



UKW-Empfänger

1. Ziele

- Untersuchung der Funktionsweise eines Überlagerungsempfängers (Superhet)
- Kennenlernen der wichtigsten Empfängerereigenschaften
- Messung der Eigenschaften der einzelnen Funktionsblöcke
- Repetition der Kenntnisse über Mischer
- Kenntnis der Funktionsweise der Stereoübertragung

2. Grundlagen

Das weitaus am meisten verwendete Schaltungsprinzip für Empfänger ist der Überlagerungsempfänger (Superhet, Super Heterodyne). Mit einer oder mehreren Frequenzumsetzungen wird die Empfangsfrequenz auf eine oder mehrere vorgegebene Zwischenfrequenzen ZF (Intermediate Frequency IF) umgesetzt. Die Nahselektion (Nachbarkanalselektion) erfolgt auf der ZF-Ebene und die Weitabselektion (Spiegelfrequenzunterdrückung) in der Eingangsstufe.

Je nach Frequenzlage der Eingangssignale sind mehrere Umsetzprozesse notwendig, um für alle Anforderungen an Weitabselektion, Nahselektion, Bandbreite des Eingangsfrequenzbereiches, Intermodulationsfestigkeit, etc. einen vernünftigen Kompromiss zu finden.

Fig. 1 zeigt das Blockschaltbild eines typischen UKW-Empfängers. Meist wird eine Einfachumsetzung auf eine feste Zwischenfrequenz von 10.7 MHz verwendet. Für diese Zwischenfrequenz sind keramische Filter erhältlich, die für die notwendige Nachbarkanalselektion verantwortlich sind. Das Eingangssignal wird im Mischer mit dem Oszillatorsignal multipliziert und erzeugt ein Signal auf der Zwischenfrequenz. Die Frequenz des Oszillators kann oberhalb oder unterhalb der Empfangsfrequenz liegen. Im vorliegenden Empfänger wird das Mischprodukt auf der Frequenz $f_{ZF} = f_e - f_o$ ausgewertet. Die Oszillatorfrequenz muss also 10.7 MHz unterhalb der Empfangsfrequenz liegen. Zu jeder eingestellten Empfangsfrequenz gibt es eine zweite, unerwünschte Empfangsfrequenz die ebenfalls eine Zwischenfrequenz von 10.7 MHz ergibt. Diese unerwünschte Empfangsfrequenz wird Spiegelempfangsfrequenz oder kurz Spiegelfrequenz f_s genannt. Für $f_o > f_e$ liegt sie um $2 \cdot f_{ZF}$ oberhalb der Empfangsfrequenz und für $f_o < f_e$ um $2 \cdot f_{ZF}$ unterhalb der Empfangsfrequenz.

Beispiel:

Gewünschte Empfangsfrequenz $f_e = 88.2 \text{ MHz}$

Zwischenfrequenz $f_{ZF} = 10.7 \text{ MHz}$

Für $f_o < f_e$ $f_o = f_e - f_{ZF} = 88.2 \text{ MHz} - 10.7 \text{ MHz} = 77.5 \text{ MHz}$

Spiegelfrequenz $f_s = f_e - 2 \cdot f_{ZF} = 88.2 \text{ MHz} - 2 \cdot 10.7 \text{ MHz} = 66.8 \text{ MHz}$

Die Filter der Eingangsstufe müssen deshalb Signale bei 66.8 MHz möglichst stark dämpfen (Spiegelfrequenzunterdrückung). Bei der höchsten gewünschten Empfangsfrequenz von 108 MHz liegt die Spiegelfrequenz mit 86.6 MHz sehr nahe am unteren Ende des Empfangsbandes von 87.5 MHz. Fest eingestellte Bandpassfilter in der Eingangsstufe würden für diesen kleinen Frequenzabstand einen hohen Aufwand (hohe Filterordnungsanzahl) benötigen. Daher werden die Filter der Eingangsstufe meist schmalbandig realisiert und im Gleichlauf mit dem Oszillator auf die Empfangsfrequenz abgestimmt. Dies ist im Blockschaltbild mit der gestrichelten Linie zwischen Oszillator und den Filtern der Eingangsstufe angedeutet.

Nach dem Zwischenfrequenzverstärker wird bei einem FM-Empfänger ein **Amplitudenbegrenzer (Limiter)** und ein **FM-Demodulator** benötigt. Der Begrenzer entfernt sämtliche Amplitudenänderungen, die sich als Störungen auswirken würden. Der hier verwendete IC LA 1235 verwendet als Demodulationsschaltung einen Quadraturdemodulator. Für den Quadraturdemodulator sind weitere Bezeichnungen und Varianten gebräuchlich: Koinzidenzdemodulator, Produktdemodulator.

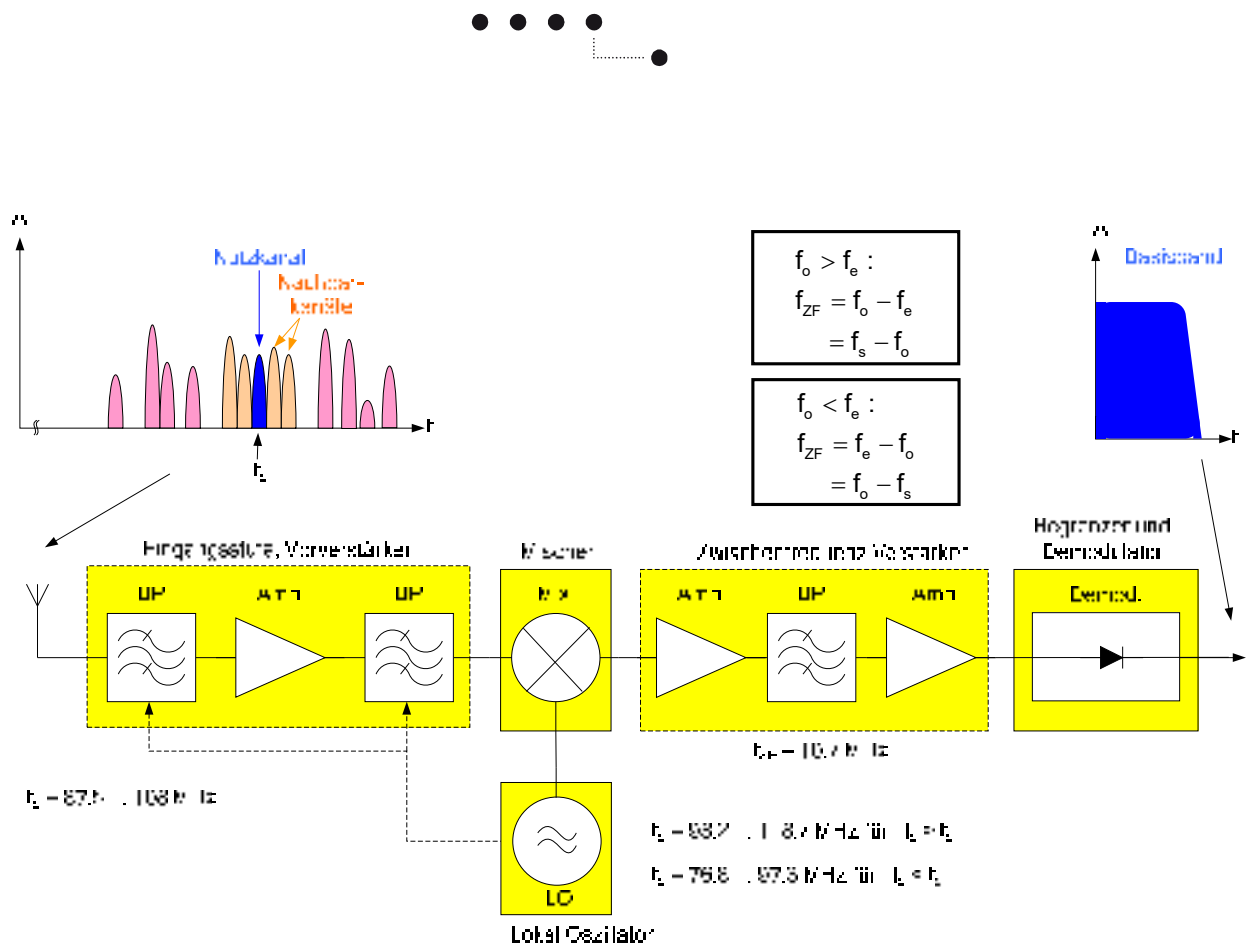


Fig. 1: Blockschaftbild eines Superhet-Empfängers für UKW

Die Prinzipschaltung des Quadraturdemodulators zeigt Fig. 2.

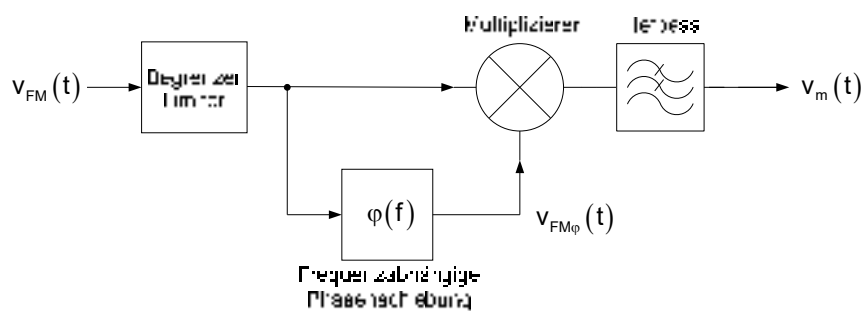


Fig. 2: Quadraturdemodulator

Der Multiplizierer multipliziert das frequenzmodulierte Signal mit dem frequenzabhängig phasengedrehten Signal.

$$v_{FM}(t) = \hat{V}_c \cos \left[\omega_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \cos(\omega_m t) \right]$$

$$v_{FM\phi}(t) = \hat{V}_c \cos \left[\omega_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \cos(\omega_m t + \varphi(f)) \right]$$

Nach Multiplikation und Tiefpassfilterung wird $v_m(t) = \hat{V} \cos(\varphi(f))$ und mit $\varphi(f) = \frac{\pi}{2} \pm \Delta\varphi(f)$

$$v_m(t) = \pm \hat{V} \sin(\Delta\varphi(f))$$

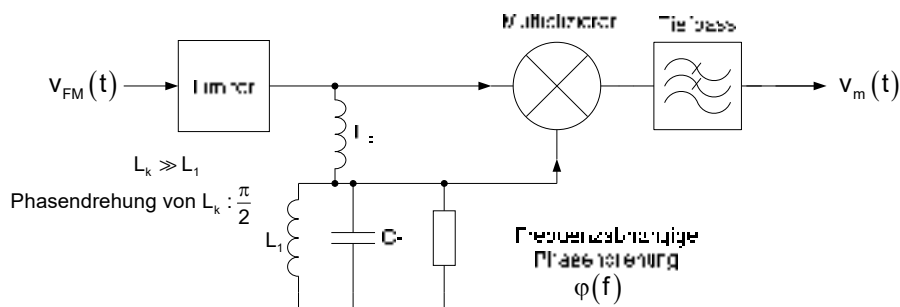


Fig. 3: Schaltung mit frequenzabhängiger Phasendrehung

Nach der Demodulation muss bei Mono-Betrieb noch die **Deemphasis** vorgenommen werden. Bei Stereo-Betrieb erfolgt die Deemphasis am Ausgang des Stereodecoders. Mehrere Ursachen führen dazu, dass bei Winkelmodulation der Rauschabstand mit zunehmender Frequenz des Modulationssignals abnimmt:

Die meisten analogen Signale (Musik, Sprache) weisen bei höheren Frequenzen eine kleinere Leistungsdichte auf als bei mittleren und tiefen Frequenzen.

Am Demodulatorausgang des Empfängers steigt die Rauschleistungsdichte mit zunehmender Frequenz.

Bei Frequenzmodulation nimmt der Modulationsindex mit steigender Modulationsfrequenz und konstantem Frequenzhub ab $\eta = \Delta f / f_m$.

Um das Signal-Rauschverhältnis zu verbessern, werden auf der Senderseite die Amplituden höherer Modulationsfrequenzen angehoben (Preemphasis) und auf der Empfängerseite wieder abgesenkt (Deemphasis), um über das ganze System einen linearen Amplitudengang zu erhalten.

Die **Preemphasis** und **Deemphasis** werden durch einfache RC-Hoch- und Tiefpässe realisiert.

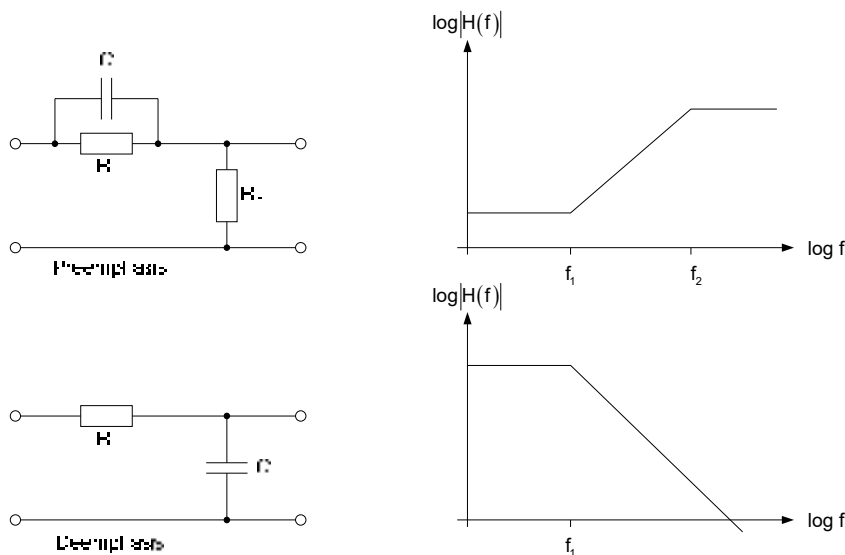


Fig. 4: Preemphasis und Deemphasis

Die Grenzfrequenzen oder Zeitkonstanten der Hoch- und Tiefpässe sind für Rundfunksysteme in Normen festgelegt. Für FM-Rundfunk gilt in Europa eine Zeitkonstante von $50 \mu s$. Dies entspricht einer Grenzfrequenz von 3.18 kHz. (USA: $75 \mu s$, 2.12 kHz).

Für die Dimensionierung der RC-Glieder gilt:



$$\tau = \frac{1}{2\pi f} \quad f_1 = \frac{1}{2\pi R_1 C} \quad f_2 = \frac{R_1 + R_2}{R_2} f_1$$

Für f_2 wird eine Frequenz gewählt die grösser ist als die höchste Audiofrequenz.

Mit Hilfe der Preemphasis und Deemphasis kann auf der Empfangsseite eine Verbesserung des Signal-Rauschabstandes von ungefähr 7 dB erreicht werden.

Bei der Einführung des **Stereo-Rundfunks** 1961 wurde ein System gewählt, das den Empfang mit Mono-Empfängern weiterhin gewährleistet. Die für Mono-Systeme festgelegten Parameter wie maximaler Frequenzhub, Frequenzbereich des Modulationssignals, Kanalabstand und weitere mussten beibehalten werden. Heute wird ein von den Regulierungsbehörden FCC (Federal Communications Commission, USA) und CCIR (Comité Consultatif International des Radiocommunications) normiertes Verfahren verwendet. Dabei wird vom Sender ein Summensignal des rechten und linken Audiosignals $s_L(t) + s_R(t)$ und ein Differenzsignal $s_L(t) - s_R(t)$ übertragen. Auf der Empfangsseite werden durch Addition und Subtraktion der beiden Signale wieder die ursprünglichen Audiosignale des rechten und linken Kanals zurückgewonnen.

$$[s_L(t) + s_R(t)] + [s_L(t) - s_R(t)] = 2 \cdot s_L(t)$$

$$[s_L(t) + s_R(t)] - [s_L(t) - s_R(t)] = 2 \cdot s_R(t)$$

Das Stereo-System verwendet ein Frequenzmultiplexverfahren dessen Spektrum in Fig. 5 gezeigt ist. Dieses „Stereo-Multiplex-Signal“ MPX oder Composit Basisband enthält das Summensignal $s_L(t) + s_R(t)$, das in seiner ursprünglichen Frequenzlage beibehalten wird und so ein für Monoempfänger kompatibles Signal darstellt. Weiter wird das Differenzsignal $s_L(t) - s_R(t)$ auf einem Hilfsträger von 38 kHz DSB-SC moduliert. Der Träger wird auf einen Wert von $\leq 1\%$ unterdrückt. Um im Empfänger den Träger für die phasenrichtige Demodulation einfach zurückzugewinnen, wird ein Pilotton von 19 kHz, der phasenstarr vom 38 kHz-Träger hergeleitet wird, hinzugefügt. Seine Amplitude beträgt 10% des Maximalwertes des Multiplexsignals.

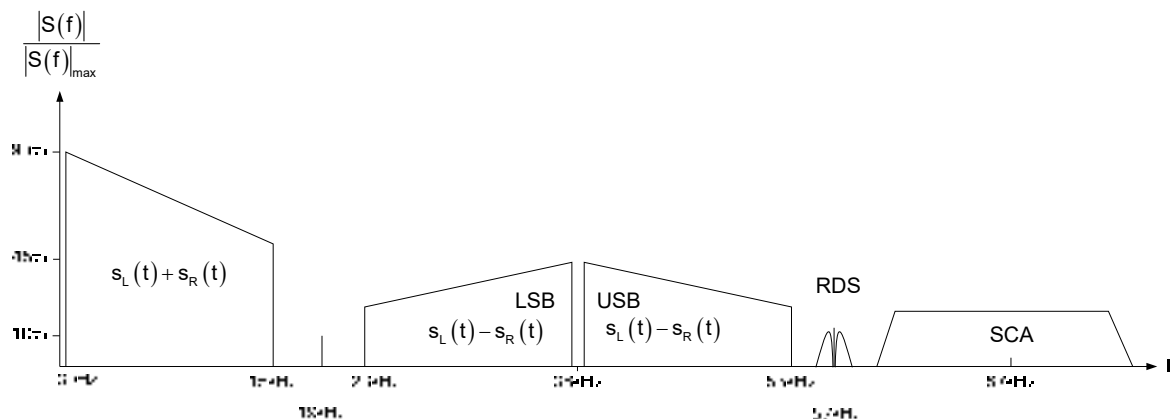


Fig. 5: Spektrum des Stereo Composit Basisband Signal (Multiplex-signal)

Weitere Dienste wie ARI (Autofahrer Rundfunk Information), RDS (Radio Data System) und SCA (Subsidiary Communications Authorization) sind hinzugekommen.

ARI: Dieser Dienst ermöglicht die Aktivierung stumm geschalteter Geräte mit Hilfe einer Durchsagekennung DK. Die eingestellte Lautstärke wird erhöht und von anderen Audioquellen auf die Nachrichtendurchsage umgeschaltet. ARI wurde 1975 eingeführt und in Europa bis 2005 betrieben. Ab 1988 lief ein Parallelbetrieb zum neuen RDS.

Ein phasenstarr mit dem Pilotton verknüpfter Träger von 57 kHz wird mit einer von 6 möglichen Frequenzen in Bereich von 23 bis 54 Hz amplitudenmoduliert. Der Modulationsgrad beträgt 60%.



Diese Frequenzen werden zur Unterscheidung von geographischen Gebieten verwendet. Während der Nachrichtendurchsage wird für die Durchsagekennung DK der Träger zusätzlich mit 125 Hz und einem Modulationsgrad von 30% amplitudenmoduliert. Alle Modulationsfrequenzen lassen sich mit einem ganzzahligen Teiler vom Pilotton herleiten.

RDS: Mit diesem System werden sehr viele zusätzliche Informationen in digitalen Datenpaketen übertragen. RDS ist in der Norm EN 62106 standardisiert. Einige der wichtigsten Informationen die übertragen werden sind: Programm Identification PI, Programm Service Name PS, Alternative Frequency AF, Traffic Program TP, Traffic Announcement TA, Radio Text RT, Clock Time CT, Traffic Message Channel TMC, Enhanced Other Network EON. Benutzt wird ein 57 kHz-Träger der in Quadratur zum ARI-Träger steht. Damit wird ein Parallelbetrieb von ARI und RDS gewährleistet. Die Bitrate der RDS-Daten beträgt 1187.5 bit/s. Diese Daten werden Manchester-codiert und mit einem Root-Cosine-Filter mit $\alpha = 1$ gefiltert. Mit diesem Signal wird der 57 kHz- Träger mit einer binären Phasenumtastung (BPSK) und einer Symbolrate von 2375 Symb/s moduliert. Die RDS-Daten werden in Datenblocks von 26 Bit gepackt. Jeder Block enthält 16 Datenbits und wird mit 10 Prüfbits zur Fehlererkennung und -Korrektur ergänzt. 4 Blocks werden zu einer Gruppe a 104 Bit zusammengefasst. Informationen über die Gruppentypen und die Codierung ist in der Norm EN 6106 zu finden. Das RDS-Signal soll im frequenzmodulierten Signal einen Frequenzhub von 4 kHz aufweisen.

SCA: Wird hauptsächlich in den USA und Kanada zur Übertragung von weiteren Informationen wie Stock market reports, background music, foreign language programs, etc. verwendet. Ein oder mehrere Träger im Frequenzbereich zwischen 60 kHz und 100 kHz werden mit der Information moduliert. Viel verbreitet ist ein frequenzmodulierter Träger von 67 kHz zur Übertragung von Hintergrundmusik in Einkaufszentren.

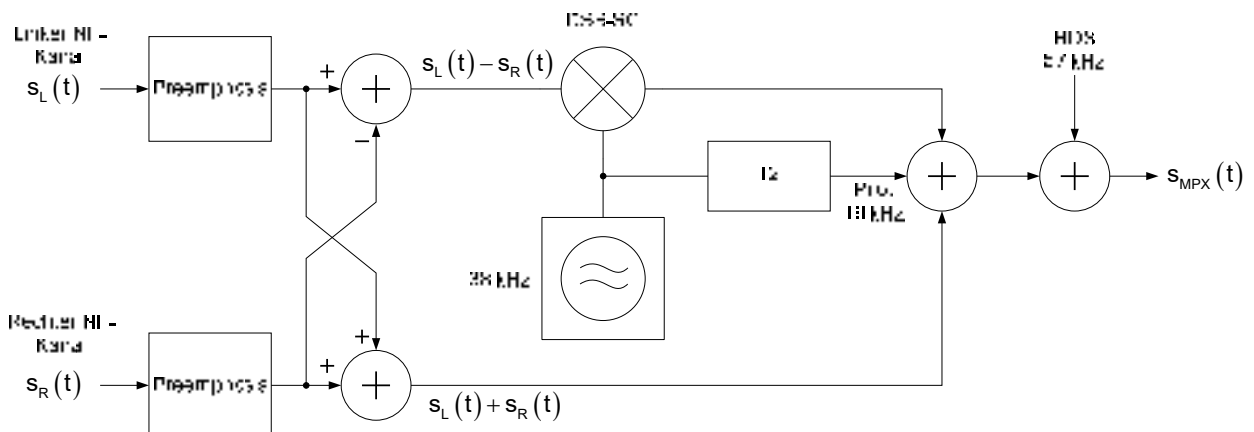


Fig. 6: Stereo Coder Blockschaltbild

Das komplette Basisbandsignal (MPX) wird auf einen FM-Modulator des Senders gegeben. Damit die Bandbreite des modulierten Stereosignals durch die grössere Bandbreite des Basisbandes (57 kHz ohne SCA gegenüber 15 kHz bei Mono) nicht unzulässig gross wird, wurde bei Stereo der maximale Frequenzhub von 75 kHz auf 67.5 kHz reduziert. Nach Carson wird somit die Bandbreite des frequenzmodulierten Stereosignals

$$B = 2(67.5 \text{ kHz} + 57 \text{ kHz}) = 249 \text{ kHz}$$

gegenüber 180 kHz bei Mono.

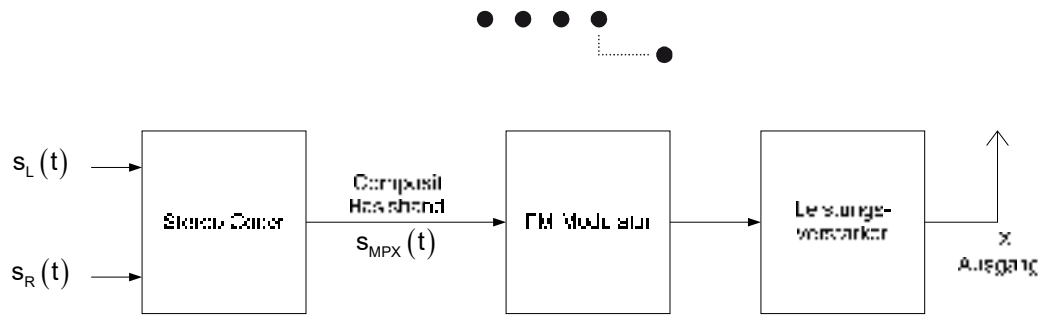


Fig. 7: Stereo Sender

Im Empfänger wird zuerst mit einem FM-Demodulator das Multiplexsignal zurückgewonnen. Zur Decodierung des Stereo Multiplexsignals und Rückgewinnung des linken und rechten Audiosignals gibt es mehrere Lösungen.

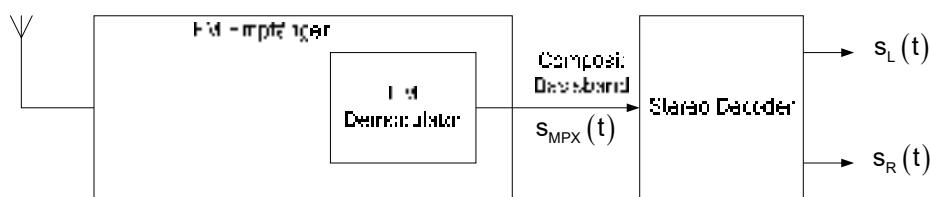


Fig. 8: Stereo Empfänger

Matrixdecoder:

Mit einem Tiefpass mit einer Grenzfrequenz von 15 kHz wird das Summensignal $s_L(t) + s_R(t)$ zurückgewonnen. Über ein Bandpassfilter von 23 bis 53 kHz wird das DSB-Signal zurückgewonnen und in einem Synchrondemodulator durch Multiplikation mit dem rekonstruierten Träger demoduliert. Nach einer 15 kHz-Tiefpassfilterung steht das Differenzsignal $s_L(t) - s_R(t)$ zur Verfügung. Durch Addition und Subtraktion wird das linke und rechte Audiosignal zurückgewonnen.

Der 38 kHz-Träger kann durch Frequenzverdoppelung des Pilotons oder durch eine PLL-Schaltung gewonnen werden.

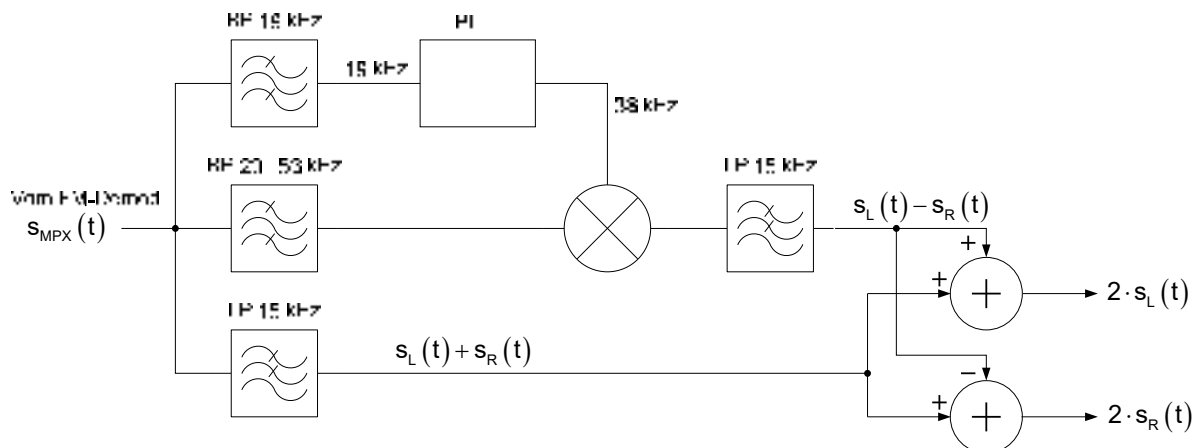


Fig. 9: Matrix Stereo Decoder

3. Modulbeschreibungen

Fig. 10 zeigt das gesamte Blockschaltbild mit allen Modulen. Für Mono-Betrieb kann das NF-Signal vom Demodulator (MPX out) unter Umgehung des Stereodecoders direkt an die Eingänge des NF-Verstärkers geführt werden. In diesem Fall muss die Deemphasis auf dem Demodulator-Modul aktiviert werden. Bei Stereobetrieb muss zwingend die Deemphasis auf dem Demodulator-Modul ausgeschaltet sein.



Alle Module sind im Dokument „Modulbeschreibungen“ mit Messschaltungen, Abgleichanleitungen und Messresultaten dokumentiert.

a) Modul: Vorselektion

Funktionsbeschreibung

Das Modul enthält einen Verstärker MAR-6 mit Parallelschwingkreisen am Ein- und Ausgang. Hauptaufgabe dieser Filter ist die Spiegelfrequenzunterdrückung. Sie werden mit Kapazitätsdioden im Gleichlauf mit der Oszillatorfrequenz des VCO auf die Eingangsfrequenz abgestimmt. Mit dem OP-Amp U1A und den Einstellreglern R6 für den Offset und R4 für die Gleichstromverstärkung kann erzielt werden, dass die Schwingkreise gleichlaufend mit der VCO-Steuerspannung auf die richtige Eingangsfrequenz eingestellt werden. Zu Messzwecken kann der Filterzweig mit den Jumpers J1 und J2 überbrückt werden. Die Einfügungsverstärkung beträgt mit und ohne Überbrückung des Filters 14.5 dB.

Bei überbrücktem Filterzweig kann die Spiegelfrequenzunterdrückung ohne Vorselektion gemessen werden.

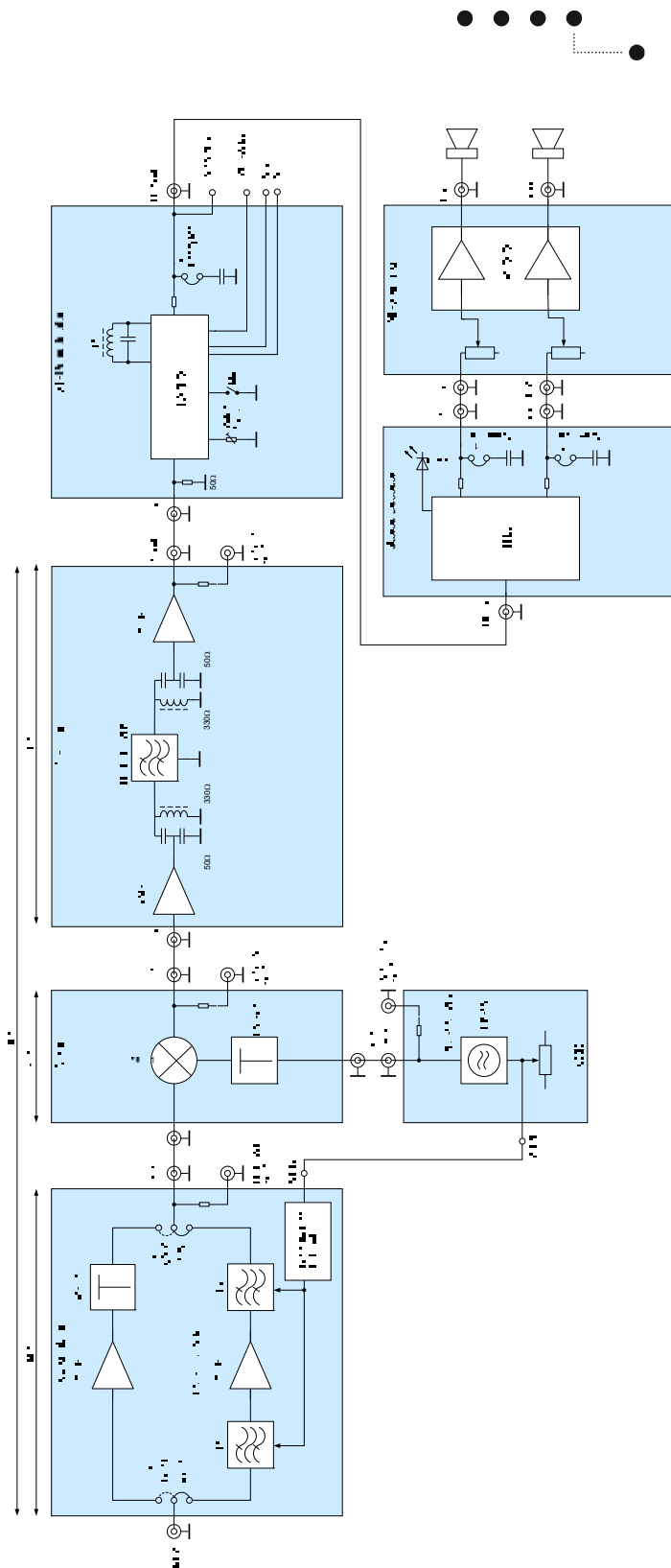


Fig. 10: Gesamtblockschaltbild

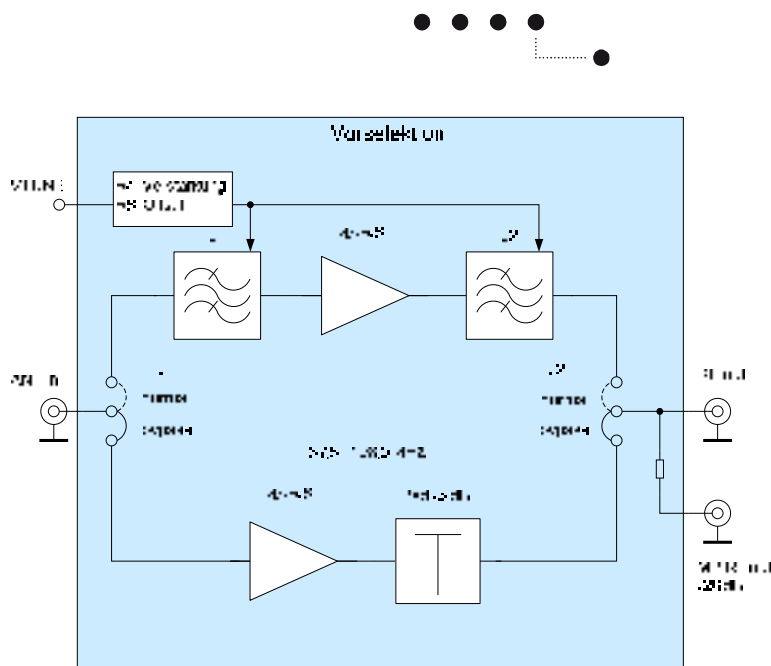


Fig. 11: Blockschaftbild Vorselektion

Technische Daten (typische Werte)

Speisespannung	+15 V
Stromaufnahme	36 mA
Frequenzbereich	87.5 – 108 MHz
Abstimmspannung VTUNE	1.88 – 5.05 V
Eingangsimpedanz	50 Ohm
Returnloss am Eingang	<-8 dB
Verstärkung	14.5 ±1.5 dB

Anschlüsse, Messpunkte, Bedienungselemente und Jumper:

Antenne	HF-Eingang, 87.5 – 108 MHz	BNC-Buchse
RF out	HF-Ausgang, 87.5 – 108 MHz	SMA-Buchse
MP RF out	Messausgang HF, -20dB	BNC-Buchse
+15VDC, GND	Speisung	Bananenbuchse
VTUNE	Abgleichspannung vom VCO	Bananenbuchse

J1, J2	norm.	Normalbetrieb, mit HF-Filter
	Byp.	Bypassbetrieb, HF-Filter überbrückt

Abgleich

Das Modul ist abgeglichen. Keine Verstellungen vornehmen!

Eine Abgleichanleitung für erfahrene Personen befindet sich im Dokument „Modulbeschreibungen“.

b) Modul: Mixer

Funktionsbeschreibung



Das Modul enthält einen passiven Doublebalanced-Mixer ADE-1 von Minicircuits. Am Local-Oscillator-Eingang befindet sich ein 2dB-Dämpfungsglied um den Oszillatorpegel von 9 dBm auf 7 dBm zu reduzieren.

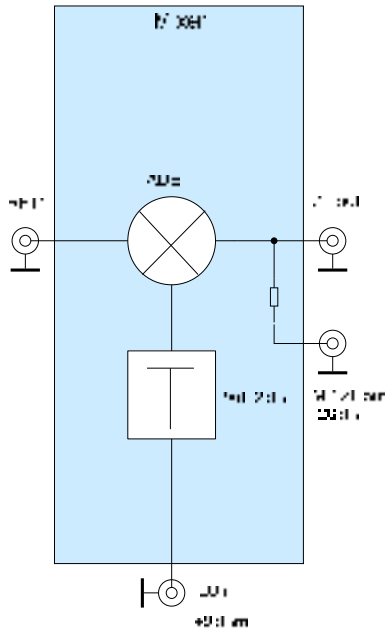


Fig. 12: Blockschaltbild Mixer

Technische Daten (typische Werte)

Siehe Datenblatt ADE-1

Returnloss am RF-Eingang

<-8 dB

Mischdämpfung

< 6 dB

Anschlüsse, Messpunkte, Bedienungselemente und Jumper:

RF in HF-Eingang, 87.5 – 108 MHz

SMA-Buchse

LO in LO-Eingang, 76.8 – 97.3 MHz, +9 dBm

SMA-Buchse

ZF out ZF-Ausgang, 10.7 MHz

SMA-Buchse

MP ZF out Messausgang ZF, -20dB

BNC-Buchse

Abgleich

Kein Abgleich.



c) Modul: VCO

Funktionsbeschreibung

Das Modul VCO enthält einen VCO JTOS-150 von Minicircuits und ein 10-Gang Potentiometer zur Einstellung der Frequenz (VCO-Spannung VTUNE). Der Ausgangspegel des VCO beträgt +9 dBm.

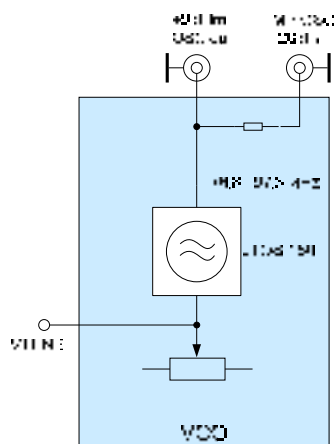


Fig. 13: Blockschaltbild VCO

Technische Daten (typische Werte)

Speisespannung	+15	V
Stromaufnahme	18	mA
Ausgangs impedanz	50	Ohm
Ausgangspegel	+9	dBm

Typische Werte:

VTUNE	VCO-Frequenz	Empfangsfrequenz (VCO-Freq + 10.7 MHz)
1.88 V	76.8 MHz	87.5 MHz
5.05 V	97.3 MHz	108.0 MHz

Anschlüsse, Messpunkte, Bedienungselemente und Jumper:

OSC out	Oszillator Ausgang	SMA-Buchse
MP OSC	Oszillator Ausgang -20 dB	BNC-Buchse
+15VDC, GND	Speisung	Bananenbuchse
VTUNE	Steuerspannung VCO	Bananenbuchse

J1	geschlossen	Frequenzeinstellung mit R2, VTUNE = Ausgang Steuerspannung
	offen	externe Steuerspannung an VTUNE zu Messzwecken

Abgleich

Kein Abgleich.



d) Modul: ZF-Filter

Funktionsbeschreibung

Das Modul enthält zwei Verstärker MAR-6 und das keramische ZF-Filter zur Erzielung der Nahselektion (Nachbarkanalselektion). Über die Parallelschwingkreise mit kapazitivem Teiler wird die Impedanz des keramischen Filters von 330 Ohm auf die Impedanz von 50 Ohm transformiert und so impedanzrichtig zwischen die zwei Verstärker geschaltet. Die Einfügungsverstärkung beträgt 30 dB.

Das keramische ZF-Filter ist in einen Sockel gesteckt und kann zur Untersuchung der Auswirkung verschiedener Filterbandbreiten ausgewechselt werden. Es stehen folgende Filter von Murata zur Verfügung:

Alte Bezeichnung	Neue Bezeichnung	Mittenfreq. MHz	3dB-Bandbreite kHz	Einfügungs-dämpfung dB	Gehäuse-aufdruck
SFE10.7M3	SFELA10M7HA00-B0	10.700 ±30kHz	180 ±40kHz	7.0 max.	E10.7S N
SFE10.7M2	SFELA10M7GA00-B0	10.700 ±30kHz	230 ±50kHz	4.0 ±2dB	E10.7S V
SFE10.7MA	SFELA10M7FA00-B0	10.700 ±30kHz	280 ±50kHz	4.0 ±2dB	E10.7A W

Das Standardfilter für Stereoübertragung ist SFELA10M7FA00-B0 mit einer Bandbreite von 280 kHz.

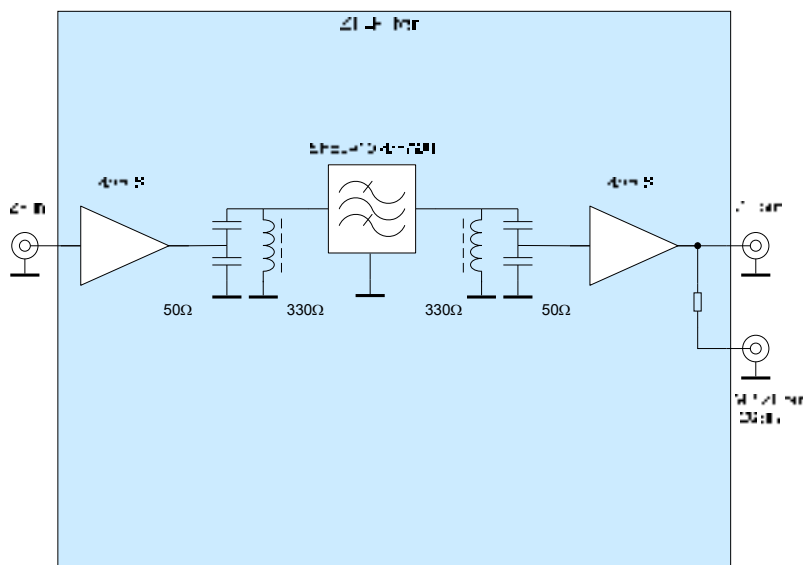


Fig. 14: Blockschaltbild ZF-Filter

Technische Daten (typische Werte)

Speisespannung	+15 V
Stromaufnahme	34 mA
Eingangsimpedanz	50 Ohm
Returnloss am Ein- und Ausgang	<-10 dB
Verstärkung	30.5±0.5 dB

Anschlüsse, Messpunkte, Bedienungselemente und Jumper:

ZF In	ZF-Eingang, 10.7 MHz	SMA-Buchse
-------	----------------------	------------



ZF out	ZF-Ausgang, 10.7 MHz	SMA-Buchse
+15VDC, GND	Speisung	Bananenbuchse
MP ZF out	Messausgang ZF, -20dB	BNC-Buchse

Abgleich

Das Modul ist abgeglichen. Keine Verstellungen vornehmen!

Eine Abgleichanleitung für erfahrene Personen befindet sich im Dokument „Modulbeschreibungen“.

e) Modul: ZF-Demodulator

Funktionsbeschreibung

Das Modul mit dem IC LA1235 von Sanyo enthält einen 6-stufigen ZF-Begrenzer-Verstärker mit FM-Demodulator, Eingangspegelanzeige (S-Meter) und Mute-Funktionen. Die Zwischenfrequenz beträgt 10.7 MHz.

Der **ZF-Begrenzer-Verstärker** besteht aus 6 Differenzverstärkern. Er sorgt für die hohe Verstärkung und die Amplitudenbegrenzung.

Der **FM-Demodulator** besteht aus einem Quadraturdemodulator mit zwei kreuzgekoppelten Differenzverstärkern als Multiplikator. Ein Differenzverstärker wird direkt durch den ZF-Verstärker angesteuert, der zweite erhält sein Signal über ein externes 90-Grad Phasenschiebernetzwerk bestehend aus einem bedämpften Parallelschwingkreis.

Der **Pegeldetektor** in den ZF-Verstärkern liefert eine Anzeigespannung für den Eingangspegel (S-Meter) über einen Pegelbereich von ca. 70 dB.

Mit der **Mute-Funktion** wird ein interner NF-Signalabschwächer abhängig vom Eingangspegel und der Abweichung der Eingangsfrequenz von der Sollfrequenz gesteuert. Dies ergibt bei Sender-Abstimmvorgängen des Empfängers angenehmere Lautstärkeübergänge und eine Unterbrechung des NF-Signals bei kleinen Eingangssignalen.

In einem weiteren Schaltungsteil des IC wird eine Spannung erzeugt, die proportional zur Frequenzabweichung des Eingangssignals von der Mittenfrequenz (10.7 MHz) ist. Die Spannungsdifferenz zwischen Pin 7 und Pin 10 kann zur automatischen Frequenznachsteuerung (AFC Automatic Frequency Control) des Empfängers verwendet werden. Diese Funktion wird im vorliegenden Empfänger nicht verwendet.

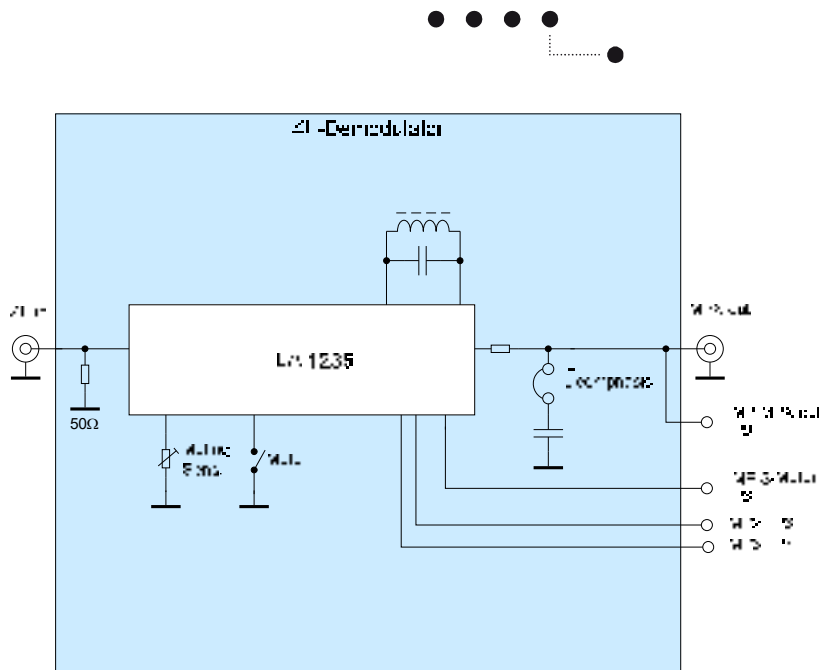


Fig. 15: Blockschaltbild ZF-Demodulator

Technische Daten (typische Werte)

Speisespannung	+15	V
Stromaufnahme	23	mA
Eingangsimpedanz	50	Ohm
Returnloss am Eingang	<-20	dB

Pegeldetektor:

Spannung MP S-Meter P6	$P_{in} = -110 \text{ dBm}$	0.0	V
(siehe Bild x)	$P_{in} = -70 \text{ dBm}$	0.32	V
	$P_{in} = -10 \text{ dBm}$	4.10	V
	$P_{in} = +10 \text{ dBm}$	5.64	V

Betriebseigenschaften:

Messbedingungen (falls nicht anders vermerkt): $f = 10.7 \text{ MHz}$, $P_{in} = -40 \text{ dBm}$, $H = 75 \text{ kHz}$, $f_{mod} = 1 \text{ kHz}$, Deemphasis ON (J1 geschlossen, 50 us), Mute OFF

NF Ausgangsspannung (MPX out, MP MPX out)	$R_L > 100k$	390	mV RMS
	$R_L = 25k$	280	mV RMS

Eingangspegel für Begrenzungseinsatz -82 dBm

Eingangspegel für S/N = 26 dB -86 dBm

Eingangspegel für S/N = 46 dB -75 dBm

S/N_{max} $P_{in} = -40 \text{ dBm}$ 85 dB

Klirrfaktor Mute OFF or ON 0.15 %

AM-Unterdrückung (Mute OFF, AM 30%, $P_{in} = -40 \text{ dBm}$) >57 dB

DC-Werte am IC:

(Mute OFF, $P_{in} = <-110 \text{ dBm}$, $R_{11} = 50 \text{ kOhm}$, Deemphasis ON (J1 geschlossen))

1	IF Input	2.866	V
2	IF Limiter Feedback 1	2.866	V



3	IF Limiter Feedback 2	2.866	V
4	Ground	0.0	V
5	Mute Input	0.235	V
6	AF Output	5.31	V
7	Detune Detector Voltage	7.42	V
8	Limiter Output	6.44	V
9	Demodulator Input 1	6.44	V
10	Detune Detector Voltage Reference	6.44	V
11	Supply Voltage	12.0	V
12	Mute Voltage	6.47	V
13	S-Meter Voltage Output	0.0	V
14	Ground	0.0	V
15	Mute Level Adjustment	0.281	V
16	Mute Hysterese, Switching time	0.322	V

AF Audio Frequency, Niederfrequenz

IF Intermediate Frequency, Zwischenfrequenz

Anschlüsse, Messpunkte, Bedienungselemente und Jumper:

ZF In	ZF-Eingang, 10.7 MHz	SMA-Buchse
MPX out	NF-Ausgang, Multiplexsignal	Chinch-Buchse
+15VDC, GND	Speisung	Bananenbuchse
MP GND	Masse	Messpfosten P5
MP S-Meter	Anzeigespannung Pegeldetektor	Messpfosten P6
MP 2	Detune Detector Voltage Reference	Messpfosten P7
MP 3	Detune Detector Voltage	Messpfosten P8
MP MPX Out	Gefilterter NF-Ausgang (Deemphasis)	Messpfosten P9

Schalter S1	Mute on	Mute eingeschaltet
	Mute off	Mute ausgeschaltet

J1	geschlossen	Deemphasis eingeschaltet
	offen	Deemphasis ausgeschaltet

Abgleich

Der Demodulator Resonanzkreis wird mit L1 auf maximale NF-Amplitude und minimalen Klirrfaktor abgestimmt. Betriebsbedingungen: $f = 10.7 \text{ MHz}$, $P_{\text{in}} = -40 \text{ dBm}$, $H = 75 \text{ kHz}$, $f_{\text{mod}} = 1 \text{ kHz}$, Deemphasis ON (J1 geschlossen, 50 μs), Mute OFF.

Für den Abgleich darf nur der spezielle Abgleichsschlüssel von Neosid verwendet werden. Keinesfalls darf ein Schraubenzieher mit Stahlklinge verwendet werden, da der Ferritkern damit leicht beschädigt und nicht mehr aus der Induktivität herausgedreht werden kann.



f) Modul: Stereo Decoder

Funktionsbeschreibung

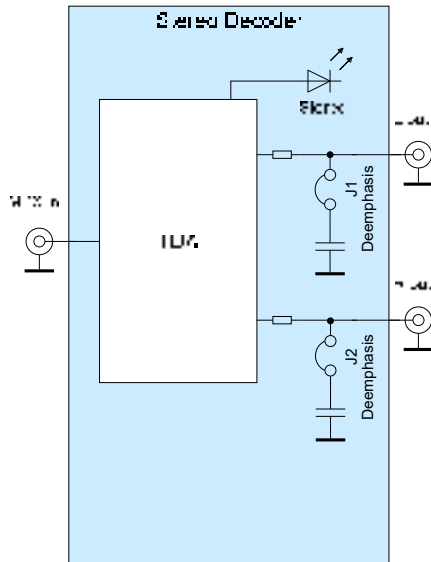


Fig. 16: Blockschaltbild Stereodecoder

g) Modul: NF-Verstärker

Funktionsbeschreibung

Das Modul enthält einen Lautstärkeregler (log. Stereopotmeter) und einen Stereo-Leistungsverstärker TDA 2822. Die maximale Ausgangsleistung an 8 Ohm beträgt 2 x 1.7 Watt.

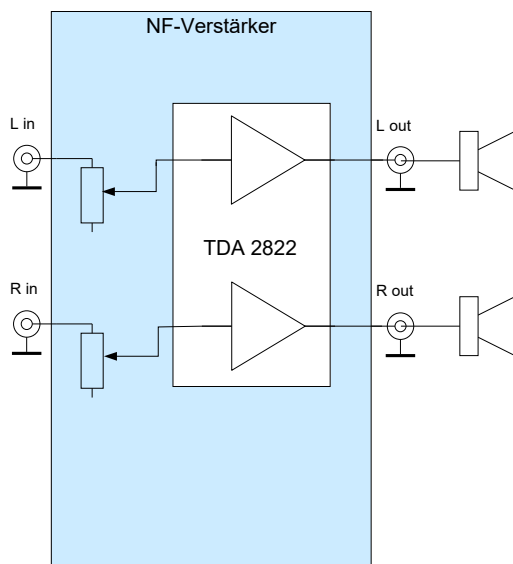


Fig. 17: Blockschaltbild NF-Verstärker



Technische Daten (typische Werte)

Speisespannung	+15	V
Ruhestromaufnahme	12	mA
NF Eingangswiderstand	50	kOhm
Max. Ausgangsleistung	2 x 1.7	W
Lautsprecherimpedanz	4 - 8	Ohm



4. Empfängereigenschaften und Messverfahren

In der Norm EN 60315 sind die „Messverfahren für Funkempfänger für verschiedene Sendearten“ genormt. Im Teil 4 EN60315-4 sind die Verfahren für „Empfänger für frequenzmodulierte Ton-Rundfunksendungen“ festgehalten. Im Folgenden werden hier die wichtigsten Empfängereigenschaften und die dazugehörigen Messverfahren für UKW-Mono- und –Stereo-Empfänger mit Auszügen aus der Norm beschrieben.

Eigenschaften die die Qualität des demodulierten Signals von einem idealen Eingangssignal (hoher Pegel, ausser dem Nutzsignal keine weiteren Signale) beschreiben, z.B.:

- NF-Amplitudengang
- Verzerrungen (Klirrfaktor)
- Signal-Rauschabstand
- Kanaltrennung (bei Stereo)

Eigenschaften zur Erfüllung minimaler Qualität des demodulierten Signals, z.B.:

- Empfindlichkeit
- Begrenzungseinsatz
- Stereo Ansprechschwelle

Eigenschaften die durch unerwünschte Signale oder Ursachen die Qualität des demodulierten Signals verschlechtern, z.B.:

- AM-Unterdrückung
- Spiegelfrequenzunterdrückung
- Zwischenfrequenzunterdrückung
- Nebenempfangsstellenunterdrückung
- Nachbarkanalselektion
- Gleichlauf (VCO-Vorselektion)

Weitere Eigenschaften:

- Stromaufnahme
- RSSI-Spannung (RSSI: Receiving Signal Strength Indicator)
- Oszillatorstörpegel am Antenneneingang

4.1 Begriffe, Definitionen und Verfahren

In Klammern werden die Nummerierungen in der Norm angegeben.

(1.3.7) –3-dB-Begrenzungspegel

Der Eingangssignalpegel, bei dem die Tonfrequenz-Ausgangsspannung 3 dB geringer ist als bei einem bestimmten hohen HF-Eingangssignalpegel, vorzugsweise 80 dB(fW) = -40 dBm.

(1.3.10) Maximal erreichbarer Signal/Rausch-Abstand:

Wert des Signal/Rausch-Abstands bei HF-Eingangssignalpegeln, die genügend hoch sind, damit der Signal/Rausch-Abstand nicht weiter ansteigt, wenn der Eingangssignalpegel erhöht wird.

(1.3.11) Stereoschwelle

Der HF-Eingangssignalpegel, bei dem der Stereodecoder zu arbeiten beginnt.

ANMERKUNG: Üblicherweise tritt bei diesem Signalpegel eine deutliche Abnahme des Signal/Rausch-Abstands auf, falls der Empfänger nicht eine Schaltung enthält, die das Übersprechen zwischen den Tonkanälen, abhängig vom Eingangspegel, regelt.

(1.4.2.1) Normfrequenzhub

Der Normfrequenzhub muss der maximale Frequenzhub des Systems sein. Der Frequenzhub muss mit den Ergebnissen angegeben werden. In einigen Fällen sind Messungen bei niedrigeren Frequenzhuben sinnvoll: Wenn diese verwendet werden, muss der verwendete Frequenzhub mit den Ergebnissen angegeben werden.

Normfrequenzhübe:

Mono ± 75 kHz



Stereo $\pm 67,5$ kHz

Piloton $\pm 6,75$ kHz

(1.4.2.2) Normmodulationsfrequenz

Die Normmodulationsfrequenz muss die Normbezugsfrequenz (1 000 Hz) sein. Falls erforderlich, dürfen andere Frequenzen gewählt werden.

Normmessbedingungen: Normfrequenzhub und Normmodulationsfrequenz

(2.1) Empfindlichkeit

Die Empfindlichkeit eines Empfängers ist ein Maß für seine Fähigkeit, schwache Signale zu empfangen und ein Tonfrequenz- Ausgangssignal brauchbarer Größe und annehmbarer Qualität abzugeben. Die Empfindlichkeit kann mit Bezug auf zahlreiche verschiedene Eigenschaften des Ausgangssignals definiert werden, einschließlich folgender:

- a) Signal/Rausch-Abstand; gebräuchlich für FM-Empfänger
- b) -3dB-Begrenzungspegel; gebräuchlich für FM-Empfänger

Üblicherweise sollte ein unbewerteter bandbegrenzter Signal/Rausch-Abstand von 40 dB (50 dB für HiFi-Empfänger) für das sequentielle Verfahren und 30 dB für das Simultan-Verfahren (SINAD) verwendet werden.

(2.2) Signal/Rausch-Abstand (S/N, S+N/N) und SINAD

Der Signal/Rausch-Abstand eines Empfängers unter bestimmten Bedingungen ist der Pegelabstand zwischen der vom Signal herrührenden Tonfrequenz-Ausgangsspannung und der Rauschspannung. Die Rauschspannung kann nach einem der folgenden Verfahren gemessen werden unter Verwendung eines Bandpassfilters mit einer 3-dB-Bandbreite von 22,4 Hz bis 15 kHz oder 200 Hz bis 15 kHz zusammen mit einem Effektivwert-Spannungsmessgerät oder einem Mittelwert-Spannungsmessgerät, das für sinusförmige Signale in Effektivwerten kalibriert ist. Das verwendete Filter ist mit den Messergebnissen anzugeben.

(2.2.2.1) Sequentielles Messverfahren

Ein Messender liefert ein HF-Signal mit Normfrequenzhub und Normmodulationsfrequenz an den Empfängereingang. Die NF-Ausgangsspannung wird mit einem oben beschriebenen Bandpassfilter und Spannungsmessgerät gemessen. Die Anzeige des entsprechenden Spannungsmessgeräts wird notiert. Danach wird die Modulation des Eingangssignals abgeschaltet und die Anzeige des Spannungsmessgeräts wie vorher notiert. Der Signal/Rausch-Abstand ist dann gleich der Pegeldifferenz der Anzeigewerte des Spannungsmessgeräts in dB. Die Messung darf bei anderen Signalfrequenzen wiederholt werden. Bei Messungen an Stereoempfängern im Stereobetrieb wird die Piloton-Modulation, beibehalten, wenn die 1-kHz-Modulation entfernt wird.

(2.2.2.2) Simultan-Messverfahren (SINAD, Signal Noise and Distortion)

Ein anliegendes modulierte Signal kann unter bestimmten Umständen die Rauschgangsspannung eines FM-Empfängers erhöhen, statt sie zu vermindern. Das folgende Verfahren berücksichtigt diese Möglichkeit. Bei diesem Verfahren wird, statt die Modulation abzuschalten, die von der Grundwelle der Modulationsfrequenz herrührende Ausgangsspannung mit Hilfe eines Filters unterdrückt. Die Pegeldifferenz der Anzeigewerte des Spannungsmessgeräts in dB ist dann gleich dem Abstand zwischen (Signal + Rauschen + Verzerrung) und (Rauschen + Verzerrung) (sogenannte SINAD-Messung).

(2.7.1) Eingangssignal/Ausgangssignal-Kennlinie

Eine der wichtigsten und informativsten Eigenschaften eines Empfängers ist die Beziehung zwischen Tonfrequenz- Ausgangsspannung oder -leistung und der verfügbaren HF-Eingangssignalleistung, insbesondere dann, wenn die tonfrequente Rauschgangsspannung in Abhängigkeit vom Eingangssignalpegel in derselben Darstellung aufgetragen wird. Siehe Fig. 19.

Viele Eigenschaften eines Empfängers können aus einer derartigen Darstellung entnommen werden, zum Beispiel:

- a) -3-dB-Begrenzungspegel,
- b) Empfindlichkeit,
- c) der maximal erreichbare Signal/Rausch-Abstand,



d) Übersteuerungseffekte, die bei anderen Messungen nicht erkannt werden.

Für Stereoempfang können unter anderem die folgenden Eigenschaften ermittelt werden:

e) Signal/Rausch-Abstand für Stereobetrieb,

f) Stereoschwelle,

g) Ansprechschwelle der Stereoanzeige,

h) Ansprechschwelle der Stummschaltung,

i) Dämpfung der Stummschaltungseinrichtung.

(3.3.1) Zwischenfrequenz-, Spiegelfrequenz- und Nebenempfangsstellen-Festigkeit

Überlagerungs- und ähnliche Empfänger reagieren nicht nur auf Signale mit Frequenzen nahe der Abstimmfrequenz, sondern auch auf Störsignale im Bereich der Zwischenfrequenz, der Spiegelfrequenz und bei Harmonischen der Abstimmfrequenz sowie bei anderen Frequenzen, die sich durch Harmonische der Oszillatorfrequenz ergeben. Diese Eigenschaften können mit dem Einsignal- oder Zweisignal-Messverfahren gemessen werden. Die Messbedingungen sind mit den Resultaten unbedingt anzugeben.

Es werden nachstehende Störfestigkeiten definiert:

a) Zwischenfrequenz-Festigkeit (Einsignal);

b) Spiegelfrequenz-Festigkeit (Einsignal);

c) Nebenempfangsstellen-Festigkeit (Einsignal);

Mit dieser Messung wird der Tonfrequenz-Ausgangssignalpegel oder die Rauschunterdrückung bei der Abstimmfrequenz und den Störfrequenzen (Zwischenfrequenz, Spiegelfrequenz und Nebenempfangsstellen) nacheinander gemessen.

Die Zwischenfrequenz-Festigkeit, Spiegelfrequenz-Festigkeit oder Nebenempfangsstellen-Festigkeit müssen als das in Dezibel angegebene Verhältnis des Eingangssignalpegels bei den Störsignalfrequenzen zum Eingangssignalpegel bei der Abstimmfrequenz für jeweils gleiche Werte der Tonfrequenz-Ausgangsspannung oder Rauschunterdrückung bestimmt werden.

(3.3.2.1) Einsignal-Messverfahren mit einem modulierten Signal

Der Empfänger wird unter Normmessbedingungen betrieben und der -3-dB-Begrenzungspegel zusammen mit der zugehörigen Tonfrequenz-Ausgangsspannung gemessen. Die Signalfrequenz wird dann verändert, so dass sie ungefähr der entsprechenden Zwischenfrequenz, Spiegelfrequenz oder Frequenz der Nebenempfangsstelle entspricht, der Eingangssignalpegel wird erhöht und die Eingangssignalfrequenz auf maximalen Tonfrequenz-Ausgangssignalpegel abgeglichen. Der Eingangssignalpegel wird dann so verändert, dass sich die gleiche Tonfrequenz- Ausgangsspannung oder -leistung ergibt, wie bei der Messung des -3-dB-Begrenzungspegels.

(3.4.1) Amplitudenmodulations-Unterdrückung

Die Amplitudenmodulations-Unterdrückung eines Empfängers ist seine Fähigkeit, die Amplitudenmodulation des Eingangssignals zu unterdrücken. Solche Modulation kann durch Schwund, Mehrwegesignale, Amplitudenmodulation im Sender und solche, die durch Bandbreitenbegrenzung oder falsche Abstimmung des Empfängers entsteht, verursacht werden.

(3.4.2.2) Sequentielles Verfahren

Der Empfänger wird unter Normmessbedingungen betrieben. Danach wird die Ausgangsspannung U_1 gemessen.

Die Modulation wird dann von FM auf AM mit 1 kHz und 30 % Modulationsgrad verändert und die Ausgangsspannung U_2 gemessen.

Die Amplitudenmodulations-Unterdrückung errechnet sich aus: $20 \lg U_1/U_2$

(5) Amplitudengang Klirrfaktor

Der Amplitudengang (Ausgangsspannung in Funktion der Modulationsfrequenz) und der Klirrfaktor in Funktion der Modulationsfrequenz werden mit einem Frequenzhub von ± 75 KHz und einem HF-Eingangspegel von -40 dBm gemessen.

Der Klirrfaktor in Funktion des Frequenzhubes wird mit einer Modulationsfrequenz von 1 kHz und einem HF-Eingangspegel von -40 dBm gemessen.



5. Messungen

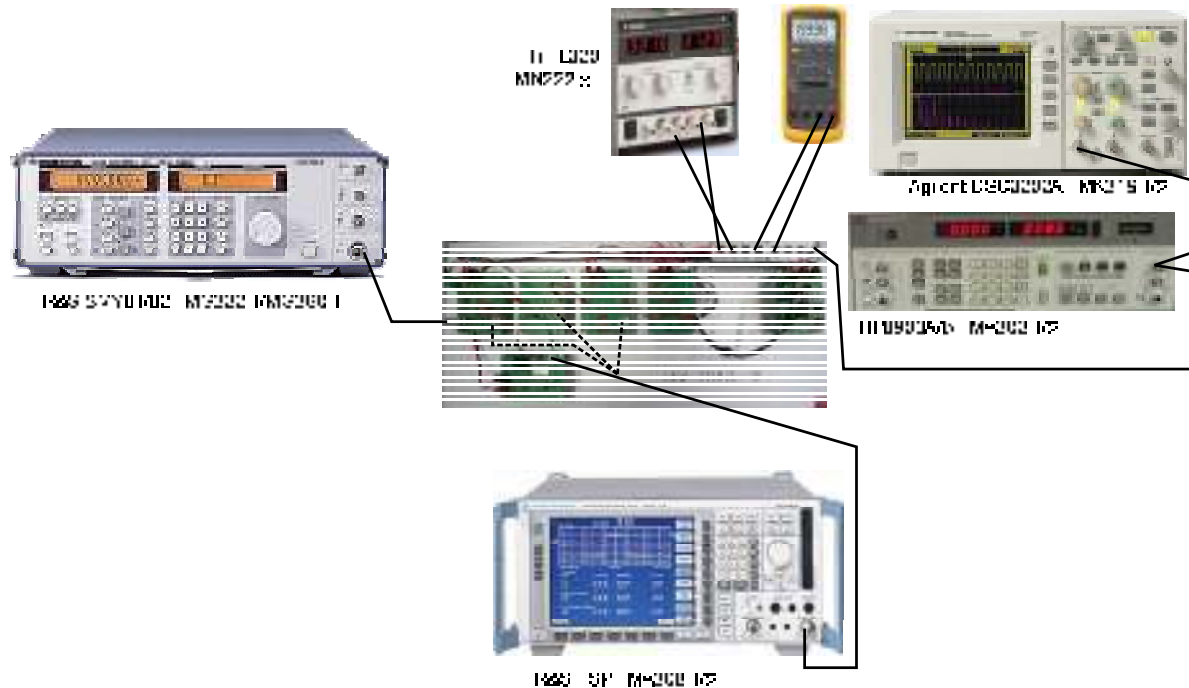


Fig. 18: Messschaltung

Messgeräte:

R&S SMY01/02: MG232-1, MG260-1	Signalgenerator, Modulation: AM oder FM. Erzeugung eines modulierten oder unmodulierten Trägers mit definierten Modulationseigenschaften und definiertem Pegel.
R&S FSP: MA208-1/2	Spektrumanalyzer. Messung von Amplituden und Frequenzen eines Signals im Spektralbereich.
HP8903A/B: MA203-1/2	Audioanalyzer. Messung von Amplitude, Frequenz und Klirrfaktor des demodulierten NF-Signals des Empfängers.
DSO3202A: MK219-1/2	Oszilloskop zur visuellen Überprüfung des demodulierten NF-Signal des Empfängers.
TTi PL320: MN222-xx	Netzgerät zur Speisung des Empfängers und Messung der Stromaufnahme. $U_{cc} = 13\text{ V} \dots 18\text{ V}$
Multimeter:	Messung verschiedener DC-Spannungen.

5.1 Inbetriebnahme

Aufbau gemäss Messschaltung Fig. 18. Die Speisespannung darf im Bereich von 13.0 V bis 18 V liegen. Alle Module des Empfängers enthalten Spannungsregler. Die Stromaufnahme bei zugedrehtem Lautstärkeregel und ohne Stereodecoder beträgt 122 mA.

Schalter „Mute“ auf Modul ZF-Demodulator auf „off“ stellen.

An Stelle des Signalgenerators wird die Teleskopantenne an den Eingang des Empfängers angeschlossen und ein Hörtest zur Überprüfung der Funktion durchgeführt. Mit dem Potmeter auf dem Modul VCO kann die Empfangsfrequenz zwischen 87.5 und 108 MHz eingestellt werden. Die



Oszillatorfrequenz kann mit dem Spektrumanalyzer gemessen werden und liegt 10.7 MHz unterhalb der Empfangsfrequenz.

Einstellung Specanalyzer: Grundeinstellung mit grüner Taste
FREQ-Center: 87.5 MHz, SPAN: 25 MHz, AMPT: 0 dBm
Mit MKR und MKR → Peak kann die Frequenz (und Amplitude)
gemessen werden.

5.2 Messung der Mischereigenschaften

Die Frequenzumsetzung und die Eigenschaften des Mischers werden gemessen. Am Eingang des RX wird ein modulierte Signal mit der Frequenz $f_e = 106.5$ MHz und einem Pegel von -40 dBm angelegt und die Oszillatorfrequenz f_{LO} auf $f_e - 10.7$ MHz eingestellt. An den Messpunkten „MP RF out“ (RF-Eingang des Mischers), „MP OSC out“ (LO-Eingang des Mischers) und „MP ZF out“ auf dem Modul Mixer (ZF-Ausgang des Mischers) können mit dem Specanalyzer die Signale gemessen werden.

Bestimmen Sie die Mischdämpfung (Conversion Loss) für das Summen- und Differenzprodukt des Eingangs- und Oszillatorsignals, die Isolation zwischen LO- und RF-Anschluss des Mischers und die LO-IF-Isolation. Vergleichen Sie die Messwerte mit den Datenblattangaben des Mischers ADE-1 und begründen Sie grössere Abweichungen.

Einstellung Signalgenerator: Frequenz: RF 106.5 MHz, Pegel: Level -40 dBm,
Modulation FM-Hub: FM 40 kHz, Modulationsfrequenz: AF 10 kHz

Einstellung Specanalyzer: Grundeinstellung mit grüner Taste
FREQ-Center: gewünschte Freq., SPAN: 500 kHz, AMPT: -30 dBm,
Messbandbreite RBW: BW > RBW manuell > 1 kHz
Mit MKR und MKR → Peak kann die Frequenz und Amplitude
gemessen werden.

Bildschirm Ausdruck (Grafikfile) vom Specanalyzer:
HCOPY > DEVICE SETUP > Device 1: Enhanced Metafile (= kleinste
Dateigröße)
HCOPY > PRINT SCREEN > Path: 3½ Floppy (A:) > Filename: xxx

5.3 Eingangs-Ausgangs-Kennlinien

Die wichtigsten Empfängerereigenschaften lassen sich in der Eingangssignal-Ausgangssignal-Kennlinie darstellen. Diese Kennlinie ist eine grafische Darstellung verschiedener Messgrößen in Funktion der verfügbaren HF-Eingangssignalleistung erlaubt eine schnelle Beurteilung der Eigenschaften. Folgende Eigenschaften können dieser Darstellung entnommen werden:

- -3 dB – Begrenzungspegel
- Empfindlichkeit für verschiedene Signal-Rausch-Abstände
- Signal-Rausch-Abstand in Funktion der HF-Eingangssignalleistung
- Maximal erreichbarer Signal-Rausch-Abstand
- AM-Unterdrückung in Funktion der HF-Eingangssignalleistung

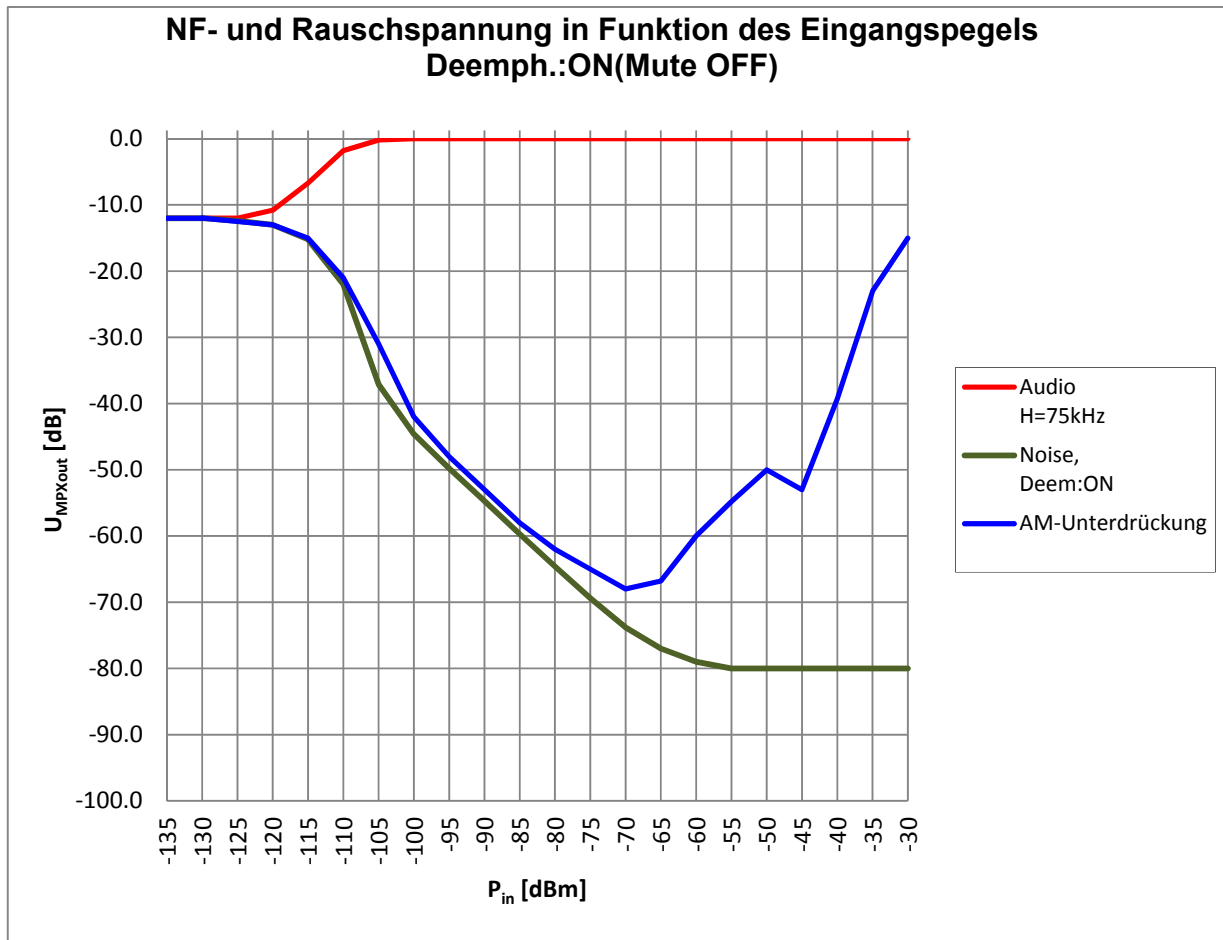


Fig. 19: Eingangs-Ausgangs-Kennlinien

Führen Sie bei einer Empfangsfrequenz von 106.5 MHz oder 90.5 MHz (auf beiden Frequenzen sind im Labor Burgdorf keine Sender empfangbar und daher störungsfreie Messungen möglich) folgende Messungen durch:

Für alle Messungen, sofern nicht anders angegeben, sind am Audioanalyzer HP8903A/B die Filter HP = 400 Hz und LP = 30 kHz eingeschaltet.

- Die NF-Ausgangsspannung wird mit einem Eingangssignal mit $H = 75$ kHz und $f_{mod} = 1$ kHz in Funktion der Eingangsleistung $P_{in} = -30$ dBm -130 dBm aufgenommen. Die Ausgangsspannung wird normiert auf den Wert bei einer Eingangsleistung von -40 dBm. Die Deemphasis ist eingeschaltet. Mute = off.
- Messung der Rauschspannung (abgeschaltete Modulation am Signalgenerator) in Funktion der Eingangsleistung $P_{in} = -30$ dBm -130 dBm. Der Normierungswert (0 dB) der Ausgangsspannung bleibt der gleiche wie in a). Die Deemphasis ist eingeschaltet. Mute = off.
- Messung der AM-Unterdrückung in Funktion der Eingangsleistung $P_{in} = -30$ dBm -130 dBm. Die Modulation des Signalgenerators wird von FM auf AM mit einem Modulationsgrad von 30% und einer Modulationsfrequenz von 1 kHz umgeschaltet und wieder die Ausgangsspannung in Funktion der Eingangsleistung P_{in} gemessen. Die Deemphasis ist eingeschaltet. Mute = off.



- d) Die Messungen a) und b) werden mit eingeschalteter Deemphasis wiederholt. Der Normierungswert (0 dB) der Ausgangsspannung muss neu gesetzt werden.

Stellen Sie die Messwerte in je einer Graphik gemäss Fig. 19 für Deemphasis ein- und ausgeschaltet dar.

Bestimmen Sie aus den obigen Messungen:

		Deemphasis ON	Deemphasis OFF
-3dB-Begrenzungspegel	P_{in} [dBm]		
Empfindlichkeit für 40 dB S/N	P_{in} [dBm]		
Empfindlichkeit für 50 dB S/N	P_{in} [dBm]		
Maximal erreichbares S/N	dB		
Maximale AM-Unterdrückung	dB		
AM-Unterdrückung bei P_{in} für 40dB S/N	dB		

Tragen Sie diese Werte in den Graphen gemäss Fig. 19 ein.

- e) Messen Sie die S-Meter-Spannung an P6 (RSSI-Spannung, Received Signal Strength Indication) in Funktion der Eingangsleistung $P_{in} = -30$ dBm -130 dBm. Die Modulation des Signals hat keinen Einfluss und kann ein- oder ausgeschaltet sein. Stellen Sie die Messwerte in einer geeigneten Graphik und untenstehender Tabelle dar.

$U_{S-Meter}$ [V]	P_{in} [dBm]
1.50	
3.50	

- f) Messen Sie die NF-Ausgangsspannung und den Klirrfaktor in Funktion des Hubes $H = 0 \dots 100$ kHz. Eingangsleistung $P_{in} = -40$ dBm, $f_{mod} = 1$ kHz. Stellen Sie die Messwerte in geeigneten Graphen und untenstehender Tabelle dar.

	Deemphasis ON		Deemphasis OFF	
Hub [kHz]	U_{MPXout} [mV] RMS	Klirrfaktor k [%]	U_{MPXout} [mV] RMS	Klirrfaktor k [%]
40				
75				
100				

- g) Messen Sie den NF-Amplitudengang des Empfängers. Eingangsleistung $P_{in} = -40$ dBm, $H = 75$ kHz, $f_{mod} = 10$ Hz ...20 kHz, Audioanalyzer HP8903A/B: HP = off, LP = 30 kHz. Stellen Sie die Messwerte in einer Graphik mit logarithmischer Frequenzachse und Amplitudenachse in dB dar.
Deemphasis ON

Untere 3dB-Grenzfrequenz f_u [Hz]	Obere 3dB-Grenzfrequenz f_o [kHz]



- h) Zur Bestimmung der Spiegelfrequenzunterdrückung werden die für ein S/N von 20 dB notwendigen Eingangsleistungen P_{in} auf der Empfangsfrequenz und der Spiegelfrequenz gemessen. Die Differenz der beiden Pegel ist die gesuchte Spiegelfrequenzunterdrückung.
 $H = 75 \text{ kHz}$, $f_{mod} = 1 \text{ kHz}$, Audioanalyzer HP8903A/B: HP = 400 Hz, LP = 30 kHz.

Empfangsfrequenz	90.5 MHz	106.5 MHz
Spiegelfrequenz	MHz	MHz
Oszillatorfrequenz	MHz	MHz
Spiegelfrequenzunterdrückung	dB	dB

- i) Die Nachbarkanalselektion kann durch Aufnahme der ZF-Filterkurve beurteilt werden. Dies ist im verwendeten Messaufbau einfach möglich, wenn mit dem Spektrumanalyzer am Messpunkt „MP ZF out“ des Moduls ZF-Filter der Signalpegel in Funktion der Frequenz aufgezeichnet wird. Dabei beim Specanalyzer die Funktion TRACE > MAX HOLD verwendet wird und mit dem Signalgenerator in kleinen Frequenzschritten der darzustellende Frequenzbereich durchgestimmt wird. Empfänger eingestellt auf $f_e = 106.5 \text{ MHz}$.

Einstellung Signalgenerator: Pegel: Level -40 dBm, Modulation OFF
 Frequenz RF: Step 10 kHz, von 105.5 MHz bis 107.5 MHz
 mit Drehrad Frequenz durchsteppen.

Einstellung Specanalyzer: Grundeinstellung mit grüner Taste
 FREQ-Center: 10.7 MHz, SPAN: 2 MHz, AMPT: -10 dBm,
 Messbandbreite RBW: BW > RBW manuell > 30 kHz
 TRACE > MAX HOLD

Mit dem Delta-Cursor kann die 3dB-Bandbreite in der Graphik gemessen werden.

3dB-Bandbreite:	kHz
-----------------	-----

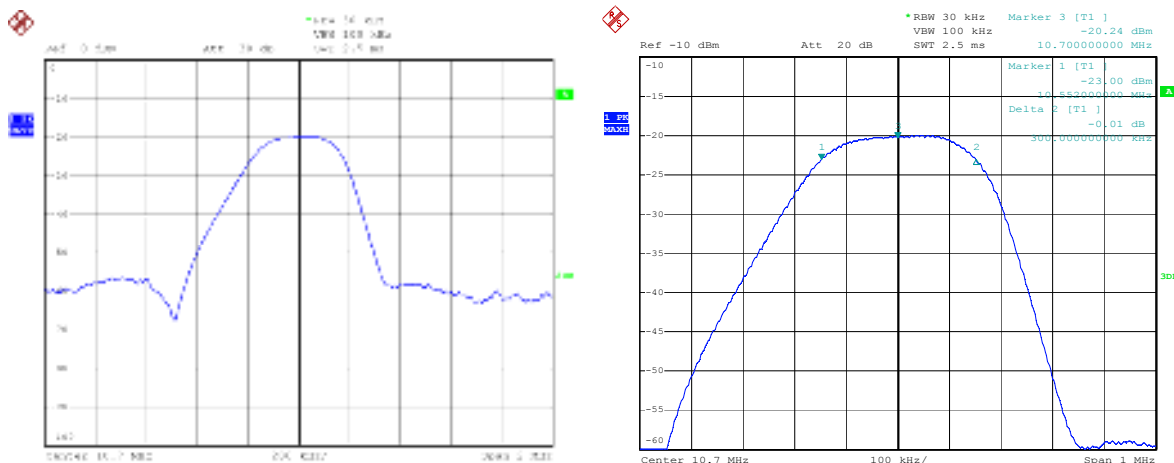


Fig. 20: ZF-Selektionskurve