

Frequenzkalibrierung des Transceivers KX3 mit einem Rubidium-Frequenznormal

Nach den ersten Versuchen mit der Betriebsart WSPR stellte sich die Frage nach der Frequenzabweichung meines Transceivers Elecraft KX3. Manfred, DH0KAI, hatte vor zwei Jahren einen Referenz-Frequenzgenerator der Fa. Lucent erstanden, siehe Bild 1, den er mir für die Frequenzkalibrierung des KX3 ausgeliehen hat. Das Rubidium-Frequenznormal (Typbezeichnung RFG-RB, WP-92066) hat an der Frontseite u.a. folgende SMA-f Ausgänge: 10 MHz RF (J2) out und 15 MHz out (J4).



Bild 1: Ansicht des Rubidium-Frequenznormals der Fa. Lucent

Das Signal des ersten Ausgangs zeigt Bild 2. Näherungsweise ist ein Rechtecksignal zu sehen mit einer Spitze-Spitze-Spannung von $u_{ss} = 2.5$ V. Bild 3 zeigt dieses Ausgangssignal nach einer Filterung mit einem Tiefpass (Grenzfrequenz 12.1 MHz) bei in etwa gleichem u_{ss} -Pegel [1].

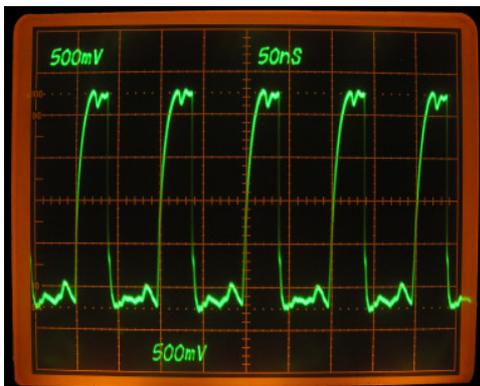


Bild 2: Oszillogramm des Ausgangs "10 MHz RF out" gemessen am 50 Ω Eingang des Tektronix Oszilloskops TK 7844

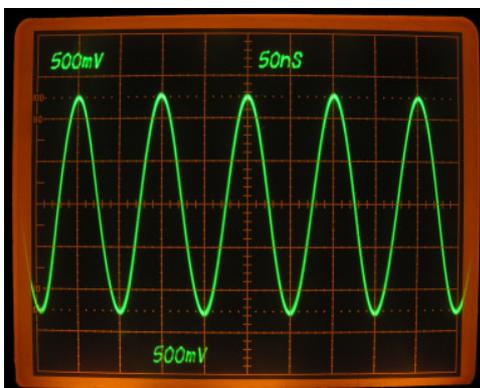


Bild 3: Oszillogramm des Ausgangs "10 MHz RF out" mit nachgeschaltetem Tiefpaß mit einer Grenzfrequenz von 12.1 MHz gemessen am 50 Ω Eingang des TK 7844

Dieses Signal ist natürlich weiter abzuschwächen, bevor es auf den Eingang des Transceivers KX3 gelangt. Bild 4 zeigt beispielhaft eine Abschwächung mit 2×20 dB = 40 dB, entsprechend einem Faktor 100 (zwei BNC-Abschwächer HAT-20+, DC-2 GHz von Mini-Circuits in Serie). Die Spitze-Spitze-Spannung beträgt wie erwartet $u_{ss} = 25$ mV. Mit weiteren 40 dB kann schließlich das Signal um insgesamt 80 dB abgeschwächt werden.

Dann ist hinter der Kaskade von Abschwächern (20 dB + 20 dB + 30 dB + 10 dB) $u_{ss} = 250 \mu\text{V}$ zu erwarten, entsprechend einem Effektivwert von ca. $88 \mu\text{V}$ (das entspricht im Kurzwellenbereich S9 + 5 dB). Das S-Meter des KX3 zeigt bei diesem Signal an der Antennenbuchse auch die erwarteten S9 + 5 dB an (wenn die Funktion "PRE: ein" gewählt ist, d.h. der Vorverstärker im KX3 eingeschaltet ist; siehe S-Meter Kalibrierung im Anhang).

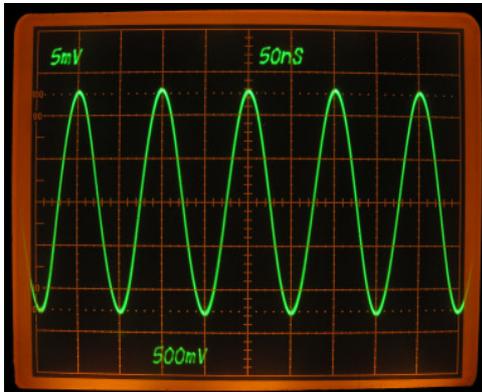


Bild 4: Oszillogramm des Ausgangs "10 MHz RF out" mit nachgeschaltetem Tiefpaß und einer Abschwächung um 40 dB

Das Signal an der SMA-f Buchse "15 MHz out" zeigt Bild 5, hier ist ein Sinussignal zu sehen mit $u_{ss} = 2.7 \text{ V}$. Um einen weiteren Stützpunkt für die Kalibrierung zu erzeugen, habe ich dieses Signal mit einem Mischer TUF-1 frequenzverdoppelt [2]. Bild 6 zeigt das Oszillogramm am Ausgang dieses Mixers.

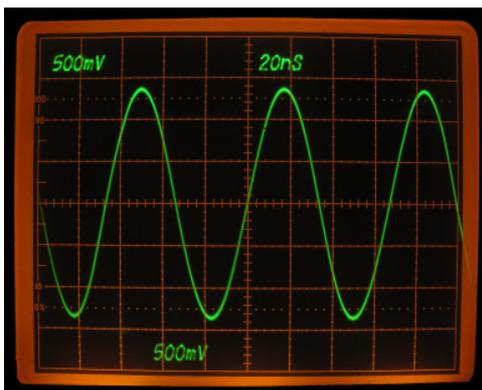


Bild 5: Oszillogramm des Ausgangs "15 MHz out"

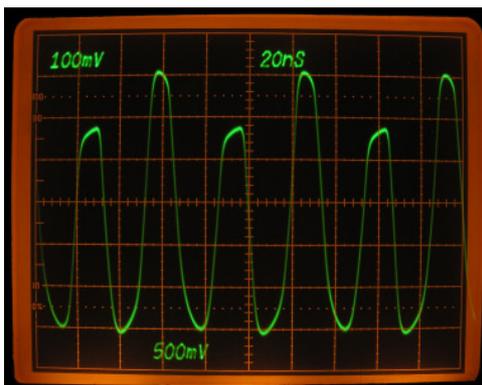


Bild 6: Oszillogramm des Ausgangs "15 MHz out" mit anschließender Frequenzverdopplung

Das frequenzverdoppelte Signal zeigt deutliche Abflachungen in der Nähe der Extrema. Nach einer Filterung mit einem Tiefpaß – Grenzfrequenz 49.1 MHz [3] – sieht das Signal deutlich harmonischer aus, siehe Bild 7.

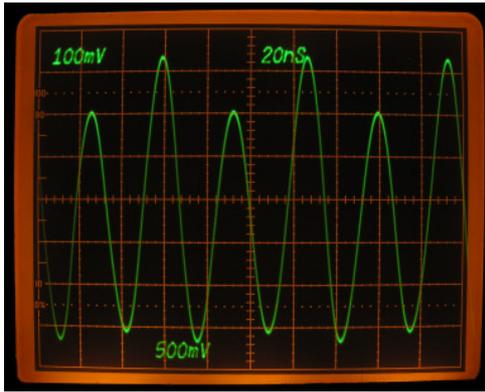


Bild 7: Oszillogramm des Ausgangs "15 MHz out" mit anschließender Frequenzverdopplung und Tiefpaßfilterung

Bild 8 zeigt die mit dem Programm WSPR gemessene Frequenzabweichung Δf des KX3 als Funktion der Referenzfrequenz im Bereich von 10 bis 50 MHz [4]. Der Stützpunkt bei 50 MHz ist mit der fünften Harmonischen der tiefpaßgefilterten Rechteckschwingung von 10 MHz realisiert. Die vierte Harmonische kann nicht gemessen werden, da der KX3 zwischen 32 MHz und 44 MHz keine Signale empfangen kann.

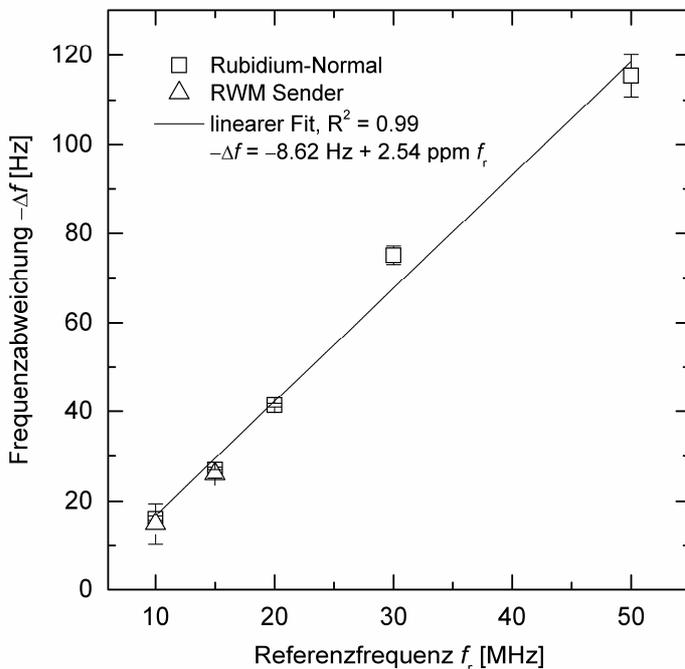


Bild 8: Frequenzabweichung Δf als Funktion der Referenzfrequenz für den KX3. Aufgetragen ist " $-\Delta f$ ", die Frequenzanzeige des KX3 liegt um diesen Wert zu hoch

Die Datenpunkte des Rubidium-Normals (Quadrate in Bild 8) lassen sich durch eine lineare Ausgleichskurve beschreiben:

$$\Delta f = 8.62 \text{ Hz} - 2.54 \text{ ppm } f_r$$

mit f_r Referenzfrequenz des Rubidium-Normals. Ergänzend sind in Bild 8 die bestimmten Frequenzabweichungen zum Sender RWM, Moskau, bei den Referenzfrequenzen 9.996 MHz und 14.996 MHz eingetragen (Dreiecke). Diese Signale konnte ich mit meiner Vertikalantenne empfangen.

Wenn schon mal ein so genaues Frequenz-Normal in meinem Shack ist, habe ich auch meinen Frequenzzähler überprüft und mit diesem die Frequenzen des Rubidium-Normals direkt gemessen [5]. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse. Die Abweichungen liegen im Bereich zwischen 2 und 6 ppm. Im Frequenzzähler befindet sich ein 25 MHz-Quarzföfen, der mit 10 ppm angegeben wird. Die beobachteten Abweichungen liegen also alle deutlich unter diesem Wert.

Tab. 1: Messung der Frequenzen des Rubidium-Frequenznormals mit dem Frequenzzähler FC 7008 von ELV

Sollfrequenz Rubidium-Frequenznormal [MHz]	gemessene Frequenz [MHz]	Differenz [Hz]
10.000000	9.999979	21
15.000000	14.99997	30
20.000000	19.99996	40
30.000000	29.99994	60

28.11.2016, Reinhard, DF1RN

Bezugsdokumente

- [1] Hans Nussbaum, HF-Messungen für den Funkamateur, Teil 2, Verlag für Technik und Handwerk, Baden-Baden, 2007, S. 31
- [2] wie vor, S. 46
- [3] wie vor, S. 32
- [4] WSPR 2.0 Anleitung, Joe Taylor, K1JT, Anhang C: Frequenz-Kalibrierung; http://physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/WSPR_2.0_User_German.pdf
- [5] Frequenzzähler FC 7008, ELV Elektronik AG, Postfach 1000, Leer; 0 - 1.3 GHz, Referenzfrequenz 25 MHz-Quarzofen
- [6] <http://elecraft.365791.n2.nabble.com/KX3-S-meter-calibration-td7579511.html>
- [7] wie [1], S. 23

Anhang

Im Internet finden sich Hinweise, dass die S-Meter Anzeige des KX3 dann korrekt ist, wenn der Vorverstärker (PRE) eingeschaltet ist [6]. Daher habe ich mich entschlossen, die S-Meter Anzeige des KX3 zu überprüfen. Das Sinussignal des Frequenzgenerators DDS 20 G bei 10 MHz habe ich am 50 Ohm Eingang des Oszilloskops TK 7844 auf $u_{ss} = 1.41$ V eingestellt. Mit 80 dB Abschwächung resultiert ein Signal von effektiv 50 μ V, das ich auf den Antenneneingang des KX3 gegeben habe. Dieser zeigt S9 an, wenn PRE eingeschaltet ist, siehe Bild 9 (blaue Linien). Die Datenpunkte oberhalb von S9 habe ich durch verschiedene Kombinationen der BNC-Abschwächer erzeugt. Sie liegen alle exakt auf der Normkurve. Für Signale < 50 μ V wird noch vor der BNC-Abschwächerkette ein Stufenabschwächer geschaltet, um zusätzliche 6 dB Stufen einzubringen [7]. Bis zur Stufe S6 liegen die Punkte auf der Normkurve. Lediglich für effektive Antenneneingangsspannungen von 3.13 μ V und 1.56 μ V, zeigt das S-Meter jeweils eine S-Stufe zu wenig an.

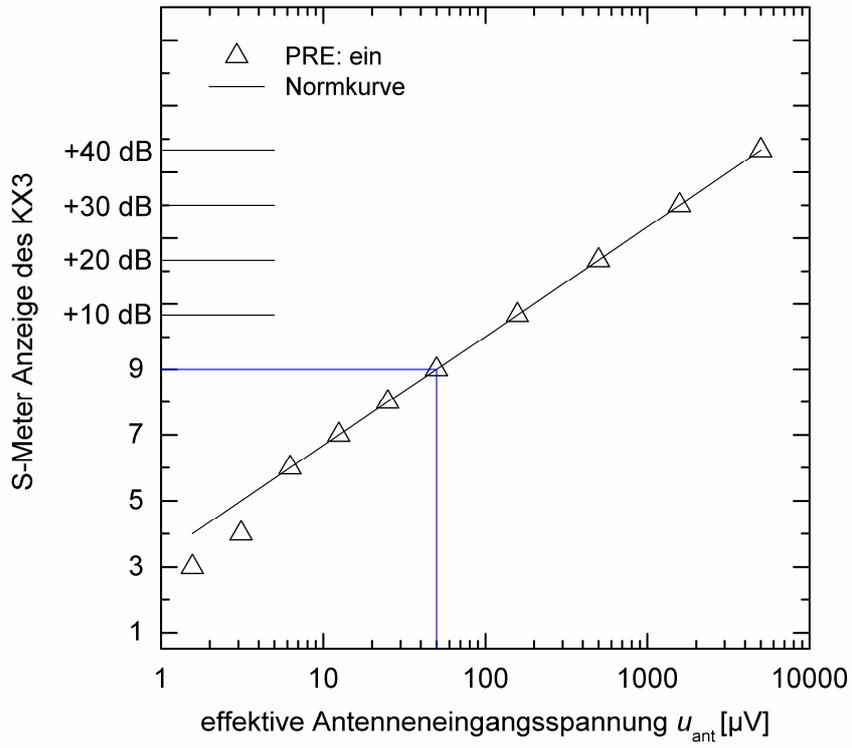


Bild 9: Kalibrierung der S-Meter Anzeige des KX 3