



Gunthard Kraus, DG 8 GB

Ein chinesisches Synthesizerboard mit ADF4351 und Touchscreen

(f = 35 MHz bis 4,4 GHz)

1. Vorbemerkung

Von ANALOG DEVICES gibt es eine ganze Reihe an Synthesizer-Bausteinen mit immer höherer maximaler Ausgangsfrequenz. Ein wichtiger und sehr häufig eingesetzter Vertreter ist der ADF4351 mit einem einstellbaren Frequenzbereich von 35 bis 4400 MHz. Seine Eigenschaften lesen sich im Datenblatt so:

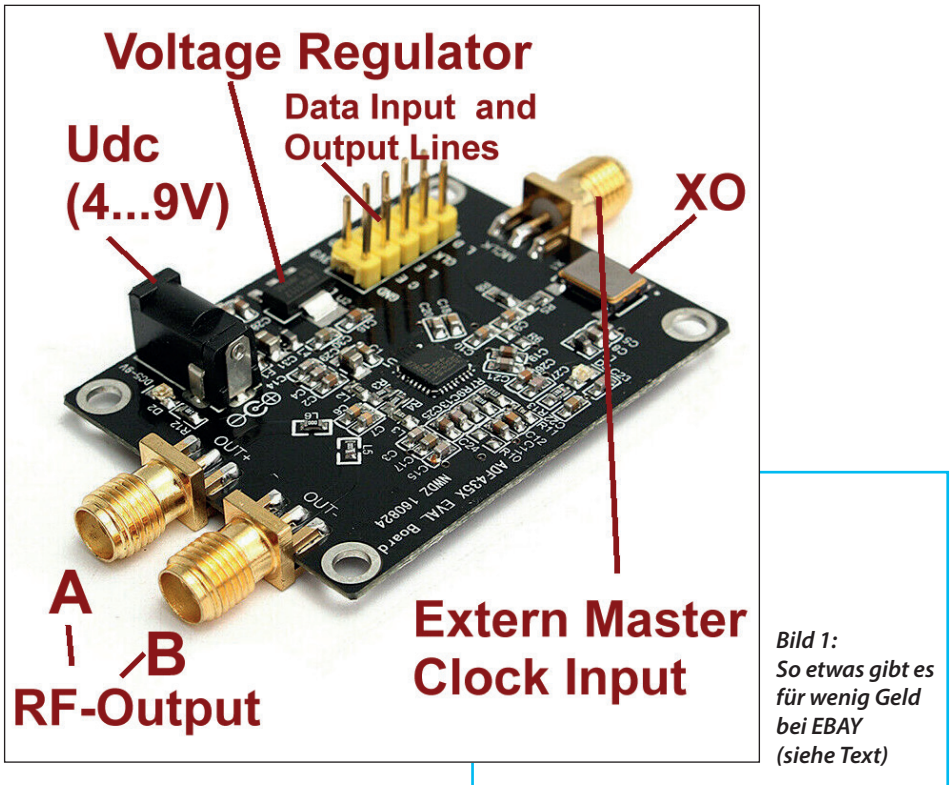
FEATURES

Output frequency range:
35 MHz to 4400 MHz
Fractional-N synthesizer and
integer-N synthesizer
Low phase noise VCO
Programmable divide-by-1/-2/-4/
-8/-16/-32/-64 output T
Typical jitter: 0.3 ps rms
Typical EVM at 2.1 GHz: 0.4%
Power supply: 3.0 V to 3.6 V
Logic compatibility: 1.8 V
Programmable dual-modulus
prescaler of 4/5 or 8/9
Programmable output power level

RF output mute function
3-wire serial interface
Analog and digital lock detect
Switched bandwidth fast lock mode
Cycle slip reduction

Es lohnt sich jedoch nicht, mit dem Chip alleine zu beginnen, denn bei EBAY gibt es in der Zwischenzeit genügend preisgünstige, bereits fertig aufgebaute Boards aus China, die man grob in zwei Hauptgruppen teilen kann:

a. Eine Baupruppe, bestehend aus einem Board mit dem ADF4351 samt Festspannungsregler für 3,3 V und Quarzoszillator, sowie zwei 50 Ω -HF-Ausgängen über SMA-Buchsen. Zusätzlich ermöglicht eine weitere SMA-Buchse die Einspeisung eines hochgenauen Taktes (z.B. mit GPS-Stabilisierung) und ein Pfostenfeldstecker für die diversen Datenleitungen (Dreileiter-Bus, Lock Detect usw.) darf auch nicht fehlen. Die am häufigsten angebotene „Standardversion“ zeigt **Bild 1**, die zu Preisen zwischen 16 und 30



Euro erhältlich ist.

Das ist natürlich etwas für Leute, die z.B. mit einem ARDUINO alles selbst programmieren und steuern wollen. Wenn man das allerdings vorhat, artet es schnell in richtige Arbeit aus - es müssen nämlich bei jeder neuen Einstellung mehrere Register mit je 32 Bit Länge korrekt bedient werden.

Und noch etwas kann empfindlich wehtun: Geliefert werden die Boards nur mit einem Standard-Quarzoszillator (XO) für 25 MHz, der leider eine schlechte Frequenzstabilität und Genauigkeit von nur ± 50 ppm aufweist, daher wohl die Mög-

lichkeit zur Einspeisung eines hochpräzisen Masterclocks.

b. Weiterhin gibt es ein hübsches Spielzeug in Form eines Moduls (**Bild 2**), mit dem sich schon nach dem Auspacken gleich etwas anfangen lässt und das vom Preis her zwischen 45 und 65 Euro geliefert wird.

Es enthält den Synthesizer und zusätzlich einen eigenen Mikroprozessor. Über der eigentlichen Platine sitzt jetzt ein farbiges LCD-Touchpad zur direkten Bedienung bzw. Ausgabe oder Einstellung aller wichtigen Parameter. Der Umgang damit ist allerdings recht „putzig“ und

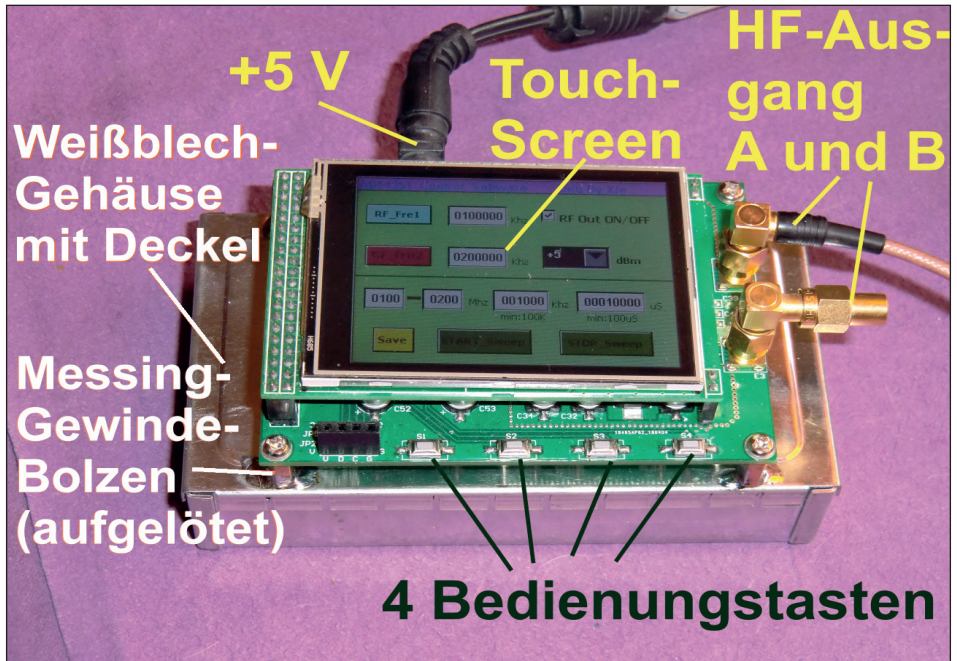


Bild 2: Das ist die interessantere Version mit Touchscreen und Tastenbedienung; hier dient ein Weissblechgehäuse als Fundament (siehe Text)

nicht selbsterklärend, weshalb das anschließend näher betrachtet werden soll.

Dieses Board ist (wenn man sich in die Bedienung eingearbeitet und den Taktoszillator durch einen hochpräzisen GPS-Takt ersetzt hat) eine ideale, rauscharme Signalquelle für den HF-Entwickler.

Die beiden 50 Ω -HF-Ausgänge reichen von 35 MHz bis 4,4 GHz, wobei zwischen vier Pegeln (+5 / +2 / -1 / -4 dBm) umgeschaltet werden kann, wobei eine Mute-Funktion auch nicht fehlt. Natürlich kann auch mit einstellbaren Wartezeiten pro Frequenzstep gesweept werden.

Über die weiteren Details wie die Fre-

quenzgänge oder das Oberwellenspektrum soll später gesprochen werden. Aber sofort fällt auf dem Spektrumanalysator das angenehm niedrige Seitenbandrauschen direkt neben dem eingestellten Träger auf.

In Bild 2 ist außerdem zu sehen, wie man sich daraus eine praktische Version für den Arbeitsplatz zusammenbauen kann. Ich habe es über die mitgelieferten vier Gewindebolzen auf einem handelsüblichen Weißblech-Gehäuse befestigt. So sind nicht nur die Bedienelemente gut zugänglich und das doch recht gewichtige Blechgehäuse sorgt für einen sicheren Stand auf dem Tisch. Auch die



Bild 3: Bei der Größe des Schirmes ist ein solcher Stick mit Gummikappe zur Eingabe unverzichtbar

HF-Ausgänge A und B liegen schön frei zugänglich und wenn man noch mit zwei SMA-Winkeladaptern arbeitet, ist das Aufschrauben von SMA-Kabeln eine Freude.

Darüber hinaus lassen sich im Weissblechgehäuse wichtige Zubehörteile (Touchstift, SMA-Abschwächer und Abschlusswiderstände, Kupplungen, Winkelstecker, kurze Messkabel...) gut aufbewahren.

Bedient wird sowohl über den Touchscreen wie auch über die vier kleinen Tasten unterhalb des Displays. Darauf wird nachfolgend im Detail eingegangen.

2. Das Touchscreen-Board in der Praxis

2.1. Der Touchscreen

Zur richtigen Bedienung des Touchscreens ist unbedingt ein Stift mit Gummikappe, ein sogenannter Touchstick, erforderlich (Bild 3). Mit den Fingern alleine ist die Eingabe recht unsicher... Das

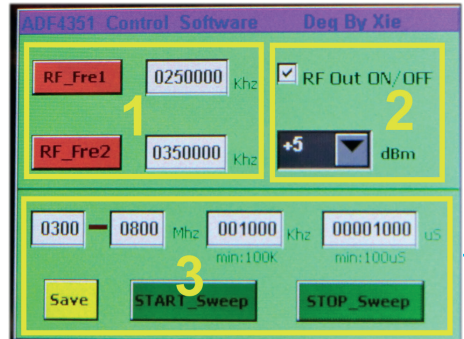


Bild 4: So werden wir begrüßt und man muss sich zuerst über die verschiedenen dargestellten Bereiche schlau machen

Ding führt jeder Handyladen, die Beschaffung sollte also kein Problem sein.

2.2. Das Menü

Der Bildschirm ist in drei Bedienungsfelder aufgeteilt, gelb umrandet in **Bild 4** zu sehen:

- 1 = Einstellung von zwei verschiedenen Festfrequenzen
- 2 = Ausgangspegel
- 3 = Sweep-Betrieb



Bild 5: So wird die ausgegebene Frequenz programmiert: erst auf „RF_Fre1“ tippen, bis das Feld blau wird ...



Bild 6: ... und anschließen die gewünschte Frequenz in kHz eingeben



Bild 7: Wenn und solange diese Taste gedrückt wird, gibt das Board „RF_Fre2“ aus

a. Eingabe von Festfrequenzen (über Feld 1)

Angenommen, man möchte abwechselnd mit den beiden Frequenzen „250 MHz“ und „350 MHz“ arbeiten.

Zunächst tippt man mit dem Stift auf das Feld „RF_Fre1“, das sich dadurch blau verfärbt (**Bild 5**). Ein anschließender Tipp auf das Fenster mit der Frequenzanzeige öffnet eine Tastatur (**Bild 6**).

Die gewünschte Frequenz von 250 MHz muss in „kHz“ (= also 250000) eingegeben und anschließend mit einem Tipp auf „Enter“ (Ent) übernommen werden. Falls dabei etwas falsch läuft: Ganz unten rechts auf dem Tastaturfeld sitzt die „Back“-Taste und man wiederholt einfach die Eingabe.

Achtung: Bitte nicht vergessen, hinterher einmal auf die linke Taste S1 zu drücken. Sie hat auch eine Reset-Aufgabe und bewirkt so die sichere Ausgabe der eingestellten Frequenz „RF_Fre1“.

Das Spiel wird nun für „RF_Fre2“ wiederholt - allerdings mit der Eingabe „350000“ für eine Frequenz von 350 MHz.

An die Ausgabe dieser zweiten Frequenz kommt man aber nur so heran:

Entweder tippt man mit dem Stick auf das Feld „RF_FRE2“, damit es blau leuchtet ODER man betätigt längere Zeit die Taste S1 in **Bild 7** (= ganz linke kleine Taste). Solange man sie drückt, springt der Synthesizer auf „RF_Fre2“ und kehrt sofort zu RF_Fre1“ zurück, wenn man den Knopf wieder loslässt.

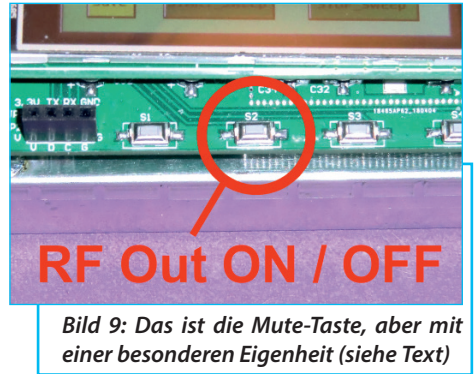
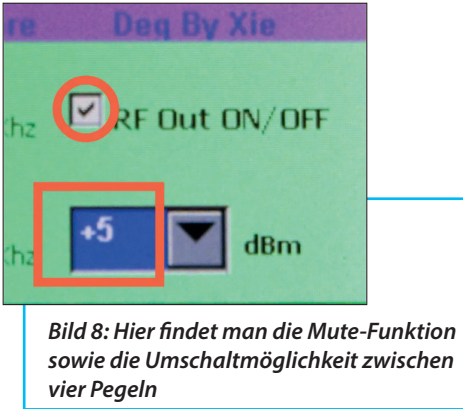
Und noch ein Tipp:

Wenn einmal beide Fenster (= RF_Fre1 und RF_Fre2) GLEICHZEITIG blau leuchten sollten, hat sich das Programm bisweilen aufgehängt. Hier hilft nur ein brutaler Hardware-Reset, indem man den Versorgungsstecker zieht und nach kurzer Zeit wieder einsteckt. Und es folgt ein einmaliger Druck auf die linke Taste S1 als Software-Reset.

b. Die Sache mit dem Ausgangspegel (= Feld 2)

Das ist eine einfache Übung (**Bild 8**) :

1. Entfernt man das Häkchen bei „RF Out ON / OFF“ mit dem Touchstick, dann er-



hält man keine Ausgangsspannung (präzise: Sie ist um mindestens 40 dB abgesenkt = muting). Einschaltet wird wieder mit dem Touchstick. Zusätzlich gibt es noch ein Spielzeug, denn ein Druck auf die Taste S2 hat dieselbe Wirkung (**Bild 9**).

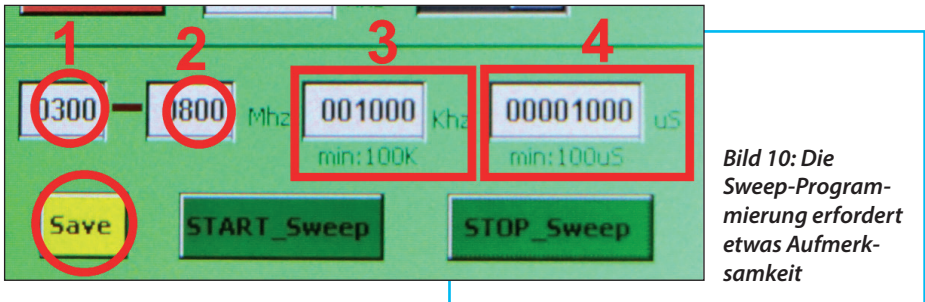
Aber Achtung - da steckt ein Zeittakt dahinter, wenn man den Finger drauf lässt! Im Rhythmus von etwa einer halben Sekunde wird vom Programm automatisch zwischen „ON“ und „OFF“ gewechselt, also muss man das kleine Häkchen für „RF ON“ immer im Auge behalten, ob „RF ON“ aktiv ist. Sonst sucht man unnötig nach Fehlern, weil gerade kein Signal da ist.

2. Ein Tipp auf das „dBm“-Fenster in Bild 8 öffnet ein kleines Menü, das die vier möglichen Pegel +5 dBm / +2 dBm / -1 dBm und -4 dBm anbietet. Einfach auf den gewünschten Wert in der Liste tippen ...

c. Frequency Sweep (Feld 3)

Dazu wift man einen Blick auf die untere Hälfte des Bildschirms (**Bild 10**).

Nacheinander muss man vier Informationen eingeben, um als Beispiel einen Sweep von 300 MHz bis 800 MHz zu programmieren. Das funktioniert wieder alles über den Touchstick, die auftauchenden Tastatur und „Enter“.



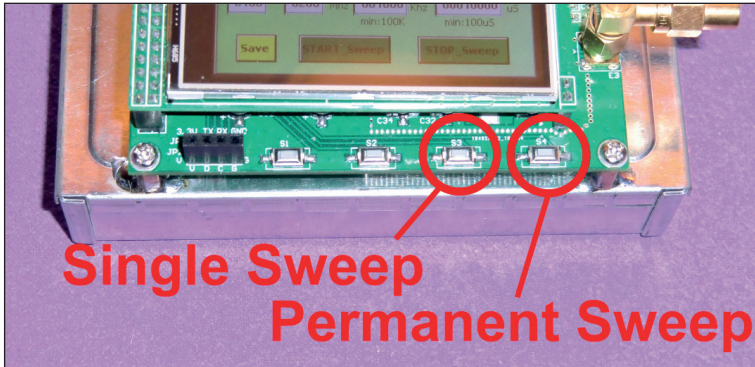


Bild 11: Aber dann haben wir zwei Sweep-Möglichkeiten (siehe Text)

- 1 = Startfrequenz.
Vorsicht: Eingabe in MHz
- 2 = Stoppfrequenz.
Vorsicht: Eingabe in MHz
- 3 = Schrittweite (Step).
Vorsicht, Eingabe in kHz /
Mindestwert = 100 kHz
- 4 = Haltezeit pro Step.
Vorsicht: Eingabe in Mikrosekunden /
Mindestwert = 100 µs

Mit „Save“ wird abgeschlossen, dann reicht ein Tipp auf „Start Sweep“ (= ganz rechte Taste S4) oder ein Tipp auf das entsprechende Feld auf dem Screen, um los zu legen. Das Board führt nun einen „Rauf-Runter“-Sweep aus. Es startet bei 300 MHz und sweepst hoch bis 800 MHz. Dort dreht es die Sweep-Richtung um, fährt mit derselben Geschwindigkeit wieder herunter bis 300 MHz und anschließende wieder hoch usw. Es wird also mit einer Dreiecksspannung gesweept.

Zum Anhalten dient das entsprechende Feld namens „Stop_Sweep“ auf der Anzeige.

Nun kommt noch die letzte fehlende Taste S3 zum Einsatz (**Bild 11**). Sie startet

einen einmaligen Sweep von unten nach oben und der Generator bleibt am oberen Frequenzende stehen.

Ein letzter Tipp:

Wenn man den Sweep gestoppt, genug vom Sweepen hat und wieder zur Ausgabe der Festfrequenz „RF_Fre1“ zurück möchte, geht das oft nicht - erst muss das zugehörige Feld „RF_Fre1“ blau leuchten. Also her mit dem Touchstick und darauf getippt...

3. Messergebnisse

3.1. Frequenzgang des Ausgangspegels

Hier interessiert schon besonders, wie weit man sich an die Pegelangaben des Datenblattes in der Praxis verlassen kann.

Wie **Bild 12** zeigt, bleibt das ein frommer Wunsch und auch die 3 dB-Schritte des Abschwächers sind nur eine unverbind-

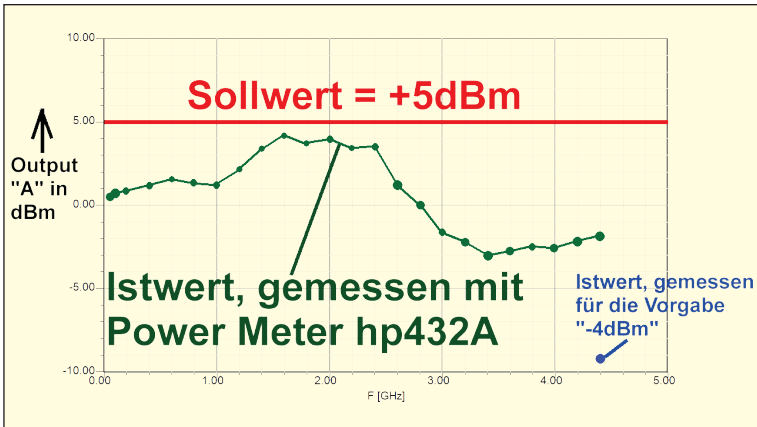


Bild 12:
Der Frequenzgang des Ausgangspegels schafft höchstens einen Kommentar wie „Nanu?“ oder „Na ja..“

liche Empfehlung. Schade, denn das Original-Datenblatt des ADF4351 verspricht nur ± 1 dB Schwankung! Was da wohl auf dem Board oder beim IC falsch gelaufen ist?

3.2. Ausgangsspektrum bei verschiedenen Frequenzen

Wirft man einen Blick auf **Bild 13**, sieht man das Spektrum eines (fast) symmetrischen Rechteck-Signals mit einer Grundfrequenz von 100 MHz, denn

- nur die ungeradzahigen Harmonischen weisen große Amplituden auf. Ihr Amplitudenverlauf folgt genau der Theorie und
- die geradzahigen Harmonischen sind ausreichend gedämpft. Bei 200 MHz, also der doppelten Grundfrequenz, sind es mehr als 40 dB. Das geht so weiter bis 2 GHz. Ab da wird aus dem Rechteck ein Sinus.

In den **Bildern 14 bis 17** kann man weitere Spektren für eingestellte Grundfre-

quenzen von 1 GHz, 2 GHz, 3 GHz und 4 GHz zum Vergleich studieren. Hier gibt es nicht viel Anlass zur Kritik.

Übrigens: Die Messungen wurden mit dem guten, alten Analysator „hp141T + hp8552B + hp8555A“ samt vorgeschaltetem Preselector „hp8445B“ bis fast 20 GHz durchgeführt. Ist zwar etwas anstrengender und aufwendiger als mit

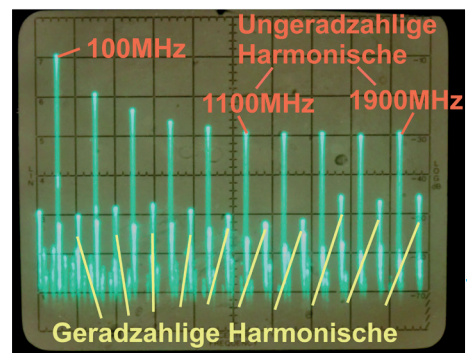


Bild 13: Das Ausgangsspektrum zeigt bei 100 MHz alle Eigenschaften eines typischen und fast symmetrischen Rechtecksignals

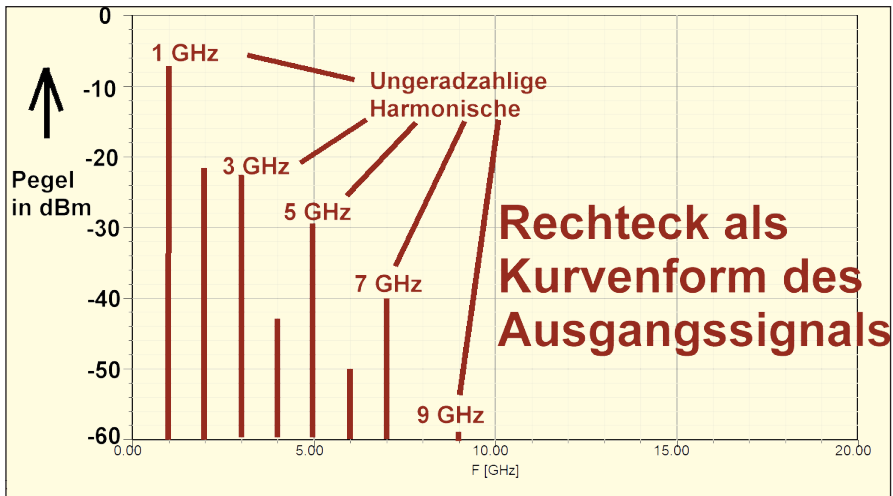


Bild 14: So sieht es am Ausgang bei 1 GHz aus

modernen Geräten, aber nach sorgfältiger Kalibrierung kann man die Ergebnisse ruhig glauben.

3.3. Rauschmessungen

Mit der Anordnung nach **Bild 18** soll zuerst bei 100 MHz das Rauschen in der Nähe des Trägers untersucht und mit

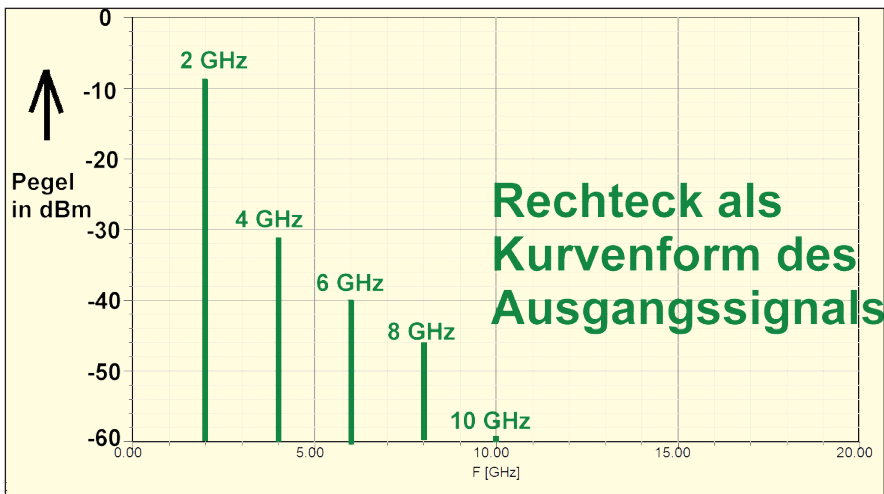


Bild 15: 2 GHz ist auch nicht übel

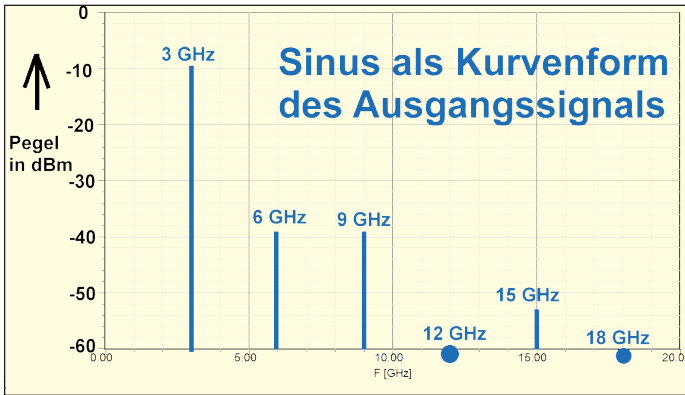


Bild 16:
Bei 3 GHz gibt es nur noch einen Sinus am Ausgang

dem Programm „HSDSR“ ausgewertet werden. Zuvor jedoch einige Erläuterungen zur Messung:

Der maximale Ausgangspegel des Synthesizers beträgt bei $f = 100$ MHz etwa -8 dBm an beiden Ausgängen. Der Ausgangspegel selbst wird durch den Spektrumanalysator am Ausgang „B“ angezeigt. Der identische Pegel bei „A“ wird mittels Dämpfungsglied mit 20 dB auf -28 dBm abgesenkt, der folgende Step-At-

tenuator steht auf „Null dB“. Dieser hohe Pegel wird dem RTL-SDR.COM-Stick zugeführt, der sich natürlich sofort mit der roten Warnmeldung „Clipping!“ beklagt. Also reduziert man die „Tuner Gain“ des SDR-Sticks im HSDSR-Menü solange, bis die Clipping-Anzeige gelb wird und „-3dB below Full Scale“ anzeigt. So wird jede Übersteuerung vermieden.

Jetzt kommt ein wichtiger Test:

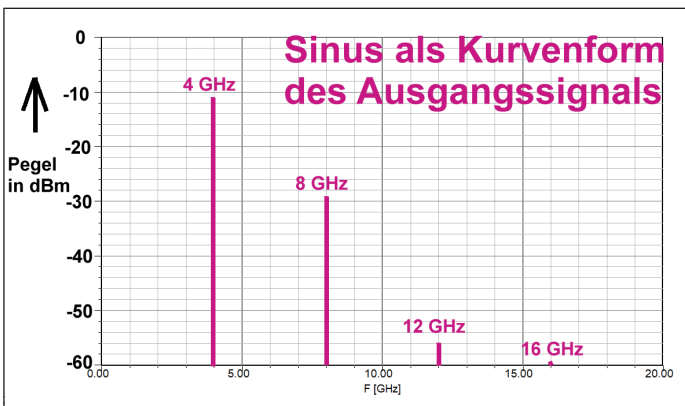


Bild 17:
Und bei 4 GHz muss sich der heimische Messpark schon sehr anstrengen

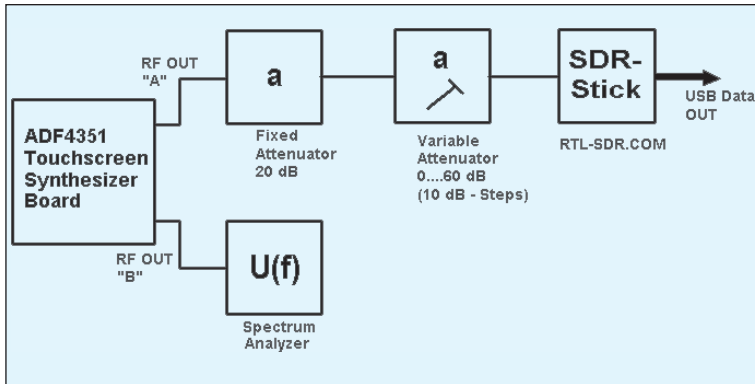


Bild 18:
Bei der Rausch-
messung mit
dem SDR-Stick
muss man et-
was tüfteln
(...siehe Text)

Am Step-Attenuator wird der Schalter auf 10 dB gestellt und dann sorgfältig am Bildschirm nachgeprüft:

- Hat die Amplitude der 100 MHz-Linie auf dem Bildschirm ebenfalls um 10 dB abgenommen?
- Hat sich der Rauschpegel neben dem 100 MHz-Träger ebenfalls um 10 dB vermindert?

Wenn ja, ist alles in Ordnung, denn dann spielt das Eigenrauschen des SDR-Sticks noch keine Rolle und man sieht die echten Rauschseitenbänder des 100 MHz-Trägers auf dem Bildschirm. Nun folgt die Auswertung (**Bild 19**):

Der Träger erscheint z.B. mit einem Pegel von -51 dB. Bei einem Noise Floor von z.B. -145 dB beträgt der Signal-Rausch-

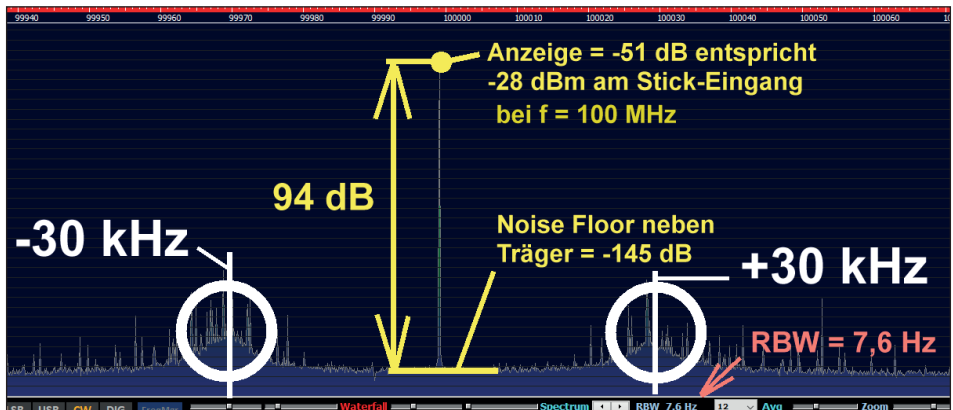


Bild 19: Das ist ein 100 MHz-Träger auf dem HDSDR-Bildschirm - ein schönes Ergebnis!
Zur Auswertung - siehe Text

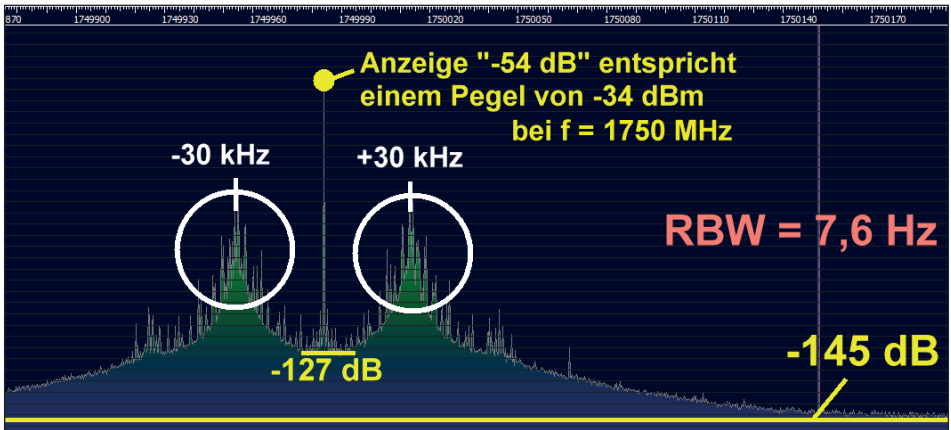


Bild 20: Bei $f = 1750$ MHz wird der SDR-Stick mehr gefordert; trotzdem - gar nicht so übel ...

abstand 94 dB. Da das Programm jedoch mit einer „Auflösungs-Bandbreite“ (= RBW = Resolution Bandwidth) von 7,6 Hz arbeitet, darf man, wenn man auf 1 Hz Bandbreite umrechnet, noch

$$10 \times \log(7,6) = 8,8 \text{ dB}$$

addieren und erhält zwischen Träger und Rauschspitzen einen Abstand von „102,8 dBc“ (dBc = dB below carrier for a bandwidth of 1 Hz).

Sehr schön ist auch die Grenzfrequenz von 25 bis 30 kHz des in der PLL eingesetzten Loop-Filters anhand der beiden symmetrischen „Rauschhöcker“ links und rechts des Trägers zu erkennen. Sobald der Abstand größer als 25 kHz wird, kann die PLL das Eigenrauschen des VCOs immer weniger ausregeln. Für Abstände größer als 30 kHz bekommt man deshalb das „originale Eigenrauschen des VCOs“ zu sehen.

Spannend wird es, wenn man mit $f = 1750$ MHz an die obere Frequenzgrenze

des SDR-Sticks geht und dort das Spiel wiederholt (**Bild 20**). Die Sache mit den beiden Rauschhöckern im Abstand von je 25 bis 30 kHz neben dem Träger findet man natürlich sofort wieder, aber das Rauschen in Trägernähe ist nun doch deutlich angestiegen. Deshalb wurde eine weitere Messung über das getrennt auf dem Bildschirm dargestellte NF-Spektrum für CW-Betrieb vorgenommen. So sieht man endlich, was nun um den Träger selbst genau los ist (**Bild 21**). Bitte aber dabei beachten, das jetzt die Auflösungs-Bandbreite $RBW = 1,5$ Hz beträgt und man bei der Umrechnung auf 1 Hz Bandbreite nur noch einen Korrekturfaktor von 1,8 dB erhält. Damit kommt man auf einen Wert von

$$-(62 + 1,8) = -63,8 \text{ dBc}$$

für das Seitenbandrauschen im Abstand von 50 Hz neben dem Träger.

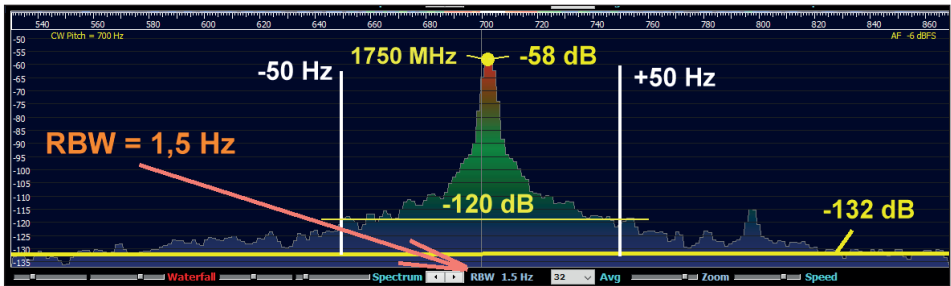


Bild 21: ... besonders wenn man die engere Umgebung des Trägers genauer betrachtet

3.4. Frequenzgenauigkeit und -konstanz

Darüber wurde bereits gesprochen und bei ± 50 ppm kann man keine Wunder erwarten. Echte Abhilfe bringt nur die Einspeisung eines externen 25 MHz-Taktes mit GPS-Genauigkeit und -Konstanz. Das ist aber kein Problem, denn für das Board selbst ist nur eine weitere SMA-Buchse und die Unterbrechung der Leitung zwischen internem Quarzoszillator und dem ADF4351 nötig.

4. Zusammenfassung, Ausblick und Warnung

Trotz festgestellter Schwächen haben wir für ca. 60 Euro eine preisgünstige und gute Signalquelle vor uns. Ihr vernünftigstes Einsatzgebiet ist die Bereitstellung einer einzelnen Signalfrequenz, z.B. als LO in einem Konverter oder (in Verbindung mit einem in einem großen Bereich einstellbaren Abschwächer) als Eingangs-Signalquelle beim Empfängerbau. Allerdings sollte man das Board für solche Fälle sehr sorgfältig in ein dichter

Metallgehäuse einbauen und damit für ausreichende Abschirmung sorgen, denn sein „Störnebel“ ist im Originalzustand recht beträchtlich.

Die Frequenzstabilität ist leider, wie erwähnt, nicht so berauschend. Sie lässt sich aber erfahrungsgemäß sogar bis zum Faktor 1000 erhöhen, wenn der interne XO durch einen über die bereits am Board vorgesehene MCXO-SMA-Buchse zugeführten GPS-Takt mit 25 MHz ersetzt wird. (...Ein solches Gerätchen gibt es bereits ab 200 Euro als „GPSDO“ mit einstellbarer Ausgangsfrequenz zwischen 400 Hz und 800 MHz). Damit bleiben erfahrungsgemäß die Frequenzabweichungen selbst bei 4 GHz unter 50 Hz

Gewarnt werden muss allerdings vor dem Kauf eines scheinbar fast identischen Boards mit dem ADF4355 und einer maximalen Ausgangsfrequenz von 6,4 GHz. Obwohl sein Preis mit knapp über 100 Euro noch erträglich ist, zeigt eine genaue Untersuchung des Ausgangssignals erschreckende Details:

a. um den Träger herum findet sich eine große Anzahl von Störlinien, die z. T. gerade nur 50 dB gegenüber dem Träger

gedämpft sind und

b. überlagert wird das Ganze noch durch eine breite und hohe „Rauschglocke“.

Und wenn man wieder mit GPS-Frequenzstabilisierung arbeiten möchte, gibt es eine hübsche kleine Falle: Hier wird mit einem Systemtakt von 125 MHz gearbeitet. Folglich sucht man (wie der Autor) sehr lange nach dem Fehler, wenn man nur 25 MHz einspeist....

Aber die angegebenen vier möglichen Ausgangspegel stimmen nun weit besser und die Frequenzgänge sind etwas erträglicher.

Also ist noch etliche Entwicklungsarbeit auf seitens des Board-Herstellers zu leisten (...man muss wohl bei den PLL-Filtern anfangen...) und so beschränkt sich die Anwendung im Augenblick auf das, was der Begriff „Prüfoszillator zum Funktionstest eines Gerätes“ beschreibt.

5. Links und Literatur

.... gibt es hier noch etwas einzufügen ???

#

