

AfuTUB-Kurs

Technik Klasse A 18: Gerätetechnik

DK0TU
Amateurfunkgruppe der TU Berlin

<https://dk0tu.de>

WiSe 2017/18 – SoSe 2018



This work is licensed under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License*.

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DKØTU, Stand: Mon Jul 9 13:32:11 2018 +0200

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

Überblick

Themen aus dem Kapitel *E15 - Sender- und Empfängertechnik* werden hier weiterführend behandelt.

Woraus bestehen Sender und Empfänger und welche Haupteigenschaften fallen euch ein?

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

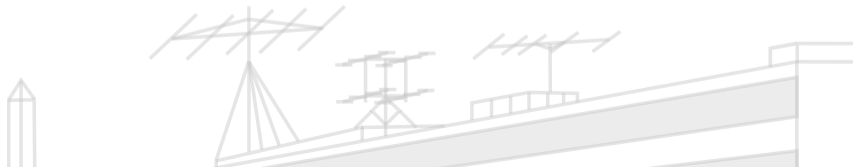
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

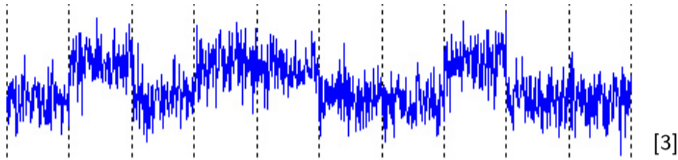
Großsignalfestigkeit

Transceiver

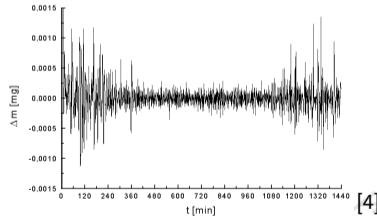
Referenzen



Wiederholung SNR



Empfangenes Signal von 0101100100 mit einem SNR von 3dB



Aufnahme einer Thermogravimetrischen Analyse mit schlechter Isolierung; nachts ist weniger Rauschen

Empfindlichkeit

Empfindlichkeit gibt an, wie stark das Eingangssignal sein muss, um über dem thermischen Eigenrauschen zu liegen.

Einfacher: Fähigkeit des Empfängers, schwache Signale zu empfangen.

Wahrnehmungsschwelle des menschlichen Ohrs bei ca. 6dB
Sprache ist ab etwa 10dB wahrnehmbar

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

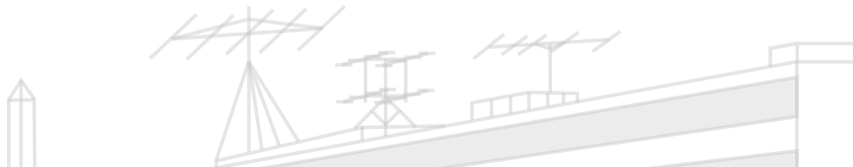
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



Empfindlichkeit

Rauschleistung (Formelsammlung)

$$P_R = k \cdot T_K \cdot B$$

mit k : Boltzmann-Konstante, T_K : Temperatur in Kelvin, B : Bandbreite

Die Leistung eines gleichmäßig über einen Frequenzbereich verteilten Rauschens ist proportional zur Bandbreite!

Wie verhält sich bei sonst gleich bleibenden Bedingungen die Rauschleistung nach Umschaltung von SSB auf CW?

Empfindlichkeit

Rauschleistung (Formelsammlung)

$$P_R = k \cdot T_K \cdot B$$

mit k : Boltzmann-Konstante, T_K : Temperatur in Kelvin, B : Bandbreite

Die Leistung eines gleichmäßig über einen Frequenzbereich verteilten Rauschens ist proportional zur Bandbreite!

Wie verhält sich bei sonst gleich bleibenden Bedingungen die Rauschleistung nach Umschaltung von SSB auf CW?

$$\frac{2,5\text{kHz}}{0,5\text{kHz}} \approx \frac{1}{5}$$

Rauschzahl

Jedes Gerät produziert Eigenrauschen. Die Rauschzahl F (noise figure) ist der Faktor, um den die theoretischen Rauschformeln gerätespezifisch erweitert werden.

Angaben sind als Faktor oder in dB möglich.

Beispiele

$F = 1,8dB \rightarrow$ am Ausgang $1,8dB$ geringeres SNR als am Eingang

$F = 2 \rightarrow$ am Ausgang ? SNR als am Eingang

Rauschzahl

Jedes Gerät produziert Eigenrauschen. Die Rauschzahl F (noise figure) ist der Faktor, um den die theoretischen Rauschformeln gerätespezifisch erweitert werden.

Angaben sind als Faktor oder in dB möglich.

Beispiele

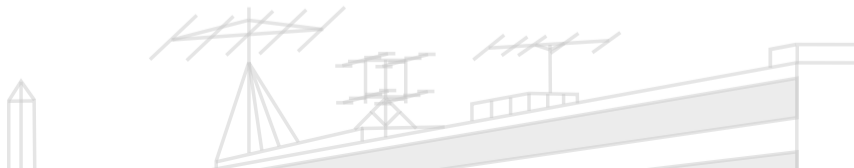
$F = 1,8dB \rightarrow$ am Ausgang $1,8dB$ geringeres SNR als am Eingang

$F = 2 \rightarrow$ am Ausgang $3dB$ geringeres SNR als am Eingang

Rauschzahl

Für Kurzwelle und niedrigere Frequenzen spielt die Rauschzahl keine Rolle, da QRN und QRM das SNR bestimmen.

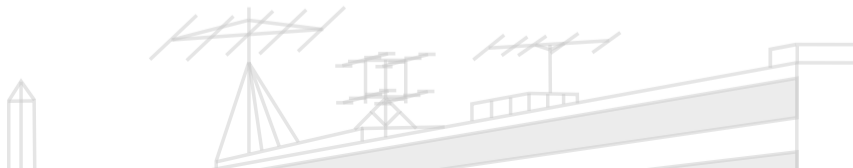
Empfindlichkeiten werden bei HF z.B. mit $0,25\mu V$ Eingangsspannung für $S/N = 10dB$ angegeben.



Rauschzahl

VHF/UHF-Vorverstärker möglichst direkt an der Antenne. Warum?

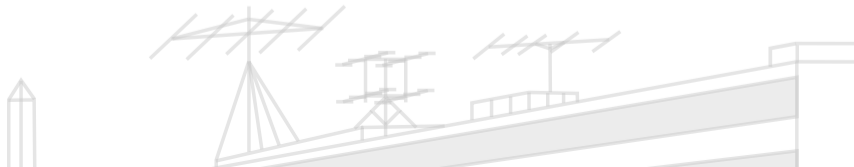
Empfindlichkeit kann auch durch starke HF-Signale auf einer nahen Frequenz beeinträchtigt werden → Selektivität.



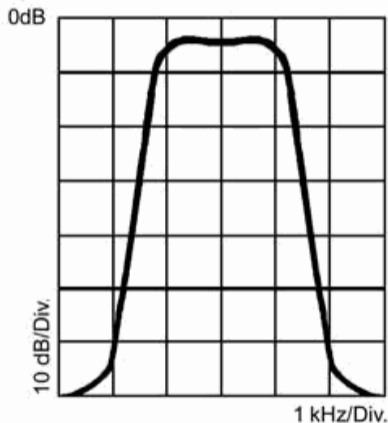
Rauschzahl

VHF/UHF-Vorverstärker möglichst direkt an der Antenne. Warum?
Ursache: (Langes) Kabel zwischen Antenne und Empfängereingang verschlechtert die Rauschzahl mit seiner Dämpfung

Empfindlichkeit kann auch durch starke HF-Signale auf einer nahen Frequenz beeinträchtigt werden → Selektivität.



Selektivität



Fähigkeit, Signale mit steilen Filterflanken zu selektieren. Deshalb auch: Trennschärfe.

Grenzbandbreite bei -60 dB? Für welche Signale geeignet?

TF410-411

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

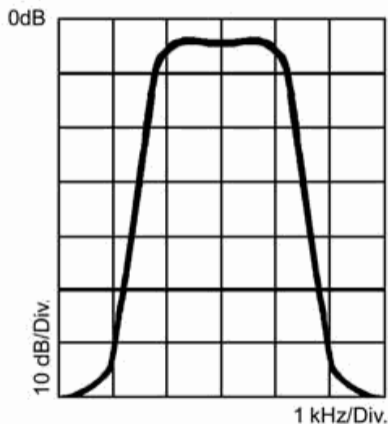
Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

Selektivität



Fähigkeit, Signale mit steilen Filterflanken zu selektieren. Deshalb auch: Trennschärfe.

Grenzbandbreite bei -60 dB? Für welche Signale geeignet?

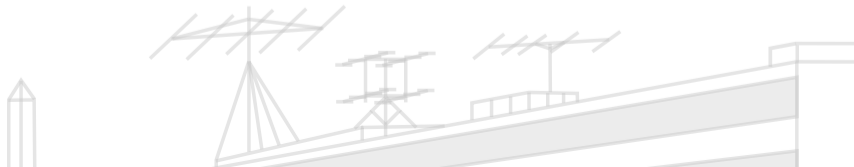
4 kHz, SSB

TF410-411

Selektivität

Für einen steilen und schmalen Bandpass eignen sich am besten Quarzkristalle.

Welche Filterbandbreiten würdet ihr für J3E, F1B (RTTY Shift 170 Hz), F3E nutzen?



Selektivität

Für einen steilen und schmalen Bandpass eignen sich am besten Quarzkristalle.

Welche Filterbandbreiten würdet ihr für J3E, F1B (RTTY Shift 170 Hz), F3E nutzen?

J3E 2,2 kHz

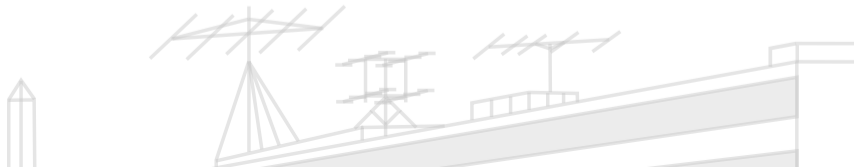
F1B 500 Hz

F3E 12 kHz

AGC

Automatic Gain Control (AGC) sorgt für konstante NF auch bei schwankendem HF-Eingang.

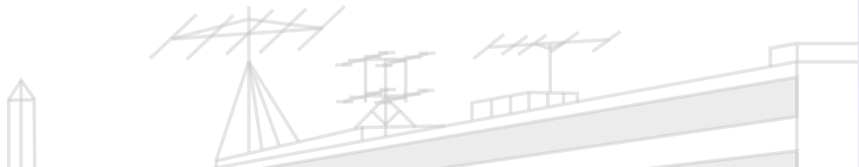
→ Bei starkem Eingangssignal wird die Verstärkung der HF- und ZF-Stufen reduziert.



Squelch

Steuert die ZF- oder NF-Signale, um Grundrauschen auszublenden.

Einstellung des Levels etwas über den Rauschen und unterhalb des erwarteten Eingangssignals.



Störungsverminderung

Es werden kurz Beispiele zur Störungsverminderung angerissen.

Prüfungsrelevant ist lediglich der Notchfilter.

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

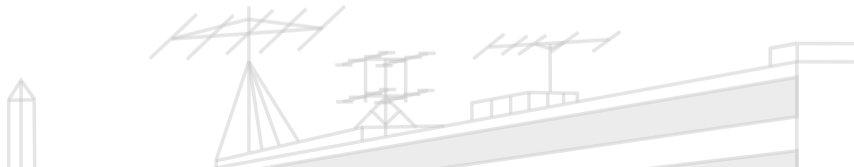
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

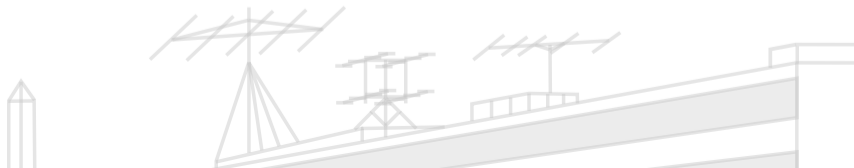
Referenzen



Passband-Tuning

Durch IF/ZF-Shift wird die Filterkurve soweit verschoben, dass das Störsignal ausgeblendet wird.

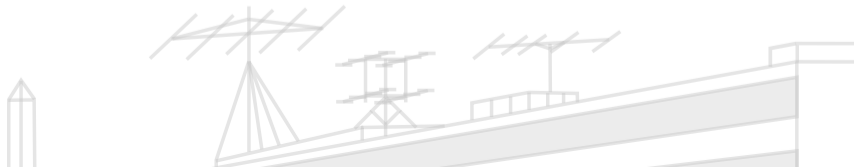
Beispiel: \Rightarrow Passband Tuning vs. IF Shift



Bandwidth-Tuning

Übereinanderschieben von steiflankigen Filtern, sodass der Durchlassbereich kleiner wird.

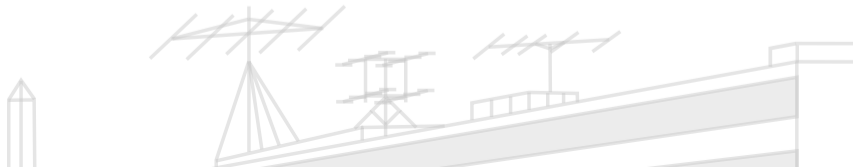
Wie verhält sich das SNR?



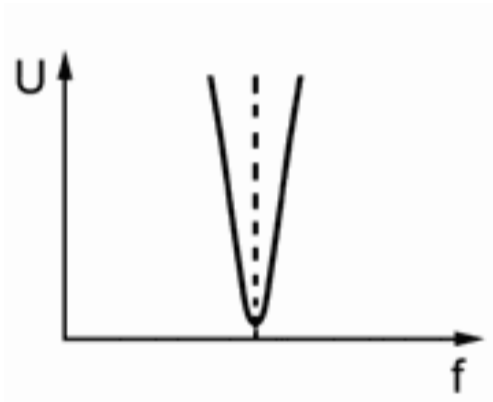
Bandwidth-Tuning

Übereinanderschieben von steiflankigen Filtern, sodass der Durchlassbereich kleiner wird.

Wie verhält sich das SNR? Proportional zur Bandbreite. Remember?



Notchfilter



Auch: Kerbfilter mit "Loch" im IF-Durchlassbereich zum Ausblenden schmalbandiger Störungen.

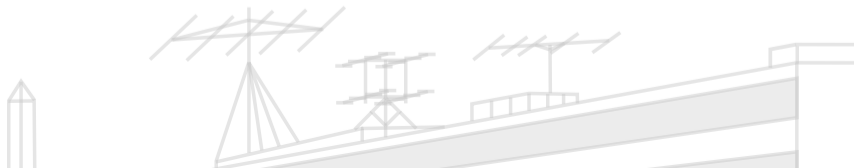
[6]

TF326

Störbegrenzer/-austaster

Störbegrenzer schneidet Spitzenspannungen ab gewissem NF-Pegel ab → Clipping.

Störaustaster regelt bei Störungen ZF oder NF komplett herunter → Noise Blanker.



Großsignalfestigkeit

Starke Signale führen zu Intermodulations- oder Kreuzmodulationsprodukten, auch wenn sie außerhalb des Afu-Bandes liegen.

Hauptursache für Intermodulationsprodukte sind Nichtlinearitäten in den HF-Stufen.¹

¹Für Mischstufen praktisch, bei Verstärkern unerwünscht

Interception Point

Ungeradzahlige Intermodulationsprodukte sollen so gering wie möglich auftreten
→ Intermodulationsabstand.

Aufhebung zu Null an den “Interception Points.”²

Beurteilung Intermodulation: Meist mit Interception Point IP_3

Bei fehlender Großsignalfestigkeit kann Dämpfungsglied am Empfängereingang helfen.

²Siehe https://de.wikipedia.org/wiki/Intercept_Point

Transceiver

In diesem Teil wird kurz auf praktische Merkmale von Transceivern eingegangen.

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

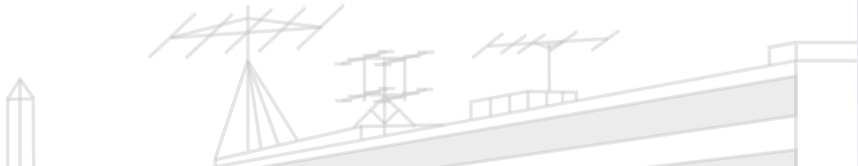
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



Leistung

QRP ... QRO

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

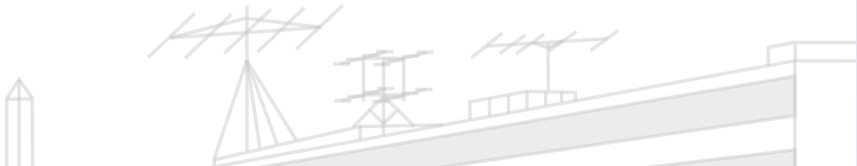
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



Leistung

QRP ... QRO

10W–20W QRP-TRX für HF

10W–50W TRX für UKW

≈100W übliche Ausgangsleistung für Desktop- und Portabel-HF-TRX

750W Hochleistungs-TRX mit zusätzlichem Verstärker

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

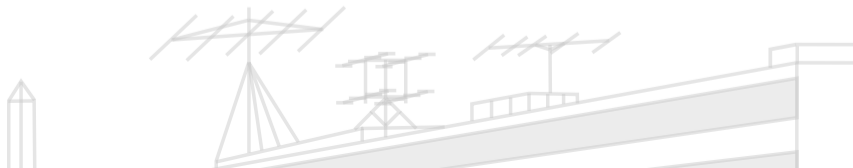
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



Betriebsarten

USB, LSB, FM, RTTY, CW, ...

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

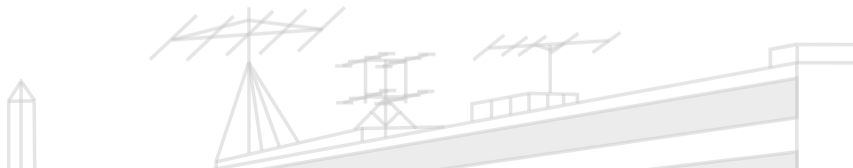
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

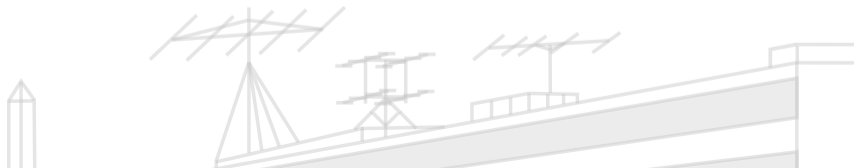
Referenzen



Frequenzbereiche

HF-TRX meist 160m–10m, ggf. 6m

UKW-TRX meist 2m + 70cm, ggf. 23cm und 6m



AfuTUB-Kurs

DK0TU

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

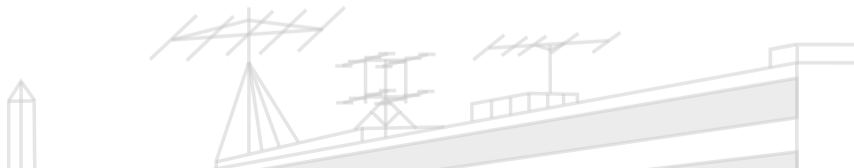
Transceiver

Referenzen

Frequenzanzeige

Ältere Empfänger können meist nicht genauer als $\pm 100\text{Hz}$ eingestellt werden. Die Anzeige kann mit einem quarzgesteuerten Frequenzmarken-Generator geprüft werden – heute nicht mehr notwendig.

Ansonsten wie bei der Messtechnik immer an die Ambivalenz digitaler Anzeigen denken: Auflösung \neq Anzeigegenauigkeit. Im Datenblatt in *ppm* angegeben.



RIT und Split

Receiver Incremental Tuning (RIT) zur geringfügigen Veränderung der Empfangsfrequenz gegenüber der Sende-QRG. Praktisch z.B. bei TX-Drift.

Split ermöglicht die Einstellung einer völlig anderen Frequenz für Empfang und Senden. Wird bei Pile-Ups, im Satellitenbetrieb oder zur besseren Anpassung des Hilfsträgers in Digimodes (JT65/JT9) verwendet.

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

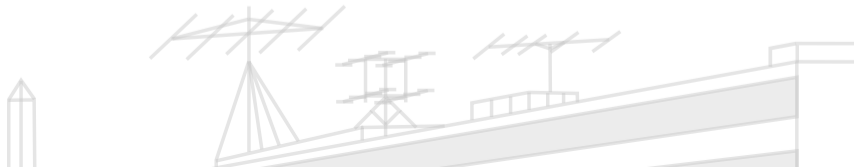
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

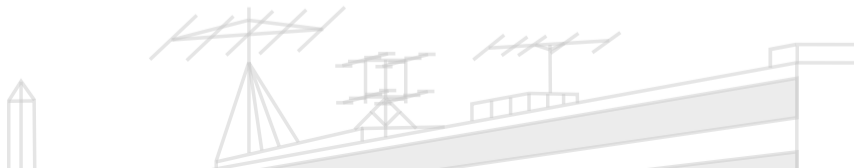
Transceiver

Referenzen



Kompressor

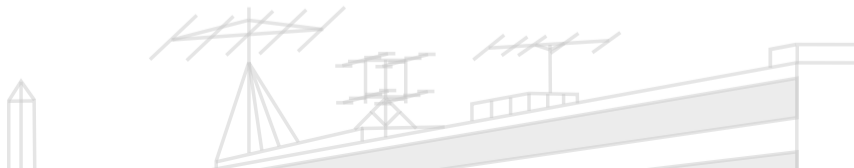
Audiokompression der Stimme zur vollen Aussteuerung des Senders, damit sie “satter” rüberkommt und verständlicher wird, allerdings ihre Färbung verliert.



Clipper

Signal wird voll ausgesteuert und vom Clipper begrenzt. Zu Vermeidung von Oberwellen weitere Tiefpassfilterung.

Dies geschieht natürlich alles auf Kosten von Audioinformationen.



Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

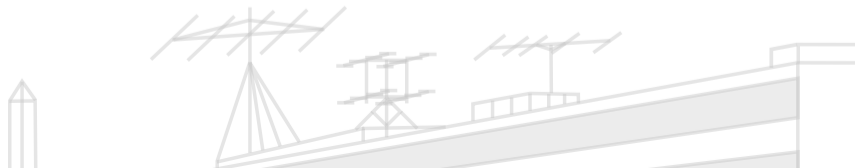
Transceiver

Referenzen

DSP

Digital Signal Processing (DSP) als Überbegriff für jegliche digitale Audioverarbeitung. Alle o. g. Beispiele werden heute durch DSPs umgesetzt.

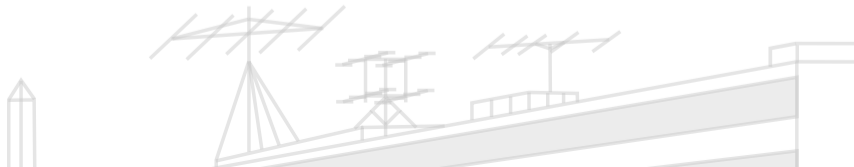
Das Signal muss vor dem DSP digitalisiert und anschließend wieder in ein analoges Signal umgeformt werden → AD—DA-Wandlung



PTT und VOX

Push To Talk (PTT) wurde bereits oft angesprochen – es handelt sich um eine einfache Sende-/Empfangsumschaltung.

Mit einer Voice Control (VOX) lässt sich die Umschaltung durch den NF-Pegel der eigenen Sprache auslösen. Nachteile: Störgeräusche können ggf. auch umschalten.



Referenzen/Links


[1] DARC Online-Lehrgang Lektion A18:

<https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/lehrgang-ta/a18/>

[2] Vortrag von Andreas DJ3EI: "Spaziergang durch den Funkgerätewald":

<https://media.ccc.de/v/afu-001>

Abbildungen:

[3] Empfangenes Signal: 

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Received_message.jpg

[4] Rauschen: 

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Analyse_thermo_gravimetrique_bruit.png

[5] TF410:

<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>

[6] TF326:

<https://www.bundesnetzagentur.de/amateurfunk/>