsystemen. Brown Boveri Mitt. Bd. 36(1949), Nr. 12, S. 396...401.
- [4] Klein, W.: Systeme der Ultrakurzwellen-Mehrkanal-Telephonie. Bull. SEV Bd. 39(1948), Nr. 17, S. 571...588.
- [5] Guanella, G.: Über einige Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiete der Ultrakurzwellen-Mehrkanal-Übertragung in der Schweiz. Bull. SEV Bd. 39(1948), Nr. 20, S. 678...688.
- [6] Meinke, H.: Probleme der Frequenzmodulation bei Vielkanal-Richtfunkverbindungen. Fernmeldetechn. Z. Bd. 7(1954), Nr. 12, S. 670...677.
- [7] Böhl, W. A.: Die vielseitige Verwendbarkeit des Brown Boveri Radiotelephons. Brown Boveri Mitt. Bd. 41(1954), Nr. 11, S. 417...426.
- [8] Güttinger, P.: Nichtlineares Übersprechen bei Mehrträger-Mehrkanal-Systemen. Arch. elektr. Übertr. Bd. 9(1955), Nr. 12, S. 573...577.

Adresse des Autors:

G. Guanella, Dipl. Ingenieur, A.-G. Brown Boveri & Cie., Baden (AG).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Leistungen der Schweizer Industrie im Wasserturbinenbau

621.224.002.2(494)

Für den Ausbau der Oberstufe Glockner-Kaprun der Tauernkraftwerke A.-G. in Österreich wurden der Schweizer Industrie zwei Speichersätze in Auftrag gegeben, bestehend aus je einer Francisturbine und einer Speicherpumpe mit dazwischen liegendem Motor-Generator. Die bereits in Betrieb stehenden Turbinen geben bei einem mittleren Gefälle von 364 m eine Leistung von je 83 800 PS ab. Die beiden Grosspumpen haben einen Betriebsbereich von 320 bis 420 m Förderhöhe zu decken und benötigen bei Fördermengen zwischen 11,4 und 16,6 m^3/s Antriebsleistungen von 53 400 bis 62 700 kW. Die Normaldrehzahl liegt bei 500 U./min.

Die Pumpe ist zweistufig, in doppelseitiger Anordnung ausgeführt. Die Laufräder der zweiten Stufe sind zu einem Doppelrad zusammengefasst, das den Wasserstrom in eine Spirale fördert, die über einen Ringschieber mit der Druckleitung in Verbindung steht. Aus dieser Anordnung ergibt sich eine rund 9 m lange Pumpenwelle, die an der dicksten Stelle 820 mm Durchmesser besitzt. Die auf den beiden Zulaufstutzen angebrachten Lager haben unter sich eine Distanz von rund 7,5 m. Die Länge von rund 27,5 m eines gesamten Speichersatzes gibt ein Mass über die Grösse der Maschinen (Fig. 1).

Der Rotor dieser Speicherpumpe war an der Mustermesse in Basel im Stand der Escher Wyss A.-G. ausgestellt, wie auch ein Reserve-Turbinenrad für die Kavernenzentrale

Fionnay der Forces Motrices du Mauvoisin. Dieses ist von besonderem Interesse, weil es bei einem Nutzgefälle, welches von 465 m bei vollem Stausee bis zu 284 m bei niedrigstem Seespiegel schwankt, einwandfrei arbeiten muss und vom

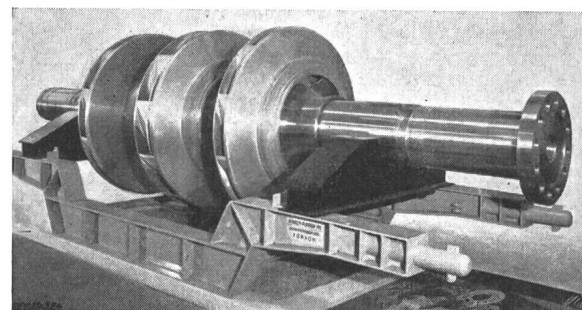


Fig. 1

Rotor einer Speicherpumpe für das Kraftwerk Limberg der Tauernkraftwerke A.-G.

Francistyp ist. Der Eintrittsdurchmesser beträgt nur 1550 mm, die Normaldrehzahl 750 U./min. Bei einem Gefälle von 455 m und einer Wassermenge von 11,5 m^3/s , gibt die Turbine 62 800 PS ab. Zwei dieser Turbinen sind montiert und die dritte folgt demnächst nach.