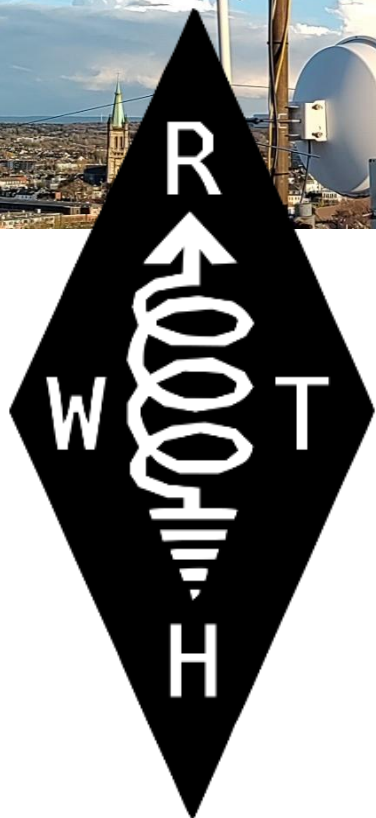




AFU-Kurs SS26

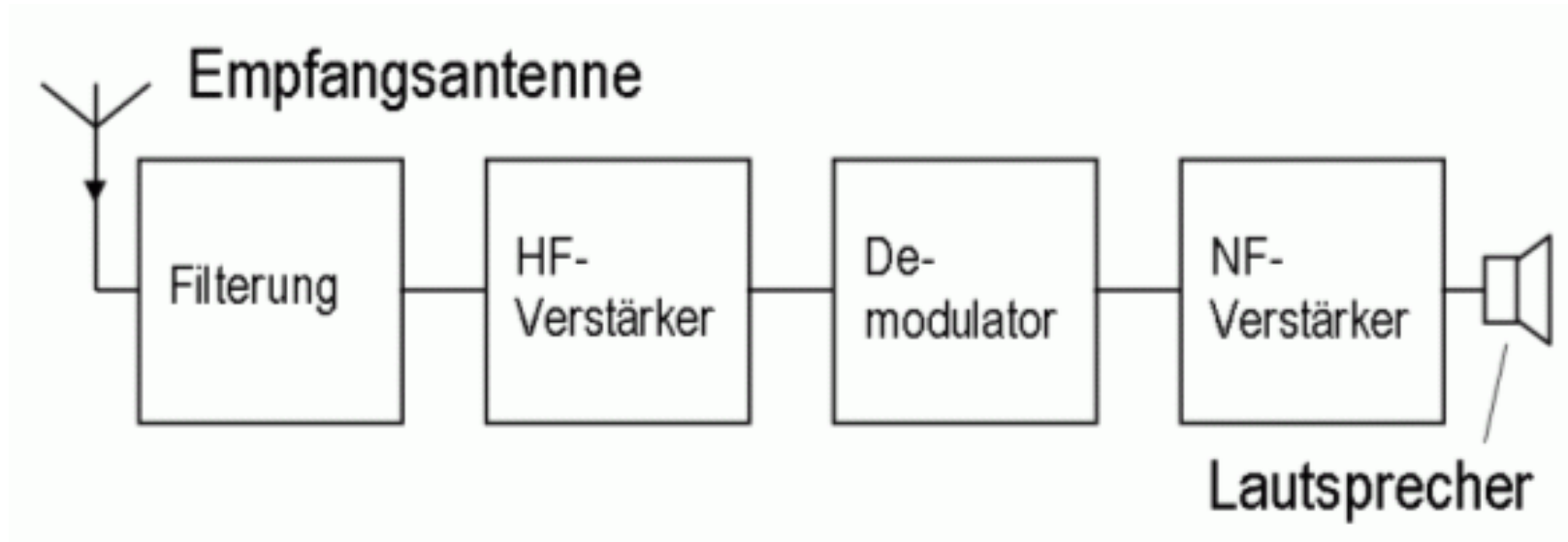
Termin 9

- **Empfänger**
- Sender





Einführung | Prinzip eines Empfängers

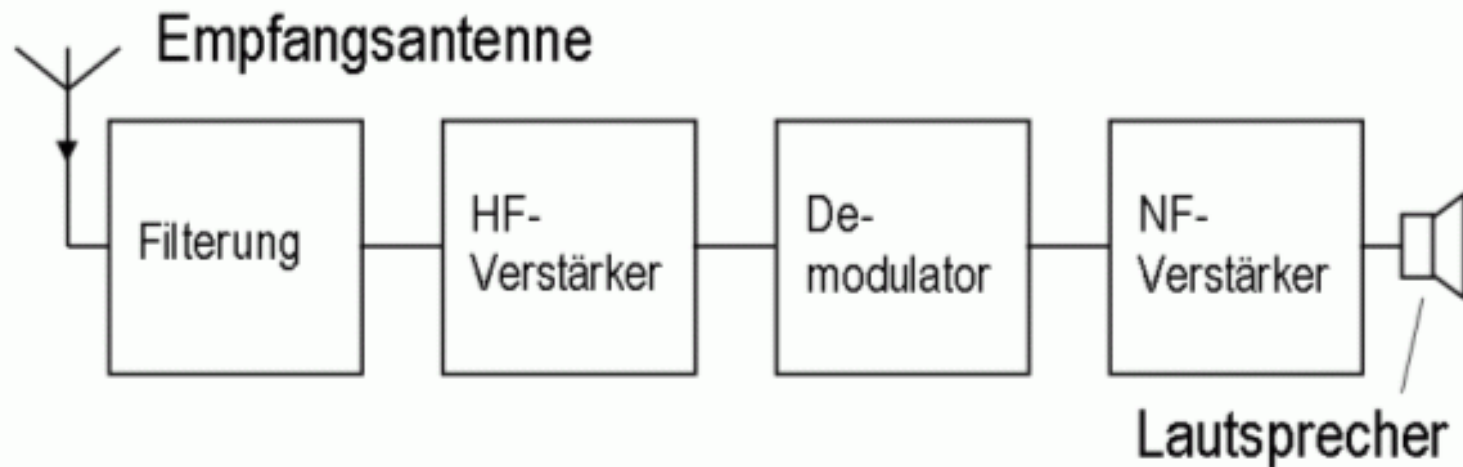
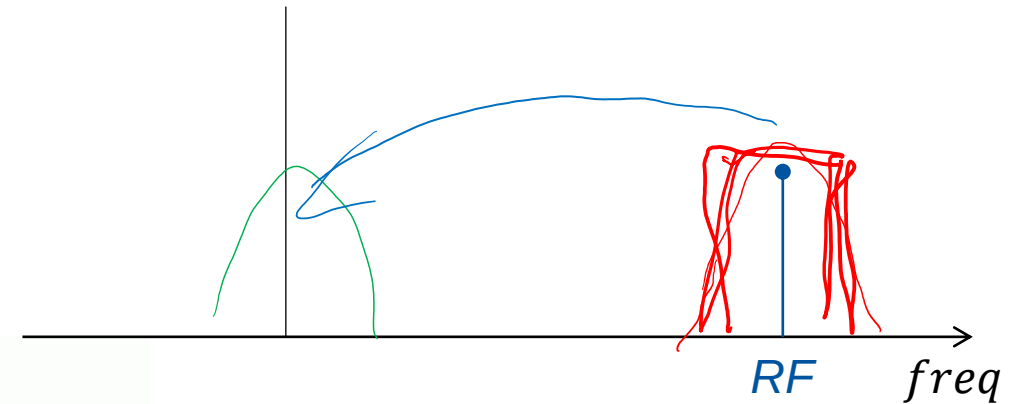




Empfängertypen | Geradeausempfänger



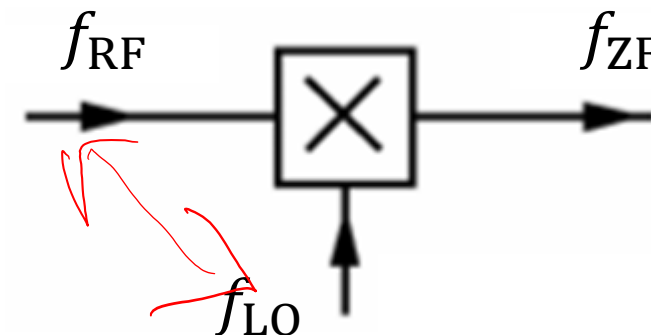
- „Homodyne Detektion“ (gleich-frequent)
- Nutzsignal hat am Demodulator die gleiche Frequenz wie an der Antenne
- ✗ Trennschärfe, durchstimbare Filter benötigt



Empfängertypen | Mischer

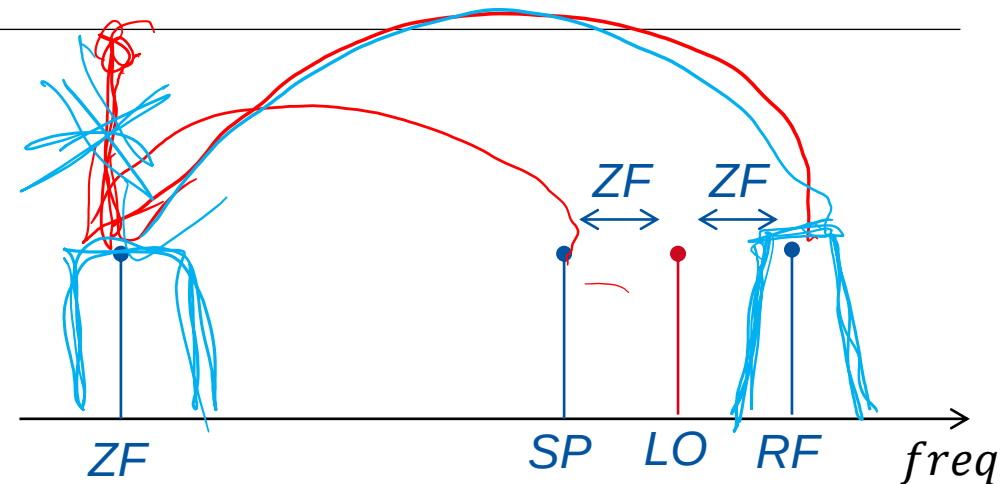
- Nichtlineares Bauteil
- Erzeugt „Mischfrequenzen“ aus Eingangssignalen
- Typische Downconversion im Empfangspfad
 1. Eingang: HF-Signal
 2. Eingang: Oszillator
- Zwei Ausgangsfrequenzen, ZF und Spiegelfrequenz:
 - $f_{osc} + f_{in}$
 - $f_{osc} - f_{in}$
- Unerwünschte Nebenprodukte: Oberwellen / „Harmonische“
- Ausgangssignale im Zeitbereich gemäß:

$$\cos(x) \cos(y) = \frac{1}{2} (\cos(x - y) + \cos(x + y))$$



Empfängertypen | Spiegelfrequenzen

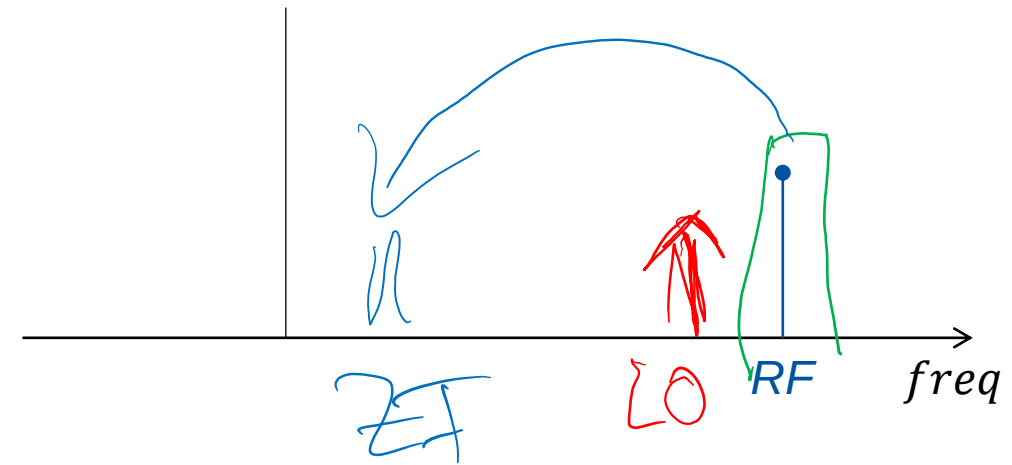
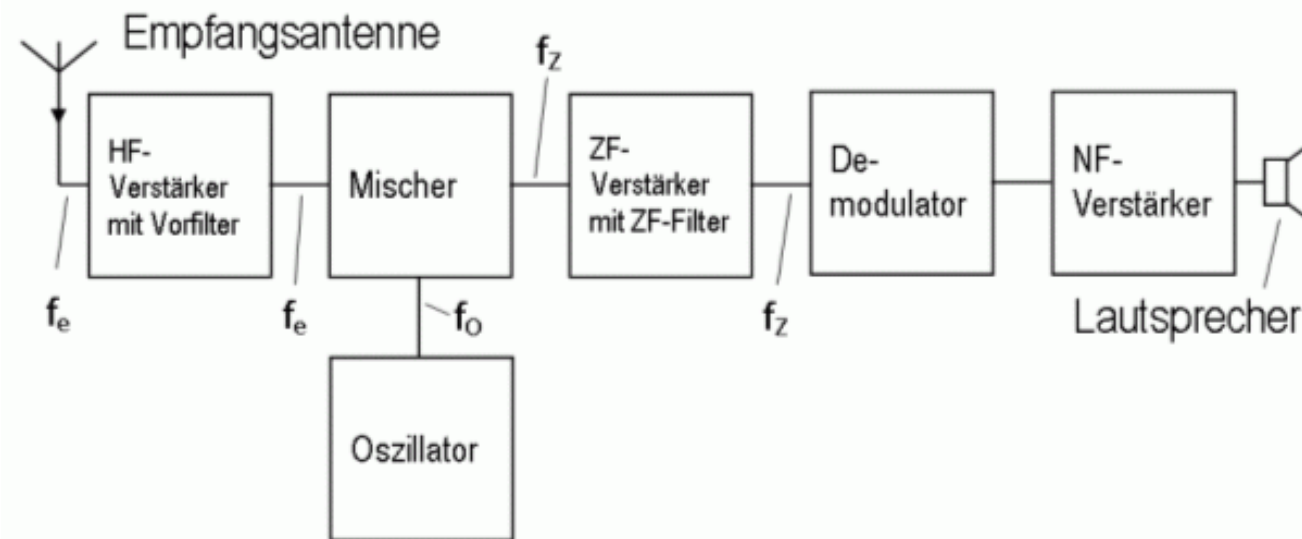
- Zweite HF-Frequenz, die auf dieselbe ZF gemischt wird und den Empfang stört
- Abstand zur Nutzfrequenz:
 $2 \cdot f_{ZF}$ (doppelte Zwischenfrequenz)
- Unterdrückung – zwei Hebel:
 - Vorselektion: abgestimmtes HF-Eingangsfiler vor dem Mischer
 - Hohe ZF $\rightarrow$ Spiegel liegt weiter weg $\rightarrow$ Filter trennt leichter
- Einsatz im Überlagerungsempfänger:
Nutze hohe 1. ZF gegen Spiegelfrequenzen



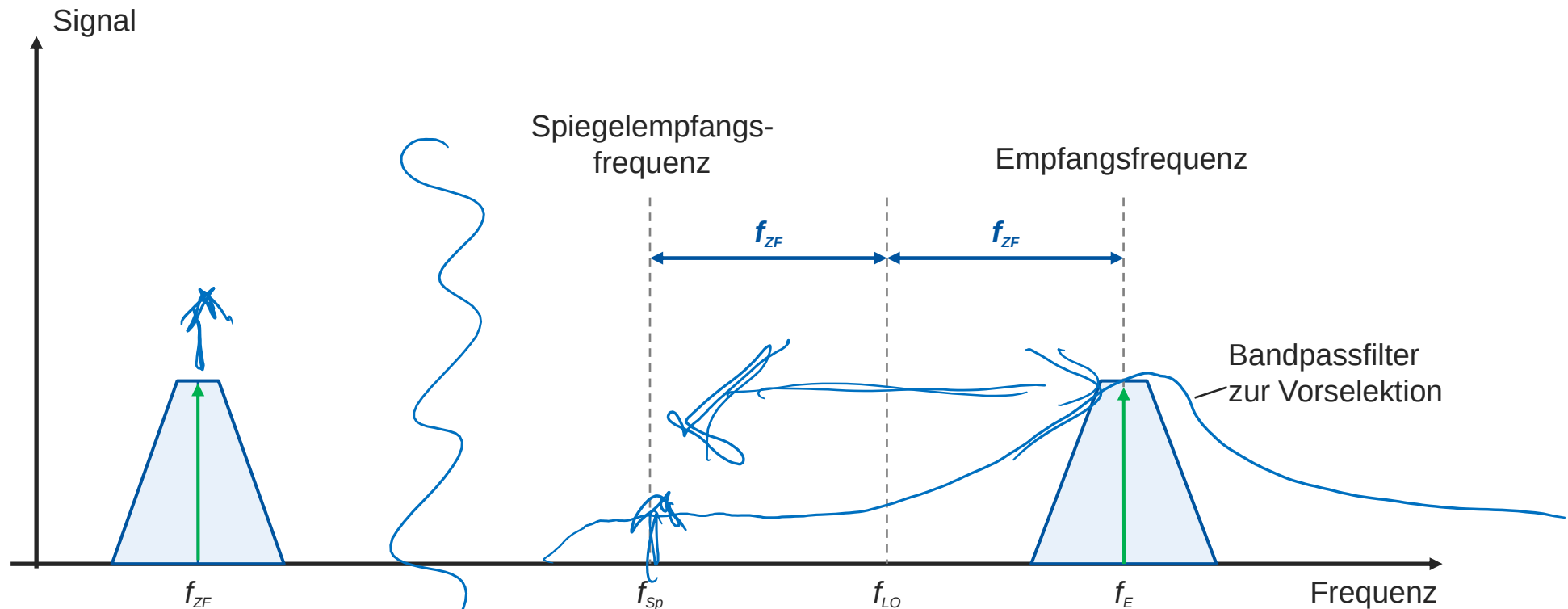
$$f_{sp} = f_E \pm 2 \cdot f_{ZF}$$

Empfängertypen | Überlagerungsempfänger (Superhet)

- auch „Einfachsuper“
- Nutzsignal wird vor Demodulation auf Zwischenfrequenz heruntorgemischt
- ✓ Zwischenfrequenzfilter mit fester Frequenz, gute Trennschärfe
- ✗ Spiegelfrequenzunterdrückung



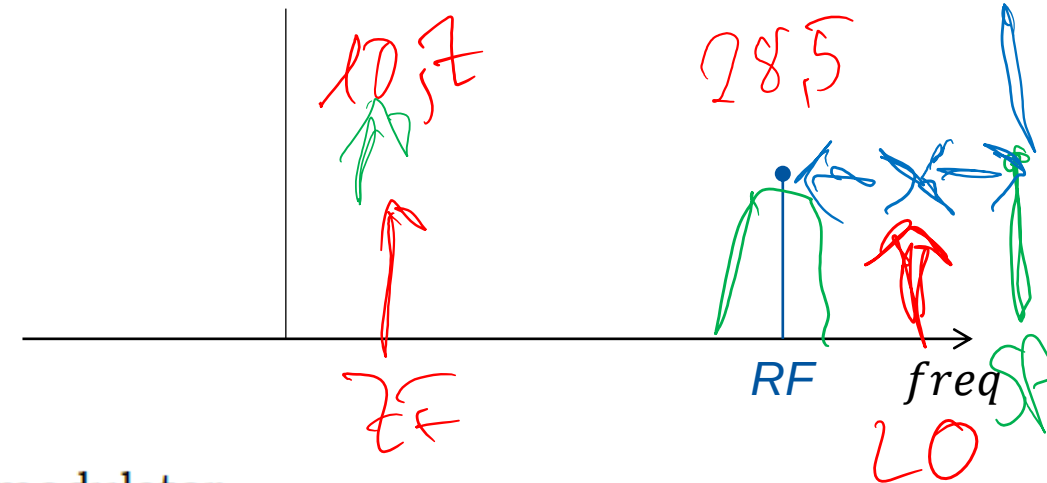
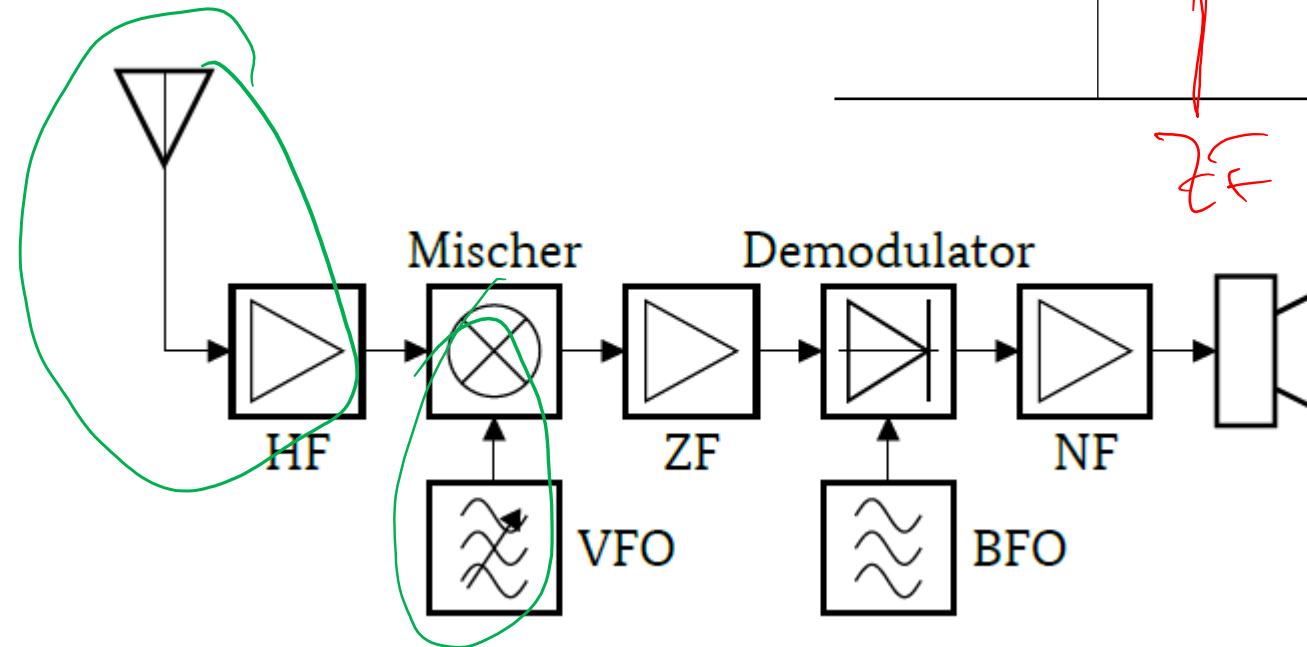
Empfängertypen | Überlagerungsempfänger (Superhet)



Empfängertypen | Überlagerungsempfänger (Superhet)

AF108: Ein Einfachsuper hat eine ZF von 10,7 MHz und ist auf 28,5 MHz abgestimmt. Der Oszillator des Empfängers schwingt oberhalb der Empfangsfrequenz. Welche Frequenz hat die Spiegelfrequenz?

- a) 17,8 MHz
- b) 39,2 MHz
- c) 48,9 MHz
- d) 49,9 MHz ✓



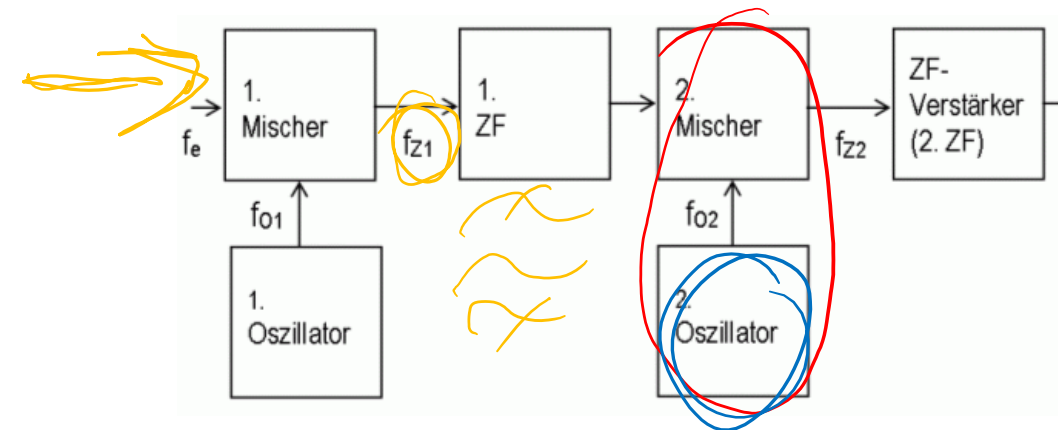


Empfängertypen | Zweifach-Überlagerungsempfänger „Doppelsuper“

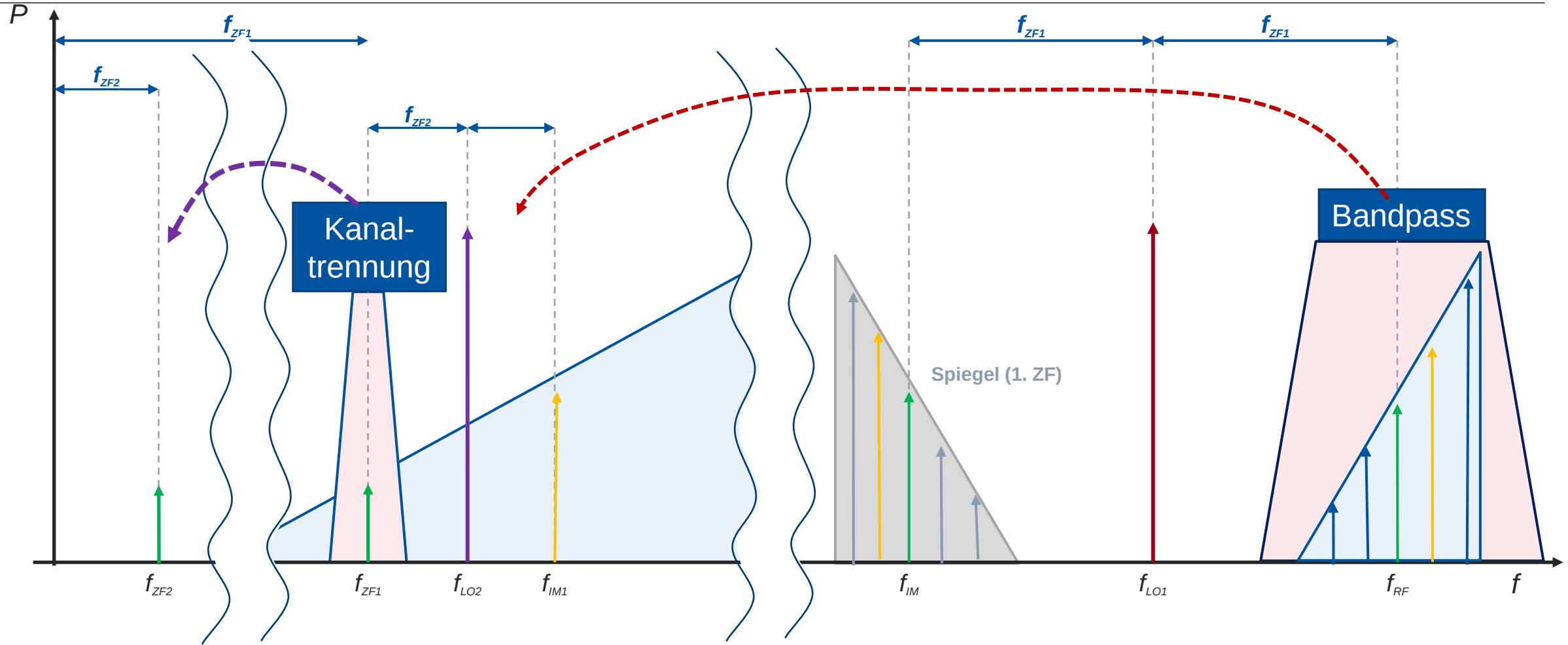


- **Zielsetzung** Spiegel und Trennschärfe gleichzeitig gut
- **Lösung** Zwei Mischerstufen
 - Hohe 1. ZF für gute Spiegelfrequenzunterdrückung
 - 1. Oszillator durchstimmbar (VFO)
 - Niedrige 2. ZF für hohe Trennschärfe
 - 2. Oszillator mit fester Frequenz (CO)

Aufgabenteilung
1. ZF hoch → Spiegel
2. ZF niedrig → Trennschärfe

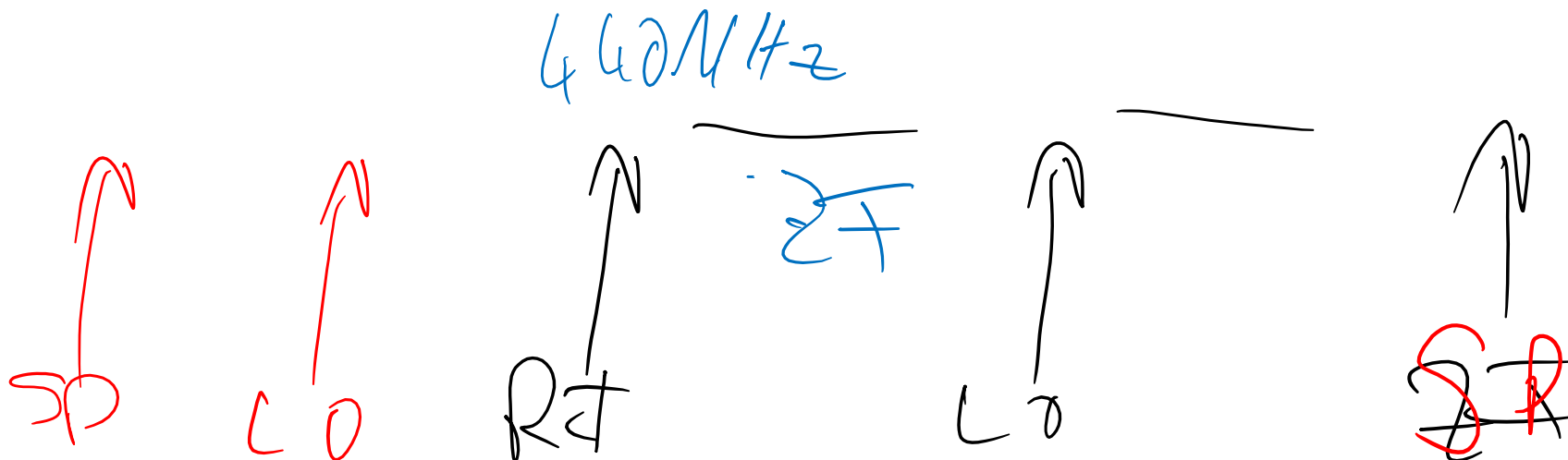


Empfängertypen | Zweifach-Überlagerungsempfänger „Doppelsuper“



AF112: Welche Aussage ist für einen Doppelsuper richtig?

- a) Das von der Antenne aufgenommene Signal bleibt bis zum Demodulator in seiner Frequenz erhalten.
- b) Mit einer niedrigen zweiten ZF erreicht man leicht eine gute Trennschärfe.
- c) Durch eine hohe erste ZF erreicht man leicht eine gute Trennschärfe.
- d) Durch eine niedrige zweite ZF erreicht man leicht eine gute Spiegelselektion.





Quizpause 1 | Mischer & Spiegelfrequenzen



Beantwortet live über partici.fi:

AF115 · AF106 · AF202

Themen: Mischprodukte, Spiegelfrequenz, Vorselektion

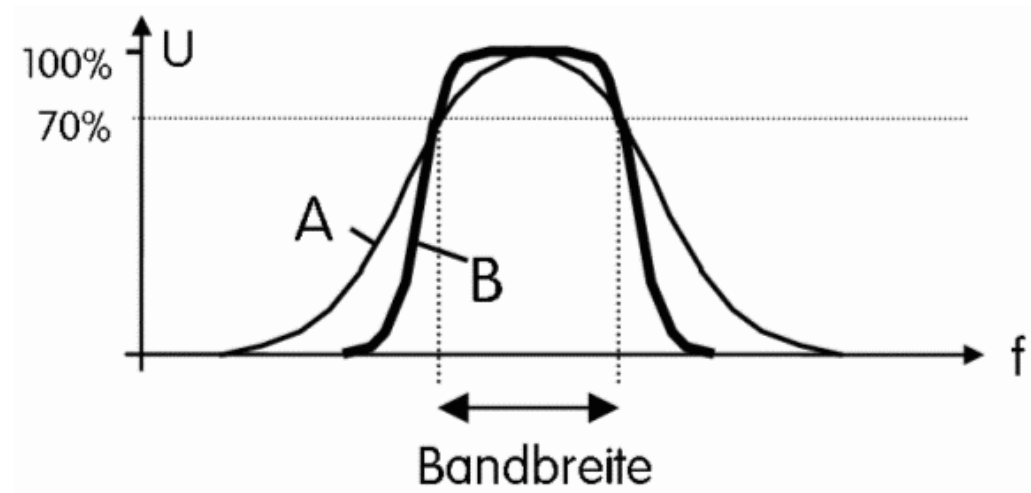
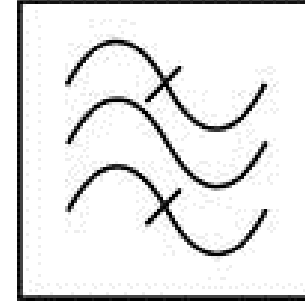


<https://partici.fi/85902783>

8590 2783



- Eingangsfiler: Filterung des gewünschten Bandes
 - Häufig ein Bandpass pro Band, der automatisch geschaltet wird
- Zwischenfrequenzfilter: Filterung des gewünschten Signals





Selektion | ZF Filterbandbreiten

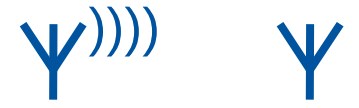


Betriebsart	Bandbreite
Hamnet OFDM	10 MHz
9600 baud FSK	20 kHz
1200 baud AFSK	12 kHz
FM Sprechfunk	12 kHz
AM Sprechfunk	6 kHz
SSB Sprechfunk	3 kHz
CW	500 Hz



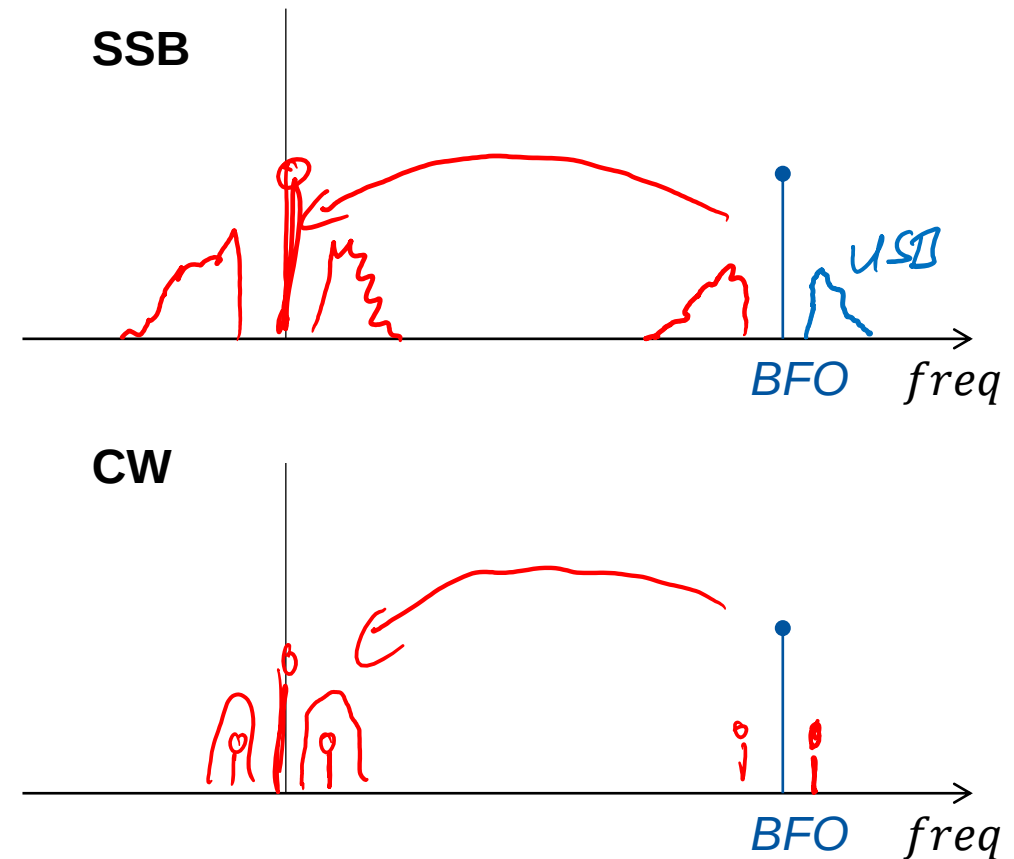


Selektion | BFO Schwebungssoszillator



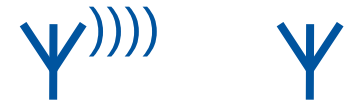
- BFO = Beat Frequency Oscillator
 - erzeugt einen Hilfsträger nahe der ZF
- Nötig für Betriebsarten ohne (eigenen) Träger – CW und SSB
 - SSB: BFO ersetzt den unterdrückten Träger im Produktdetektor
 - CW: BFO-Versatz erzeugt einen hörbaren Ton (ca. 600–800 Hz)
- Produktdetektor mischt ZF + BFO → hörbares NF-Signal

Merke
CW & SSB brauchen den BFO

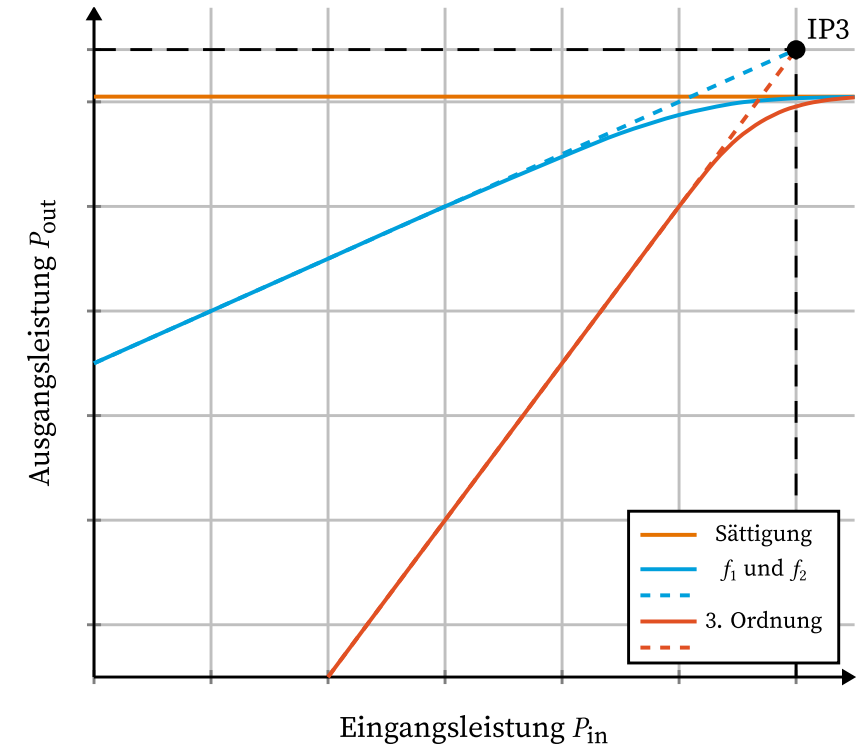




Selektion | Inter- und Kreuzmodulation



- Entstehen in nichtlinearen Stufen bei starken Signalen (Großsignal)
- Intermodulation
 - Mischprodukte 3. Ordnung ($2 \cdot f_1 - f_2$, $2 \cdot f_2 - f_1$) fallen nahe ins Nutzband
→ besonders störend
- Kreuzmodulation
 - Modulation eines starken Störers überträgt sich auf das Nutzsignal
- IP3 (Interceptpunkt 3. Ordnung)
 - Maß für Großsignalfestigkeit – je höher, desto besser
- Gegenmittel
 - Dämpfungsglied vor dem Empfänger



Gegenmittel
Dämpfungsglied
1 dB Dämpfung → IM3 -3 dB





Quizpause 2 | Signalselektion



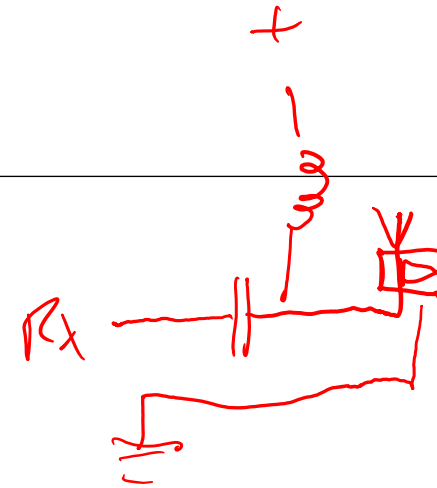
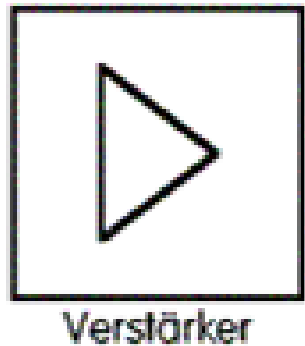
Beantwortet live über partici.fi:

AF217 · AF211 · AD803

Themen: Trennschärfe, Intermodulation, Dämpfungsglieder



- Verstärkt das hochfrequente Signal
- Erste Verstärkerstufe: LNA („Low Noise Amplifier“)
- Möglichst rauscharme Verstärkung
- Beeinflusst maßgeblich die Empfindlichkeit des Empfängers
- Sollte so nah wie möglich an der Antenne platziert werden, besonders bei Frequenzen > 30 MHz
- Kann durch starke Nachbarsignale übersteuert werden



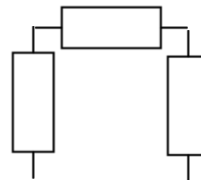
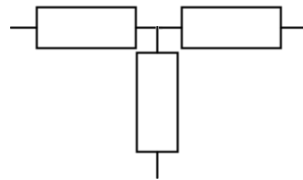


Pegel | Dämpfungsglieder

- definierte, frequenzunabhängige Pegelabsenkung
- Aufbau aus Widerständen als T-Glied oder Pi-Glied
 - Beidseitig auf 50 Ω angepasst

$$A = 20 \times \log \frac{U_{\text{ein}}}{U_{\text{aus}}} = 10 \times \log \frac{P_{\text{ein}}}{P_{\text{aus}}} \quad \text{in dB}$$

- Dämpfungsglieder lassen sich kaskadieren



Log	Leistungs-verhältnis	Spannungs-verhältnis
30 dB	1000	
23 dB	200	
20 dB	100	
10 dB	10	
6 dB	4	
5 dB	1/10	
4 dB	10/4	$\sqrt{10/4}$
3 dB	2	$\sqrt{2}$
0 dB	1	$\sqrt{1}$
-3 dB	1/2	
-6 dB	1/4	
-10 dB	1/10	
-20 dB	1/100	



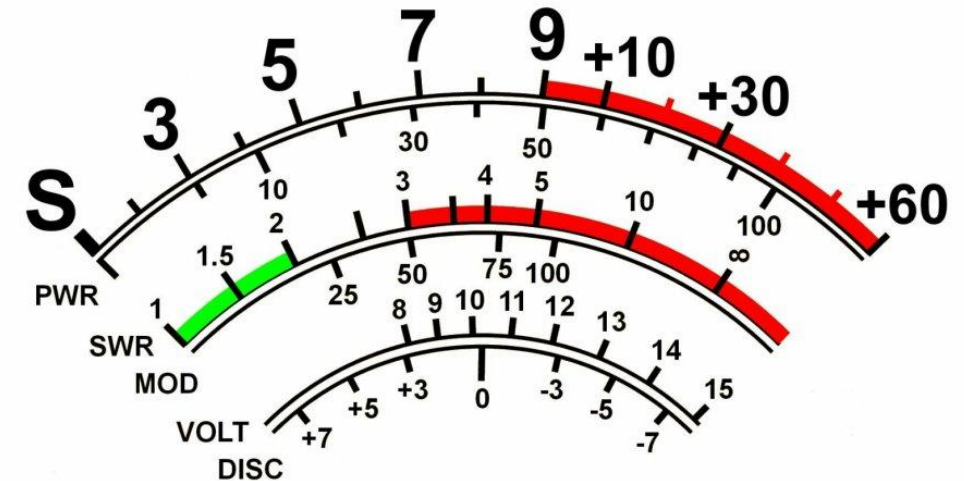


Pegel | S-Meter



- Zeigt die Empfangsfeldstärke in S-Stufen an
 - (S1 ... S9, darüber „S9 + xx dB“)
- 1 S-Stufe = 6 dB → doppelte Spannung, vierfache Leistung
- Bezugspunkt S9 auf Kurzwelle: 50 μ V an 50 Ω
- Auf UKW/VHF ist S9 = 5 μ V (20 dB empfindlicher)

Merkwerte
1 S-Stufe = 6 dB
S9 = 50 μ V (KW)
S9 = 5 μ V (UKW)





Pegel | Signal-Rausch-Verhältnis & Rauschzahl



- SNR (Signal-to-Noise Ratio)
 - Verhältnis von Nutzsignal zu Rauschen (in dB)
 - je größer, desto besser
- Rauschzahl F
 - Maß dafür, wie stark eine Stufe das SNR verschlechtert
- Rauschmaß
 - $NF = 10 \cdot \log(F)$ in dB
- Die erste Stufe bestimmt die Gesamttausczahl

Rauschzahl

$$F = \text{SNR}_{\text{ein}} / \text{SNR}_{\text{aus}}$$
$$NF = 10 \cdot \log F$$

Friis'sche Formel für Kaskaden

Gesamtrauschen

Rauschzahl 1. Stufe

Rauschzahl 2. Stufe
Kompensiert durch Gewinn 1. Stufe

Rauschzahl n.te Stufe
Kompensiert durch Gewinn
aller vorherigen Stufen

$$F_{\text{ges}} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_{n-1}}$$

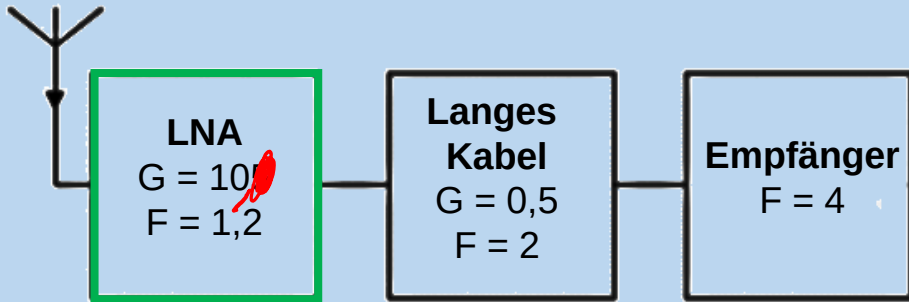




Pegel | Signal-Rausch-Verhältnis & Rauschzahl



Wir nehmen uns...



Ohne LNA

$$F_{\text{ges}} = 2 + \frac{4 - 1}{0,5} = 2 + \frac{3}{0,5} = 2 + 6 = 8$$



Mit LNA

$$F_{\text{ges}} = 1,2 + \frac{2 - 1}{10} + \dots \approx 1,2 + 0,1 = 1,3$$





Quizpause 3 | Pegel



Beantwortet live über partici.fi:

AF101 · EF218 · AF230

Themen: S-Stufen, Verstärker, Pegelplan



<https://partici.fi/85902783>

8590 2783





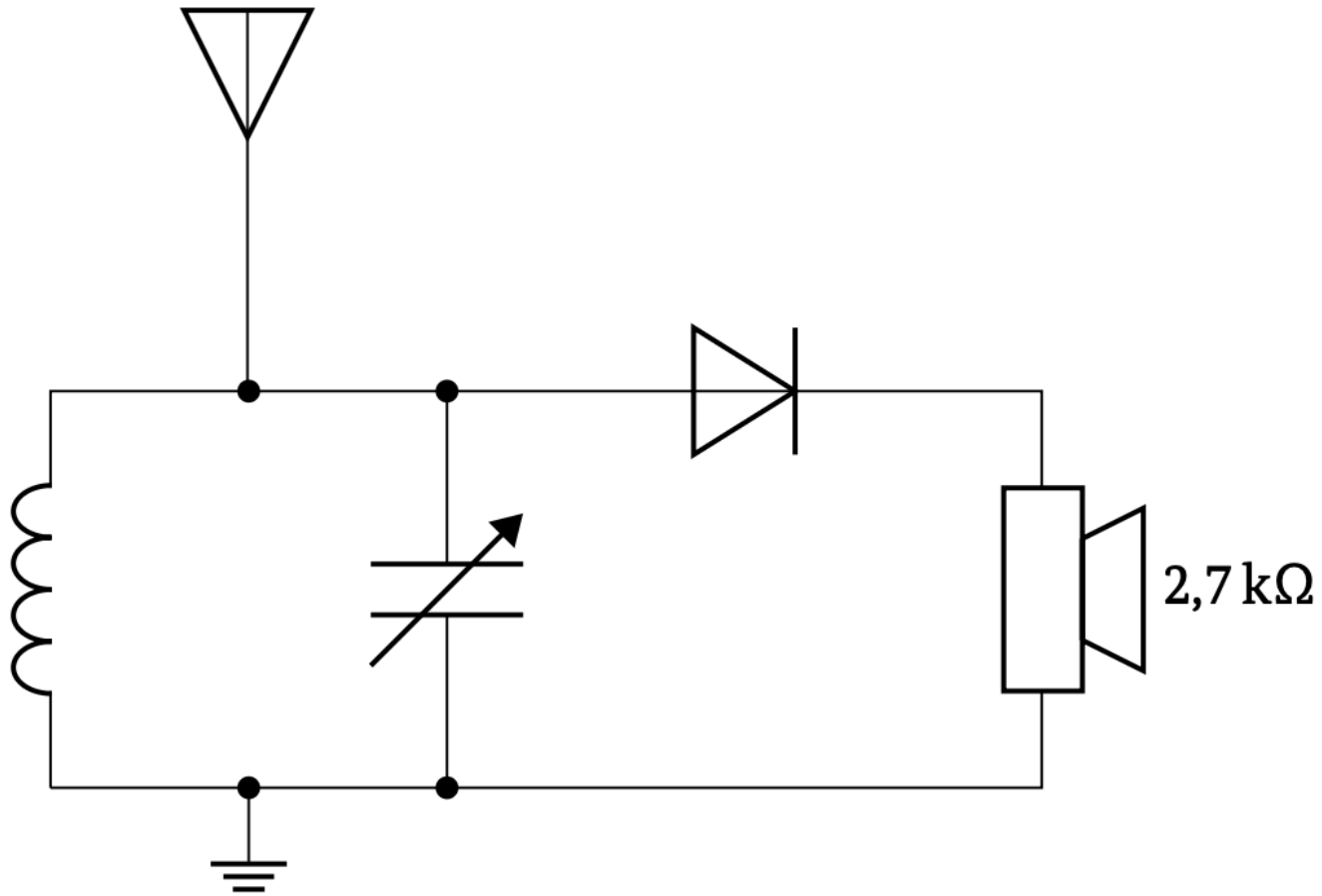
Demodulatoren | Überblick



- Gewinnt die NF aus dem modulierten ZF-Signal
- AM
 - Hüllkurvendemodulator (Diode + RC) folgt der Hüllkurve
- FM
 - Diskriminator bzw. PLL wandelt Frequenz- in Spannungsänderung
- SSB / CW
 - Produktdetektor mischt ZF mit dem BFO-Hilfsträger

Zuordnung
AM → Hüllkurve
FM → Diskriminator
SSB → Produktdetektor

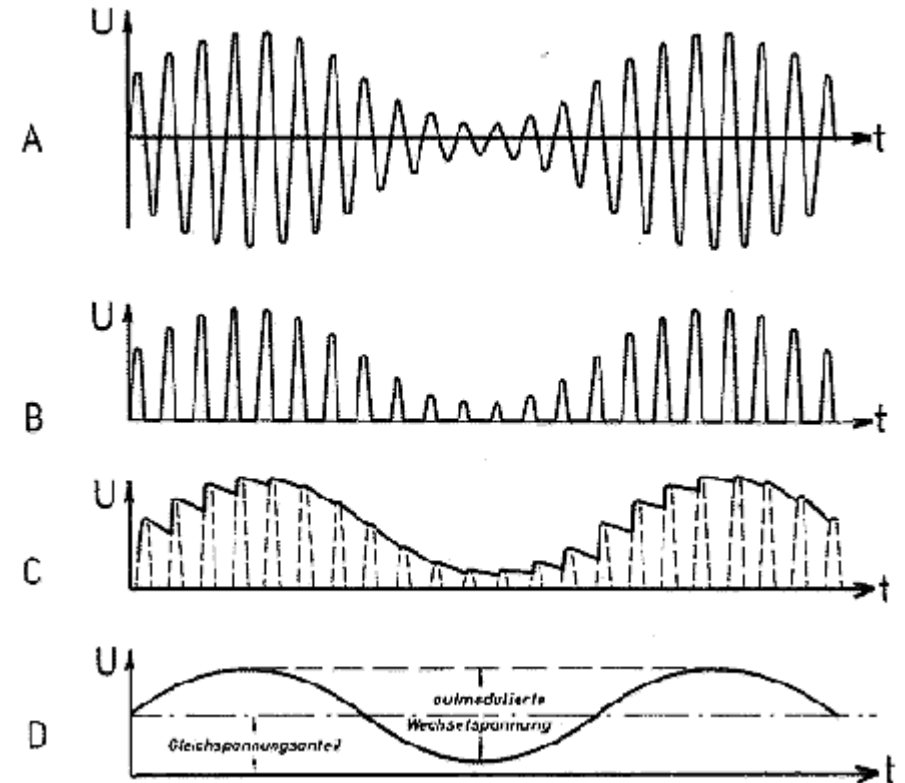
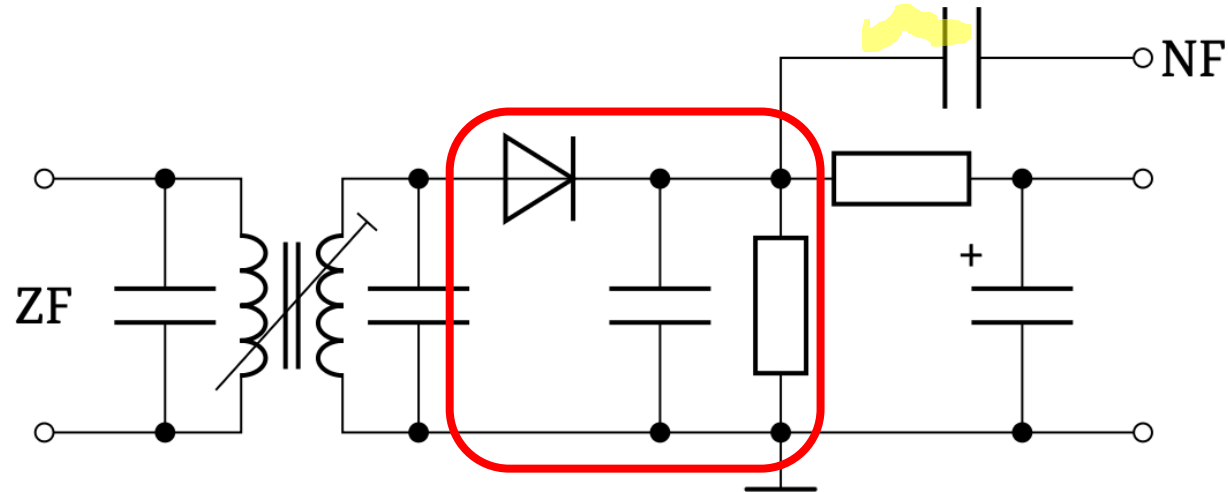
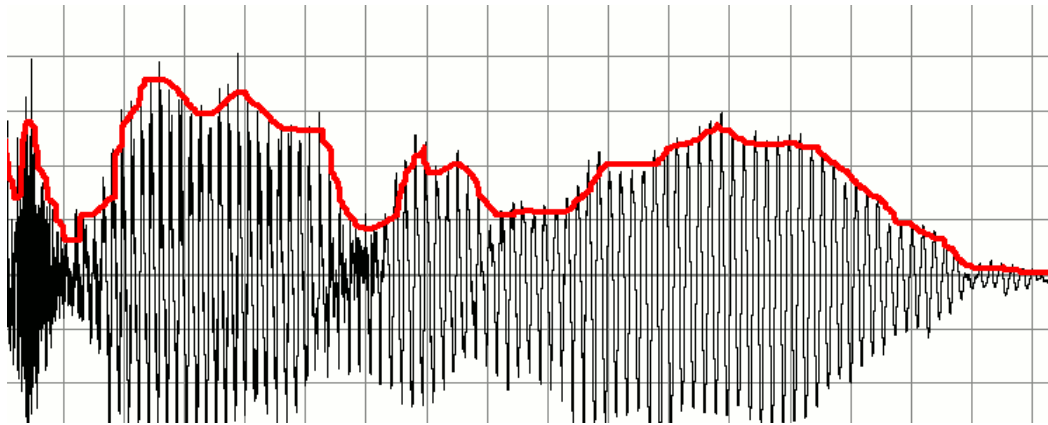




Wikipedia (Joe Haupt)

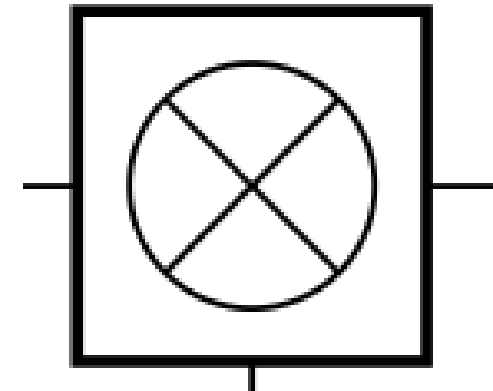
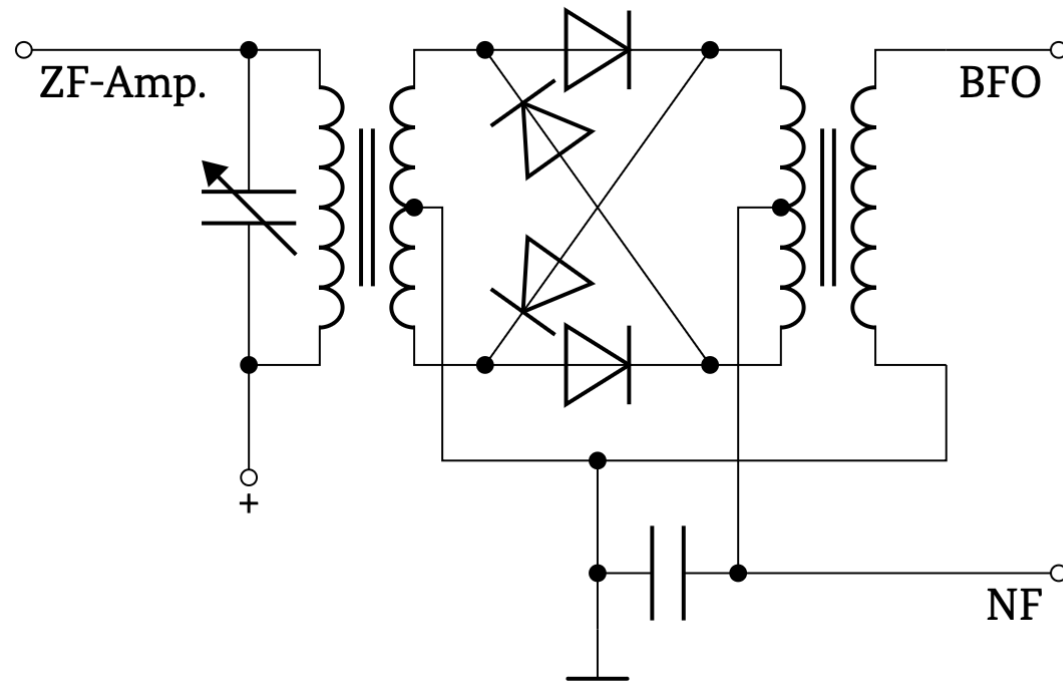
- Vollkommen passiv
- Bandpass und Gleichrichtung

Hüllkurvendemodulator (AM)





Produktdetektor (AM/SSB)

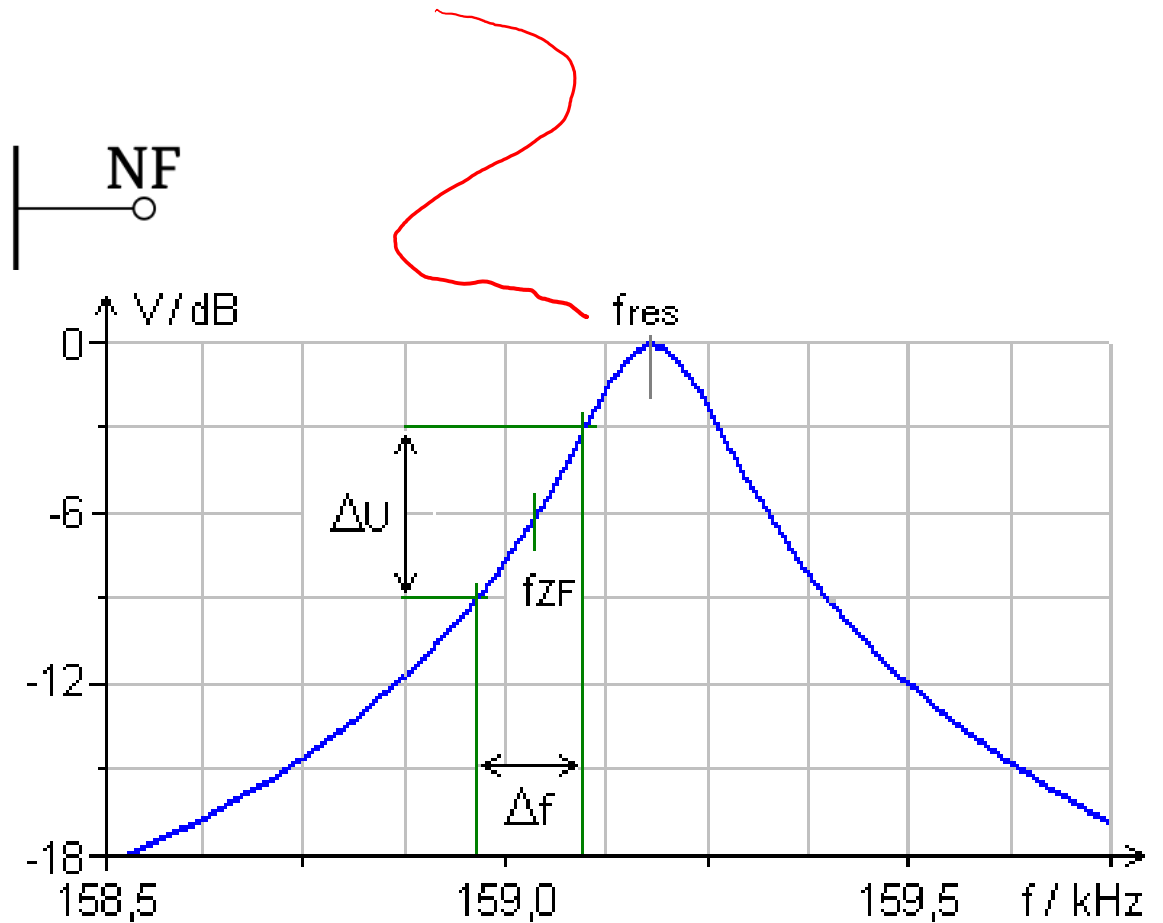
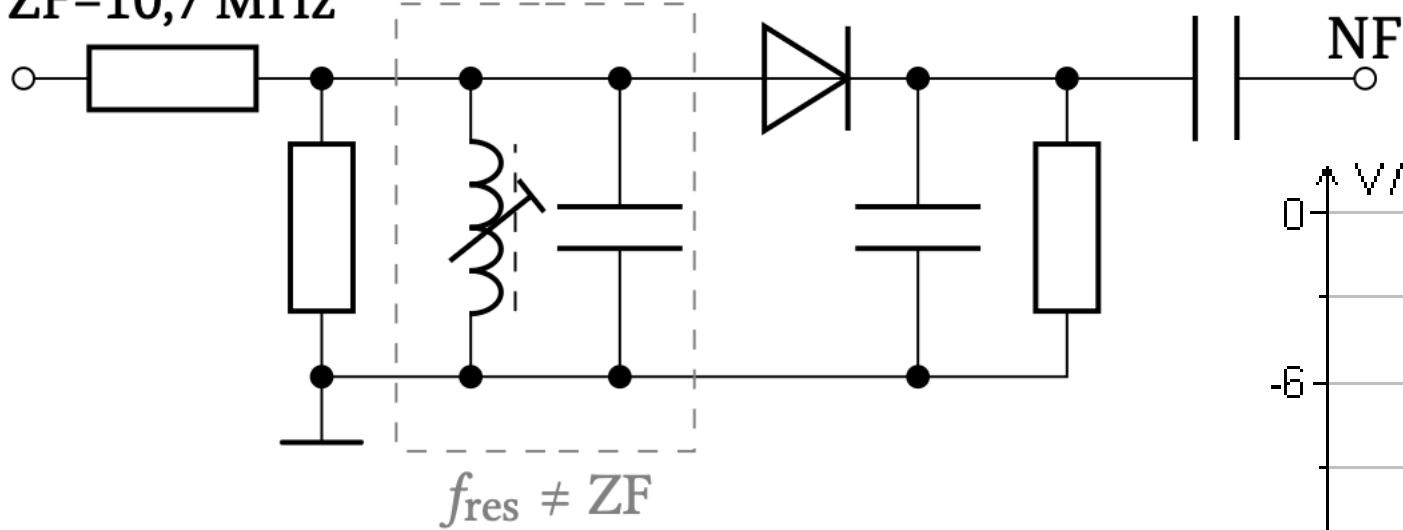




Flankendiskriminator (FM)



ZF=10,7 MHz

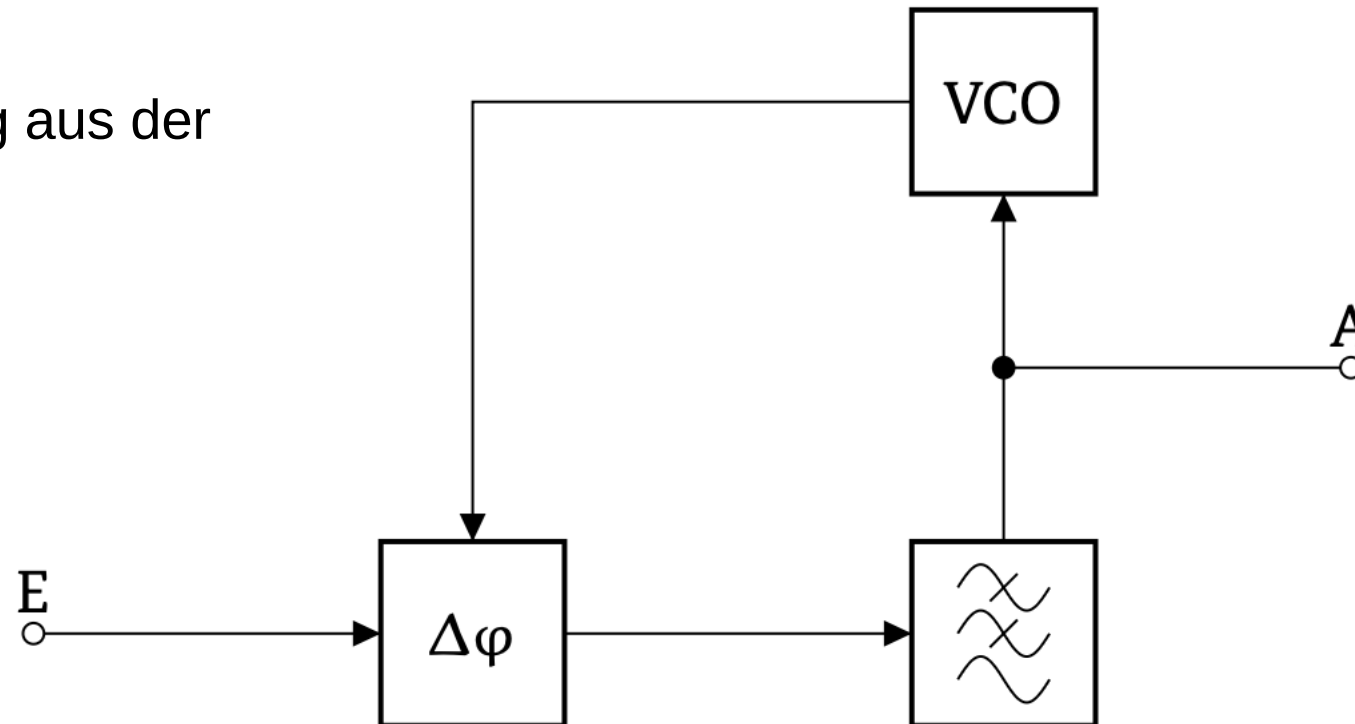




PLL FM Demodulator



VCO Regelspannung aus der
PLL als NF Signal





Quizpause 4 | Demodulatoren

Beantwortet live über partici.fi:

AD501 · AD504

Themen: Demodulatoren



<https://partici.fi/85902783>

8590 2783

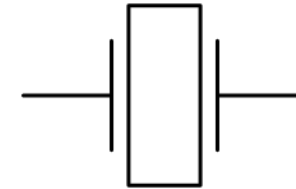




Frequenzaufbereitung | Oszillator



- Erzeugt ein HF-Signal mit möglichst **genauer** und **stabiler** Frequenz
- Verschiedene Ausführungen:
 - **CO (auch XO)**: Crystal Oscillator (XTAL)
 - TCXO: Temperature Compensated Crystal Oscillator
 - OCXO: Oven Controlled Crystal Oscillator
 - **VFO**: Variable Frequency Oscillator
 - VCO: Voltage Controller Oscillator
 - **BFO**: Beat Frequency Oscillator





Frequenzaufbereitung | Frequenzgenauigkeit



- Frequenzgenauigkeit wird in ppm (parts per million) angegeben
- Absolute Abweichung

$$\Delta f = f \cdot ppm / 10^6$$

- Temperatur und Alterung des Quarzoszillators
- TCXO (temperaturkompensiert): ~1–2 ppm
- OCXO Quarzofen: ~0,01–0,1 ppm

Beispiel

$$\begin{aligned} \Delta f &= f \cdot ppm / 10^6 \\ 145 \text{ MHz} \cdot 10 \text{ ppm} \\ &= 1450 \text{ Hz} \end{aligned}$$





Frequenzaufbereitung | Frequenzmessung

- Frequenzzähler zählt die Schwingungen innerhalb einer festen Torzeit
- Torzeit bestimmt die Auflösung: 1 s Torzeit $\rightarrow$ 1 Hz Auflösung
- Genauigkeit hängt am Referenzoszillator (Quarz, DCF77- oder GPS-diszipliniert)
- Unsicherheit ± 1 Digit in der letzten angezeigten Stelle
 - Alternative: Zero-Beat (Schwebung null) gegen ein Referenzsignal

Auflösung
Torzeit 1 s $\rightarrow$ 1 Hz
 ± 1 Digit





Quizpause 5 | Frequenzaufbereitung



Beantwortet live über partici.fi:

AF216 · AI506 · AF621

Themen: Oszillatoren, Jitter, Auflösung



<https://partici.fi/85902783>

8590 2783





Abschluss



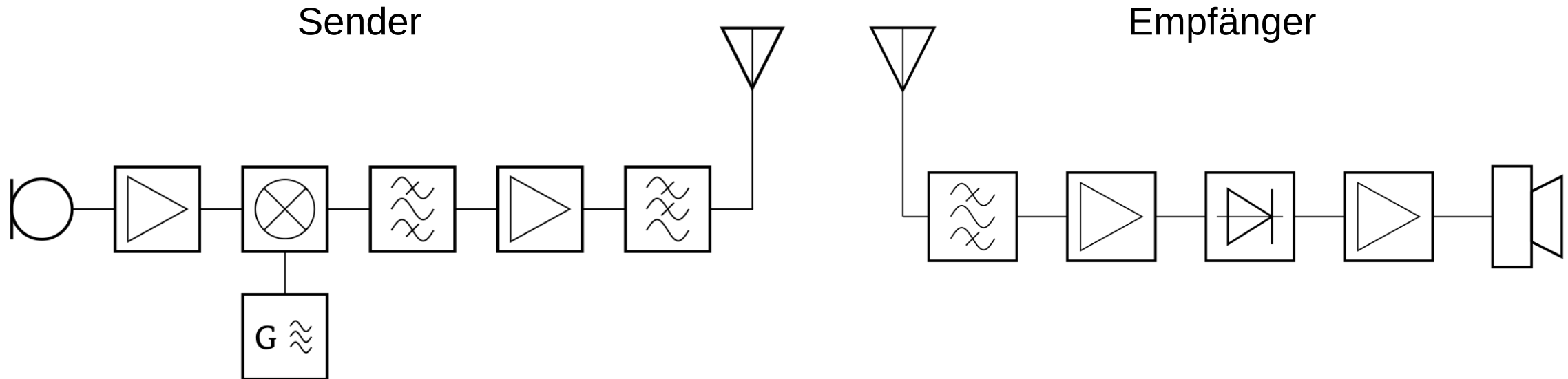
Weitere Baugruppen

- AGC: automatische Verstärkungsregelung
→ konstante Lautstärke
- Squelch
Rauschsperr, gibt NF erst ab definierter Feldstärke frei
- Begrenzerverstärker
begrenzt die Amplitude vor dem FM-Demodulator
- LNB
rauscharmer Konverter (SHF/Sat), setzt das Empfangsband herab
- BFO
liefert den Hilfsträger für CW und SSB





Übersicht



Mehr zu Sendern & Empfängern in Termin 9



**Vielen Dank
für Eure Aufmerksamkeit**

