

65.90/II d

Technische Grundlagen
für
Übermittlungsgerätemechaniker

Band II

Gültig ab 1. Januar 1977

I. Der Überlagerungsempfänger

1. Einführung

Praktisch alle heute gebräuchlichen Empfänger arbeiten nach dem Überlagerungsprinzip. Dreht man die Geschichte der Funktechnik nur wenige Jahrzehnte zurück, so stossen wir auf den einfachsten Empfänger, auf den Kristalldetektor. Mit der Entwicklung der Elektronenröhre wurde der Detektor erweitert. Zuerst ergänzte man ihn durch einen Niederfrequenzverstärker, der es ermöglichte, dass die schwachen demodulierten Signale für alle im Lautsprecher hörbar wurden. Zur Erhöhung der Empfangsreichweite konnte später dem Detektor ein Hochfrequenzverstärker vorgeschaltet werden. Dadurch wurde es möglich, dass auch schwächer einfallende Sender gehört werden konnten. Dieser Geradeausempfänger wies jedoch bedeutende technische Mängel auf, die durch das Schaltungsprinzip bedingt waren, so dass er bald vom moderneren Überlagerungsempfänger verdrängt wurde. Auch der Überlagerungsempfänger ist mit technischen Schwächen behaftet, weshalb Qualitätsempfänger oft als Doppelüberlagerungsempfänger ausgeführt werden. Der Doppelüberlagerungsempfänger weist die Vorteile des Überlagerungsempfängers auf und schliesst dessen Schwächen weitgehend aus.

2. Was wissen Sie schon über den Überlagerungsempfänger? (Lösung Seite 504)

- Welche Funktion hat der Detektor?
- Welches sind die Nachteile des Geradeausempfängers?
- Kennen Sie auch Vorteile des Geradeausempfängers?
- Zeichnen Sie das Blockschaltbild eines einfachen Überlagerungsempfängers.
- Welches ist der Nachteil des Überlagerungsempfängers?
- Wie kann der Nachteil der Spiegelfrequenz umgangen werden?
- Welcher Teil des Überlagerungsempfängers ist für die Selektivität des Empfängers verantwortlich?

3. Der Überlagerungsempfänger

a. Vom Geradeausempfänger zum Überlagerungsempfänger

Ein Geradeausempfänger besteht aus einem abgestimmten Hochfrequenzverstärker, einem Demodulator und einem nachgeschalteten Niederfrequenzverstärker. Das Blockschaltbild eines Geradeausempfängers ist in Bild 384 aufgezeichnet.

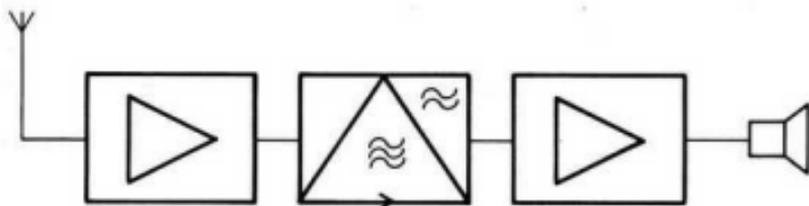


Bild 384

Der Geradeausempfänger ist mit drei Hauptnachteilen behaftet:

- Die Bandbreite des Hochfrequenzverstärkers ist frequenzabhängig. Mit zunehmender Frequenz nimmt die Bandbreite zu.
- Die Verstärkung des Hochfrequenzverstärkers ist ebenfalls frequenzabhängig. Mit steigender Frequenz nimmt die Verstärkung ab.
- Der Aufwand für den Hochfrequenzverstärker ist gross. Die Schwingkreise des mehrstufigen Hochfrequenzverstärkers müssen synchron laufen, was grosse Anforderungen an die mechanische Ausführung der Bauteile stellt.

Die aufgezählten Nachteile wirken sich umso stärker aus, je mehr Stufen der Hochfrequenzverstärker aufweist. Um eine einigermaßen befriedigende Empfängerempfindlichkeit zu gewährleisten, sind mindestens drei Hochfrequenzverstärkerstufen erforderlich.

Ein brauchbarer Empfänger sollte über den ganzen Frequenzbereich annähernd konstante Verstärkung und eine absolut gleichbleibende Bandbreite aufweisen. Konstante Bandbreite und konstante Verstärkung lassen sich jedoch nur in einem Verstärker verwirklichen, der nur eine Frequenz verstärken muss. Man sollte deshalb das zu empfangende Frequenzsignal in eine einzige Frequenz umsetzen. Der **Überlagerungsempfänger** – früher auch **Superheterodynempfänger** oder abgekürzt **Super** genannt – brachte die Lösung des Problems. Im Überlagerungsempfänger wird das zu empfangende Signal mit einem **Oszillatorsignal** gemischt. Das Oszillatorsignal wird im Empfänger im Oszillator erzeugt. Seine Frequenz wird so gewählt, dass die Differenz zum Eingangssignal stets gleich bleibt. Diese Differenzfrequenz – **Zwischenfrequenz** genannt – wird in einem **Zwischenfrequenzverstärker** verstärkt. Das Blockschaltbild eines Überlagerungsempfängers ist in Bild 385 wiedergegeben.

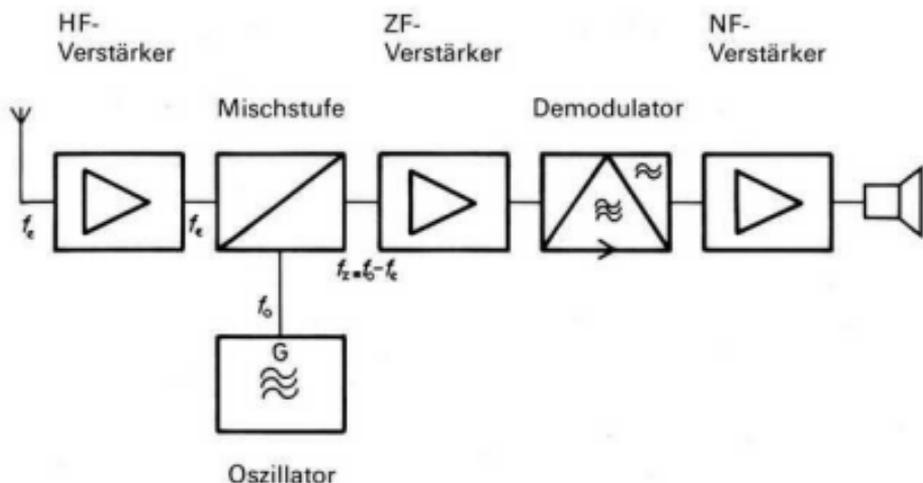


Bild 385

b. Prinzipielle Wirkungsweise und Probleme des Überlagerungsempfängers

Das Eingangssignal f_e wird im HF-Verstärker aus der Vielzahl der Antennensignale herausgefiltert und verstärkt. Die Bandbreite des HF-Verstärkers wird vor allem für die höheren Frequenzen grösser sein als die geforderte Empfängerbandbreite. Das selektiv verstärkte Signal gelangt auf die Mischstufe und wird in dieser mit dem Oszillatorsignal f_o gemischt. Die Frequenz des Oszillatorsignals wird in den meisten Fällen um den Betrag der Zwischenfrequenz höher gewählt als die Eingangsfrequenz. Da die Differenz zwischen Oszillatorsignal und Eingangssignal immer gleich gross sein muss, wählt man für den Oszillatorschwingkreis einen Drehkondensator mit einem speziellen Plattenschnitt, der die Frequenzdifferenz zum Eingangsschwingkreis gewährleistet. Oft werden gleiche Drehkondensatoren für Oszillator- und Eingangskreise gewählt. Damit der Oszillator um den Betrag der Zwischenfrequenz höher schwingt, wird zum Oszillatordrehkondensator eine Kapazität in Serie geschaltet. Für unser Beispiel nach Bild 385 ist zur Abstimmung der HF-Stufe und des Oszillators ein Dreifachdrehkondensator erforderlich. Zwei Kammern werden für den einstufigen HF-Verstärker benötigt – ein Drehkondensator gitterseitig, der andere im Anodenkreis – die dritte Kammer wird für den Oszillatorschwingkreis gebraucht. Einfache Überlagerungsempfänger ohne HF-Vorstufe kommen mit einem Zweifachdrehkondensator aus. Wir sehen, der Überlagerungsempfänger kommt mit weniger Drehkondensatoren aus als der Geradeausempfänger, da er weniger abstimmbare Kreise benötigt.

Wir wissen, dass am Ausgang einer Mischstufe verschiedene Frequenzen auftreten. Wir verstärken nur die Differenzfrequenz zwischen Oszillatorfrequenz und Eingangsfrequenz selektiv im Zwischenfrequenzverstärker. Der Zwischenfre-

quenzverstärker ist ein ein- oder mehrstufiger bandfiltergekoppelter Hochfrequenzverstärker. **Die Empfängerbandbreite ist durch die Bandbreite des Zwischenfrequenzverstärkers bestimmt.** Das bedeutet, dass die Selektivität des Überlagerungsempfängers ausschliesslich im Zwischenfrequenzverstärker zustandekommt. Bei mehrstufigen Zwischenfrequenzverstärkern wird auch die Empfängerempfindlichkeit weitgehend von diesem beeinflusst. Da die Verstärkung des Zwischenfrequenzverstärkers von der Empfangsfrequenz unabhängig ist, schwankt die Empfängerempfindlichkeit bedeutend weniger mit der Empfangsfrequenz, da nur noch der Hochfrequenzverstärker gewisse Verstärkungsunterschiede bringt. Damit wären die beiden Hauptnachteile des Geradeausempfängers, die frequenzabhängige Bandbreite und die frequenzabhängige Empfängerempfindlichkeit, beseitigt.

Der Überlagerungsempfänger leidet aber auch an einem schwerwiegenden Nachteil; **die empfangene Frequenz ist nicht eindeutig.** Ein Beispiel soll uns die Zweideutigkeit des empfangenen Signales näher bringen. Wir untersuchen die empfangenen Frequenzen eines einfachen Überlagerungsempfängers nach Bild 386. Die Zwischenfrequenz beträgt 470 kHz.

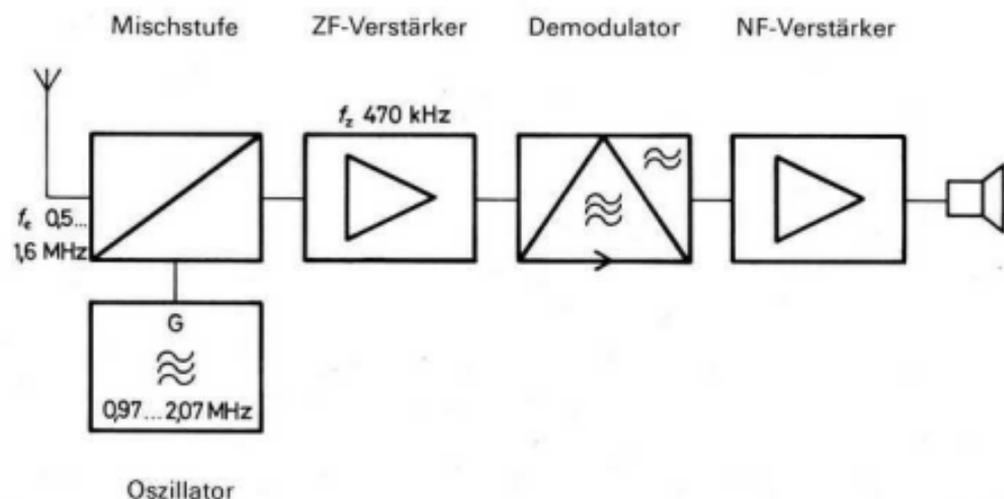


Bild 386

Der Mittelwellenbereich von 500 kHz bis 1600 kHz soll empfangen werden. Der Verlauf der Eingangs- und Oszillatorfrequenz ist in Bild 387 grafisch festgehalten.

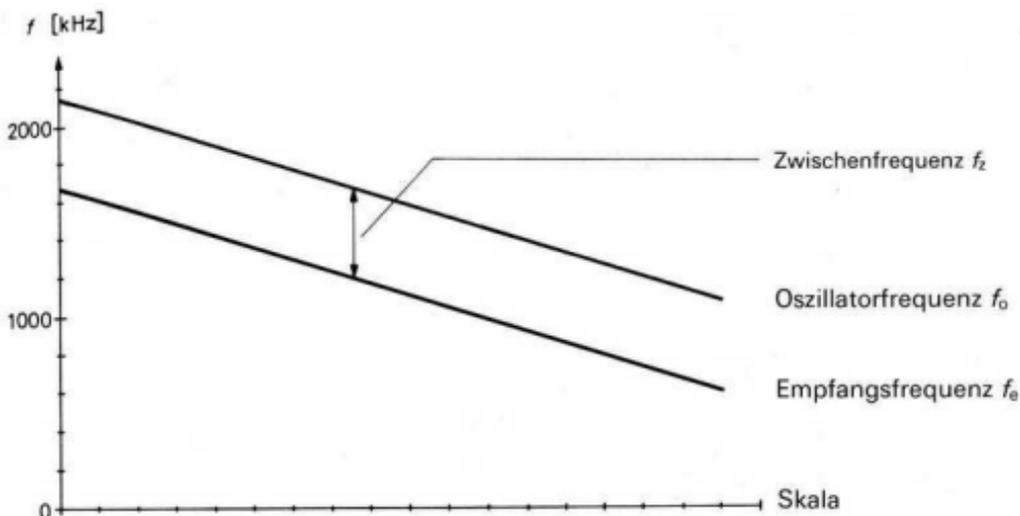


Bild 387

Die Zwischenfrequenz entspricht dabei immer dem Abstand zwischen der Geraden für die Oszillatorfrequenz und der Geraden für die Eingangsfrequenz. Da die beiden Geraden parallel zueinander verlaufen, bleibt die Zwischenfrequenz konstant.

Die Mischstufe bildet nicht nur die Differenz zwischen dem Oszillatorsignal und dem Eingangssignal. Sie erzeugt auch die Differenzfrequenz zwischen einem Eingangssignal, das frequenzmässig höher liegt als das Oszillatorsignal, und diesem Oszillatorsignal. Gelangt nun zufälligerweise ein starkes Signal auf den Empfängereingang, das um den Betrag der Zwischenfrequenz höher liegt als die Oszillatorfrequenz, so bildet sich mit diesem Signal ebenfalls die Zwischenfrequenz des Empfängers; das unerwünschte Signal wird auch hörbar. Bild 388 erläutert an einem Zahlenbeispiel den Vorgang.

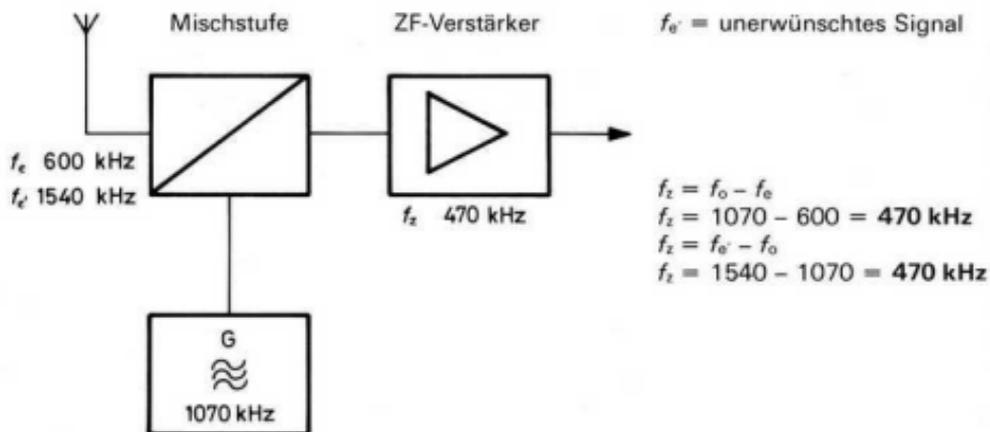


Bild 388

Das unerwünschte Signal, das gleichzeitig zum Nutzsignal empfangen wird, lässt sich grafisch nach Bild 389 durch eine weitere Parallele zur Oszillatorfrequenz darstellen.

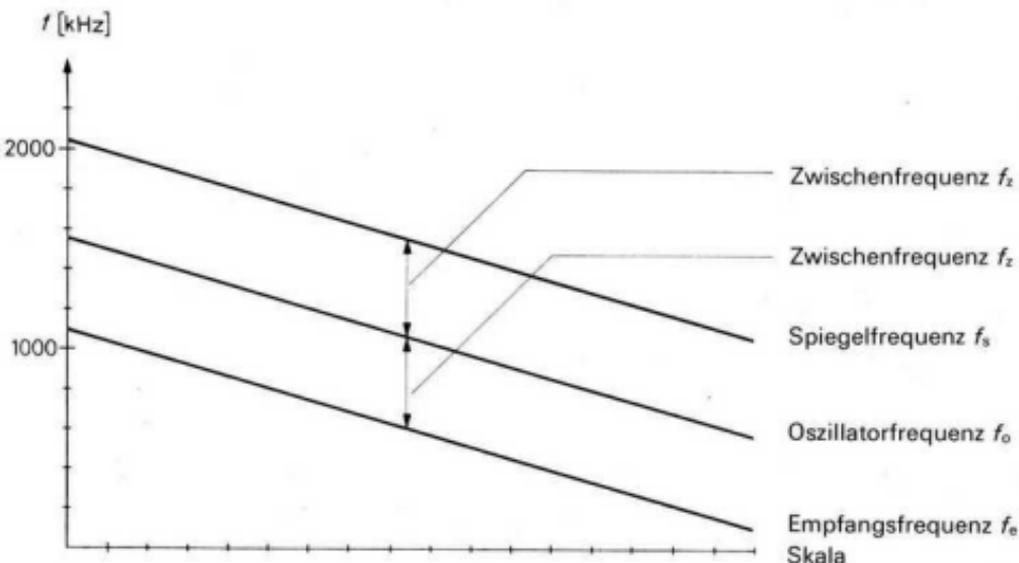


Bild 389

Alle Frequenzen, die auf der Geraden f_s liegen, erzeugen ebenfalls die gleiche Zwischenfrequenz wie die Nutzsignale f_e . Da diese Gerade **spiegelbildlich** zur Geraden der Eingangsfrequenz verläuft, nennt man die unerwünschte Frequenz **Spiegelfrequenz**.

Diese Spiegelfrequenz wird teilweise im Hochfrequenzkreis am Eingang der Mischstufe – bei Empfängern mit HF-Vorstufe in dieser – abgeschwächt. Je selektiver der HF-Vorkreis oder die HF-Vorstufe sind, desto besser ist die Unterdrückung der Spiegelfrequenz.

Die **Spiegelselektion** ist ein Mass für die Unterdrückung der Spiegelfrequenz. Sie ist gegeben durch das Verhältnis der Spannung der Spiegelfrequenz zur Spannung der Nutzfrequenz für die gleiche Ausgangsspannung am Empfänger.

$$\text{Spiegelselektion} = 20 \lg \frac{U_{\text{sp}}}{U_{\text{Nutz}}} \text{ dB}$$

U_{sp} = Spannung des Signals der Spiegelfrequenz

U_{Nutz} = Spannung des Signals der gewünschten Nutzfrequenz

Die Spiegelselektion wird meistens in dB angegeben.

Die Hochfrequenzvorstufe hat demzufolge zwei Aufgaben: Selektive Verstärkung des Empfangssignals und Unterdrückung des Signals mit der Spiegelfrequenz.

Aus Bild 389 entnehmen wir, dass die Spiegelfrequenz immer einen Abstand von zwei mal der Zwischenfrequenz zur Empfangsfrequenz hat. Im Interesse einer möglichst guten Spiegelfrequenzunterdrückung sollte demzufolge die Zwischenfrequenz möglichst hoch gewählt werden, damit der Spiegelfrequenzabstand hoch wird. Je höher jedoch die Zwischenfrequenz gewählt wird, desto geringer wird die Stufenverstärkung der einzelnen ZF-Stufen und desto grösser wird die Bandbreite des ZF-Verstärkers. Daraus ist zu schliessen, dass die ZF nicht beliebig hoch gewählt werden kann.

c. Der Doppelüberlagerungsempfänger

Um eine gute Verstärkung und eine geringe Bandbreite des ZF-Verstärkers bei hoher Spiegelfrequenzunterdrückung zu erreichen, greift man zum Prinzip der Doppelüberlagerung. In Bild 390 ist das Blockschaltbild eines Doppelüberlagerungsempfängers dargestellt.

1. Mischstufe

2. Mischstufe

Demodulator

HF-Verstärker

1. ZF-Verstärker

2. ZF-Verstärker

NF-Verstärker

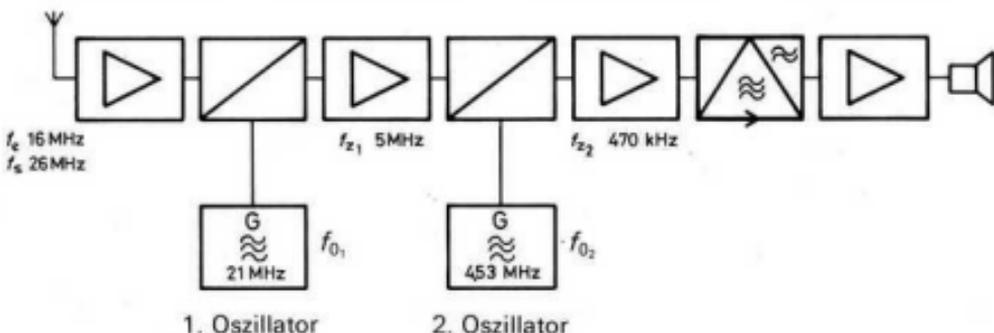


Bild 390

Das Empfangssignal wird im HF-Verstärker selektiv verstärkt und in der ersten Mischstufe mit dem Signal des ersten Oszillators gemischt. Das Oszillatorsignal ist so gewählt, dass sich eine hohe erste Zwischenfrequenz – 5 MHz in unserem Beispiel – ergibt. Diese erste Zwischenfrequenz wird in einem ersten ZF-Verstärker selektiv verstärkt, wobei die Bandbreite dieses Verstärkers wegen der hohen Frequenz noch recht hoch ist. In der folgenden zweiten Mischstufe wird das ZF-Signal mit dem Signal des zweiten Oszillators gemischt. Die resultierende tiefe Zwischenfrequenz – 470 kHz in unserem Beispiel – lässt sich im zweiten Zwischenfrequenzverstärker gut verstärken. Der zweite Zwischenfrequenzverstärker bestimmt die Selektivität des Empfängers. Der Abstand der Spiegelfrequenz vom Nutzsignal wird durch den Wert der ersten Zwischenfrequenz bestimmt. Im gewählten Beispiel ergibt sich ein Spiegelfrequenzabstand von 10 MHz, wodurch die Spiegelselektivität erheblich ansteigt.

Qualitativ hochstehende Kurzwellenempfänger sind fast ausschliesslich Doppelüberlagerungsempfänger. In neuerer Zeit sind jedoch oft gute Empfänger anzutreffen, die als gewöhnliche Überlagerungsempfänger geschaltet sind und die eine hohe ZF verwenden. Diese Empfänger haben alle eines gemeinsam: nach der Mischstufe wird ein sehr selektives Filter – in der Regel ein Quarzfilter oder ein keramisches Filter – verwendet. Dadurch erhält man trotz der hohen ZF eine gute Bandbreite. Der Nachteil der geringeren Verstärkung bleibt bestehen; er wird in Kauf genommen und durch Hinzuschalten einer oder zwei weiteren ZF-Stufen ausgeglichen.

4. Beispiele

Die angestellten Überlegungen sollen aufgrund einiger Beispiele erhärtet werden. Es geht bei diesen Beispielen darum, den Werdegang des Überlagerungs- und des Doppelüberlagerungsempfängers anhand von Zahlenbeispielen nachzuerleben.

a. Berechnung der Verstärkung und der Bandbreite eines dreistufigen Geradeempfängers

Die Berechnung der Verstärkung soll überschlagsmässig erfolgen und auf der bekannten Faustformel:

$$v \approx S \cdot R_a$$

basieren.

Für die Berechnung der Bandbreite verwenden wir folgende Gleichung, ohne uns um deren Herkunft zu kümmern:

$$\Omega = \sqrt{\frac{1}{2^n} - 1}$$

Der Faktor Ω gibt an, um wieviel die Bandbreite eines Verstärkers mit n-röhrengespeisten Kreisen geringer wird, als bei Verwendung von nur einem Kreis.

Der Empfänger weist folgende Daten auf:

- 3 HF-Verstärkerstufen mit Pentoden bestückt. $S = 2\text{mA/V}$
- 4 Schwingkreise mit einem Vierfachdrehkondensator abgestimmt. $C_{\text{max}} = 450\text{ pF}$, $C_{\text{min}} = 50\text{ pF}$

- | | | |
|---------------------|-----------------|--------------------|
| - Frequenzbereiche: | LW 100–300 kHz | Spulengüte 40/ 85 |
| | MW 500–1500 kHz | Spulengüte 100/150 |
| | KW 6 MHz–18 MHz | Spulengüte 80/100 |

Bei den Angaben über die Spulengüte handelt es sich um Betriebswerte, das heisst die Verminderung der Leerlaufgüte des einzelnen Kreises, durch die Parallelschaltung des Röhreninnenwiderstandes ist bereits berücksichtigt. Die erste Zahl gibt die Güte am Bandanfang, die zweite diejenige am Bandende an. Bild 391 zeigt das Schaltungsprinzip.

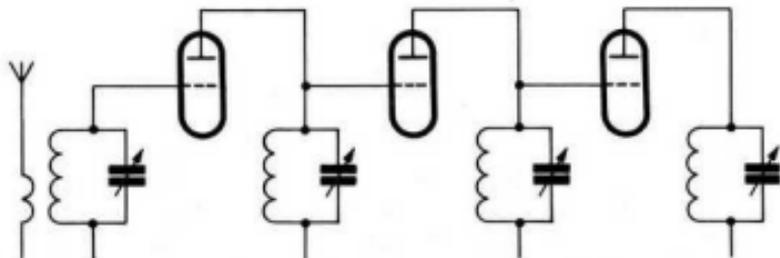


Bild 391

Wir wollen die Zwischenresultate in einer Tabelle festhalten und die Endwerte in derselben Tabelle einander gegenüberstellen. Kontrollieren Sie alle Werte für zwei Frequenzen nach, damit Sie die Berechnung selber erleben.

Frequenz [MHz]	Q	$X_c = \frac{1}{\omega C}$ [k Ω]	$R_a = Q \cdot X_c$ [k Ω]	$v_{ges} = (S \cdot R_a)^3$	$b = \frac{f_o}{Q} \cdot \Omega$ [kHz]
0,1	40	3,54	141,6	$22,7 \cdot 10^6$	1,088
0,3	85	10,6	901	$5,8 \cdot 10^9$	1,535
0,5	100	0,708	70,8	$2,8 \cdot 10^6$	2,175
1,5	150	2,12	318	$257,3 \cdot 10^6$	4,35
6	80	0,059	4,7	830,6	32,625
18	100	0,177	17,7	$44,4 \cdot 10^3$	78,3

$$\Omega = 0,435$$

Tabelle 5

Das Resultat der Berechnungen führt uns die enormen Schwankungen von Bandbreite und Verstärkung in Abhängigkeit der Frequenz vor Augen. Im Mittel- und Langwellenbereich sind die Bandbreiten durchwegs zu schmal. Die Schwingkreise müssten zusätzlich bedämpft werden, damit sich die Normalbandbreite von 8 kHz einstellen würde. Die Bandbreite im Kurzwellenbereich ist dagegen viel zu gross. Die resultierende Trennschärfe ist vollkommen ungenügend. Für eine Empfangsfrequenz von 18 MHz ergibt sich eine Bandbreite, die dem elffachen Normwert entspricht. Die Verstärkung im Langwellenbereich ist viel zu hoch, die Stufen würden restlos übersteuert, im Kurzwellenbereich dagegen ist sie zu klein, die Empfängerempfindlichkeit wäre ungenügend. Der Empfänger müsste deshalb mit einer sehr wirksamen Verstärkungsregelung versehen werden, damit die Empfindlichkeit für alle Frequenzen einigermaßen im Rahmen bleibt. Das Verstärkungsproblem wäre mit entsprechendem Aufwand technisch lösbar. Das Problem der frequenzabhängigen Bandbreite bleibt jedoch ungelöst, weshalb der Geradeausempfänger in der Empfangstechnik seine Daseinsberechtigung verloren hat.

Der Überlagerungsempfänger vermeidet die erwähnten Nachteile des Geradeausempfängers. Die Bandbreite des Überlagerungsempfängers ist durch den ZF-Verstärker gegeben und damit für alle Empfangsfrequenzen die gleiche. Einzig die unterschiedliche Verstärkung der HF-Vorstufe bei verschiedenen Frequenzen bedingt geringe Empfindlichkeitsunterschiede zwischen den einzelnen Frequenzbändern. Diese Empfindlichkeitsunterschiede wirken sich jedoch infolge der automatischen Lautstärkeregelung nicht stark aus.

b. Berechnung der Spiegelfrequenzen eines einfachen Überlagerungsempfängers

Der Abstand der Spiegelfrequenz zur Eingangsfrequenz ist für die in Bild 392 angegebenen Empfangsfrequenzen in Prozenten zu errechnen.

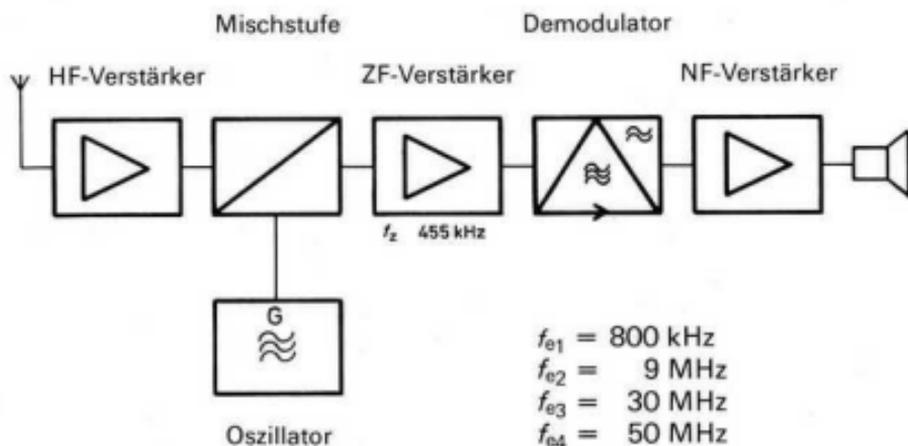


Bild 392

Vorgehen:

– Grundformel anschreiben

$$d = \frac{f_s - f_e}{f_e} = \frac{2 \cdot f_z}{f_e} \cdot 100 \%$$

d = Abstand der Spiegelfrequenz zur Eingangsfrequenz in Prozenten

– Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen

$$d_1 = \frac{910}{800} \cdot 100$$

$$d_1 = 114\%$$

$$d_2 = \frac{0,91}{9} \cdot 100$$

$$d_2 = 10,1\%$$

$$d_3 = \frac{0,91}{30} \cdot 100$$

$$d_3 = 3,03\%$$

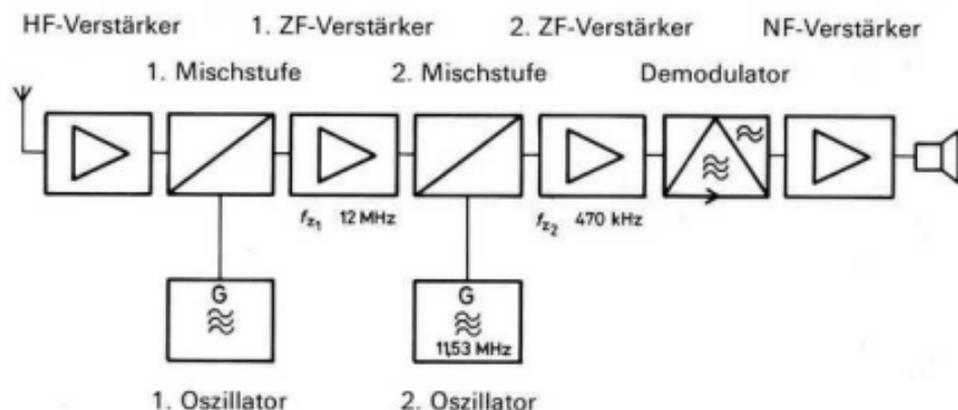
$$d_4 = \frac{0,91}{50} \cdot 100$$

$$d_4 = 1,82\%$$

Das Beispiel zeigt, dass mit zunehmender Frequenz die Spiegelfrequenz relativ immer näher zur Eingangsfrequenz zu liegen kommt. Für tiefe Empfangsfrequenzen lässt sich die Spiegelfrequenz mit den Schwingkreisen der HF-Vorstufe leicht unterdrücken, da diese weit ausserhalb des Durchlassbereiches liegt. Je höher jedoch die Eingangsfrequenz wird, desto schwieriger wird die Spiegelfrequenzunterdrückung, da diese durch die Schwingkreise im HF-Verstärker nicht mehr ausgefiltert werden kann. Für eine Eingangsfrequenz von 50 MHz ist die Bandbreite des Einzelkreises bei einem Q von 100 bereits 500 kHz, das bedeutet, dass die Spiegelfrequenz, die in einem Abstand von 910 kHz erscheint, noch verstärkt wird, weil die Durchlasskurve des Schwingkreises zuwenig steil abfällt, um sie noch zu unterdrücken.

c. Bestimmen der Spiegelfrequenzen eines Doppelüberlagerungsempfängers

Der Abstand der Spiegelfrequenz zur Eingangsfrequenz ist für die angegebenen Frequenzen des Doppelüberlagerungsempfängers nach Bild 393 in Prozenten zur Eingangsfrequenz anzugeben.



Eingangsfrequenzen

$$f_{e_1} = 9 \text{ MHz}$$

$$f_{e_2} = 30 \text{ MHz}$$

$$f_{e_3} = 50 \text{ MHz}$$

Oszillatorfrequenzen

$$f_{o_{11}} = 21 \text{ MHz}$$

$$f_{o_{12}} = 18 \text{ MHz}$$

$$f_{o_{13}} = 38 \text{ MHz}$$

Bild 393

Vorgehen:

– Grundformel anschreiben

$$d = \frac{2 \cdot f_z}{f_e} \cdot 100 \quad \%$$

– Zahlenwerte einsetzen
und ausrechnen

$$d_1 = \frac{24}{9} \cdot 100$$

$$d_1 = \mathbf{267\%}$$

$$d_2 = \frac{24}{30} \cdot 100$$

$$d_2 = \mathbf{80\%}$$

$$d_3 = \frac{24}{50} \cdot 100$$

$$d_3 = \mathbf{48\%}$$

Das Beispiel zeigt, dass dank der Wahl einer hohen ersten Zwischenfrequenz der relative Abstand der Spiegelfrequenz zur Nutzfrequenz auch für hohe Frequenzen gross ist. Unter diesen Voraussetzungen ist eine Unterdrückung der Spiegelfrequenz im HF-Verstärker gut möglich. Für hohe Eingangsfrequenzen wird die Oszillatorfrequenz tiefer gewählt als die Eingangsfrequenz, da dieser bei tieferen Frequenzen stabiler schwingt.

4. Das Wesentliche

Der Geradeusempfänger weist folgende Nachteile auf:

- Die Bandbreite nimmt mit steigender Empfangsfrequenz zu.
- Die Empfängerempfindlichkeit nimmt mit steigender Frequenz ab.
- Der mechanische Aufbau der Mehrfachschwingkreise stellt hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Bauteile.

Der Überlagerungsempfänger setzt in der Mischstufe die Frequenz des Empfangssignals in eine feste Zwischenfrequenz um. Die Bandbreite des Empfängers wird nur durch den ZF-Verstärker bestimmt, sie bleibt somit für alle Empfangsfrequenzen konstant.

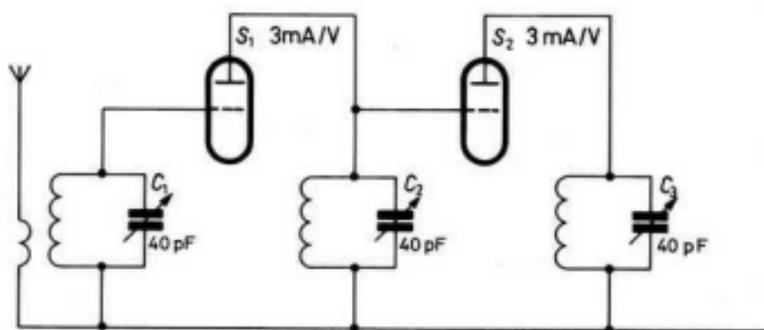
Die Verstärkung des Empfängers wird weitgehend durch den ZF-Verstärker bestimmt. Sie bleibt daher innerhalb tolerierbarer Grenzen für alle Empfangsfrequenzen nahezu konstant.

Nachteilig wirkt sich beim Überlagerungsempfänger die Spiegelfrequenz aus. Sie erscheint im Abstand der doppelten Zwischenfrequenz von der Eingangsfrequenz.

Der Doppelüberlagerungsempfänger arbeitet mit einer hohen ersten Zwischenfrequenz und setzt diese anschliessend in einer zweiten Mischstufe in eine Zwischenfrequenz tieferer Frequenz um. Die hohe erste Zwischenfrequenz ergibt einen grossen Spiegelfrequenzabstand. Die Unterdrückung der Spiegelfrequenz lässt sich somit leicht verwirklichen, während die Selektivität des Empfängers ausschliesslich durch die zweite Zwischenfrequenz bestimmt wird.

6. Repetitionsaufgaben (Lösung Seite 505)

- Warum nimmt die Bandbreite des Geradeempfängers mit zunehmender Empfangsfrequenz zu?
- Warum nimmt die Verstärkung des Geradeempfängers mit steigender Frequenz ab?
- Kennen Sie einen Vorteil des Geradeempfängers?
- Zeichnen Sie das Blockschaltbild eines Überlagerungsempfängers mit einer HF-Vorstufe für den Frequenzbereich von 2 MHz bis 30 MHz. Die Zwischenfrequenz beträgt 450 kHz. Der Oszillator schwingt tiefer als die Eingangsfrequenz. Bestimmen Sie die Spiegelfrequenzen für die Eingangssignale 7,3 MHz und 28,1 MHz. Geben Sie zudem den Frequenzbereich des Oszillators an.
- Definieren Sie die Spiegelfrequenz.
- Bestimmen Sie die Gesamtverstärkung und die Gesamtbandbreite für den HF-Verstärker nach Bild 394 für die beiden Frequenzen 1,5 MHz und 24 MHz.



$$f_{e_1} = 1,6 \text{ MHz}$$

$$f_{e_2} = 24 \text{ MHz}$$

$$Q_b = 90 \text{ für alle Spulen}$$

$$Q_b = 70 \text{ für alle Spulen}$$

$$(Q_b = \text{Betriebsgüte})$$

Bild 394

- Welchen Vorteil bietet der Doppelüberlagerungsempfänger gegenüber dem einfachen Super?
- Welche Stufe im Doppelüberlagerungsempfänger bestimmt die Trennschärfe des Gerätes?
- Zeichnen Sie das Blockschaltbild eines Doppelüberlagerungsempfängers mit HF-Vorstufe. Die erste ZF betrage 4,3 MHz, die zweite ZF 470 kHz. Der erste Oszillator schwinde oberhalb der Eingangsfrequenz. Zeichnen Sie die Oszillatorfrequenzen und die Spiegelfrequenzen für die Empfangsfrequenzen 1,9 MHz und 17,3 MHz ein. Die Frequenz des zweiten Oszillators wurde nach dem Gesichtspunkt einer möglichst stabilen Frequenz gewählt. Bestimmen Sie diese ebenfalls.
- Warum wirkt sich die Spiegelfrequenz bei höheren Empfangsfrequenzen störender aus als bei tiefen?

II. Empfänger für die verschiedenen Modulationsarten

I. Einführung

Die zu besprechenden Empfänger für die verschiedenen Modulationsarten basieren alle auf dem Prinzip des Überlagerungsempfängers. Für höhere Anforderungen wird der Doppelüberlagerungsempfänger gewählt, wobei es für das Verständnis der durch die Modulationsart bedingten Besonderheiten gleichgültig ist, ob die Schaltung auf einem Doppelüberlagerungsempfänger oder auf einem gewöhnlichen Überlagerungsempfänger basiert.

Die verschiedenen Modulationsarten verlangen verschiedene Empfängertypen. So benötigt ein Empfänger zum Empfang von tonlosen Telegrafiesignalen einen zusätzlichen Oszillator zum Hörbarmachen der ankommenden Zeichen, während der Einseitenbandempfänger einen speziellen Zwischenfrequenzverstärker sowie einen eigenen Demodulator und einen Oszillator für den Trägerzusatz erfordert. Empfangsgeräte für frequenzmodulierte Sendungen arbeiten mit einem speziell breitbandigen Zwischenfrequenzverstärker und einem eigenen FM-Demodulator.

2. Was wissen Sie schon über die verschiedenen Empfängertypen? (Lösung Seite 507)

- Warum werden in der Empfangstechnik praktisch nur noch Überlagerungs- und Doppelüberlagerungsempfänger verwendet?
- Welche Stufen bestimmen die Selektivität eines Überlagerungsempfängers?
- Nach welchem Grundprinzip arbeitet ein Demodulator für amplitudenmodulierte Signale?
- Wie wird im Demodulator ein tonloses Telegrafiezeichen hörbar gemacht?
- Nach welchem Prinzip arbeitet ein Ratio-Detektor?
- Warum benötigt der Ratio-Detektor keinen Begrenzer?
- Nach welchem Grundprinzip erfolgt jede Demodulation eines frequenzmodulierten Signales?
- Warum ist die Bandbreite des Zwischenfrequenzverstärkers eines FM-Empfängers bedeutend grösser als diejenige eines AM-Empfängers?
- Was verstehen Sie unter dem Ausdruck «Frequenzhub»?
- Treten bei der Frequenzmodulation auch Seitenbänder auf?
- Welche Besonderheit weist der ZF-Verstärker eines Einseitenbandempfängers auf?
- Wie erfolgt die Demodulation eines Einseitenbandsignales?

3. Die Empfängertypen

a. Der Empfänger für amplitudenmodulierte Sendungen

Rundfunksendungen im LW-, MW- und KW-Band sind amplitudenmodulierte Sendungen. Der AM-Empfänger gehört deshalb zu den am meisten verbreiteten Empfängertypen. Wir wollen das Funktionsprinzip anhand des Blockschaltbildes

nach Bild 395 studieren. Das Gerät ist als Überlagerungsempfänger konzipiert. Zur Erhöhung der Empfängerempfindlichkeit und zur besseren Spiegelfrequenzunterdrückung ist der Mischstufe eine Hochfrequenzvorstufe vorgeschaltet.

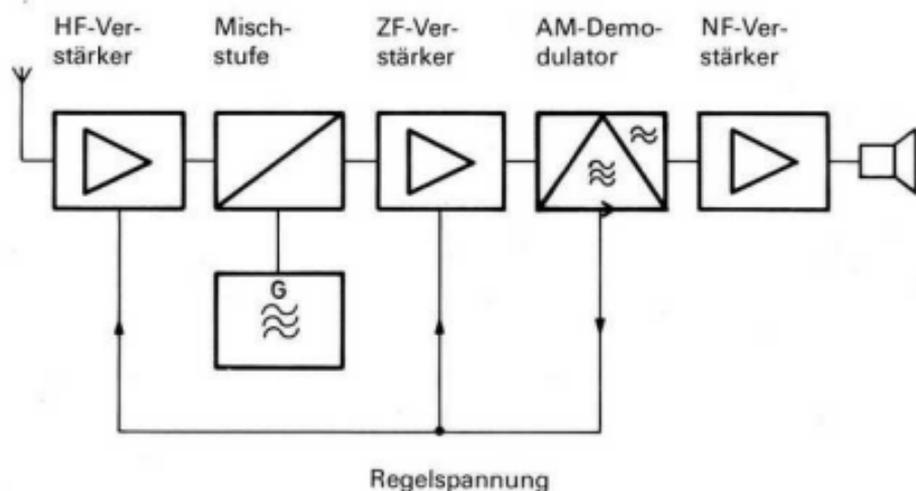


Bild 395

In der Mischstufe wird das empfangene Signal in eine Zwischenfrequenz von 450 kHz umgesetzt. Der Zwischenfrequenzverstärker bestimmt die erforderliche Bandbreite von 9 kHz des Empfängers. Diese Bandbreite ist für Rundfunkempfang genormt. Im Demodulator wird das AM-Signal demoduliert und dem Niederfrequenzverstärker zugeführt. Die am Demodulator abfallende Gleichspannung wird als Regelspannung zur automatischen Lautstärkeregelung verwendet. Diese Regelspannung ist proportional dem ZF-Signal; je grösser das ZF-Signal ist, desto grösser wird die Regelspannung. Die HF-Vorstufe und der ZF-Verstärker sind mit Regelröhren bestückt. Die Verstärkung dieser Stufen wird durch die Regelspannung so gesteuert, dass sie mit zunehmendem Eingangssignal absinkt, womit das NF-Signal in gewissen Grenzen unabhängig vom Eingangssignal bleibt. Die Regelung wird zeitlich mit einem RC-Glied um 0,1 bis 0,05 Sekunden verzögert.

Diese Verzögerung verhindert eine Beeinträchtigung der Modulation des empfangenen Signales und schliesst ein Ansprechen der Regelung auf kurze Feldstärkeschwankungen aus. Der Einsatz der Regelung wird oft verzögert, indem man im Demodulator die Diode, die die Regelspannung erzeugt, so vorspannt, dass erst ab einem gewissen minimalen Eingangssignal der Regelvorgang einsetzt. Durch diese Massnahme wird verhindert, dass die Empfindlichkeit des Empfängers durch die Regelung bei kleinen Eingangssignalen herabgesetzt wird.

b. Empfänger für tonlose Telegrafie

Der Empfänger für tonlose Telegrafie ist im Grundprinzip gleich konzipiert wie der AM-Empfänger. Da jedoch ein A_1 -Signal eine bedeutend geringere Bandbreite beansprucht als ein A_3 -Signal, ist in solchen Empfängern in der Regel die Bandbreite des ZF-Verstärkers umschaltbar. Meistens wird für den A_1 -Empfang die Durchlasskurve des ZF-Verstärkers mit Hilfe eines Quarzfilters so schmal gemacht, dass nur gerade das A_1 -Signal ausgefiltert wird. Man verwendet hierzu ein einfaches Quarzfilter in Brückenschaltung. Bild 396 zeigt die Schaltung eines solchen Filters.

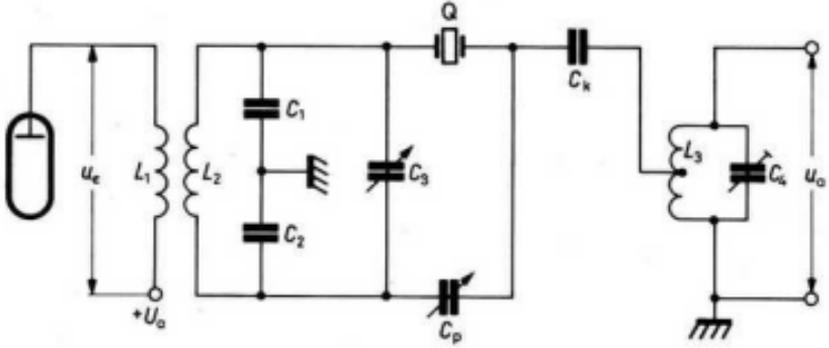


Bild 396

Das Filter ermöglicht eine sehr schmale ZF-Durchlasskurve. Die Kondensatoren C_1 , C_2 , C_p und der Quarz bilden die Zweige einer Brücke. Die Ersatzschaltung ist aus Bild 397 ersichtlich.

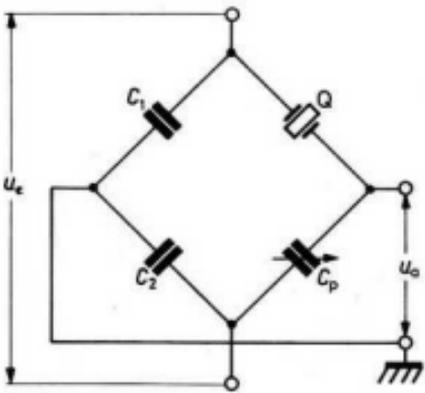


Bild 397

Der Quarz wird dabei in Serieresonanz betrieben. C_p lässt sich von der Frontplatte her verändern. Er wird so eingestellt, dass er die gleiche Kapazität aufweist wie die Halterungskapazität des Quarzes. C_1 und C_2 sind gleich gross. Die Brücke ist somit für alle Frequenzen mit Ausnahme der Serieresonanzfrequenz des Quarzes abgeglichen. Deshalb weist die Impedanz des Quarzes für alle Frequenzen ausserhalb der Serieresonanzfrequenz innerhalb des Durchlassbereiches des ZF-Verstärkers eine hohe Impedanz auf, die grösser ist als der Blindwiderstand der Brückenskapazitäten. Für die Serieresonanzfrequenz stellt der Quarz einen niederohmigen Ohmschen Widerstand dar. Denken wir uns den Quarz durch einen niederohmigen Wirkwiderstand ersetzt, so sehen wir, dass die Brücke nicht mehr im Gleichgewicht ist, was bedeutet, dass über der Brückendiagonale eine Spannung auftritt. Das heisst, dass ein Signal mit der Serieresonanzfrequenz des Quarzes das Filter passiert. Da die Resonanzkurve des Quarzes sehr schmal ist, resultiert daraus für das Filter eine ebenso schmale Durchlasskurve. Durch Verändern von C_p kann der Parallelresonanzpunkt des Quarzes leicht beeinflusst werden. Frequenzen, die mit der Parallelresonanzfrequenz des Quarzes zusammenfallen, werden im Filter ganz unterdrückt. Mittels C_p kann das Filter so abgestimmt werden, dass ein störendes Signal, das unmittelbar neben dem Nutzsinal liegt, ausgeblendet werden kann. Die Serieresonanzfrequenz des Quarzes ergibt den **Resonanzpunkt** des Filters, die Parallelresonanzfrequenz den **Antiresonanzpunkt**. Fällt die Frequenz des Eingangssignals nach Bild 398 mit dem Resonanzpunkt zusammen, so entsteht am Ausgang des Filters für dieses Signal die grösste Spannung. Entspricht dagegen die Frequenz des Eingangssignals dem Antiresonanzpunkt, so wird dieses Signal im Filter unterdrückt.

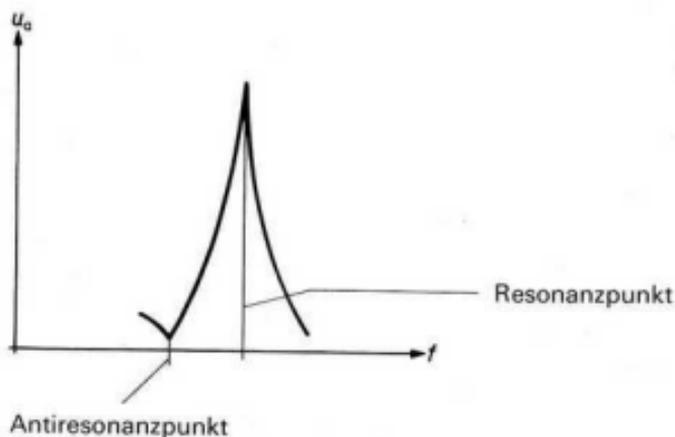


Bild 398

In der Schaltung nach Bild 398 liegt parallel zu L_2 die abstimmbare Kapazität C_3 . Dieser Kondensator dient zur sauberen Abstimmung des Filters, um die bestmögliche Durchlasskurve zu erhalten. Damit der Kreis L_3 - C_4 durch das Filter nicht zu stark bedämpft wird, ist er über eine Anzapfung an dieses angeschlossen. Der **Q-Multiplier** ist eine Schaltung, die es erlaubt, die ZF-Durchlasskurve eines ZF-Verstärkers sehr schmal zu machen. Im Prinzip handelt es sich dabei um eine Oszillatorschaltung, bei welcher das Produkt Verstärkung mal Kopplungsfaktor kleiner als Eins ist. Dieser Wert ist einstellbar, und zwar so, dass man die Schaltung nahe an den Schwingungseinsatz heranbringt. Dadurch wird der ZF-Kreis, dem der Q-Multiplier parallel liegt, entdämpft. Wird diese Entdämpfung zuweit getrieben, dann beginnt die ZF-Stufe zu schwingen. Durch die Entdämpfung steigt die Kreisgüte rapide an, kurz vor dem Schwingungseinsatz erreicht sie sehr hohe Werte, so dass die Bandbreite äusserst schmal wird. Mit dem Q-Multiplier kann also die Bandbreite kontinuierlich verändert werden. Meistens lässt sich auch seine Frequenz im Bereich von einigen kHz verändern, womit es möglich wird, einen noch sehr schwach einfallenden Telegrafiesender aus dem Störgeräusch herauszufiltern. Das Blockschaltbild des HF- und ZF-Teils eines Empfängers mit Q-Multiplier zeigt Bild 399.

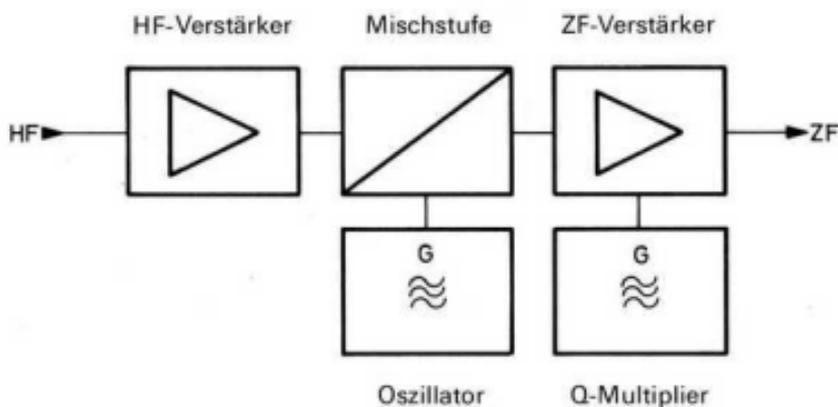


Bild 399

Oft wird die Selektion eines Signales erst im NF-Verstärker vorgenommen. Zu diesem Zweck liegt zwischen dem eigentlichen NF-Verstärker und dem Demodulator ein sehr schmalbandiges Niederfrequenzfilter. Der Telegrafieüberlagerer wird nun so eingestellt, dass die Frequenz des NF-Signals genau im Durchlassbereich des NF-Filters liegt. Als Filter werden LC-Filter oder RC-Brücken verwendet. Gute Resultate lassen sich mit Geräten erzielen, bei denen im ZF- und im NF-Teil eine Selektion vorgenommen wird.

Bild 400 zeigt das Blockschaltbild eines Empfängers für den Empfang von tonlosen Telegrafiesignalen.

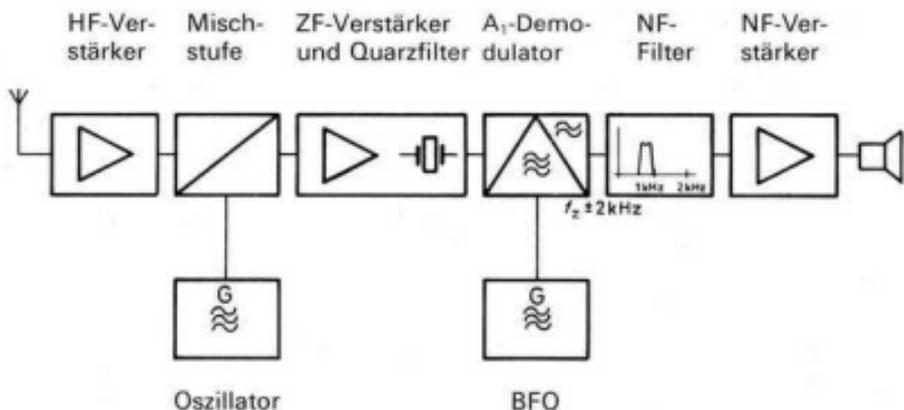


Bild 400

Bis zum ZF-Verstärker unterscheidet sich der Empfänger nicht von einem Gerät für den Empfang amplitudenmodulierter Signale. Die ZF-Durchlasskurve lässt sich mit einem abschaltbaren Quarzfilter so schmal machen, wie es für den Empfang von A₁-Signalen notwendig ist. Im Demodulator wird das ZF-Signal mit dem Signal des Telegrafieüberlagers – BFO – gemischt. Der Telegrafieüberlagerer ist in seiner Frequenz in engen Grenzen regelbar, um ein NF-Signal zu erzeugen, dessen Frequenz im Durchlassbereich des folgenden abschaltbaren NF-Filters liegt. Dieses lässt nur ein schmales Niederfrequenzband passieren, womit alle unerwünschten und störenden Signale vom NF-Verstärker ferngehalten werden. In den meisten Empfängern lässt sich die automatische Lautstärkeregelung für den A₁-Empfang ausschalten.

c. Empfänger für den Empfang frequenzmodulierter Signale

Zum Empfang frequenzmodulierter Sender werden heute fast ausschliesslich Überlagerungsempfänger verwendet. Wie wir wissen, erfordert der FM-Empfang eine bedeutend grössere Bandbreite als der AM-Empfang. Die verlangten Bandbreiten lassen sich nur mit ZF-Verstärkern realisieren, deren Frequenz entsprechend hoch liegt. Für Rundfunkempfänger wurde diese ZF genormt, sie beträgt 10,7 MHz. Durch die Wahl einer so hohen ZF wird die Unterdrückung der störenden Spiegelfrequenzen einfacher. Wir erinnern uns, dass FM-Diskriminatoren mit einem konstanten Signalpegel gespeist werden müssen. Eine Ausnahme bildet der Ratio-Detektor, der zugleich als Begrenzer wirkt. Zwischen dem ZF-Verstärker und dem Diskriminator treffen wir deshalb in der Schaltung nach Bild 401 einen Limiter an. Wir kennen das Prinzip und die Schaltung der gebräuchlichsten Limiter. Sie haben den Zweck, das ZF-Signal zu begrenzen und so von jeglicher Amplitudenmodulation zu befreien.

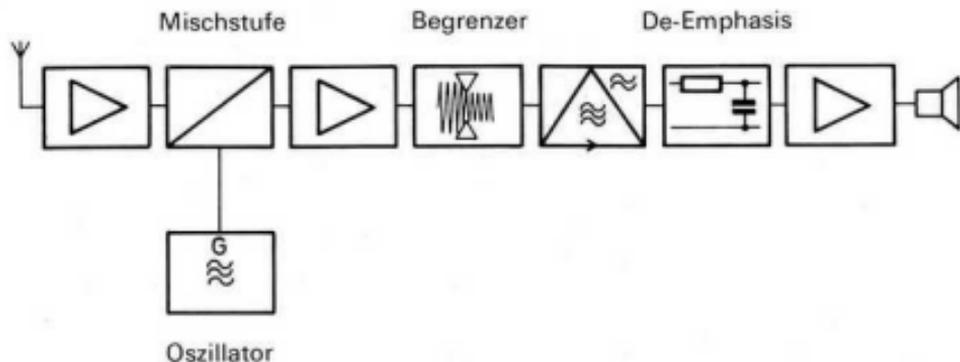


Bild 401

Der folgende FM-Diskriminator setzt das FM-Signal in ein AM-Signal um und demoduliert dieses. Da zur Verbesserung der Übertragungsqualität und des Störabstandes senderseitig die hohen Frequenzen des Modulationssignals angehoben wurden, muss im Interesse einer naturgetreuen Wiedergabe diese Anhebung wieder rückgängig gemacht werden. Diese Absenkung der hohen Modulationsfrequenzen geschieht im De-Emphasisglied, das als RC-Tiefpass geschaltet ist. Der Niederfrequenzverstärker ist in bezug auf Frequenzumfang und Klirrfaktor von besserer Qualität als beim gewöhnlichen AM-Empfänger, da die hohe Übertragungsqualität, die eine FM-Übertragung ermöglicht, höhere Ansprüche an den NF-Teil und den Lautsprecher oder die Lautsprechersysteme des Empfangsgerätes stellt.

d. Empfänger zum Empfang einseitenbandmodulierter Signale

Auch der Einseitenbandempfänger ist ausschliesslich als Überlagerungsempfänger gebaut. Die Oszillatoren müssen eine überdurchschnittliche Frequenzkonstanz aufweisen, da jede Unstabilität der Oszillatorfrequenzen untragbare Modulationsverzerrungen verursachen würde. Auch an den ZF-Verstärker müssen besondere Anforderungen gestellt werden. Die Flankensteilheit der Durchlasskurve muss sehr gross sein, damit das empfangene Seitenband sauber aus dem Frequenzspektrum herausgefiltert werden kann. Die nahezu rechteckförmige ZF-Kurve wird durch Verwendung eines Quarzfilters oder eines mechanischen Filters erreicht. Bild 402 gibt das Blockschaltbild eines Einseitenbandempfängers wieder.

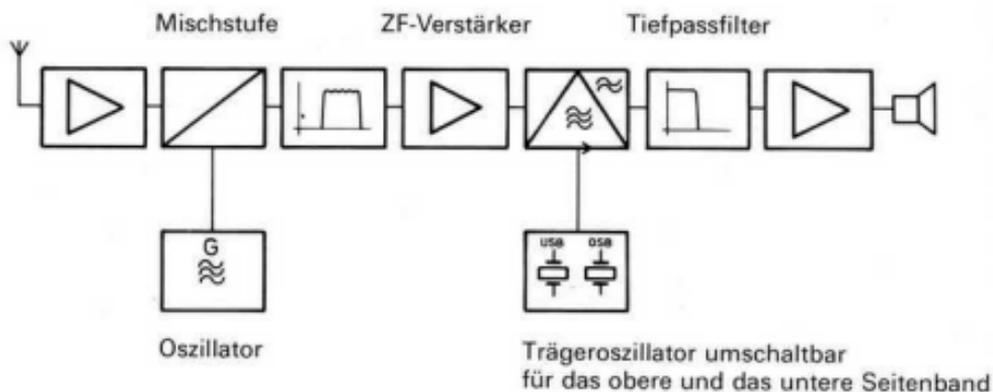


Bild 402

Das Antennensignal wird in der HF-Vorstufe verstärkt, womit die Empfängerempfindlichkeit gegenüber einem Gerät ohne Vorstufe ansteigt. Gleichzeitig sorgt diese für eine gute Spiegelfrequenzunterdrückung. In der Mischstufe wird das Empfangssignal durch Mischung mit dem Oszillatorsignal in das gewünschte ZF-Signal umgesetzt. Im hochwertigen ZF-Filter werden alle nicht zum ZF-Signal gehörenden unerwünschten Signalanteile unterdrückt. Dieses ZF-Filter bestimmt die Selektivität des Empfängers. Der nachfolgende ZF-Verstärker erfüllt lediglich die Aufgabe der Verstärkung der ZF-Spannung. Im Demodulator – der meistens als Ringmodulator ausgeführt ist – erfolgt die Demodulation des Einseitenbandsignals, indem in der bekannten Art der Träger zugemischt wird. Der Trägeroszillator ist meistens quartzesteuert. Er erzeugt zwei Frequenzen, die wahlweise umgeschaltet werden können, je nachdem, ob das obere oder das untere Seitenband ausgestrahlt wurde. Im folgenden Tiefpassfilter werden die unerwünschten Mischprodukte des Demodulators unterdrückt, es kann nur das NF-Signal passieren. Der NF-Verstärker unterscheidet sich nicht von demjenigen in anderen Empfangsgeräten.

4. Das Wesentliche

Die meisten Empfangsgeräte basieren auf dem Prinzip des Überlagerungsempfängers.

Der AM-Empfänger ist meistens mit einer automatischen Lautstärkeregelung versehen. Eine der ZF-Spannung proportionale Regelspannung passt die Verstärkung des HF- und ZF-Verstärkers dem Pegel des Empfangssignals an. Empfänger für tonlose Telegrafiesignale sind gleich aufgebaut wie A₃-Empfänger. Die Selektivität des ZF-Verstärkers wird jedoch durch Zuschaltung eines

Quarzfilter erhöht, wobei gleichzeitig die Bandbreite stark verkleinert wird. Das Quarzfilter arbeitet als Brückenschaltung. Ein Signal, das der Seriersonanzfrequenz des Quarzes entspricht, erzeugt am Ausgang der Brücke eine Spannung, benachbarte Signale werden stark gedämpft. Ein Signal, das mit der Parallelresonanzfrequenz des Quarzes zusammenfällt, wird unterdrückt. Die Parallelresonanzfrequenz lässt sich mit einem Brückenkondensator leicht ziehen, es wird somit möglich, ein störendes Signal in der unmittelbaren Nähe des Nutzsignals mit Hilfe des Filters auszublenden. Anstelle des Quarzfilters kann die Q-Multiplier treten. Der Q-Multiplier ist im Prinzip eine Oszillatorschaltung, deren Produkt Verstärkung mal Kopplungsfaktor kleiner als Eins ist. Er liegt parallel zu einem ZF-Kreis und entdämpft diesen. Die Entdämpfung kann eingestellt werden, indem man den Wert für die Schwingungsbedingung von kleinen Werten nahe an Eins heranbringt. Mit zunehmender Entdämpfung wird die Bandbreite kleiner, sie lässt sich so schmal einstellen, dass nur noch das Telegrafiesignal das Filter passieren kann.

Im Demodulator wird das ZF-Signal mit dem Signal des Telegrafieüberlagers gemischt. Seine Frequenz wird so eingestellt, dass als Mischprodukt ein Niederfrequenzsignal im Hörbereich entsteht. Zur Verbesserung der Selektivität wird oft im NF-Teil ein NF-Filter zugeschaltet, das nur eine bestimmte Frequenz passieren lässt. Der Telegrafieüberlagerer wird in diesem Fall so eingestellt, dass die resultierende Niederfrequenzspannung im Durchlassbereich des NF-Filters liegt. Infolge der erforderlichen hohen Bandbreite für den Empfang frequenzmodulierter Signale liegt die Zwischenfrequenz des FM-Empfängers höher als bei den anderen Geräten. Zwischen ZF-Verstärker und Diskriminator sorgt ein Limiter für die Begrenzung des ZF-Signals. Diese Begrenzung unterdrückt Störungen und Anteile von Amplitudenmodulation. Der Begrenzer erübrigt sich, wenn als Diskriminator ein Ratio-Detektor gewählt wird, da dieser zugleich als Begrenzer wirkt. Die senderseitig erfolgte Höhenanhebung des Modulationssignales wird im Empfänger im De-Emphasisglied wieder rückgängig gemacht.

Beim Einseitenbandempfänger werden sehr hohe Anforderungen an die Stabilität der Oszillatoren gestellt, da die kleinste Frequenzabweichung untragbare Modulationsverzerrungen verursachen würde. Die nahezu rechteckförmige ZF-Durchlasskurve wird durch Anwendung eines mechanischen Filters oder eines Quarzfilters realisiert. Im Demodulator wird der Träger zugesetzt und das ZF-Signal demoduliert. Die meisten Empfänger sind zum Empfang des unteren und des oberen Seitenbandes umschaltbar. Zu diesem Zweck wird die Frequenz des Trägeroszillators umgeschaltet. Ein Tiefpassfilter hinter dem Demodulator sorgt für die Unterdrückung der unerwünschten Mischprodukte des Demodulators.

5. Repetitionsaufgaben (Lösung Seite 508)

- Warum basieren praktisch alle Empfängertypen auf dem Überlagerungsprinzip?
- Welches ist der Zweck der automatischen Lautstärkeregelung?
- Weshalb wird die automatische Lautstärkeregelung zeitlich und in bezug auf den Einsatz verzögert?

- d) Warum muss die ZF-Bandbreite für den A_1 -Empfang sehr schmal gemacht werden?
- e) Was verstehen Sie unter dem Ausdruck «Antiresonanzpunkt» eines Quarzfilters?
- f) Welches Schaltungsprinzip liegt dem einfachen Quarzfilter für den A_1 -Empfang zugrunde?
- g) Zu was dient der Kondensator C_p im Quarzfilter nach Bild 396?
- h) Welches ist der Zweck des Q-Multipliers?
- i) Welches Schaltungsprinzip wird für den Q-Multiplier angewendet?
- k) Was muss beim Q-Multiplier verändert werden, damit sich die Bandbreite des ZF-Filters variieren lässt?
- l) Durch welche zusätzliche Massnahme kann beim A_1 -Empfänger die Selektivität weiter gesteigert werden?
- m) Warum liegt die Zwischenfrequenz von FM-Empfangsgeräten relativ hoch?
- n) Welches ist die Aufgabe des Begrenzers?
- o) Welchen Zweck verfolgt man mit dem De-Emphasisglied?
- p) Warum entstehen bei instabilen Oszillatoren im Einseitenbandempfänger Modulationsverzerrungen?
- q) Wie erfolgt die Umschaltung vom oberen auf das untere Seitenband?
- r) Mit welchen Mitteln erreicht man im Einseitenbandempfänger eine nahezu ideale ZF-Durchlasskurve?