

tinySA: Spezifikation

https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/distrikte/p/Distrikt_P/Regiotreffen_2021_virtuell/TinySA-Regiotreffen_17.04.21.pdf

	Low Input	High Input
Frequenzbereich:	100 kHz – 350 MHz	240 – 960 MHz
Maximale Eingangsleistung:	+ 10 dBm ohne Dämpf. + 20 dBm bei 30 dB Dämpf	+ 10 dBm ohne Dämpf.
1 dB Compressionspunkt	- 1 dBm (Ohne Dämpfung)	- 6 dBm (Ohne Dämpfung)
Leistungsmessschritt:	0.5 dB	0.5 dB
Genauigkeit der Leistungsm.	+/- 1 dB	+/- 1 dB
Genauigkeit über Frequenz	+/- 1 dB	+/- 1 dB
Niedrigstes Signal (RBW 30kHz)	-102 dBm	- 115 dBm
RBW	3 – 600KHz + Auto	3 – 600KHz + Auto
Spurfree Dynamic range	70 dB (RBW 30 kHz)	50 dB (RBW)
IIP3	+ 15 dBm (ohne Dämpf)	- 5 dBm (ohne Dämpf)
Schaltbare Dämpfung:	0 – 31 dB	25 – 40 dB (Dann Messfehler +/- 10 dB
Leistung für optimale Anzeige:	- 25 dBm	

tinySA: Spezifikation - Generator

	Low output	High output
Frequenzbereich:	100 kHz – 350 MHz	240 – 960 MHz
Ausgangsleistung:	- 76 dBm bis – 6 dBm	- 38 dBm bis + 13 dBm
Wellenform:	Sinus	Rechteck
Modulation mit 50 – 6000 Hz :	AM, nFM, wFM,	nFM, wFM
Wobbeln der Leistung:	Über ganzen Leistungsbereich -----	

https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/distrikte/p/Distrikt_P/Regiotreffen_2021_virtuell/TinySA-Regiotreffen_17.04.21.pdf

Vor-und Nachteile

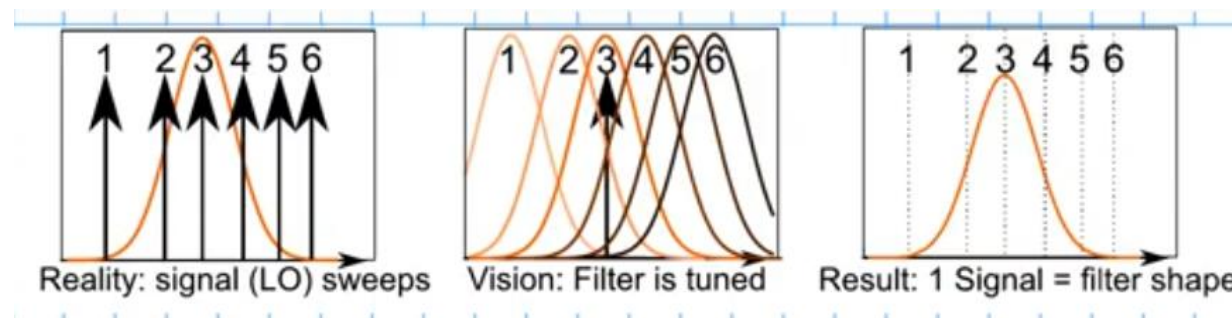
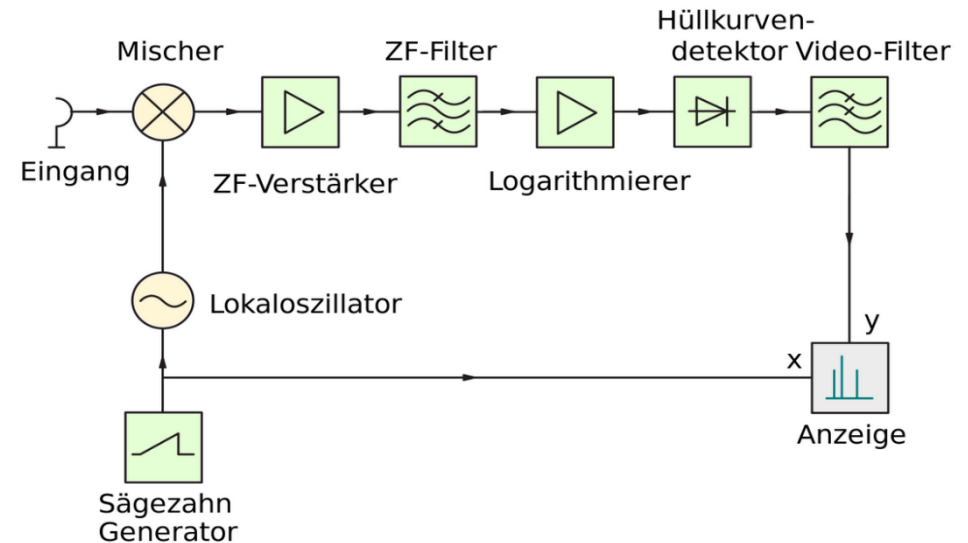
- + Brauchbarer und preiswerter tragbarer Spektrumanalysator
 - + Guter eingebauter Funktionsgenerator
 - + PC-gesteuert
 - Relativ niedriges Frequenzband
 - RBW von mindestens 2,4kHz
 - Langsame Überbrückungszeit (RBW < 30 kHz)
 - Keine eingebaute Audiobuchse
-

Spektrum Analysator und Oszilloskop

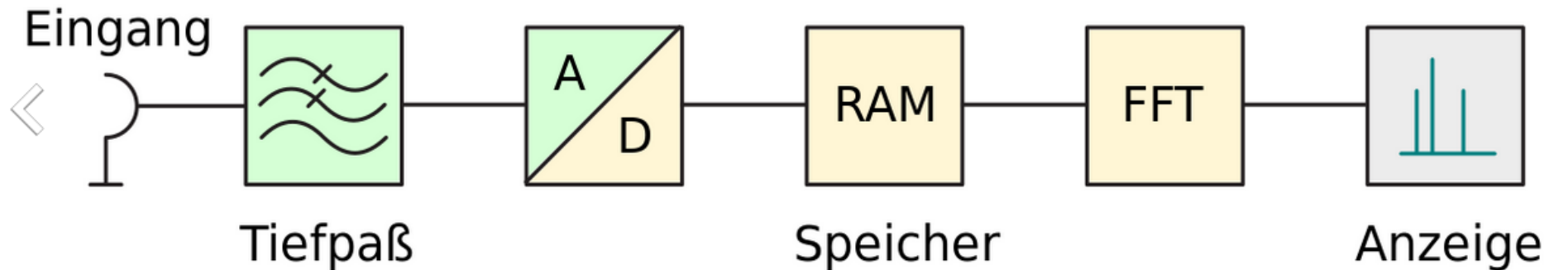
Darstellung	Oszilloskop	Spectrum Analyser
Achse		
horizontal	Zeit	Frequenz
vertikal	Spannung (Momentanwert)	Leistung
	Fouriertransformation	

Analysatoren nach dem Überlagerungsprinzip

Beim Überlagerungsempfänger wird das (tiefpassgefilterte) Eingangssignal mit Hilfe eines Mixers und eines Oszillators (Local Oscillator, LO) auf eine Zwischenfrequenz (IF) umgesetzt. Der LO in Bild 9 wird von einem Sweep-Generator durchgestimmt, um den gesamten Eingangsfrequenzbereich auf eine konstante Zwischenfrequenz umzusetzen. Das ZF-Signal wird verstärkt und gelangt zum ZF-Filter mit einstellbarer Bandbreite.

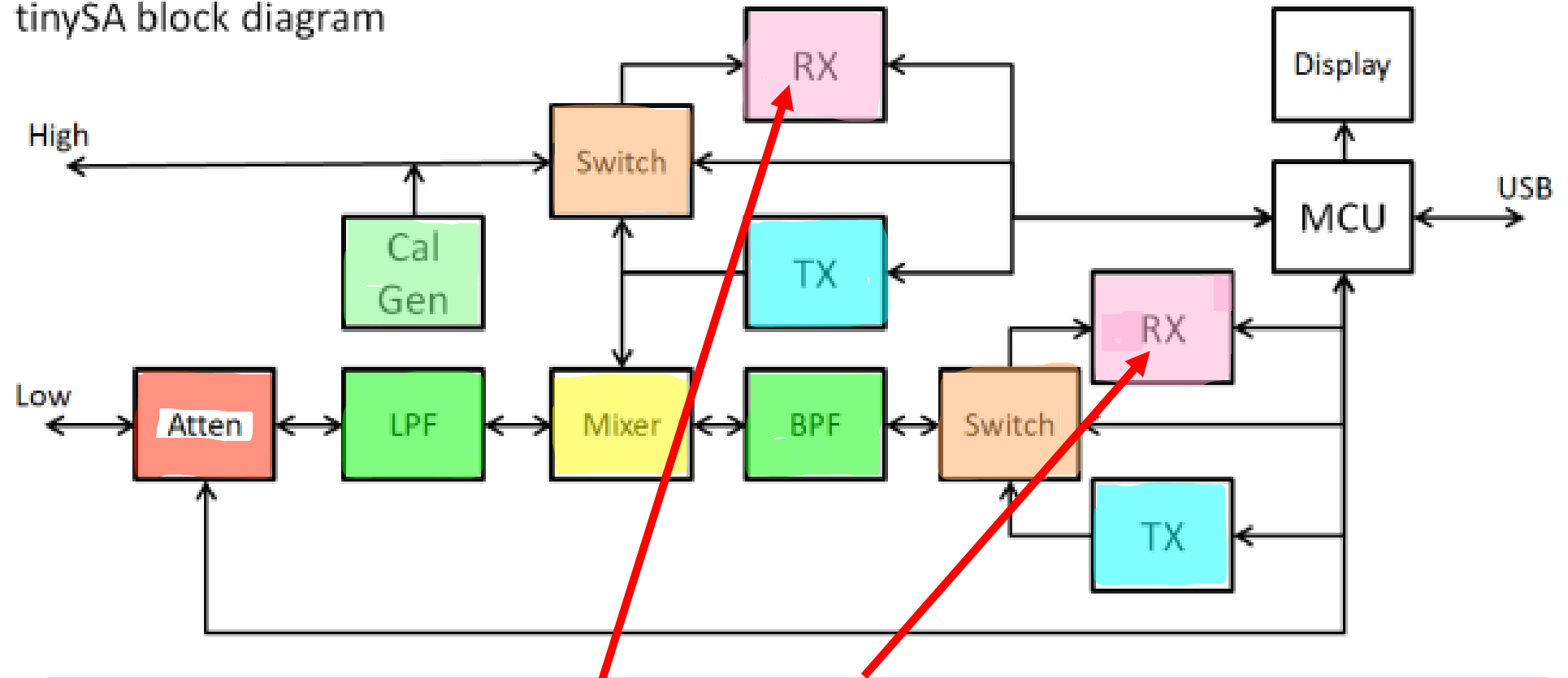


FFT-Analysatoren



Die Fourier-Transformation erfolgt in der Praxis über die digitale Signalverarbeitung (diskrete Fourier Transformation), was bedeutet, dass das zu analysierende Signal vorher mit einem A/D-Wandler abgetastet und in der Amplitude quantisiert werden muss. Um die Einhaltung des Abtasttheorems zu erzwingen, wird die Bandbreite des Eingangssignals vor dem A/D-Wandler mit einem analogen Tiefpassfilter begrenzt. Nach der Digitalisierung des Zeitsignals werden die diskreten Zeitwerte mit bestimmter Amplitude in einem RAM zwischengespeichert und daraus mit Hilfe der Fast-Fourier-Transformation (FFT) die spektralen Komponenten berechnet. Das Spektrum wird dann zur Anzeige gebracht.

tinySA block diagram



- RX enthält:
- Zweiter LO und Mischer zum Herunterkonvertieren der hohen ZF auf eine niedrige ZF bei 870 kHz.
- Wählbare Auflösungsfilter zwischen 3 kHz und 600 kHz.
- Leistungsdetektor mit 120 dB Dynamikbereich nach dem Auflösungsfilter.

Die im Low-Input-Modus verwendeten Komponenten sind:

- Im Low-Input-Modus gelangt das Signal über den Low-SMA-Anschluss in den tinySA
- Auf 0–31 dB einstellbares **Dämpfungsglied** zum Schutz des RX und zur Verhinderung intern erzeugter harmonischer Verzerrungen
- 350-MHz-**Tiefpassfilter** zur Eliminierung von Alias-Effekten
- Ein **TX-Block**, der den lokalen Oszillator zum Scannen des ausgewählten Frequenzbereichs enthält.
- Der **Schalter** wird verwendet, um den Tracking-Ausgang auf den hohen Ausgang zu aktivieren, wenn er aktiviert ist
- **Mischer**, der den Ausgang des Tiefpassfilters mit dem lokalen Oszillator mischt, um die hohe ZF zu erzeugen.
- **Bandpassfilter** bei 433,9 MHz für die hohe ZF, der Störungen eliminiert und den Ausgang des Mixers vor der Abwärtskonvertierung reinigt.
- Ein **Schalter**, um den Ausgang des BPF zum RX zu leiten
- Und der **RX** enthält:
 - Zweiter LO und Mischer zum Herunterkonvertieren der hohen ZF auf eine niedrige ZF bei 870 kHz.
 - Wählbare Auflösungsfilter zwischen 3 kHz und 600 kHz.
 - Leistungsdetektor mit 120 dB Dynamikbereich nach dem Auflösungsfilter.

Die im High-Input-Modus verwendeten Komponenten sind:

- Im High-Input-Modus gelangt das Signal über den High-SMA-Anschluss in den tinySA
- Ein **Schalter**, um den hohen Eingang zum RX-Block zu leiten
- Ein **RX-Block**, der enthält
 - LO und Mixer zum Herunterkonvertieren des ausgewählten Frequenzbereichs auf eine niedrige ZF bei 870 kHz. Die Spiegelunterdrückung ist auf 30 dB begrenzt
 - Wählbare Auflösungsfilter zwischen 3 kHz und 600 kHz.
 - Leistungsdetektor mit 120 dB Dynamikbereich nach dem Auflösungsfilter. Lokaler Oszillator, der das erledigt

Die im Low-Output-Modus verwendeten Komponenten sind:

- **TX-Block** TX-Block mit Lokaloszillator, der 433,9 MHz erzeugt
- Ein **Schalter** zum Weiterleiten des TX-Ausgangs zum Bandpassfilter
- **Bandpassfilter**, der die Oberwellen des 433,9-MHz-Lokaloszillators entfernt.
- Zweiter **TX** mit lokalem Oszillator, der die Ausgangsfrequenz bestimmt.
- **Mischer**, der den Ausgang des Bandpassfilters mit dem zweiten lokalen Oszillator mischt, um die gewünschte Ausgangsfrequenz mit begrenzten Oberwellen zu erzeugen
- **Tiefpassfilter** für die geringe Leistung, um unerwünschte Mischprodukte zu entfernen.
- **Dämpfungsglied**, das zwischen dem Tiefpassfilter und dem Low-Output angeschlossen ist, um optional den Ausgangspegel zu reduzieren
- Das erzeugte Signal verlässt den tinySA über den Low-SMA-Anschluss

Die im High-Output-Modus verwendeten Komponenten sind:

- Lokaler Oszillator, der die Ausgangsfrequenz bestimmt.
- Ein Leistungsverstärker mit wählbarer Ausgangsleistung zwischen +5 dBm und +20 dBm
- Der **Schalter** verbindet den Leistungsverstärker mit dem High-SMA-Anschluss

Der **Kalibrierungsgenerator**:

- 30 MHz temperaturgesteuerter Quarzoszillator
- Wählbare Teiler zum Erstellen von 30, 15, 10, 4, 3, 2 oder 1 MHz
- Ausgangstreiber mit fester Spannung
- Hochpräziser Abschwächer zur Erzeugung einer 30-MHz-Grundfrequenz von -25 dBm an 50 Ohm als Leistungsreferenz, angeschlossen an den hohen Ausgang.






<https://tinysa.org/wiki/pmwiki.php?n=Main.Specification>

Messbeispiele:

- Oberschwingungen messen
- Messung der spektralen Reinheit
- Messen von Phasenrauschen
- Intermodulation dritter Ordnung messen
- IQ Balance
- FM Hubmessung
- AM Modulation messen
- Messung des 1dB-Kompressionspunkts eines Verstärkers
- Einen Mixer messen
- Messung des Rauschfaktors eines Verstärkers

Menü (Beispiel):

PRESET
FREQUENCY
LEVEL
TRACE
DISPLAY
MARKER
MEASURE
CONFIG
MODE

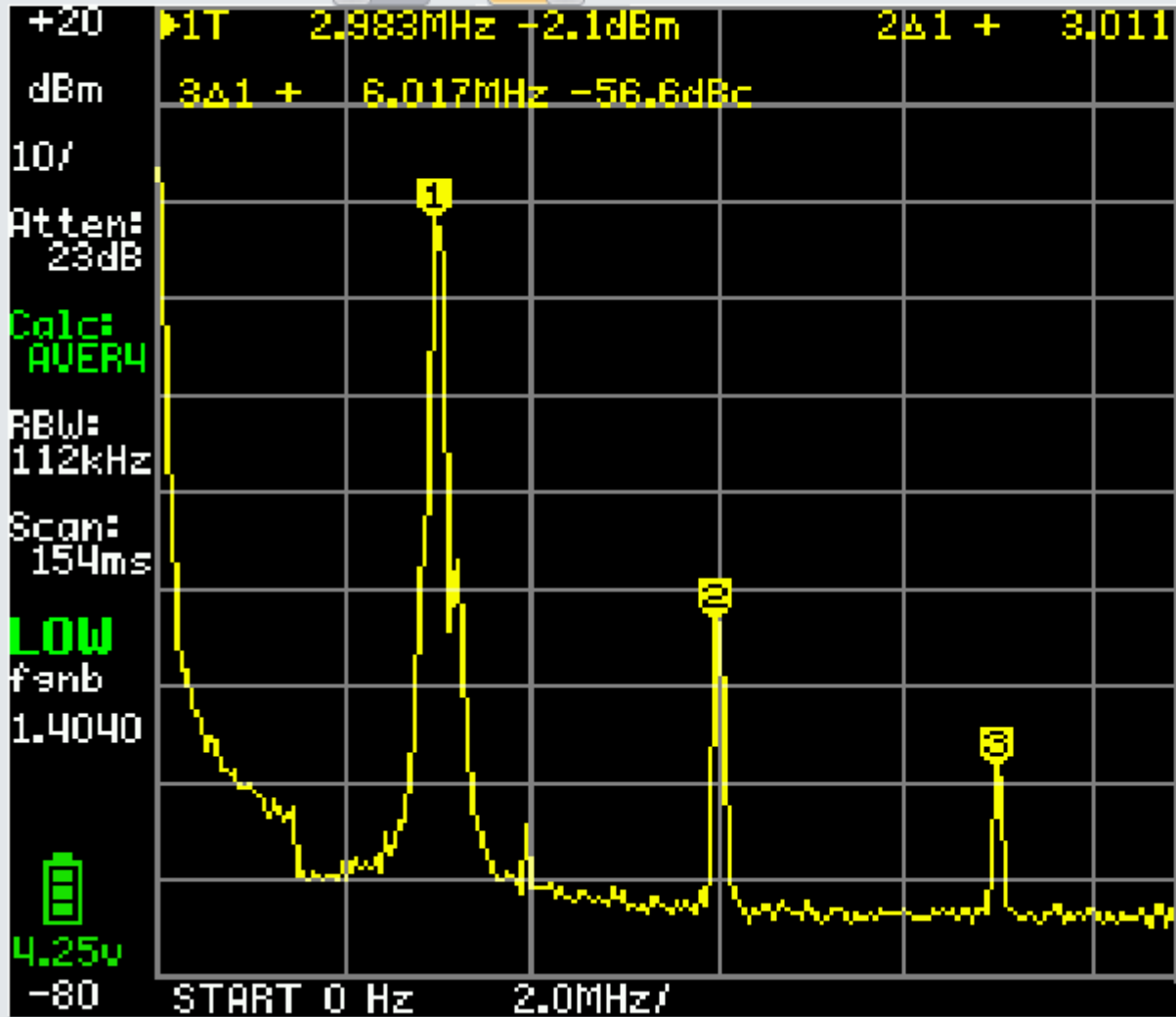
Return to LOW in 
Switch to HIGH in 
Switch to LOW out 
Switch to HIGH out 
Cal. output: 10MHz 
LOW OUTPUT OFF
FREQ: 10.000MHz -100kHz -10kHz Set +10kHz +100kHz
LEVEL: -7.0dBm -10dB -1dB Set +1dB +10dB
MOD: None
SWEEP: OFF
EXTERNAL GAIN: 0.0dB
MODE

<input checked="" type="radio"/> OFF
<input type="radio"/> HARMONIC
<input type="radio"/> OIP3
<input type="radio"/> PHASE NOISE
<input type="radio"/> SNR
<input type="radio"/> -3dB WIDTH
→ MORE
← BACK

Save Copy Refresh

Actual Size Auto Refresh

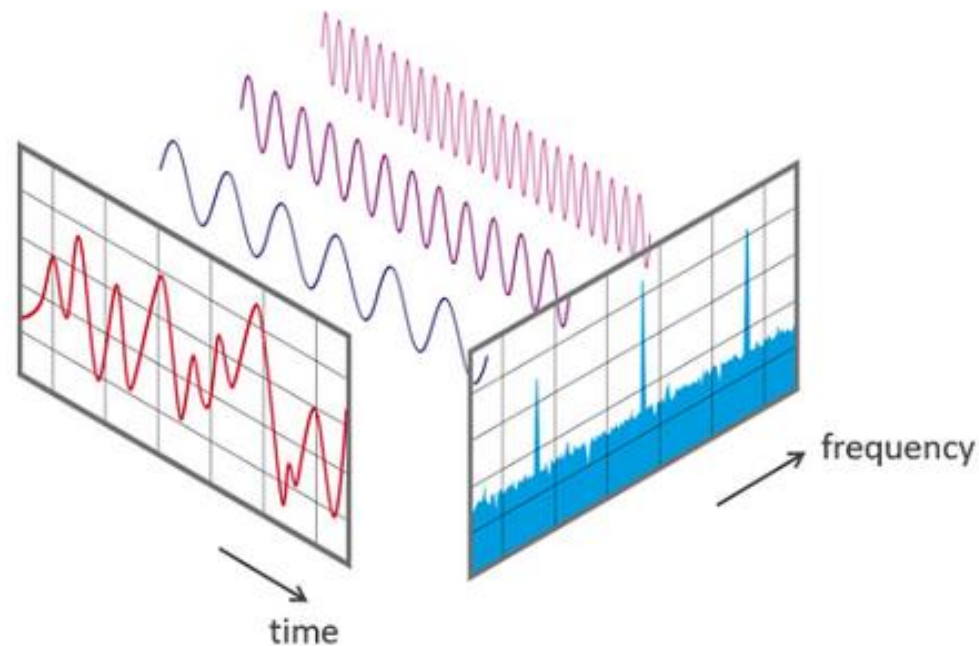
No Yes



- OFF
- HARMONIC
- OIP3
- PHASE NOISE
- SNR
- 3dB WIDTH
- MORE
- ← BACK

Darstellung von Signalen im Zeit- bzw. im Frequenzbereich

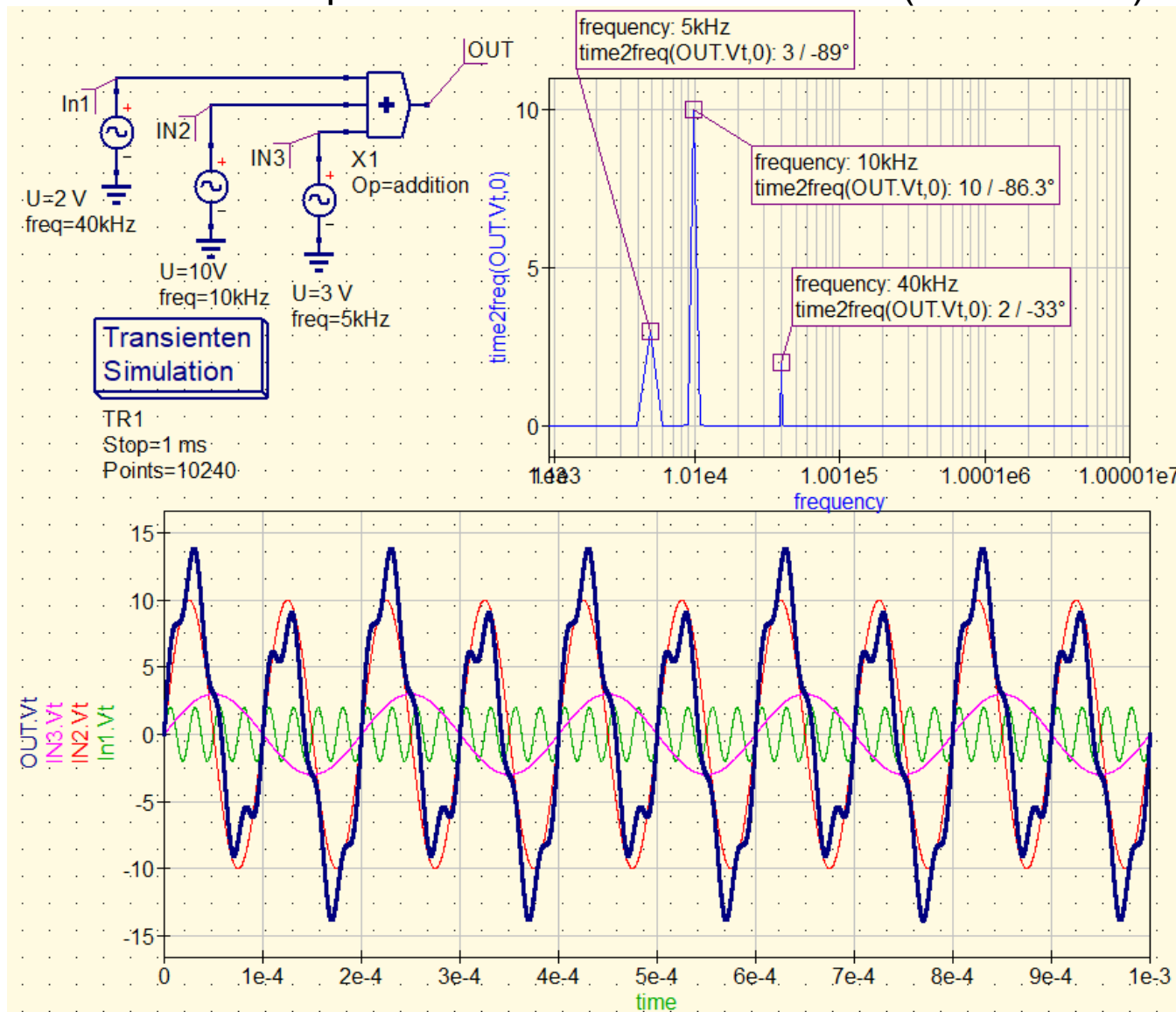
Die beiden Darstellungsformen sind durch die **Fourier-Transformation** miteinander verknüpft, was bedeutet, dass es zu jedem im Zeitbereich darstellbaren Signal ein charakteristisches Frequenzspektrum gibt



Sicht auf ein Signal im Zeit- und Frequenzbereich



Zeit- und Frequenzbereich in der Simulation (QucsStudio)



Fourier-Transformation und Fast Fourier-Transformation (FFT)

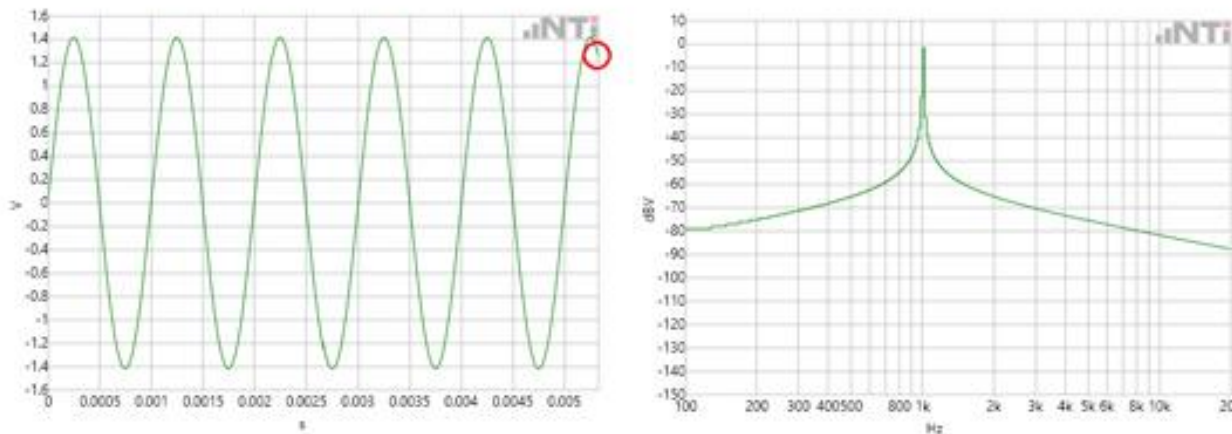
Theoretisch muss bei der Transformation vom Zeitbereich in den Frequenzbereich das zeitliche Signal über einen **unendlichen** Zeitraum betrachtet werden. Aus **praktischen Gründen** wird jedoch nur eine bestimmte Zeitperiode betrachtet, um Messungen durchzuführen.

Dies ist der Unterschied zwischen der Fourier-Transformation, die den unendlichen Zeit- oder Frequenzbereich umfasst und der Fast Fourier-Transformation (FFT), die aus praktischen Gründen jeweils nur einen **begrenzten** Zeit- bzw. Frequenzbereich betrachtet.

Da bei der Fourier Transformation die Annahme gilt, dass der gesampelte Signal-Ausschnitt sich unendlich lange periodisch wiederholt, folgen daraus zwei Schlüsse:

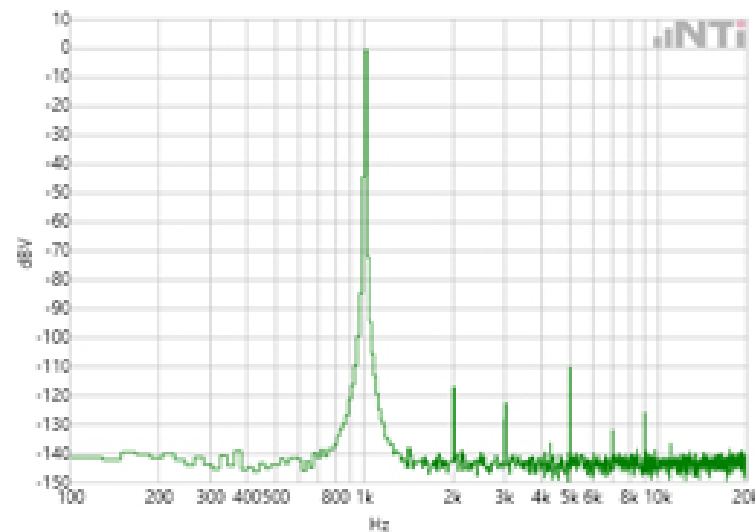
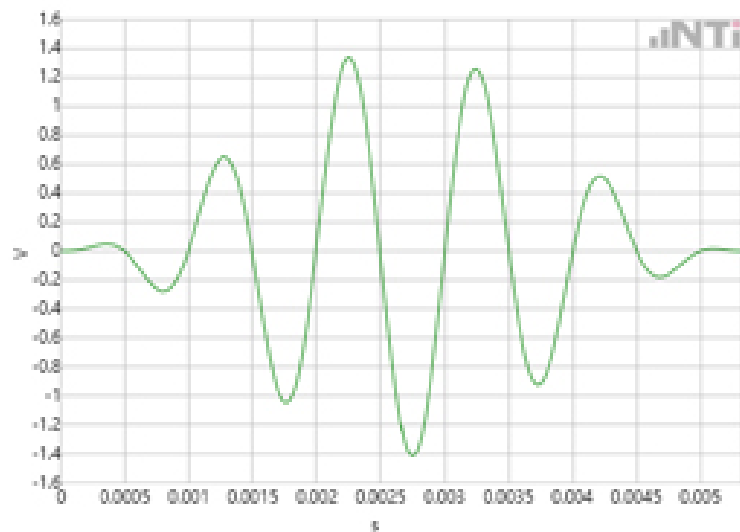
1. Die FFT eignet sich nur für periodische Signale.
2. Der gesampelte Signal-Ausschnitt muss eine ganzzahlige Anzahl Perioden enthalten.

Es lässt sich erkennen, dass speziell die Bedingung 2. nur auf sehr wenige Signale zutreffen würde. Die Abtastung eines Signals, dessen Frequenzen kein ganzzahliges Vielfaches von Δf sind, würde innerhalb eines Blockes aus 2^n Abtastwerten mit unterschiedlichen Werten beginnen und enden. Dies resultiert in einem Sprung im Zeitsignal, und einem dadurch „verschmierten“ FFT Spektrum („Leakage“ Effekt).



Ungefensterter Zeitsignal mit verschmiertem Spektrum

Um dieses Verschmieren zu verhindern, bedient man sich in der Praxis der „Fensterung“ des Signalausschnittes. Mit einer Gewichtungsfunktion wird der Signalausschnitt mehr oder weniger sanft ein- und ausgeblendet. Damit wird erreicht, dass das gesampelte und anschließend ‚gefensterte‘ Signal bei Amplitude Null anfängt und aufhört. Der Ausschnitt kann nun ohne harten Übergang periodisch wiederholt werden.

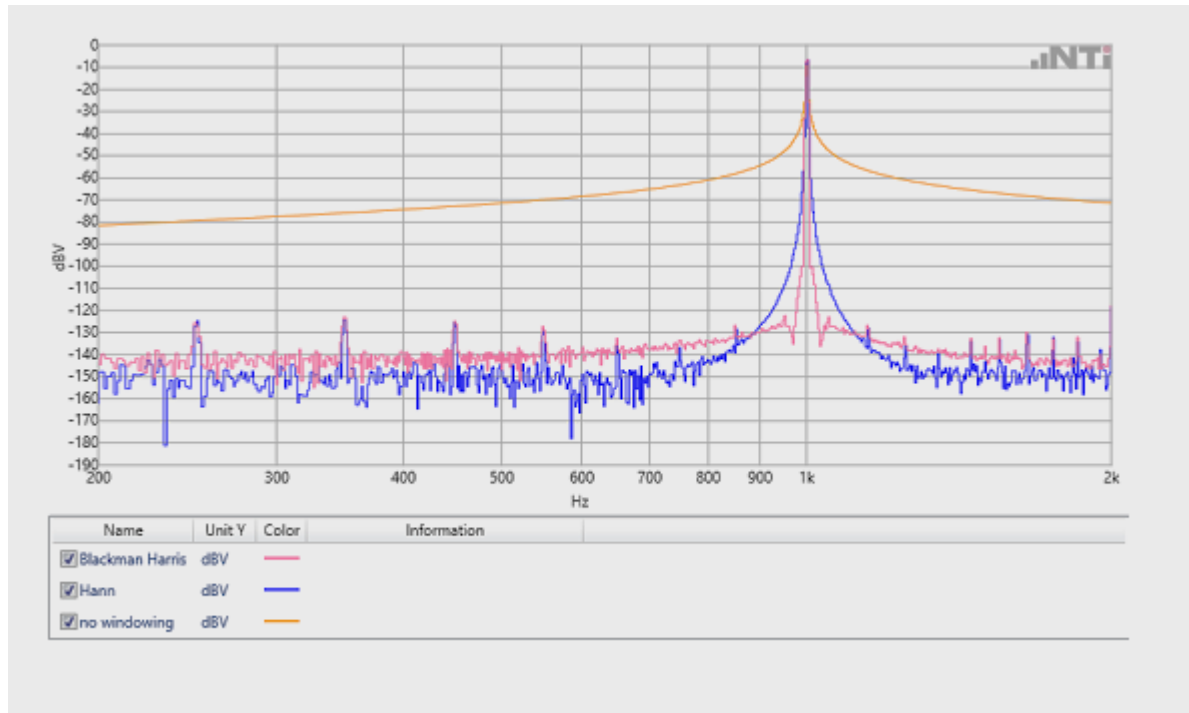


gefenstertes Zeitsignal mit Spektrum

Zeitfensterung

Die Zeitfensterung dient bei periodisch fortgesetzten Signalen dazu, die unerwünschten Übergangsprünge am Ende der Abtastung zu glätten. Damit werden Verschmierungen im Spektrum verhindert. Es gibt zahlreiche Fenster-Arten, die sich zum Teil nur durch Nuancen unterscheiden. Bei der Auswahl des Zeitfensters gilt folgende Grundregel:

Jedes Fenster bedingt einen Kompromiss zwischen Frequenz-Selektivität und Amplitudengenauigkeit.

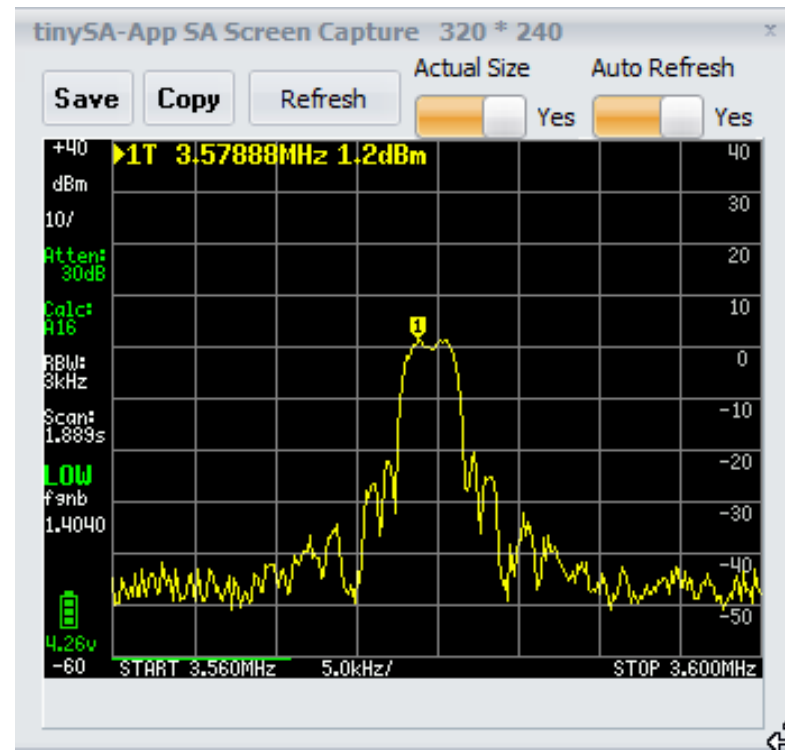
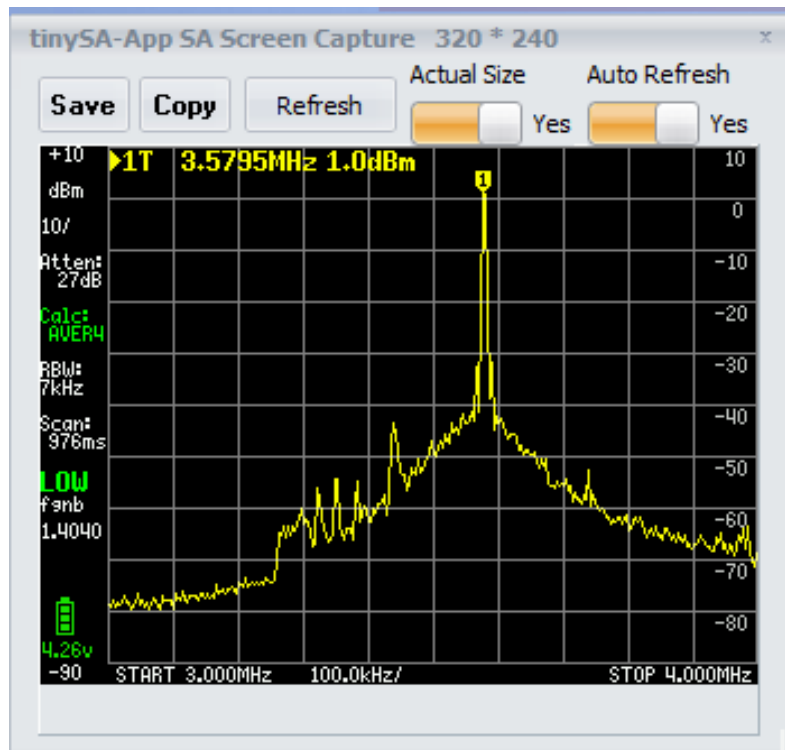


Die vier wichtigsten **Grundparameter** eines Spektrumanalysators sind:

- Der darzustellende **Frequenzbereich** kann durch Start- und Stopp-Frequenz oder durch die Mittenfrequenz (Center Frequency) und den Darstellbereich (Span) eingestellt werden.
- Der **Referenzpegel**, der etwas höher als der maximal erwartete Leistungswert sein sollte, damit die Messkurve innerhalb des Anzeigebereichs bleibt. Zudem dient dieser Wert dem Analysator zur Auswahl geeigneter Werte für die Eingangsdämpfung und Verstärkung. Die Pegel können im linearen oder logarithmischen Maßstab dargestellt werden.
- Die **Auflösebandbreite** (Resolution Bandwidth, RBW), bei der ein kleinerer Wert eine bessere Trennung eng beieinanderliegender Signale ermöglicht und das Grundrauschen reduziert, aber die Sweep-Zeit verlängert.
- Die **Videobandbreite**, die zwar nicht die Signalauflösung oder das Grundrauschen beeinflusst, aber eine Glättung oder Filterung der angezeigten Messkurve ermöglicht.

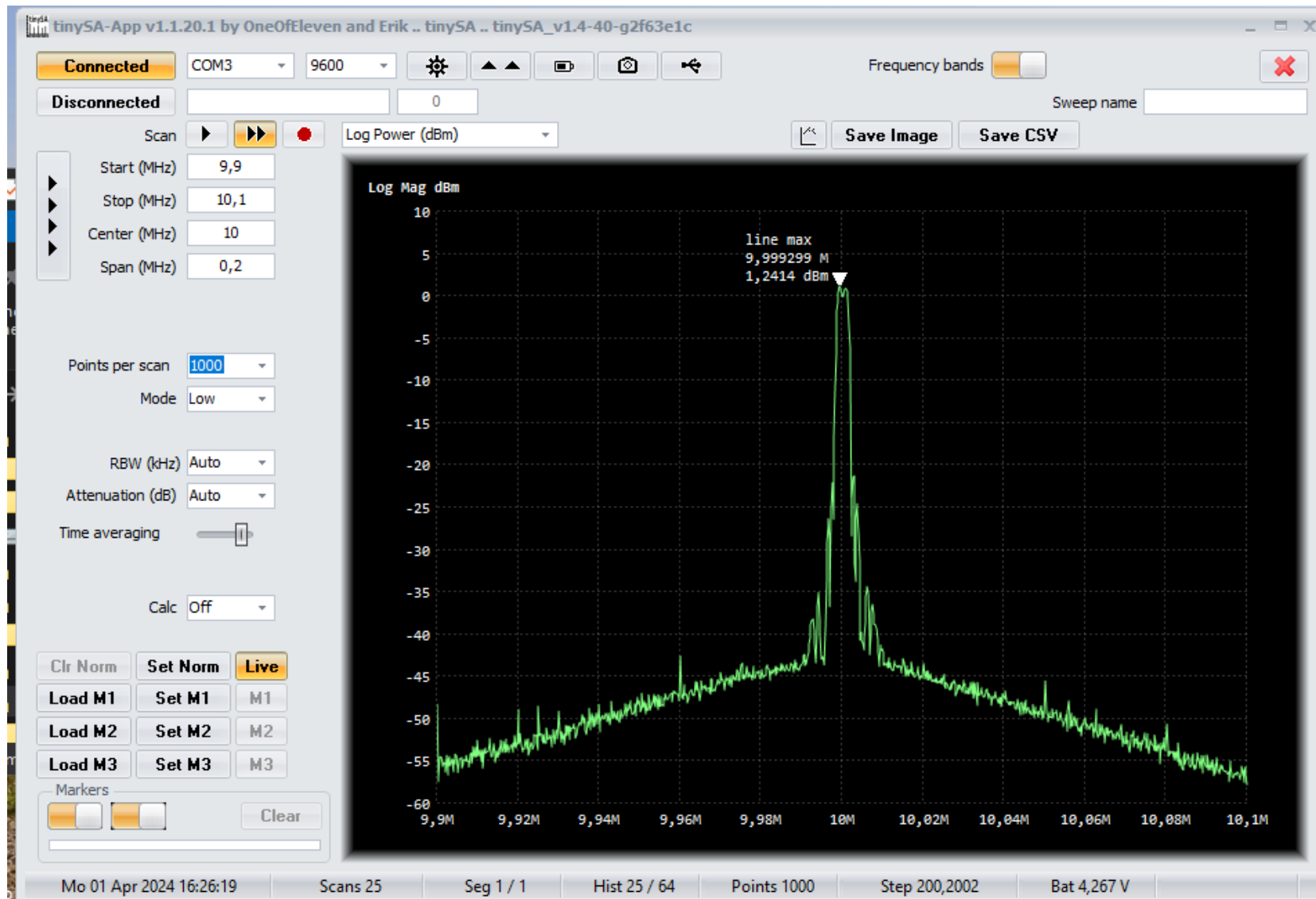
Messungen demonstrieren (Beispiele):

0dB-Generator Messung der Leistung und der Harmonischen



Ausgangsleistung 0dB-Generator (1,2dBm) – (muss neu kalibriert werden)

Darstellung in der TinySA-App



Messung der Harmonischen:

Harmonische Verzerrungen können gemessen werden, indem das Ausgangsspektrum auf einem Spektrum-Analysator betrachtet und die Werte der zweiten, dritten, vierten usw. Harmonischen in Bezug auf die Amplitude des Grundsignals beobachtet werden. Der Wert wird normalerweise als Verhältnis in %, ppm, dB oder **dBc** ausgedrückt.

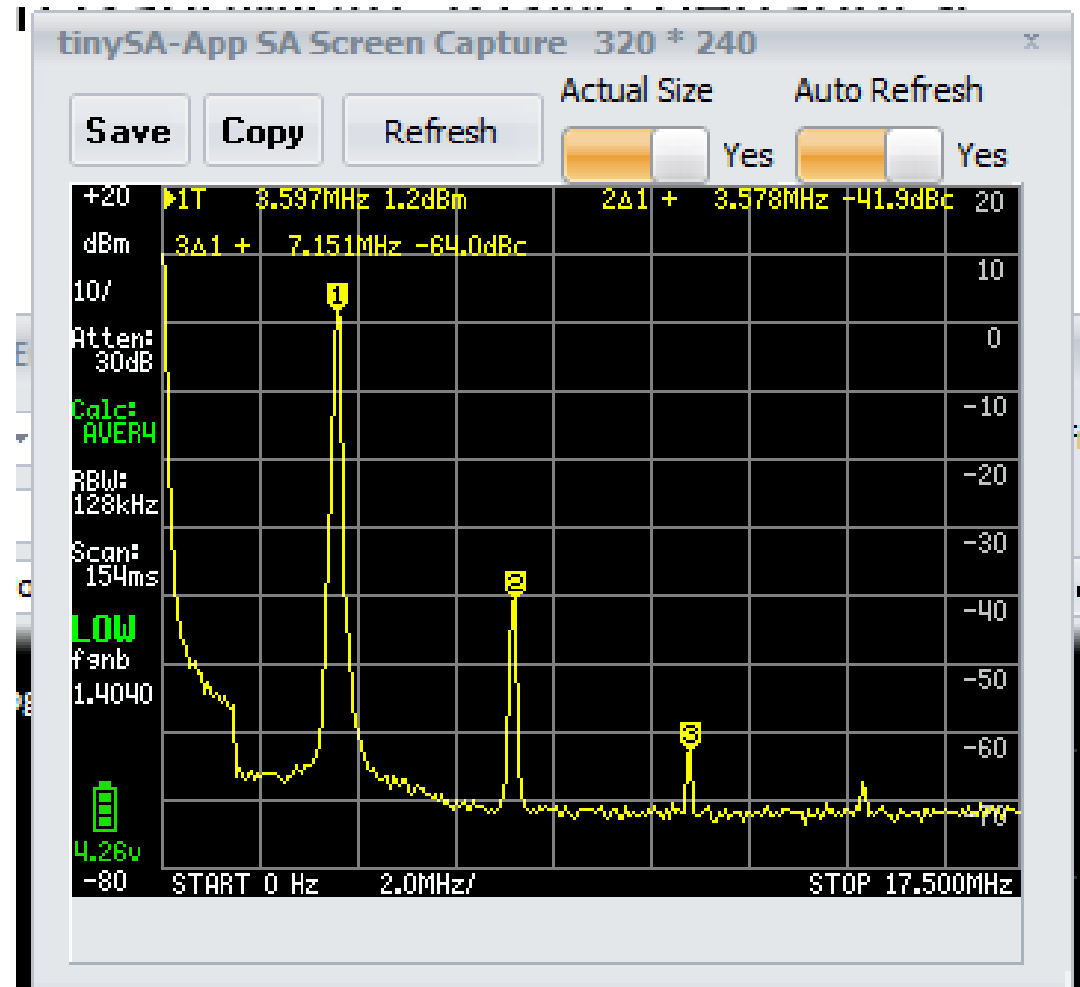
Beispiel:

Grund-QRG 3,597 MHz (-1,2dBm)

Erste Harmonische ($2\Delta 1$) -41,9 dBc

Zweite Harmonische ($3\Delta 1$) -64,0 dBc

Dritte Harmonische ($4\Delta 1$) ca. -68,0 dBc



Phasenrauschen: Messen mit dem Phase-Noise-Marker

Phasenrauschen (englisch Phase Noise) ist über die Zeit betrachtet die Differenz der theoretischen und der tatsächlichen Phasenlage bzw. der entsprechenden Nulldurchgänge einer harmonischen Schwingung oder eines periodischen Signals → Kurzzeitstabilität der Frequenz.

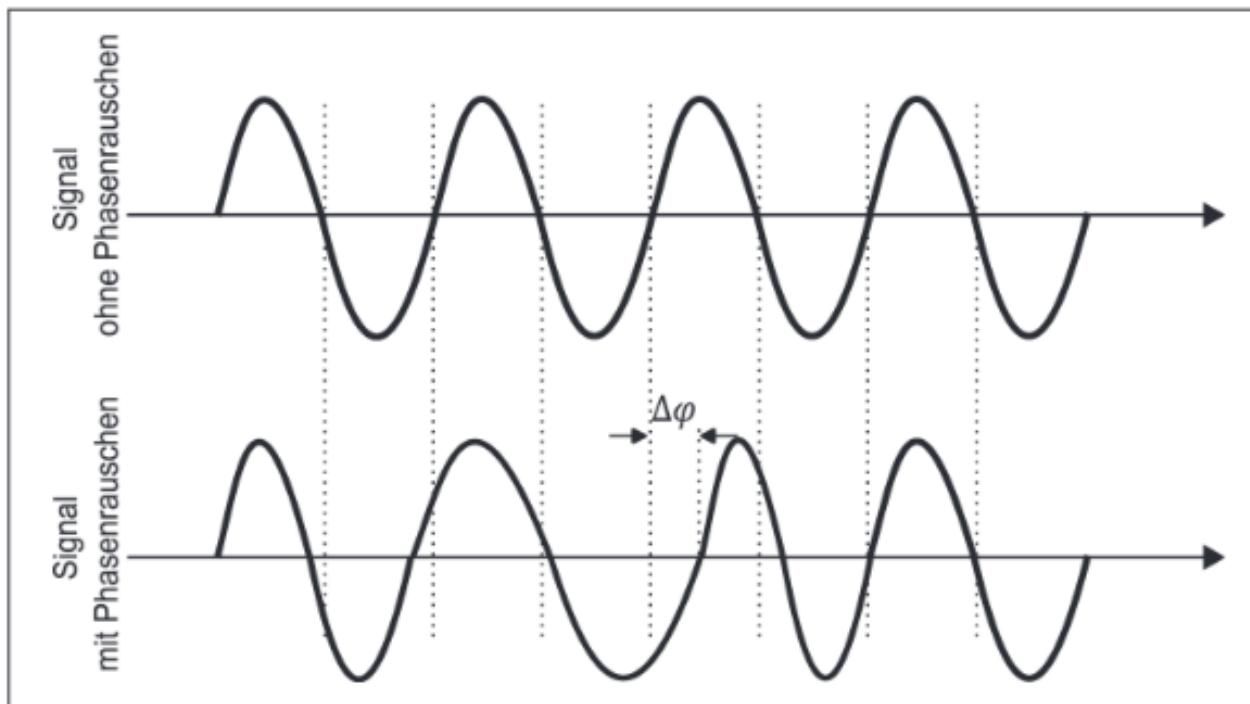
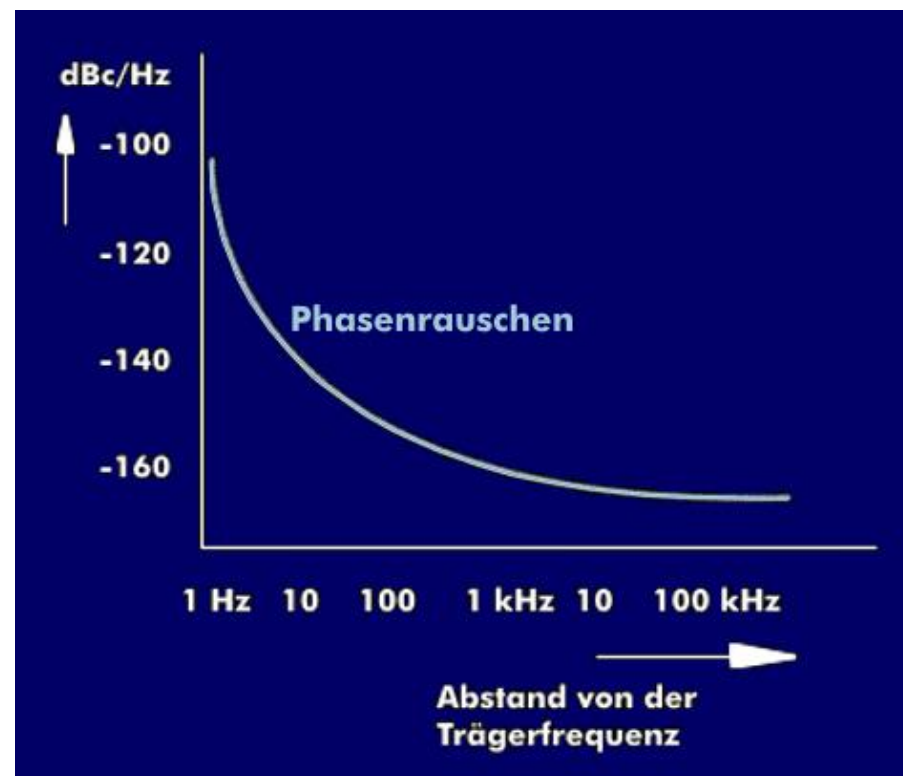


Bild 1.1: Auftreten einer zufälligen, zeitabhängigen Phase $\Delta\varphi$ im Sinussignal

Das Phasenrauschen eines Oszillators bewirkt, dass dieser nicht nur als Linie im Spektrum auftritt, sondern quasi kontinuierlich auch bei Frequenzen unter- und oberhalb der Sollfrequenz, wenngleich mit stark abfallender Wahrscheinlichkeit bei zunehmendem Abstand.

Das Phasenrauschen kann mit einem Spektrumanalysator gemessen werden, wenn das Phasenrauschen seines lokalen Oszillators deutlich kleiner als das zu messende Phasenrauschen ist.

Es wird angegeben in dBc/Hz (dB Carrier/Hz) bei einem bestimmten Abstand (Frequenzoffset bzw. Offsetfrequenz) von der Oszillatorfrequenz. Da es sich beim Phasenrauschen um eine **Rauschleistungsdichte** handelt, muss zu seiner Angabe die Rauschleistung auf eine bestimmte **Bandbreite** bezogen werden.



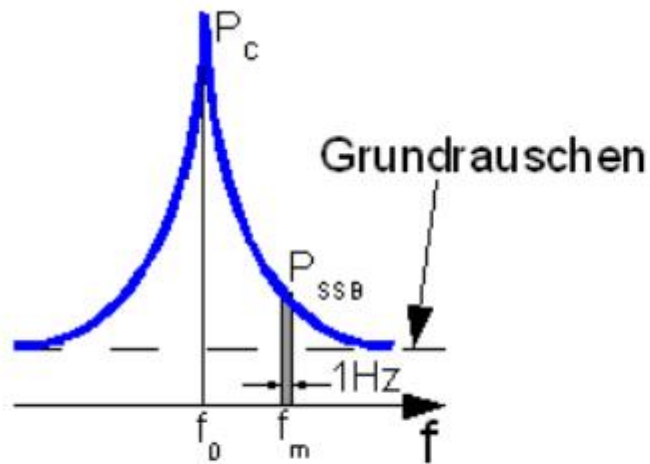


Abbildung 2.5: Frequenzspektrum eines realen Oszillators

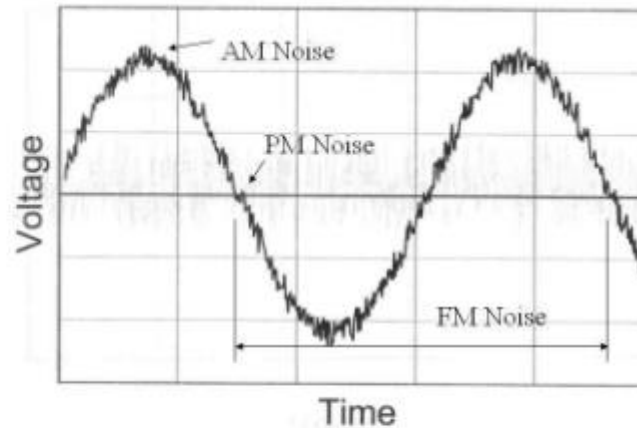


Abbildung 2.6: Zeitbereichsdarstellung eines realen Oszillatorsignals (Quelle [6])

Die einfachste und schnellste Methode, das Phasenrauschen eines Oszillators zu bestimmen, ist die direkte Messung mit einem Spektrumanalysator (im Vergleich zur Phasendetektor-Methode). Dies ist allerdings nur unter einigen Voraussetzungen möglich:

- Das Amplitudenrauschen muss vernachlässigbar klein gegenüber dem Phasenrauschen sein.

- Das Phasenrauschen des Spektrumanalysators muss geringer sein, als das des zu vermessenden Oszillators.

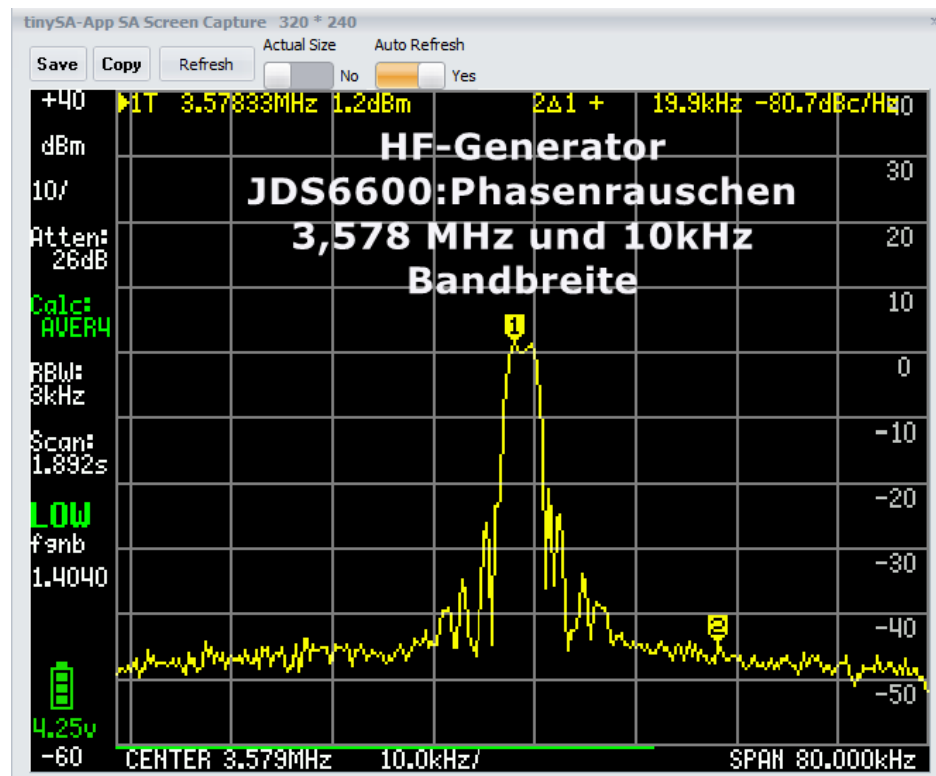
Die Vorteile dieser Methode:

- Es ist eine schnelle Methode das Phasenrauschen zu messen.
- Der Aufbau der Messanordnung ist sehr einfach.
- In großem Abstand vom Träger kann das Rauschen gut gemessen werden.

Nachteile dieser Methode:

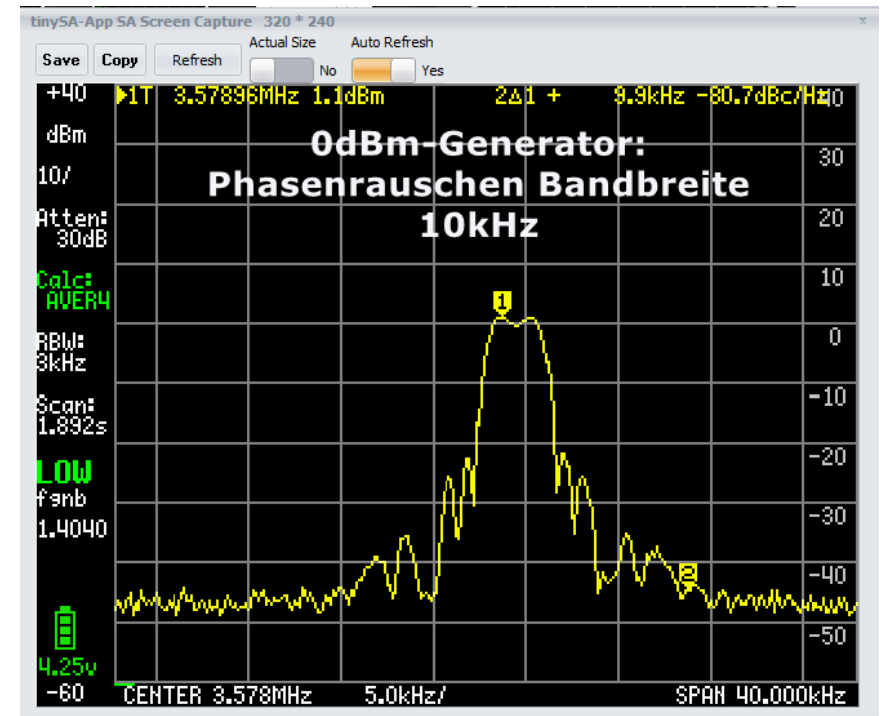
- Die Messgrenze wird durch das Phasenrauschen des Spektrumanalysators gesetzt.
- Weiterhin limitiert der Dynamikbereich des Spektrumanalysators die Messung.
- Das Amplituden- und Phasenrauschen kann nicht unterschieden werden. Das heißt es muss immer davon ausgegangen werden, dass das Amplitudenrauschen vernachlässigbar ist.
- Durch die Bandbreite des Analysators kann nicht in Trägernähe gemessen werden.

- Die Umrechnung in eine Bandbreite von 1 Hz setzt ein ideales rechteckförmiges Filter voraus, das in der Realität nicht möglich ist, dadurch müssen Korrekturfaktoren berücksichtigt werden



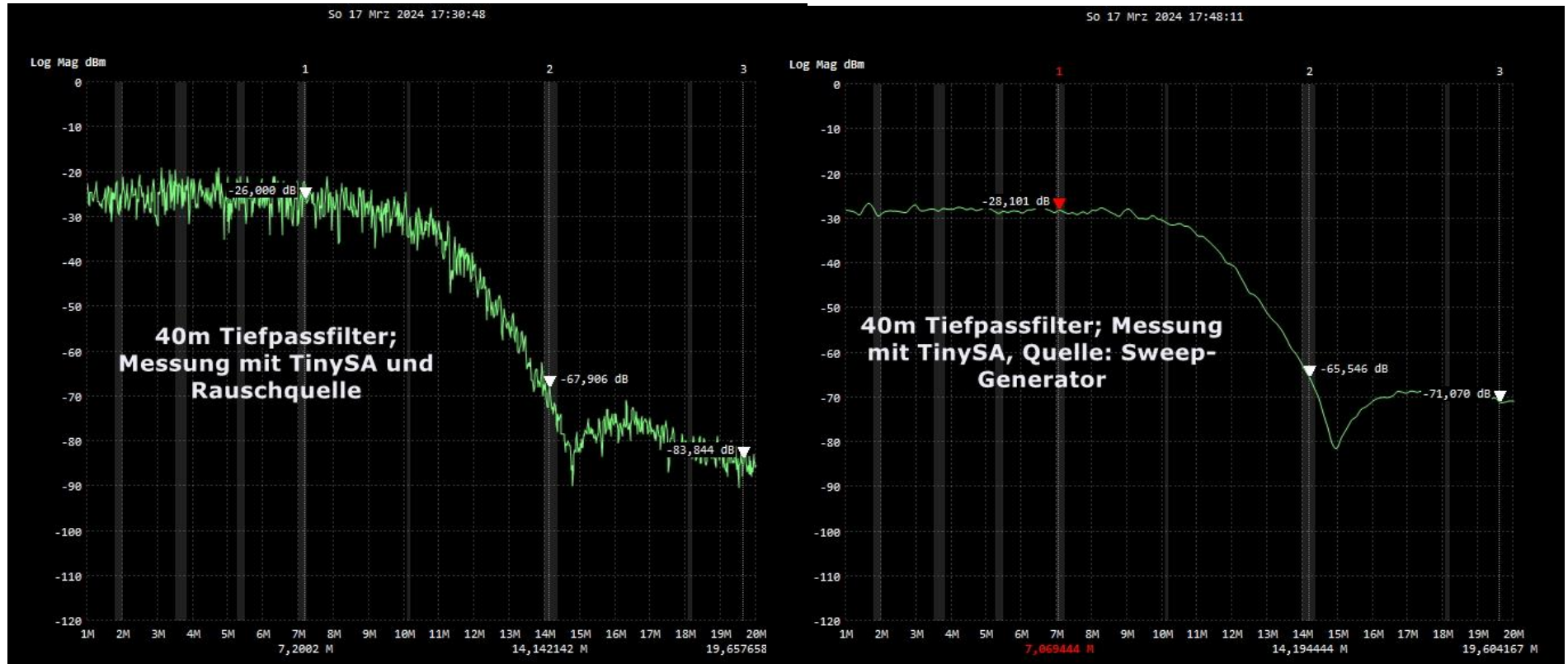
Dem Phasenrauschen bzw. der Messung des Phasenrauschens von Oszillatoren und Synthesizern kommt insbesondere bei

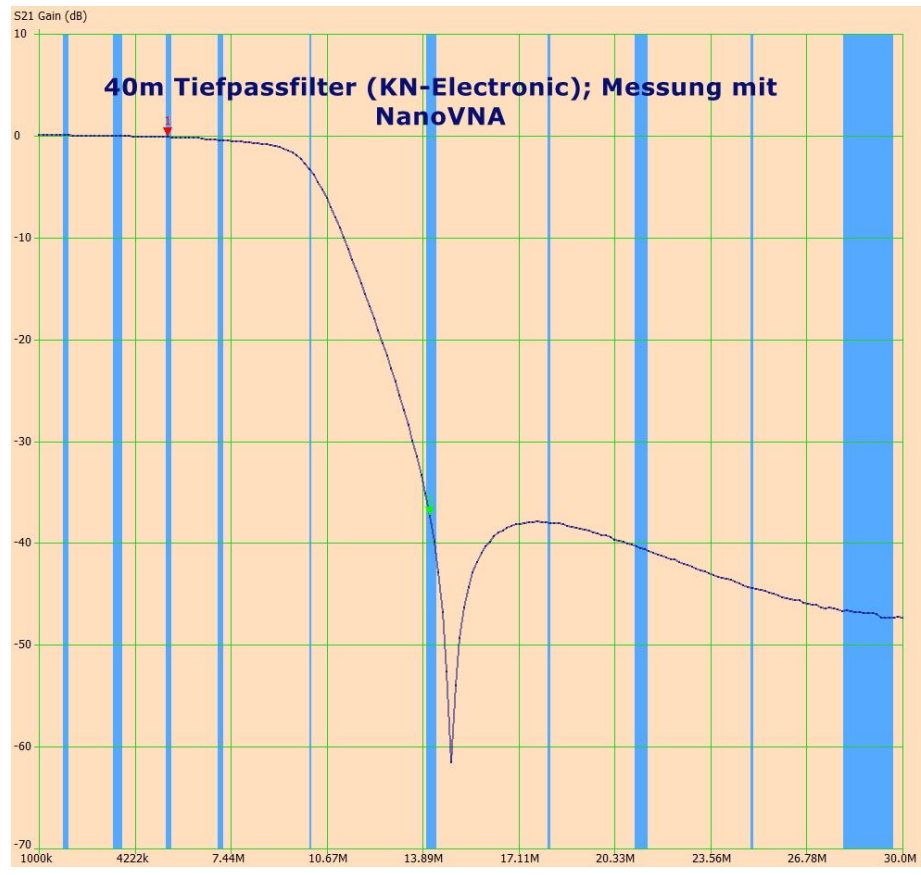
Funkübertragungssystemen eine große Bedeutung zu: durch das Phasenrauschen der Umsetz-Oszillatoren bei Empfängern wird - wenn ein starkes Eingangssignal anliegt - die **Empfindlichkeit** in den Nachbarkanälen **reduziert**. Bei Sendern ist das Phasenrauschen des Sende-Oszillators neben den Eigenschaften des Modulators mit verantwortlich für die **unerwünscht abgestrahlte Leistung** in den Nachbarkanälen.

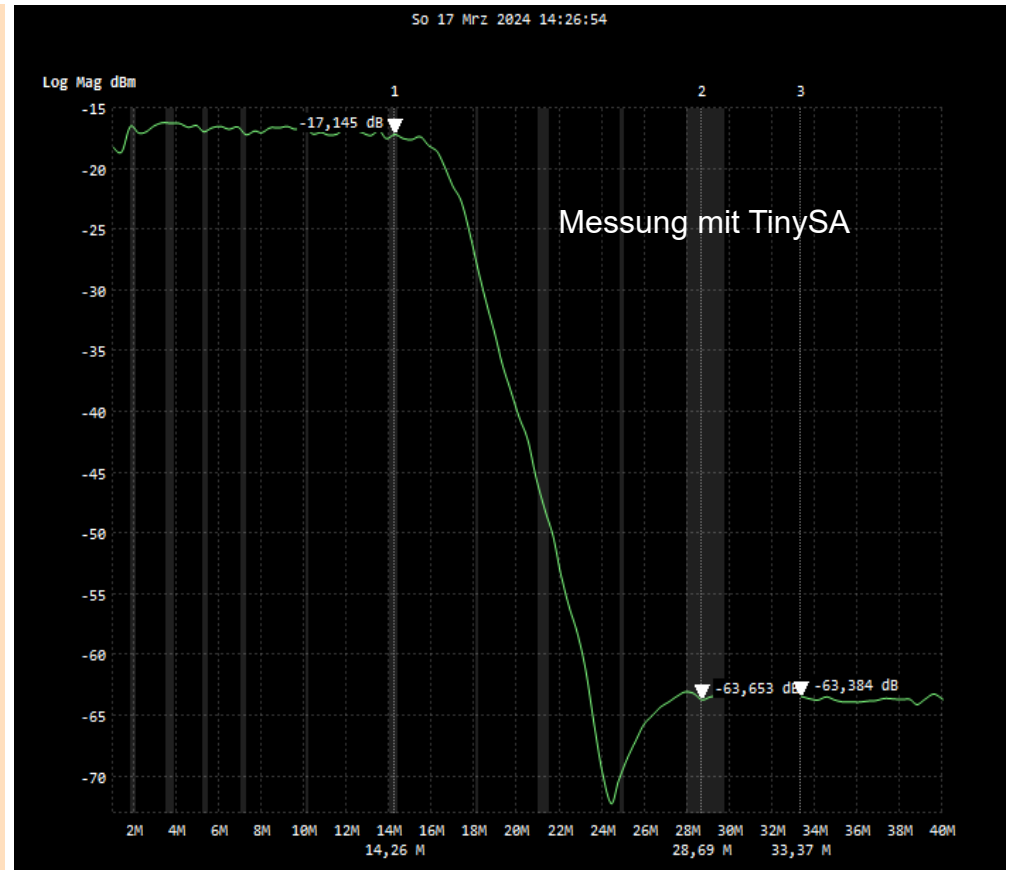
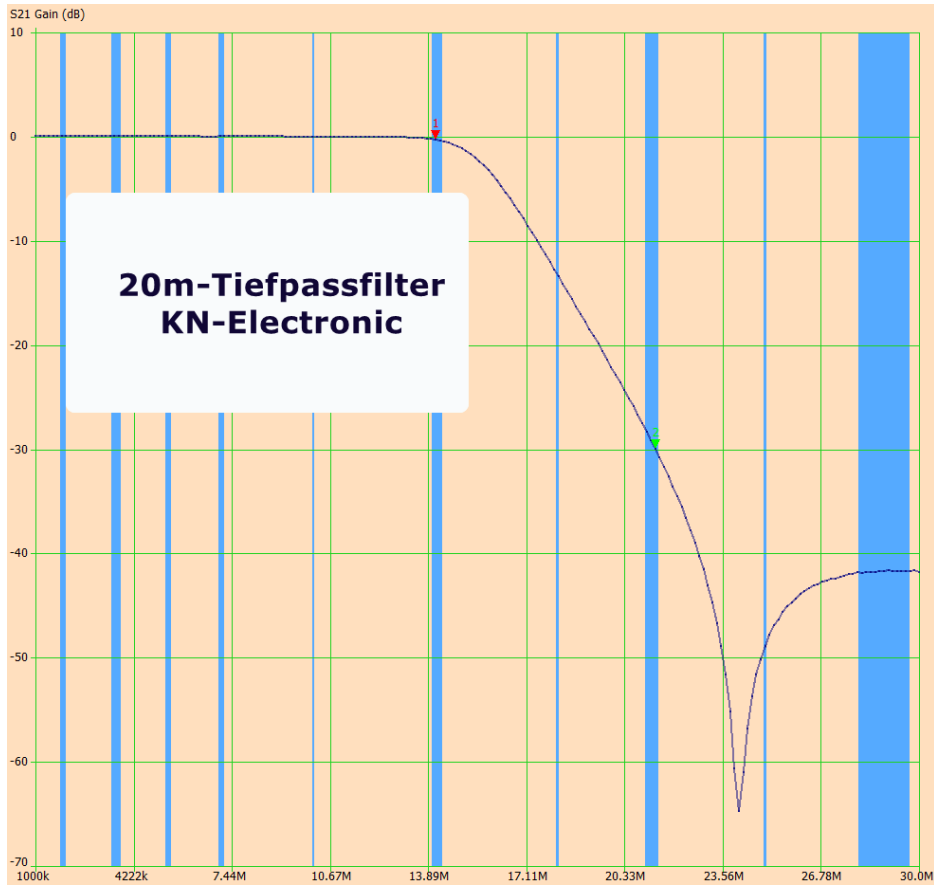


Gute 10-MHz-TCXOs kommen bei einem Trägerabstand von 10 Hz lediglich auf -100 dBc/Hz und erreichen einen noise floor von -160dBc/ Hz bei 100 kHz Trägerabstand. Gute ULPN-10-MHz-OCXOs sind heute mit einem Phasenrauschen von -123 dBc/Hz bereits bei 1 Hz und -149 dBc/Hz bei 10 Hz Trägerabstand verfügbar und zeigen ein trägerfernes Phasenrauschen von besser als -170 dBc/Hz.

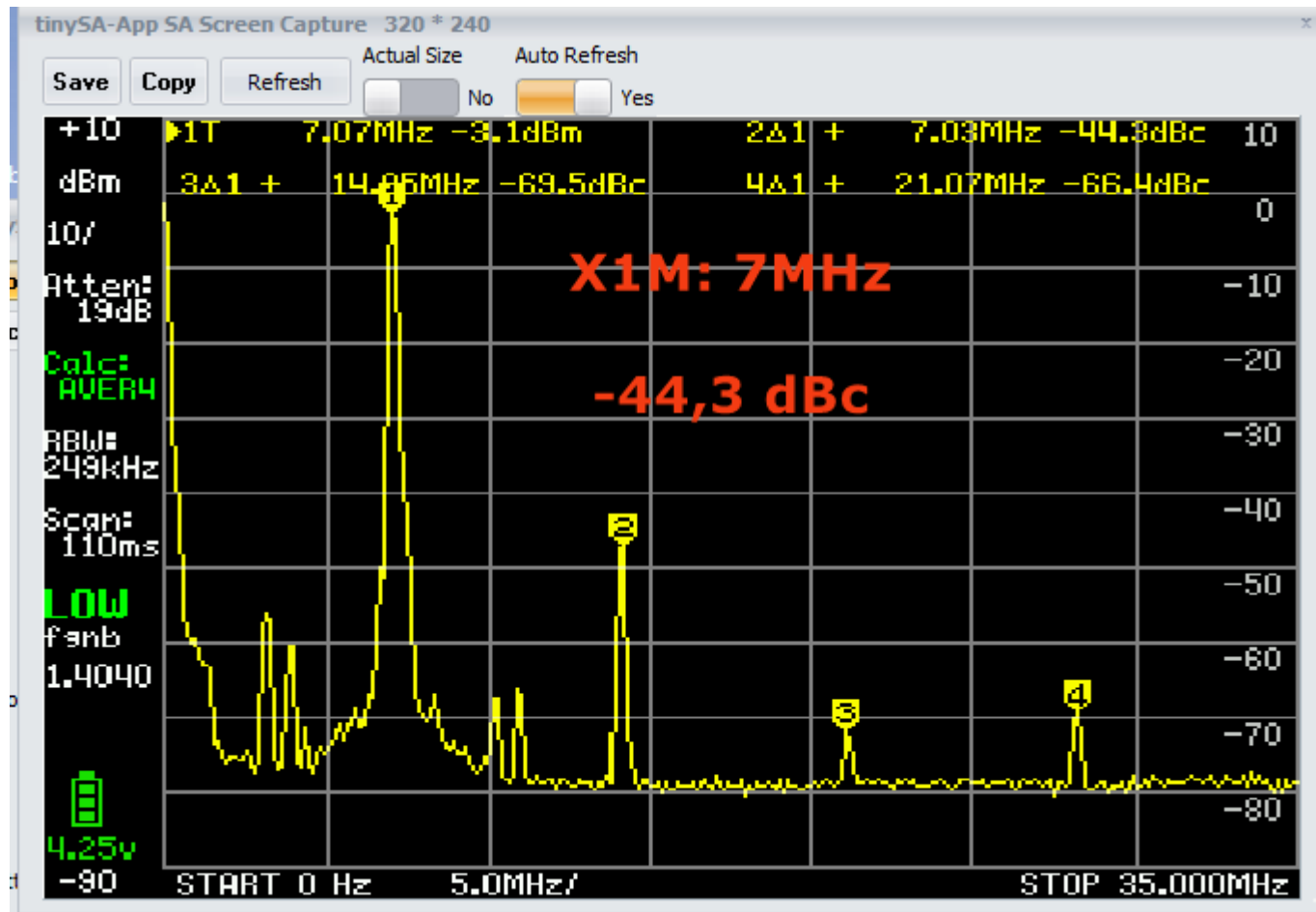
Tiefpassfilter messen (Bausatz KN-Electronic):







Weitere Beispiele: Oberwellen-Messung der Transceiver X1M, Pixie und QMX

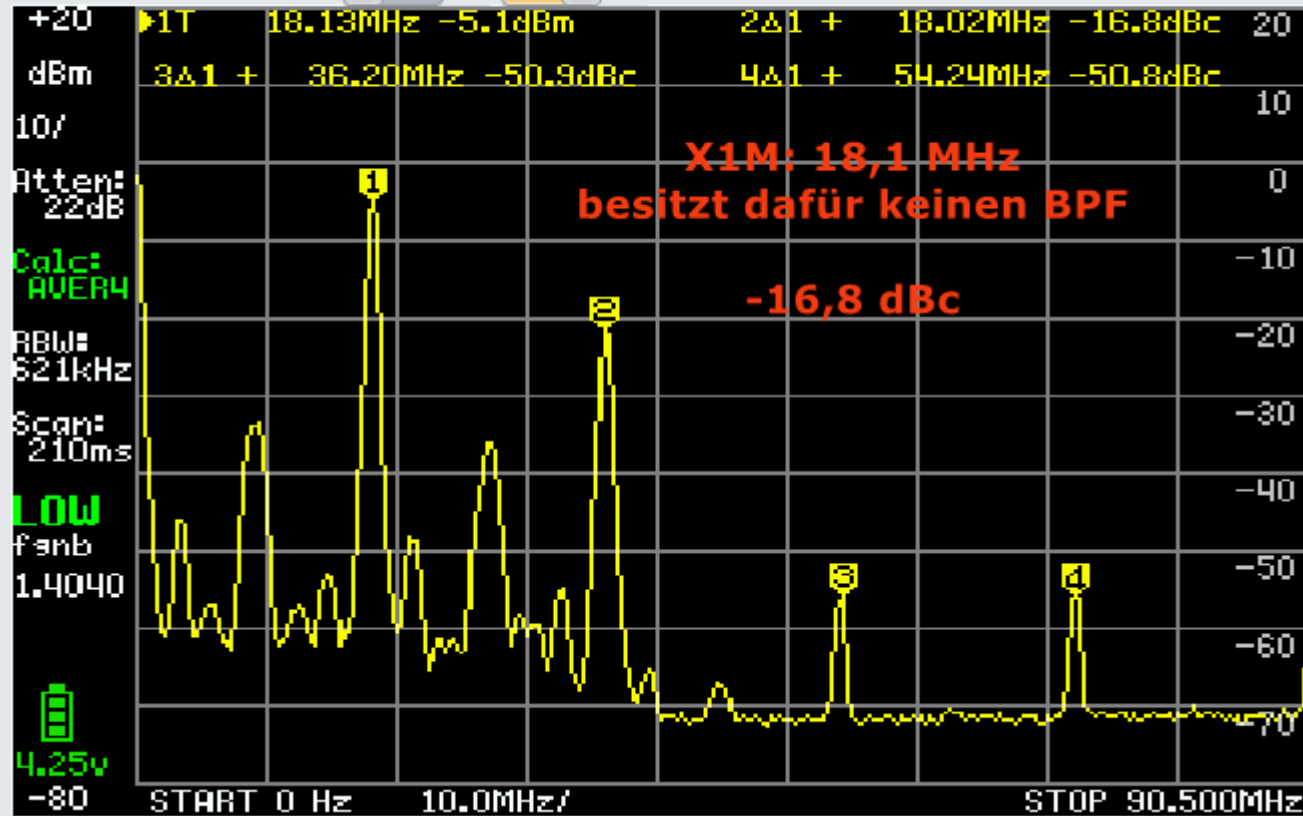


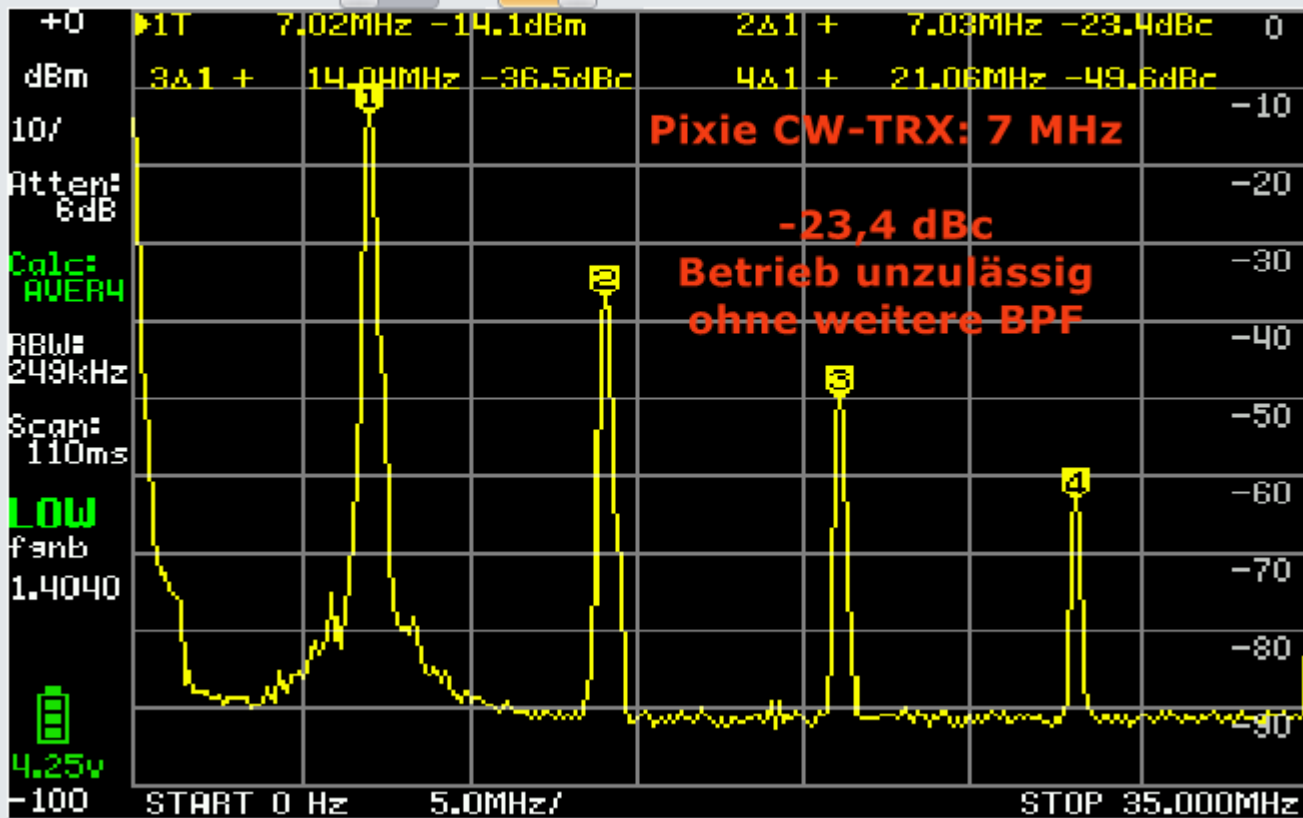
tinySA-App SA Screen Capture 320 * 240

Actual Size Auto Refresh

Save Copy Refresh

No Yes





tinySA-App SA Screen Capture 320 * 240

Actual Size Auto Refresh

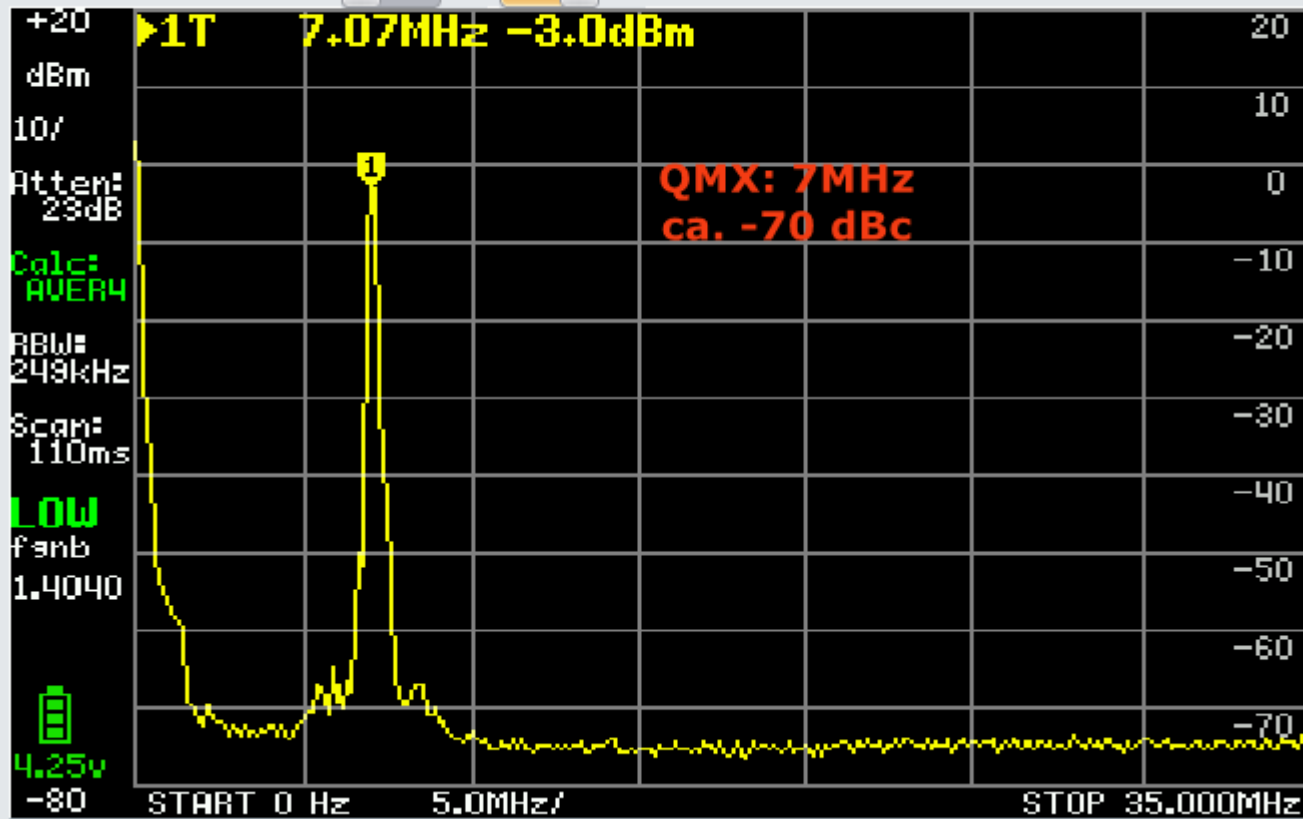
Save

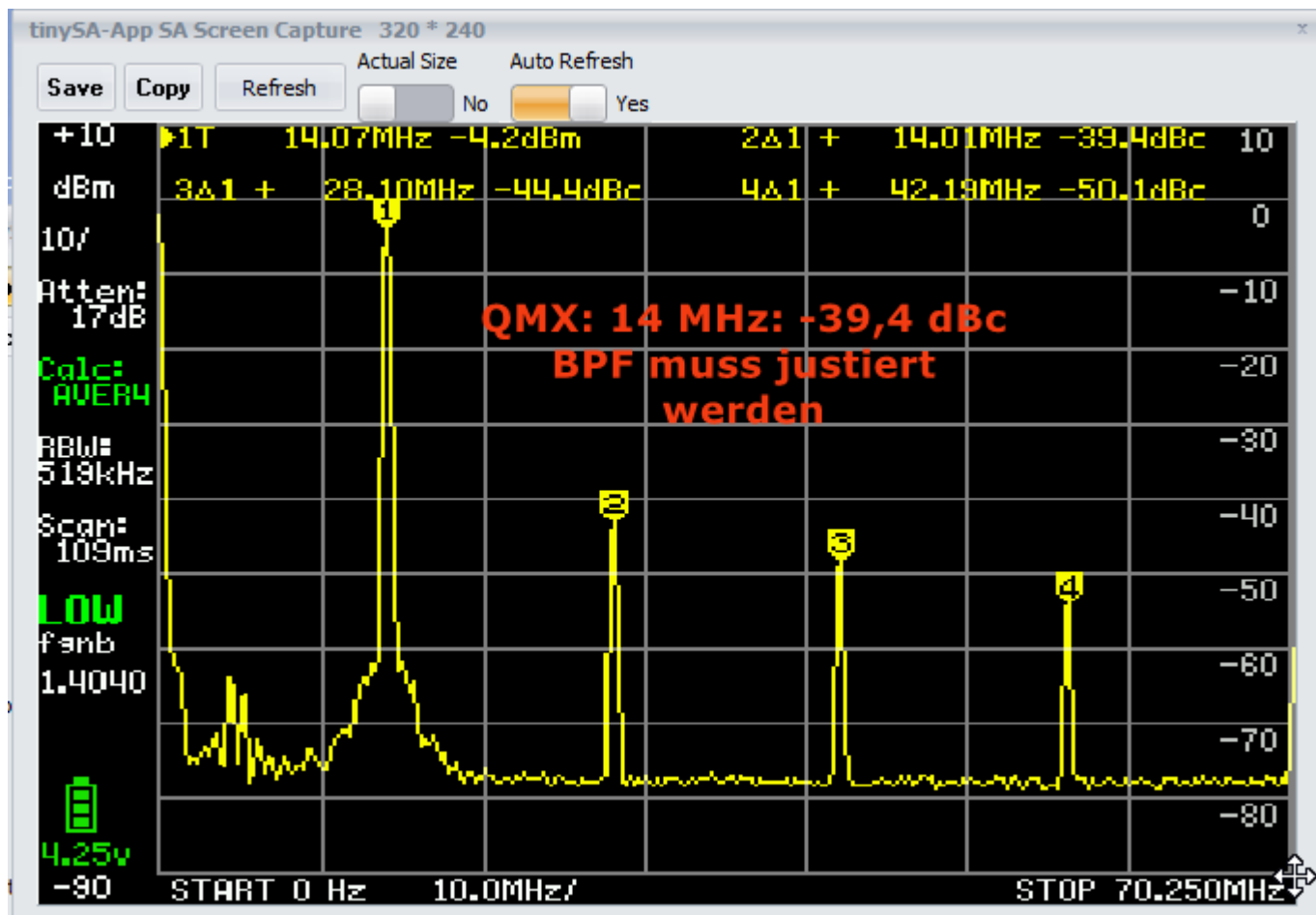
Copy

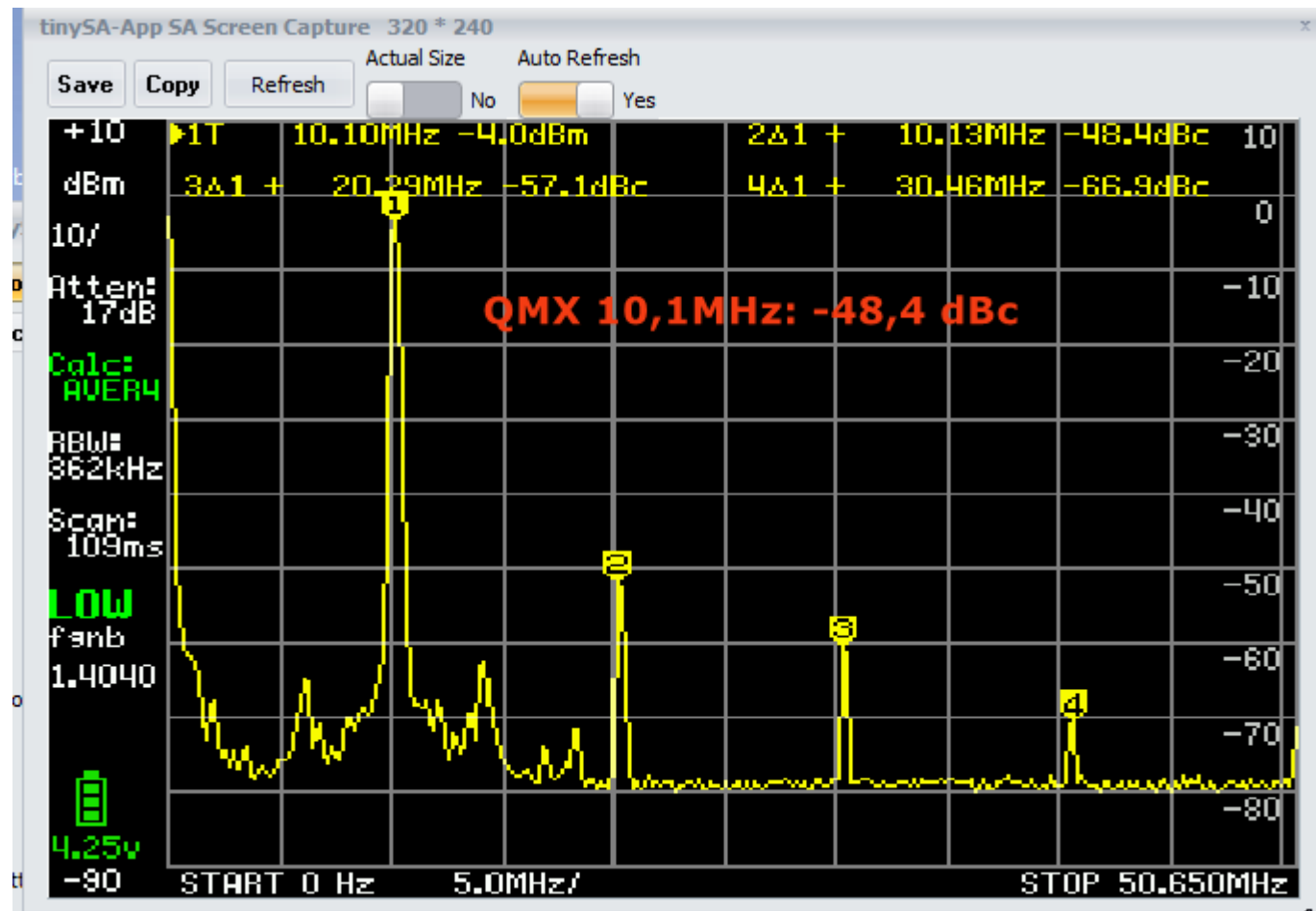
Refresh

No

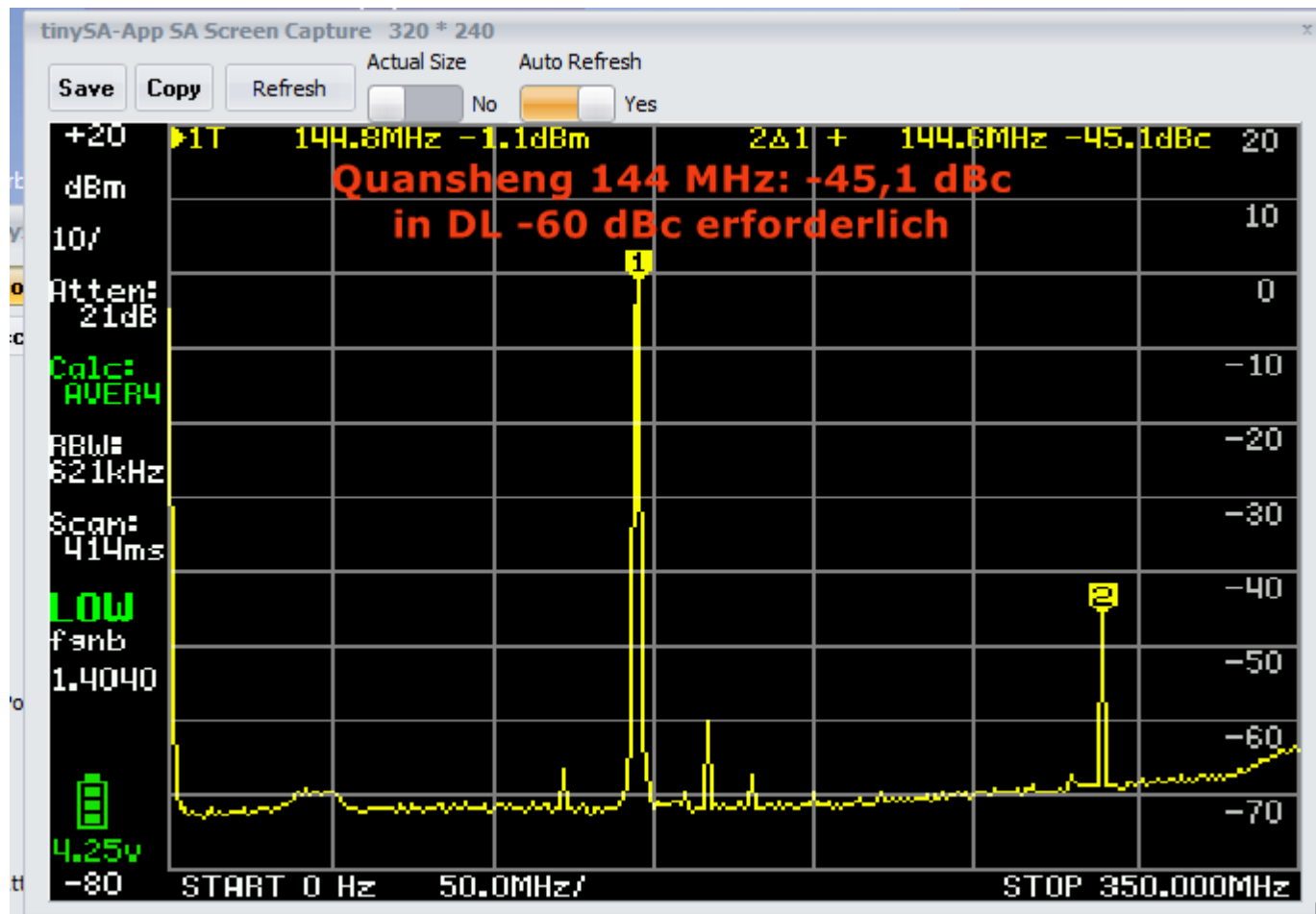
Yes

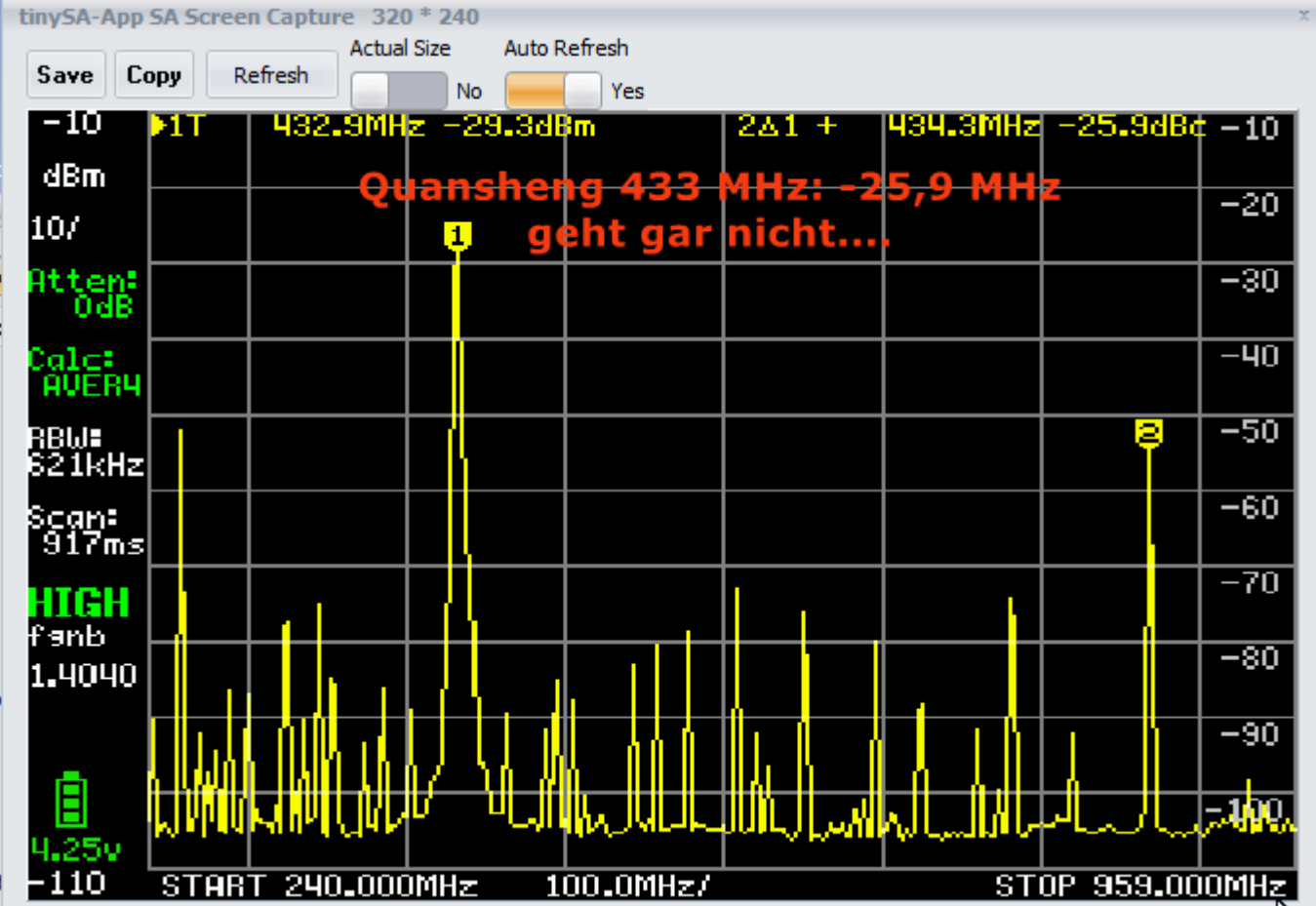






Und schließlich das 2m/70cm Quansheng:





Quellen und weiterführende Links:

https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/distrikte/p/Distrikt_P/Regiotreffen_2021_virtuell/TinySA-Regiotreffen_17.04.21.pdf

<https://eleshop.de/tinysa-spectrum-analyser.html>

<https://tinysa.org/wiki/pmwiki.php?n=Main.HomePage>

<https://www.datatec.eu/wiki/spektrumanalyse-und-emv>

https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma201_1/1MA201_9d_spektrumanalysator_mess.pdf

<https://de.wikipedia.org/wiki/Spektrumanalysator>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Phasenrauschen>

<https://www.nti-audio.com/de/service/wissen/fast-fourier-transformation->

<http://www.siart.de/lehre/phasenrauschen.pdf>

<https://www.itwissen.info/Phasenrauschen-phase-noise.html>

<https://kvg-gmbh.de/wp-content/uploads/hf-praxis-10-2022-KVG.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=Zc1VU1Myb4M>

http://www.stefanie-engelhard.de/sites/default/files/2019-03/Diplomarbeit_Stefanie_Engelhard_0.pdf

https://www.rohde-schwarz.com/de/produkte/messtechnik/essentials-test-equipment/spectrum-analyzers/die-grundlegende-bedieneung-von-spektrumanalysatoren-verstehen_256005.html

Anhang:

Die grundlegende Bedienung von Spektrumanalysatoren verstehen

Autor: Paul Denisowski, Messtechnikexperte

Im Folgenden finden Sie eine Einführung in die grundlegende Bedienung eines Spektrumanalysators.

Spektrumanalysatoren sind Frequenzbereichsgeräte, mit denen die Leistung in Abhängigkeit von der Frequenz ermittelt werden kann. Als Ergebnis dieser grundlegendsten Messung eines Spektrumanalysators wird ein Diagramm der Leistung über der Frequenz angezeigt.

Die meisten Spektrumanalysatoren automatisieren bestimmte Messungen, für die die Leistung über der Frequenz relevant ist, wie die Messung der AM-Modulationstiefe oder des Interceptpunkts dritter Ordnung. Diese Messungen können zwar auch manuell durchgeführt werden, doch von der Automatisierung profitieren Effizienz und Genauigkeit. Andere Messungen wie die belegte Bandbreite oder das Nachbarkanalleistungsverhältnis lassen sich nur schwer oder gar nicht manuell durchführen.

Für den Betrieb eines Spektrumanalysators sind hauptsächlich vier Parameter von Bedeutung. Diese vier Parameter sind

- Mittenfrequenz und Darstellbreite
- Referenzpegel
- Auflösebandbreite
- Videobandbreite

Diese Einstellungen werden bei fast allen Arten von Spektrummessungen verwendet.

Mittenfrequenz und Darstellbreite

Mittenfrequenz und Darstellbreite legen den Frequenzbereich einer Messung durch Einstellen der Start- und Stoppfrequenz fest.

Beispielsweise könnte man die Leistung zwischen 840 MHz und 860 MHz messen wollen. Diese Werte könnten als Start- und Stoppfrequenz in einen Spektrumanalysator eingegeben werden. Häufiger werden jedoch stattdessen die Mittenfrequenz und die Darstellbreite verwendet – im Englischen kurz „center“ und „span“. Die Begriffe sind selbsterklärend: Die Mittenfrequenz ist ganz einfach die Frequenz in der Mitte des Displays und die Darstellbreite dessen Breite. Der Bereich von 840 MHz bis 860 MHz entspricht einer Mittenfrequenz von 850 MHz und einer Darstellbreite von 20 MHz. Meistens ist die Mittenfrequenz des interessierenden Signals bekannt, und die Verwendung der Darstellbreite macht es außerdem einfach, durch Erhöhen oder Reduzieren des Werts hinein- und herauszuzoomen.

- [R&S®ESSENTIALS Standard-Spektrumanalysatoren](#)

Referenzpegel

Der Referenzpegel ist der obere Rand der Anzeige und entspricht der **maximal erwarteten Leistung** am Eingang des Spektrumanalysators. In den meisten Fällen wird der Referenzpegel so eingestellt, dass der höchste Pegel des Signals etwas unter diesem Pegel liegt.

Eine zu niedrige oder zu hohe Einstellung ist zu vermeiden. Wird der Referenzpegel zu hoch eingestellt, verringert sich der Dynamikbereich und kleine Amplitudenänderungen lassen sich nicht mehr erkennen. Wenn der Referenzpegel dagegen zu niedrig eingestellt ist, geht die Kurve über den oberen Bildschirmrand hinaus. Eine zu niedrige Einstellung des Referenzpegels kann außerdem die Messergebnisse beeinträchtigen.

Hinter dem HF-Eingang eines Spektrumanalysators folgen als einige der ersten Komponenten aktive Komponenten wie Mischer und Verstärker. Wenn der Eingangspegel zu hoch ist, können diese Komponenten in Kompression gehen, was zu Verzerrungen führt und die Messergebnisse verschlechtert, manchmal sogar erheblich. Um dies zu verhindern, wird ein variabler Eingangsabschwächer zwischen dem HF-Eingang und diesen empfindlichen Komponenten platziert. Wenn der Referenzpegel eingestellt wird, wird dieser Wert vom Spektrumanalysator verwendet, um die Eingangsdämpfung und/oder den ZF-Verstärkungsfaktor anzupassen, damit es nicht zur Überlastung des Geräts kommt.

Auflösebandbreite

Für grundlegende Spektrummessungen **ist die Auflösebandbreite bei Weitem die wichtigste Einstellung**. Die meisten Spektrumanalysatoren verwenden Heterodyn-Analysatoren zur Messung des Spektrums durch Überstreichen („Sweepen“) eines Bereichs. Die Messkurve, die die Leistung in Abhängigkeit von der Frequenz zeigt, wird von links nach rechts gezeichnet, normalerweise wiederholt.

Um sich dem Begriff der Auflösebandbreite zu nähern, kann man sich diese als ein Fenster vorstellen, das sich über den Darstellbereich bewegt und dabei fortlaufend den Pegel misst. Der Auflösebandbreitenfilter ist jedoch nicht quadratisch, sondern hat eine Glockenkurven- oder ähnliche Form. Auch bewegt sich das Fenster nicht wirklich, sondern das Spektrum wird am Fenster vorbeigeschoben. In der Praxis macht das jedoch keinen Unterschied, und viele HF-Ingenieure stellen sich die Auflösebandbreite als sich bewegendes Fenster oder Filter vor, das einen Frequenzbereich überstreicht.

Die Auflösebandbreite bestimmt, wie gut eng beieinanderliegende Signale getrennt oder aufgelöst werden können. Zwei schmale Signale können nur dann separiert werden, wenn die Auflösebandbreite kleiner als der Abstand zwischen diesen beiden Signalen ist. Bei Verwendung einer größeren Auflösebandbreite werden beide Signale beim Sweepen vom Filter abgedeckt und erscheinen in der Messkurve folglich als ein einziges Signal.

Durchschnittlicher Rauschpegel

Ein weiterer Aspekt der Auflösebandbreite sind die Auswirkungen auf das Rauschen. Genauer **wirkt sich die Auflösebandbreite auf das Grundrauschen aus, das auch als Eigenrauschanzeige oder DANL (von engl. Displayed Average Noise Level) bezeichnet wird**. Das Grundrauschen steigt oder fällt in Abhängigkeit von der gewählten Auflösebandbreite.

Wie wirkt sich eine Reduzierung der Auflösebandbreite konkret auf das Grundrauschen aus? Als Beispiel verwenden wir ein einfaches Dauerstrichsignal und einen relativ großen Frequenzbereich von 2 GHz.

- Bei einer Auflösebandbreite von 3 MHz beträgt der gemessene Mittelwert des Grundrauschens etwa -73 dBm
- Die Verengung der Auflösebandbreite auf 300 kHz reduziert das Grundrauschen auf -84 dBm
- Bei einer Auflösebandbreite von 30 kHz fällt das Grundrauschen weiter auf -93 dBm
- Bei einer Auflösebandbreite von 3 kHz hat das Grundrauschen schließlich einen Durchschnittswert von nur noch -104 dBm.

Eine Verringerung der Auflösebandbreite um den Faktor 10 reduziert das Grundrauschen um etwa 10 dB. Um Signale nahe dem Grundrauschen zu erkennen, sollte in der Praxis folglich eine geringere Auflösebandbreite verwendet werden.

Auflösebandbreite und Sweep-Zeit

Eine geringere Auflösebandbreite sorgt für eine bessere Signaltrennung und geringeres Rauschen. Warum also nicht einfach immer die geringstmögliche Auflösebandbreite wählen? Die Auflösebandbreite ist im Wesentlichen ein Filter, und bei schmalen Filtern dauert es länger als bei breiteren Filtern, bis sich ein stabiles Ergebnis einstellt. Das bedeutet, **dass der Frequenzdurchlauf langsamer abläuft, wenn kleinere Auflösebandbreiten verwendet werden**, um die Genauigkeit zu verbessern. Ein zu schneller Sweep führt demgegenüber sowohl zu Amplituden- als auch Frequenzfehlern.

Der wichtigste Faktor, von dem die Sweep-Zeit eines Spektrumanalysators abhängt, ist die Auflösebandbreite. Wie lange sollte die Sweep-Zeit sein? Die meisten Analysatoren berechnen die Sweep-Zeit automatisch anhand der Auflösebandbreite und Darstellbreite. Das Ergebnis kann manuell modifiziert werden, aber eine Reduzierung der automatisch berechneten Sweep-Zeit ist selten ratsam.

Die **optimale Auflösebandbreite** ist fast ausschließlich eine Funktion des zu messenden Signals und muss oft experimentell ermittelt werden. Es muss ein Kompromiss zwischen Geschwindigkeit auf der einen Seite und Trennschärfe/Rauschen auf der anderen Seite eingegangen werden. Bei den meisten Spektrumanalysatoren ist die Auflösebandbreite nicht beliebig, sondern nur in bestimmten Schritten wählbar, z. B. 1 kHz, 3 kHz, 10 kHz, 30 kHz.

Videobandbreite

Der letzte der grundlegenden Parameter, die hier besprochen werden, ist die **Videobandbreite**. Um verständlich zu machen, was mit der Videobandbreite gemeint ist, muss zunächst der Begriff „Videosignal“ geklärt werden. Die Messkurven sind streng genommen die Hüllkurven der Leistung bei bestimmten Frequenzen. Diese Hüllkurven werden als Videosignal bezeichnet. Die Bezeichnung „Video“ geht darauf zurück, dass dieses Signal früher zur vertikalen Ablenkung eines Kathodenstrahls verwendet wurde, um eine Videospur auf dem Bildschirm zu zeichnen. Bei modernen Spektrumanalysatoren ist die Videobandbreite ein Filter, das zur Mittelung oder Glättung der angezeigten Messkurve verwendet wird.

Im Gegensatz zur Auflösebandbreite wirkt sich die Videobandbreite nur auf die Darstellung des Signals aus, nicht aber dessen Messung oder Erfassung.

Verringern der Videobandbreite Bei einer Videobandbreite von 200 kHz ist deutliches Rauschen auf dem Signal erkennbar. Dieses Rauschen wird reduziert, wenn die Videobandbreite auf 20 kHz gesenkt wird, und nimmt sogar noch weiter ab, wenn die Videobandbreite bis auf 2 kHz verringert wird. **Die Verringerung der Videobandbreite reduziert nur das Rauschen auf der Messkurve**, nicht aber das Grundrauschen wie im Fall der Auflösebandbreite. Auch können eng beieinanderliegende Signale nicht besser aufgelöst oder separiert werden.

Auswählen der Videobandbreite

Die Videobandbreite wirkt sich lediglich auf die Darstellung der Messkurve aus. Die optimale Videobandbreite hängt deswegen in gewissem Maß auch von der Anwendung ab. **Die meisten modernen Spektrumanalysatoren konfigurieren und aktualisieren die Videobandbreite automatisch auf Grundlage anderer Parameter wie der Auflösebandbreite.** In vielen Fällen scheint sich zunächst eine kleinere oder schmalere Videobandbreite zu empfehlen, da so das Rauschen auf der Messkurve reduziert wird. Aber genau wie die Auflösebandbreite wirkt sich auch die Videobandbreite auf die Sweep-Zeit aus – je kleiner oder schmaler die Videobandbreite, desto länger die Sweep-Zeit.

Zusammenfassung

Die vier wichtigsten Grundparameter eines Spektrumanalysators sind:

- Die Mittenfrequenz und die Darstellbreite (Center/Span), aus denen sich der Frequenzbereich ergibt
- Der Referenzpegel, der etwas höher als der maximal erwartete Leistungswert sein sollte, damit die Messkurve innerhalb des Anzeigebereichs bleibt. Zudem dient dieser Wert dem Analysator zur Auswahl geeigneter Werte für die Eingangsdämpfung und Verstärkung.
- Die Auflösebandbreite, bei der ein kleinerer Wert eine bessere Trennung eng beieinanderliegender Signale ermöglicht und das Grundrauschen reduziert, aber die Sweep-Zeit verlängert
- Die Videobandbreite, die zwar nicht die Signalauflösung oder das Grundrauschen beeinflusst, aber eine Glättung oder Filterung der angezeigten Messkurve ermöglicht