

AfuTUB-Kurs

Technik Klasse A 18: Gerätetechnik

DL0XK

Amateurfunk Forschungs Gruppe der TU Kaiserslautern

<https://www.amateurfunk.uni-kl.de/home/>



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

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Kaiserslautern, DL0XK, Stand: Sat Aug 24 03:05:11 2019 +0200
basierend auf dem Kurs der Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DKØTU

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

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

Wiederholung SNR

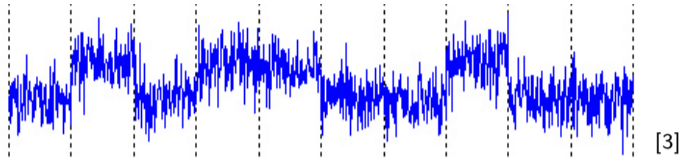


Abb. 1: Empfangenes Signal von 0101100100 mit einem SNR von 3dB

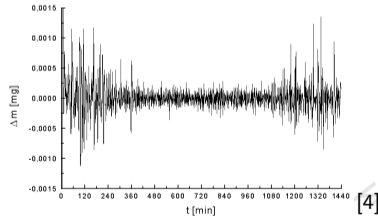


Abb. 2: Aufnahme einer Thermogravimetrischen Analyse mit schlechter Isolierung; nachts ist weniger Rauschen

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

Empfindlichkeit

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

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

Rauschleistung

Rauschleistung \propto Bandbreite

Rauschleistung von gleichverteiltem Rauschen ist proportional zur Filterbandbreite.

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

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

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

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.

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

Rauschzahl

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

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

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

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.

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

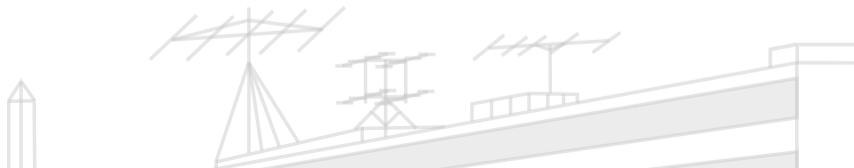
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



Selektivität

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

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

Grenzbandbreite bei -60 dB? Für welche Signale geeignet?

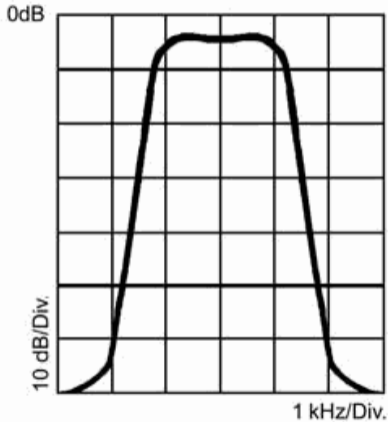


Abb. 3: TF410-411

Selektivität

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl
Selektivität

HF-Regelung

AGC
Squelch

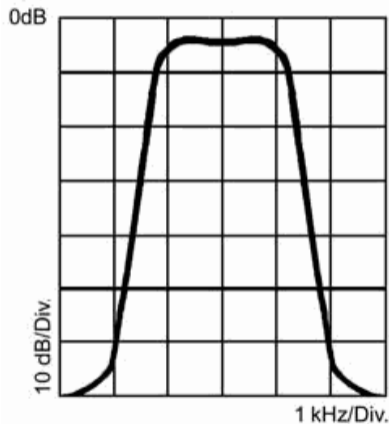
Störungsverm.

Passband-Tuning
Bandwidth-Tuning
Notchfilter
Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



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

Grenzbandbreite bei -60 dB? Für welche Signale geeignet?

4 kHz, SSB

Abb. 3: 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?

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

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

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

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.

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

Squelch

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

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

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



Störungsverminderung

Es werden kurz Beispiele zur Störungsverminderung angerissen.

Prüfungsrelevant ist lediglich der Notchfilter.

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

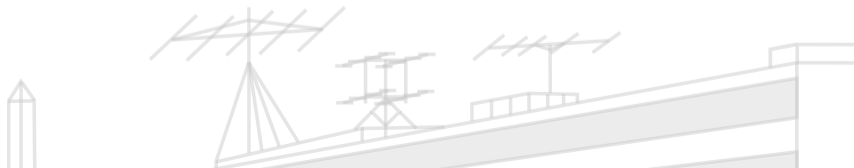
Notchfilter

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

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

Bandwidth-Tuning

Übereinanderschieben von steiflankigen Filtern, sodass der Durchlassbereich kleiner wird.

Wie verhält sich das SNR?

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

Bandwidth-Tuning

Übereinanderschieben von steiflankigen Filtern, sodass der Durchlassbereich kleiner wird.

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

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

Notchfilter

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

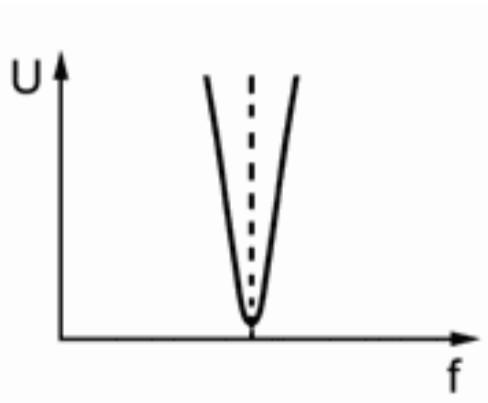
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



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

[6]

Abb. 4: TF326

Störbegrenzer/-austaster

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

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

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

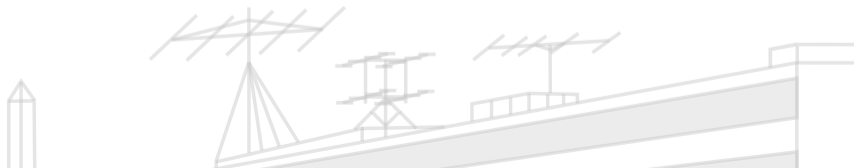
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



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

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

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

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

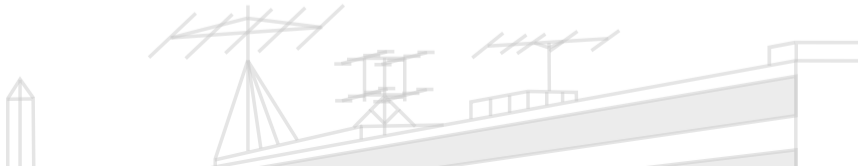
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



Leistung

QRP ... QRO

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

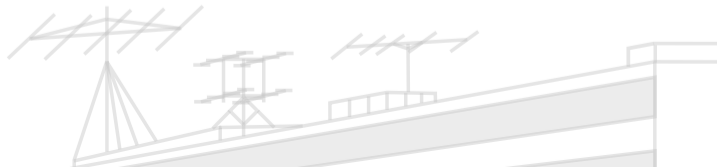
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



Leistung

QRP ... QRO

5 W – 20 W QRP-TRX für HF

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

750 W Hochleistungs-TRX mit zusätzlichem Verstärker

4 W – 50 W TRX für UKW

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

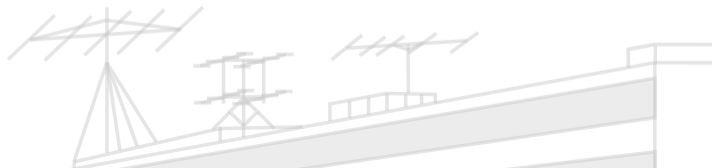
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



Betriebsarten

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

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

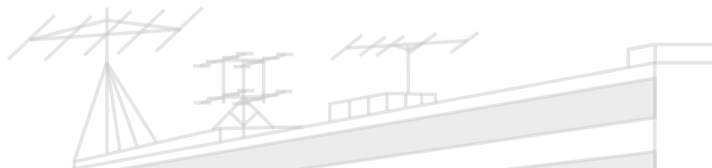
Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen



Frequenzbereiche

HF-TRX meist 160m–10m, ggf. 6m

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

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

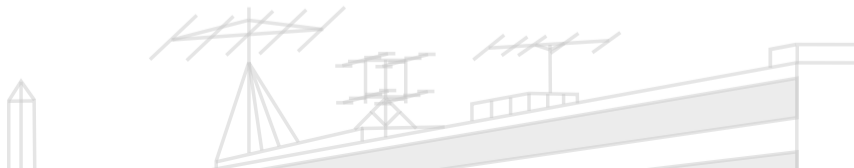
Notchfilter

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.

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

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

Technik A 18

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.

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

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

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

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.

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen

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/>

AfuTUB-Kurs

Technik A 18

Überblick

Empfindlichkeit

Rauschzahl

Selektivität

HF-Regelung

AGC

Squelch

Störungsverm.

Passband-Tuning

Bandwidth-Tuning

Notchfilter

Störbegrenzer/-austaster

Großsignalfestigkeit

Transceiver

Referenzen