Basteltagebuch

Kalibrierter Leistungsrauschgenerator PRBN pseudo random bit noise

Version 06

Jörn Bartels, DK7JB
dk7jb@yahoo.de
http://www.bartelsos.de/dk7jb.php

16. Dezember 2014

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4

2 Schaltung 5

3 Layout 6

4 Hinweise zum Ausbau und der ersten Inbetriebnahme 9

5 Zusammenfassung von Eric: PRBN-Generator und AudioMeter 10

5.1 Hinweise von Eric 12

5.1.1 Abgleich und Inbetriebnahme – Bit Noise Generator 12

5.1.2 Anlaufschwierigkeiten 12

5.1.3 Kalibrierung mit dem Bit Noise Generator 13

5.1.4 ENR berechnen 13

5.1.5 Messungen mit dem Bit Noise Rauschmessplatz 14

6 Anhang Messaufbau nach Jim Williams AN83f 16

1 Einleitung

Dieses Basteltagebuch beschäftigt sich mit einem Leistungsrauschgenerator, der eine exakt berechenbare Leistungsrauschdichte erzeugt. Letztlich hängt sie nun nur noch von der Versorgungsspannung (Spannungsregler) und der Taktfrequenz ab. Das Rauschen wird von CMOS-Schieberegistern erzeugt, welche unkorrelierte Bitfolgen erzeugen – quasi Zufallszahlen.

Es muss unbedingt die 74ACT Logik verwendet werden, weil nur CMOS genau zwischen 0V und 5V schaltet!

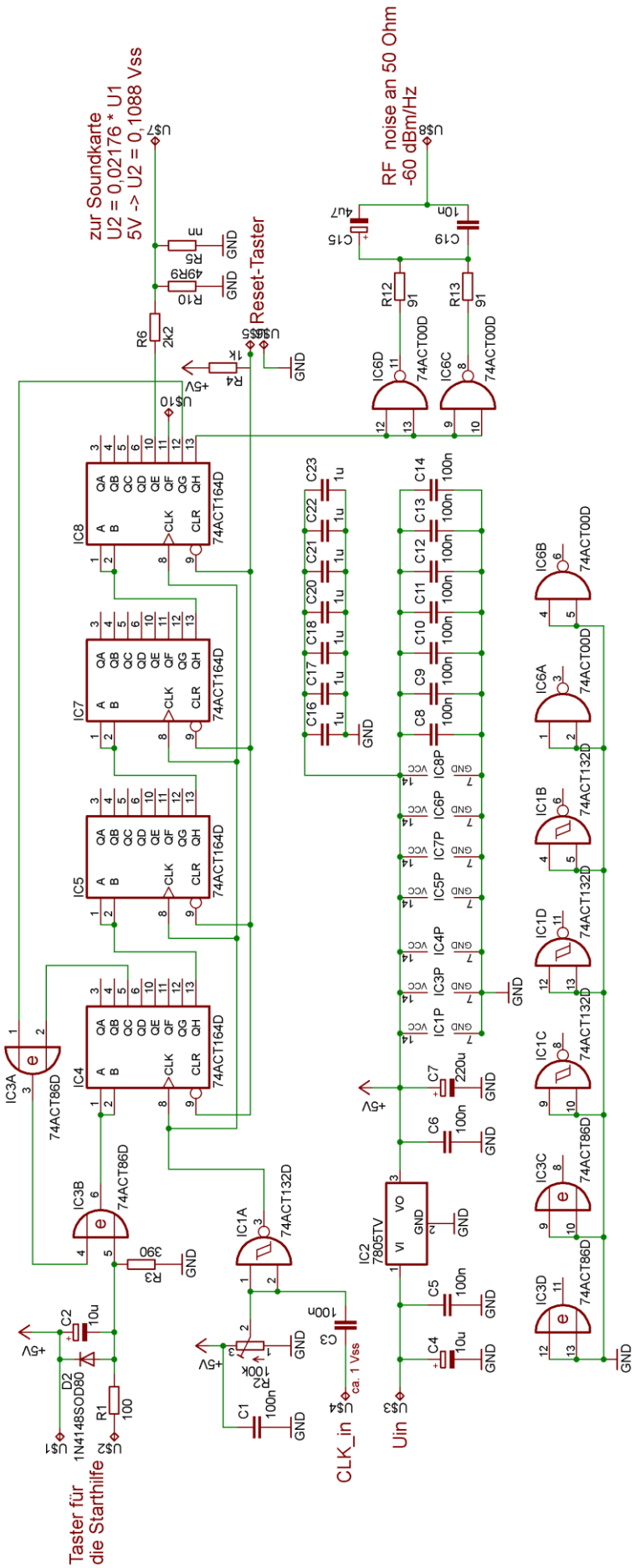
Viele Hinweise stammen von Eric. Seine Texte werden nach Absprache aber nicht immer besonders kenntlich gemacht um dem Lesefluss zu verbessern.

Literatur:

Talbot, Andy, Calibration aspects; RadCom, June 2006 p. 63
AMANDEEP KAUR ; LINEAR FEEDBACK SHIFT REGISTERS IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS (Doktorarbeit), June 2006

Meine Basteltagebücher sind nicht für den optimalen Nachbau optimiert. Es sind echte Basteltagebücher für meine Bastelrunde und mich. Es wird mehr der chronologische Pfad verfolgt und weniger der logische. Hierbei gehört es zum normalen Bastelalltag, dass wir manchmal im Text springen ;-). Ihr müsst also den gesamten Text und auch die anderen Bände mehrfach lesen um wirklich folgen zu können. Es ist meine Laborkladde, die auch einem weiteren Leserkreis zugänglich gemacht werden soll.

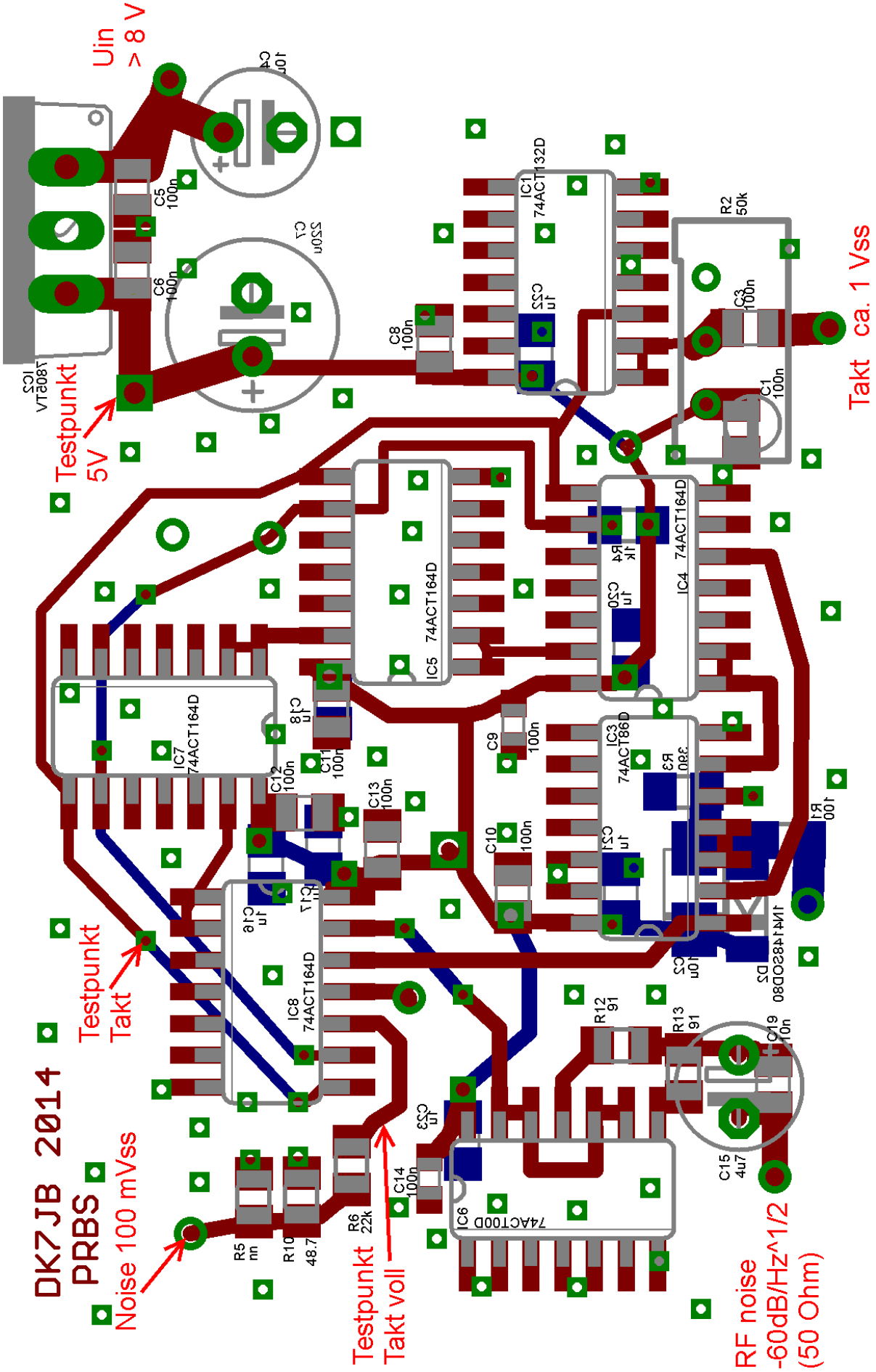
2 Schaltung

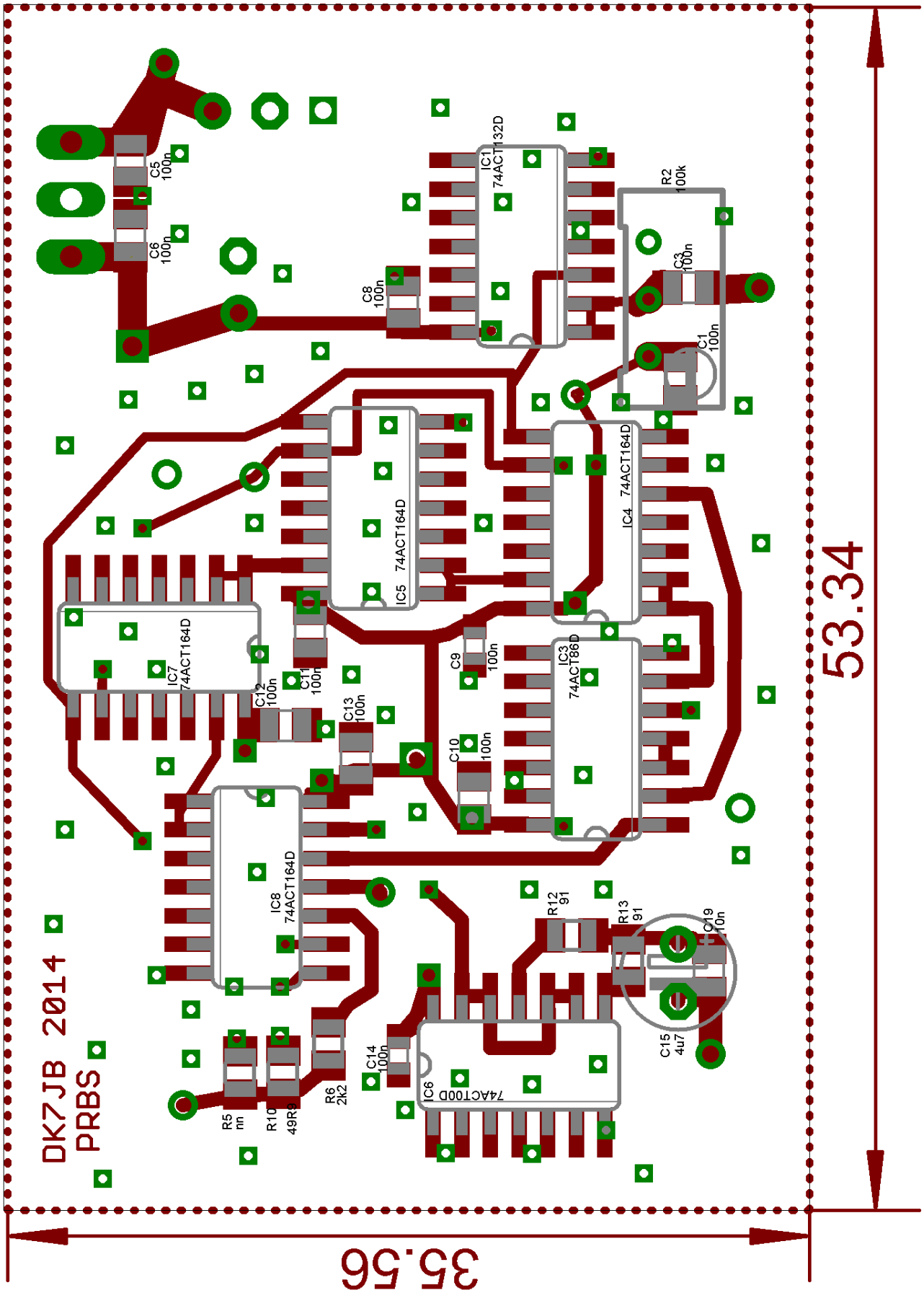


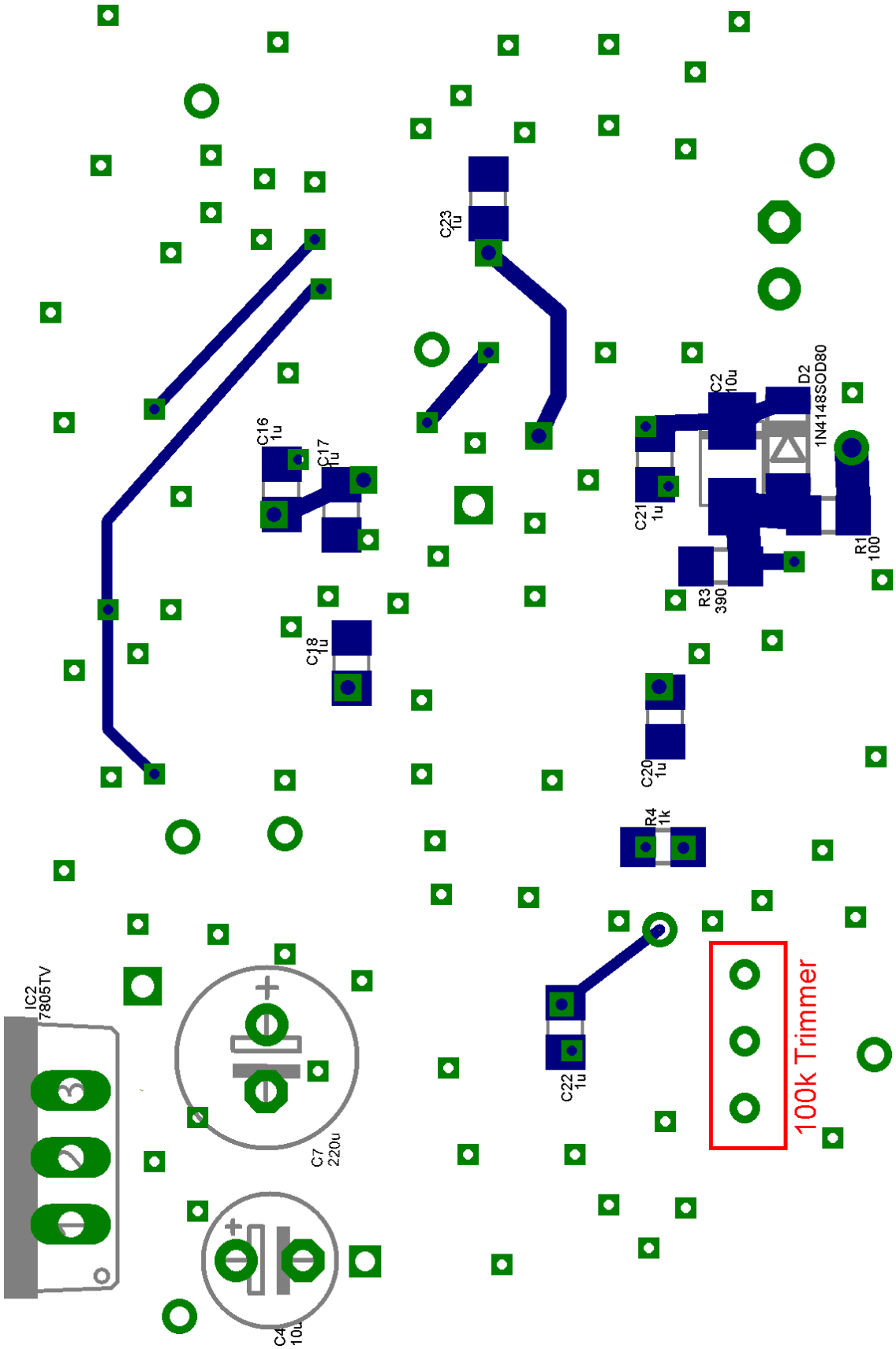
R12 und R13 sind abhängig von Ausgangswiderstand der Logikgatter.

Ich habe keine Ahnung, wie hoch er bei der ACT-Familie ist. Wenn er 5 Ohm beträgt sollten 95 Ohm verwendet werden.

3 Layout


Uin
> 8 V
Testpunkt
5V
Takt ca. 1 Vss
Testpunkt
Takt
DK7JB 2014
PRBS
Noise 100 mVss
Testpunkt
Takt voll
RF noise
-60dB/Hz^1/2
(50 Ohm)
IC1
74ACT132D
IC2
7805TV
IC3
74ACT86D
IC4
74ACT164D
IC5
74ACT164D
IC6
74ACT00D
IC7
74ACT164D
IC8
74ACT164D
C1
100n
C2
10n
C3
100n
C4
10u
C5
100n
C6
100n
C7
220u
C8
100n
C9
100n
C10
100n
C11
100n
C12
100n
C13
100n
C14
100n
C15
4u7
C19
10n
C20
1u
C21
1u
C22
1u
C23
1u
R1
100
R2
50k
R3
330
R4
1k
R5
nn
R6
22k
R10
48.7
R12
91
R13
91
D2
1N4148SOD80


DK7JB 2014
PRBS
IC1
74ACT132D
IC3
74ACT86D
IC4
74ACT164D
IC5
74ACT164D
IC6
74ACT100D
IC7
74ACT164D
IC8
74ACT164D
R2
100k
R5
nn
R10
49R9
R6
2k2
R12
91
R13
91
C1
100n
C3
100n
C5
100n
C6
100n
C8
100n
C9
100n
C10
100n
C11
100n
C12
100n
C13
100n
C14
100n
C15
4u7
C19
10n
53.34
35.56


IC2
7805TV
C4
10u
C7
220u
C16
1u
C17
1u
C18
1u
C23
1u
C22
1u
R4
1k
C20
1u
C21
1u
C2
10u
D2
1N4148SOD80
R3
390
R1
100
100k Trimmer

4 Hinweise zum Ausbau und der ersten Inbetriebnahme

Das Poti wird von der gleichen Seite aufgelötet wie der Spannungsregler und die Elkos! Die Seite mit den SMD-Bauteilen ist falsch.

Bei der ersten Inbetriebnahme sollte der Pegel des Taktes ziemlich groß sein. Ich schlage 4-10 dBm vor!

5 Zusammenfassung von Eric: PRBN-Generator und AudioMeter

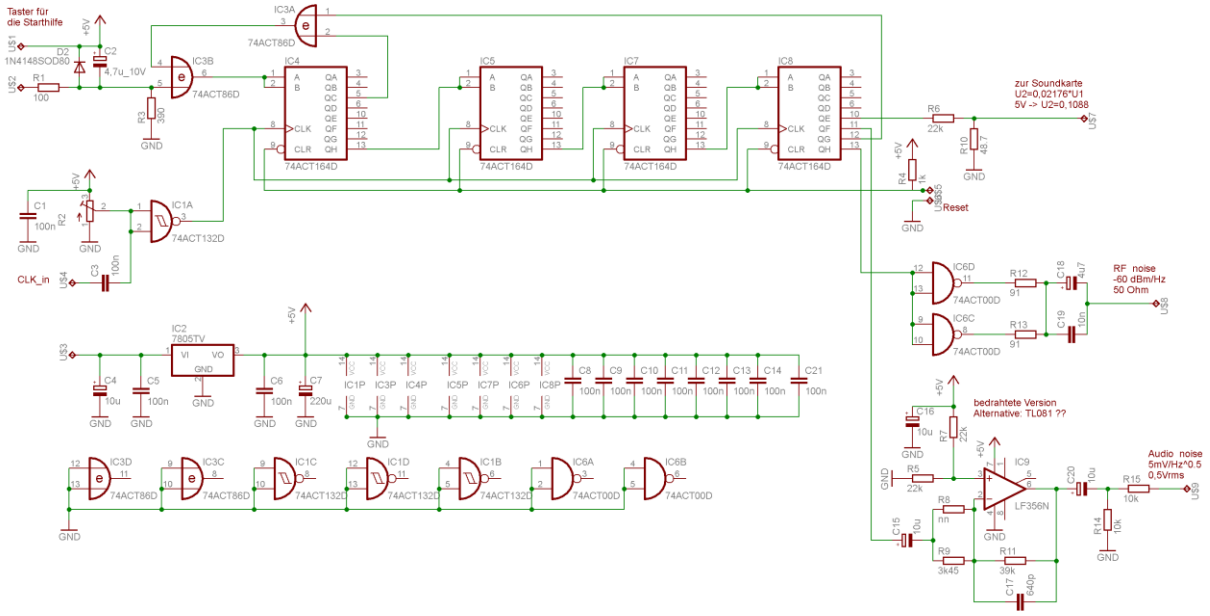
Hallo Zusammen,

Thomas fragte neulich:

Vielleicht ist die Kalibrierung per starkem Sinus nicht die beste Methode für Rauschmessungen. Hat einer von Euch einen kalibrierten Rauschgenerator? Das Gitterproblem dürfte sich damit zumindest ausmitteln.

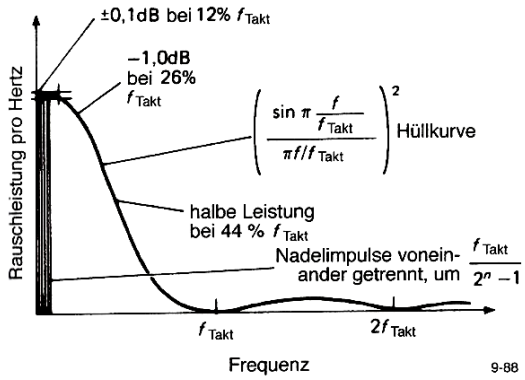
Ich hatte mir vor einiger Zeit einen Pseudo Random Bit Noise Generator (PRBN) gebaut, der es erlauben sollte ein kalibriertes Noise-Signal herauszugeben sofern nur die Spannung bekannt ist, mit denen die MOS-Bausteine betrieben werden.

Die Schaltung ist folgende, die Bit-Sequenz ist 2^31-1 Bits lang.



Die Spannung für die CMOS-Bausteine wurde auf genau 5.00V eingestellt und das Ausgangsbitmuster dann geteilt und gleichzeitig auf 50 Ohm gebracht. Der Teilungsfaktor Tf ist mit genau ausgemessenen Rs, Tf=0.1088 geworden.

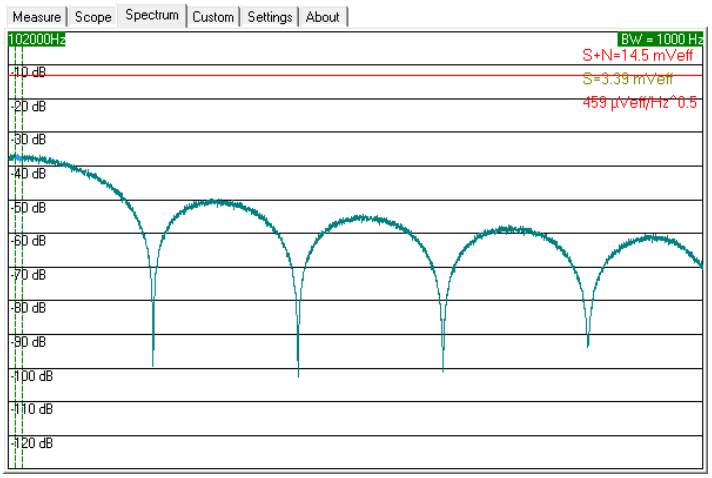
Theoretisch folgt das Leistungsdichtespektrum einer [sin(x)/x]^2 – Funktion, siehe **Horowitz, The Art of Electronics, Digitalband**. Das Bild entstammt diese Quelle.



Leistungsspektrum eines ungefilterten Schieberegisteroutputsignals, Horowotz

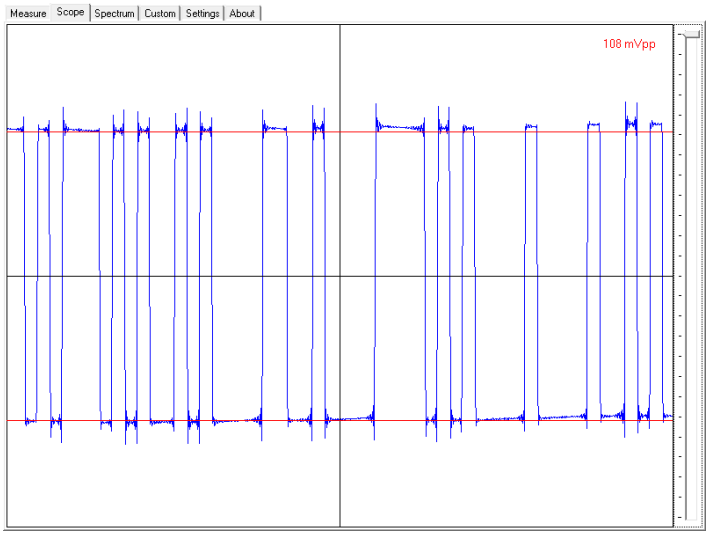
Nutzt man nun nur einen kleinen Teil dieses Spektrums (z.B. nur die ersten 10%), dann ist dieses Spektrum flach und man erhält „weißes Rauschen“ .

Mit unserem Audiometer in logarithmischer Darstellung ergibt sich für 20kHz Takt folgendes Bild



Man erkennt sehr schön, dass bei der Taktfrequenz und Vielfachen sonderbarer Weise gerade kein Rauschsignal abgegeben wird.

Im Zeitbereich sieht eine solche Zufallszeichenfolge so aus.

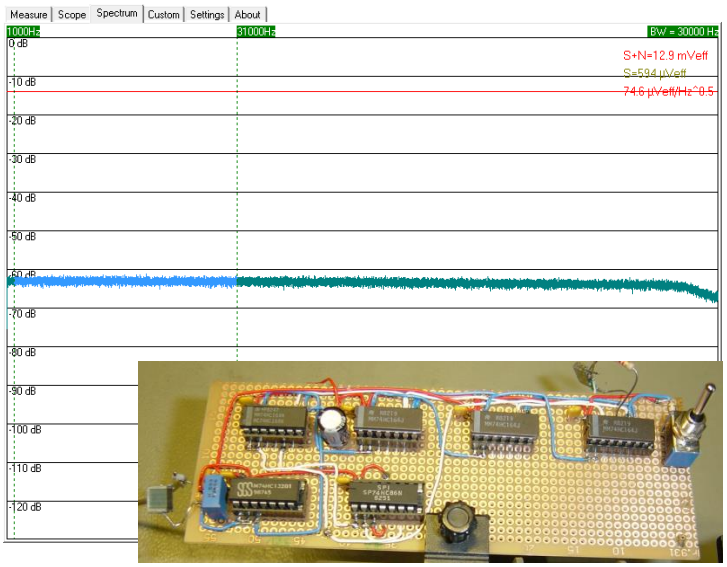


Die Scope-Funktion von AudioMeter ist hier sehr hilfreich. Meine Hoffnung war nun, dass diese Überschwingspitzen die Messung nicht wirklich stark beeinflussen. (was sich bestätigt hat)

Knackpunkt war nun, wie bringt man Theorie und Praxis zusammen. Es hat uns ein paar Tage gekostet, bis wir festgestellt hatte, dass die Formeln im Horowitz Fehler enthalten. Aber am Ende des Tages haben wir dann doch das richtige Ergebnis erhalten.

Ueff/sqrt(delta_f) [Veff/sqrt(Hz)] = a[Vpp] /(sqrt(2* fT)) ; wobei a die Vpp Amplitude des obigen Rechtecks ist.

Ich hatte vorher wie bisher mit einem Sinus-Signal kalibriert und dann sieht das Bild bei 1 MHz Takt (10% sind 100kHz also die Grenze unserer EMU0204 Soundkarte) so aus



Man erkennt den Flachen Verlauf bis etwa 90 kHz, die Grenze wird hier durch die EMU hervorgerufen. Ich habe auch schwer gefiltert mit 30 s Spec Time Const.

Viele Grüße Eric

PS: noch ein Bild vom experimentellen Aufbau, Jörn plant jetzt professionelle Platinen, die den Betrieb mit Takt fT>75MHz ermöglichen sollten und somit ein weißes Leistungsdichtespektrum bis in den KW-Bereich erzeugen.

5.1 Hinweise von Eric

5.1.1 Abgleich und Inbetriebnahme – Bit Noise Generator

- Zur Bestimmung der Rauschleistungsdichte bzw. Rauschspannungsdichte R6 & R10 einzeln genau ausmessen, Spannung hinter IC2 (+5V) genau ausmessen.
- Poti R2 auf ca. 1,4V voreinstellen und f_{Takt} (Messpunkt f_T) auf dem Scope beobachten und mit R2 auf symmetrische 50%-50% stellen. Der CLK_{IN} braucht >$1V_{pp}$.
- Wenn der Generator nicht anläuft, kurz die Start-Taste drücken.
  Mit der Reset-Taste lässt sich der Generator stoppen. Die Reset-Taste ist ggf. entbehrlich.
- Für genaue -60dBm/Hz müssen ggf. R12 und R13 (soll=91Ω) auf andere Werte verändert werden so dass sich auf dem SA genau -60.0 dBm/Hz ergeben (siehe hierzu auch meine Messung mit dem SA)

5.1.2 Anlaufschwierigkeiten

Hallo Jörn,
Es gibt Anlaufprobleme mit der Schaltung:

Andreas schrieb (und bei mir taucht an zwei Rauschern dasselbe Phänomen auf)

> das Ding startet nur freiwillig, wenn ich erst Saft draufgebe, dann den Takt. So weit so gut. Wenn ich dann mal Aus- und einschalte (Takt läuft weiter) und per Taster starten will, läuft die Choose nur solange der Starttaster gedrückt ist, beim loslassen Schweigen im Walde. Dieses Verhalten betrifft aber nur Clockfrequenzen oberhalb vielleicht 1-2 MHz. Start mit z.B. 1 MHz geht, kann dann auch die Frequenz ohne Aussetzten hochdrehen. Das Symmetriepoti hat darauf kaum Einfluss. Leitungs-, bestückungs- und bauteilemäßig habe ich bis jetzt noch nichts entdecken können - läuft ja auch (unter bestimmten Umständen;-) klaglos.

Es gibt eine Abhilfemaßnahme die im Moment bei mir und Andreas klaglos läuft:

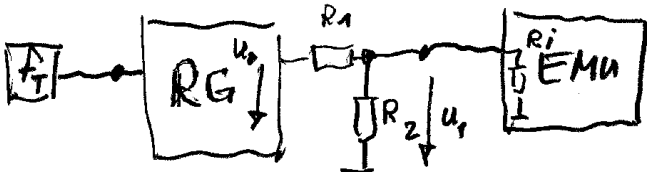
> >es gibt noch eine andere Lösung die ich gerade probiere und die bei mir
> >geht, wäre nicht schlecht , wenn Du das auch mal testest....diese Lösung ist für einen "Autoanlauf" wie und ob man noch einen man. Schalter/Taster braucht muss ich noch überlegen
>
> Wenn Du C2 und R2 vertauscht (also C2 Pin5 nach GND) und R22=1K (Pin 5 nach +5V), dann läuft bei mir die Kiste auch bei hohen fT automatisch an.
> Ob immer muss ich noch testen, offensichtlich "verrammelt" sich die EXOR Gattersache irgendwie, Günter meinte dass evtl. die Zeiten zu kurz werden bei hohen fT und dass es deshalb bei niedrigen fT geht.

Grüße Eric

Anmerkung von Jörn:

Bei mir läuft das Gerät auch bei hohen Frequenzen klaglos an. Nur bei Frequenzen unter 1 MHz gibt es Probleme.

5.1.3 Kalibrierung mit dem Bit Noise Generator



	Lt. Schaltplan	Werte von Jörn
R_1	2k2 Ω	2k20 Ω
R_2	50 Ω	49,9 Ω
U_O	5,00 V	5,03 V
f_T	1 MHz	1 MHz

Der Eingangswiderstand der EMU ist hochohmig gegenüber R_2.
ca. 800k >> R_2

R_1 R_2 Sehr genau ausmessen

U_O ist die Spannung am internen 5V-Regler

Die effektive Rauschspannungsdichte des Rauschgenerators beträgt:

$$Rauschspannungsdichte = \frac{Ausgangsspannung\ U_{1,ss}}{\sqrt{2\ f_{Takt}}} = \frac{\frac{R_2}{R_1+R_2}U_o}{\sqrt{2\ f_{Takt}}} = \frac{\frac{50\ \Omega}{2k2\ \Omega+50\ \Omega}U_o}{\sqrt{2\ \cdot 1000000\ Hz}} = \frac{0{,}111V}{\sqrt{2\ \cdot 1000000\ Hz}}$$

$$= 78{,}567\,\frac{\mu V}{\sqrt{Hz}}$$

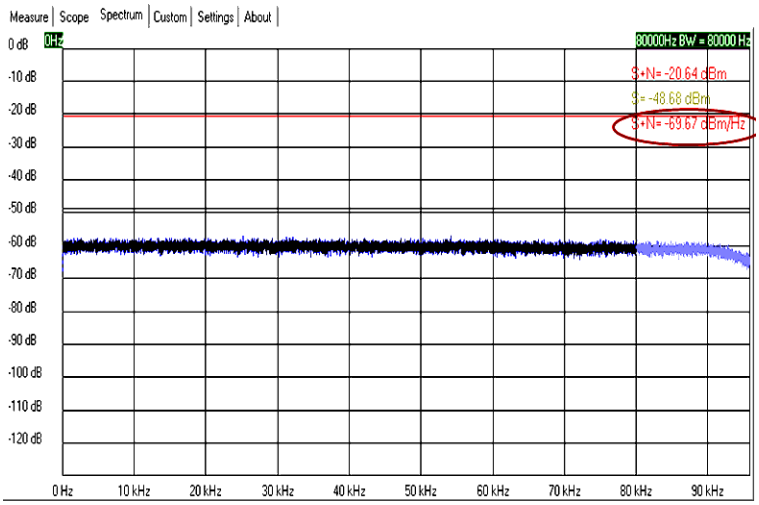
Die Rauschleistungsdichte an Lastwiderstand R_O = 50 Ω beträgt:

$$Rauschleistungsdichte = \frac{Rauschspannungsdichte^2}{Lastwiderstand} = \frac{78{,}567\,\frac{\mu V}{\sqrt{Hz}}}{50\ \Omega} = 123{,}432\,\frac{pW}{Hz}$$

$$oder\ in\ dBm = 10\ \cdot log(123{,}432 \cdot 10^{-12} \cdot 1000) = -69{,}08\frac{dBm}{Hz} \qquad \left[bei\ Jörn\ -69{,}08\frac{dBm}{Hz}\right]$$

Achtung:
Wenn statt der EMU-Soundkarte ein SA verwendet wird, ist U_1 wegen der 50 Ω des SA nur noch ½ so groß!

Nun sind ja bei mir die Zahlenwerte ein wenig anders U1=0.109 statt =.111Vpp aber du siehst dass Thomas die Leistungsdichte richtig anzeigt



Die Anzeige links steht bei 60dB, das liegt immer an der Einstellung mit wie viel "bins" die FFT arbeitet, ich hatte hier 65k eingestellt, wenn Du mehr einstellst, bekommt man auch die linke Einstellung kalibriert.
Das gleiche dürfte auch für SpectrumLab gelten.

Es braucht am -60dBm/Hz Ausgang wirklich die 91 Ohm (ich erhalte jetzt -60.4dBm/Hz). Diese 91 R erhält man ganz leicht durch 100R//1k (abhängig von der Ausgangsimpedanz der Gatter)
Grüße Eric

5.1.4 ENR berechnen

Wenn man ausrechnen möchte welches ENR unser Bit-Noise-Generator am -60dBm/Hz -Ausgang hat, dann rechnet man: ENR= 174dBm/Hz -60dB =114dB
Für den anderen Rausch-Ausgang kann man das dann entsprechend rechnen.
Wie Du siehst ist das richtig "Dampf" verglichen mit unseren ENR= 5-15 dB von den analogen Rauschquellen.

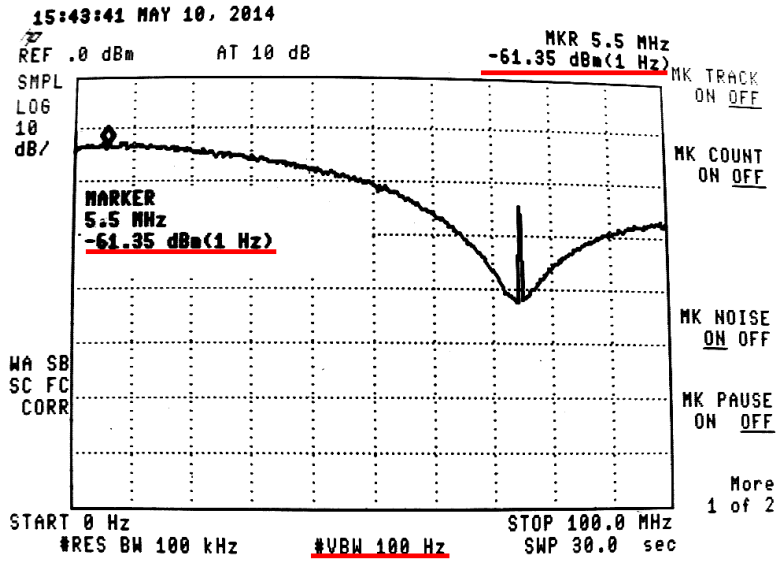
5.1.5 Messungen mit dem Bit Noise Rauschmessplatz

Hier nun wie man mit dem Bit-noise -Rauschmessplatz misst:
Ich habe den -60dBm/Hz Ausgang benutzt um später ein Filter zu vermessen, da braucht man etwas Rauschleistung (sie ist für den SA aber ungefährlich, aber ACHTUNG: immer DC vermeiden!)
Der zweite Ausgang mit Spannungsteilung (2.2k->50R) braucht keine Trenn-Cs, der -60dBm/Hz hat welche.

Wie man Rauschspannungen (Veff/sqrt(Hz) oder Leistungen (W/Hz) oder dBm/Hz berechnet habe ich ja in dem Blatt von heute früh beschrieben.

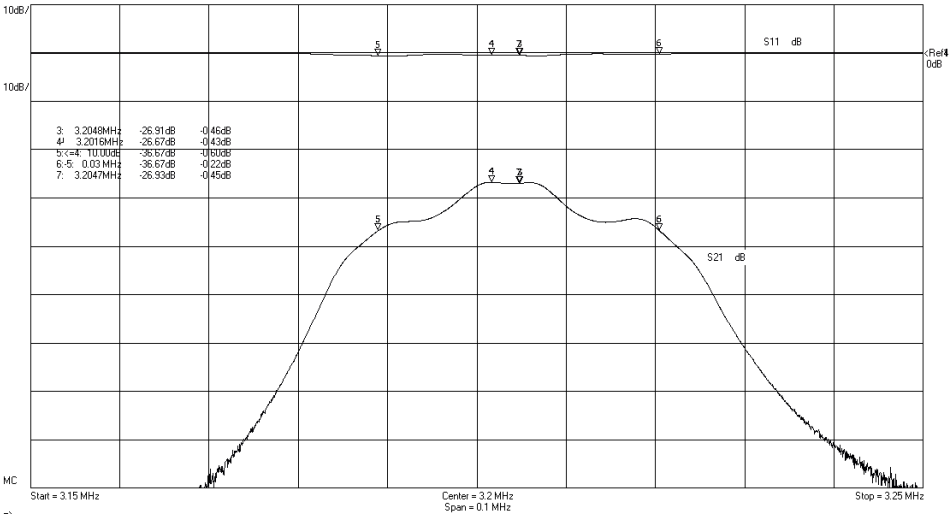
Der Bit-Noise-Gen. wurde mit 75 MHz @1dBm getaktet und es wurde der -60 dBm/Hz-Ausgang verwendet.
Der SA wurde mit einer BW=100 kHz und VBW=100 Hz zwischen 0 und 100 MHz betrieben.
Um die Einstellung dBm/Hz zu erreichen wählt man an unserem SA MKR_FCTN --> MK_NOISE --> ON

1) Als erstes wollen wir die Rauschdichte überprüfen, die unser Generator abgibt.



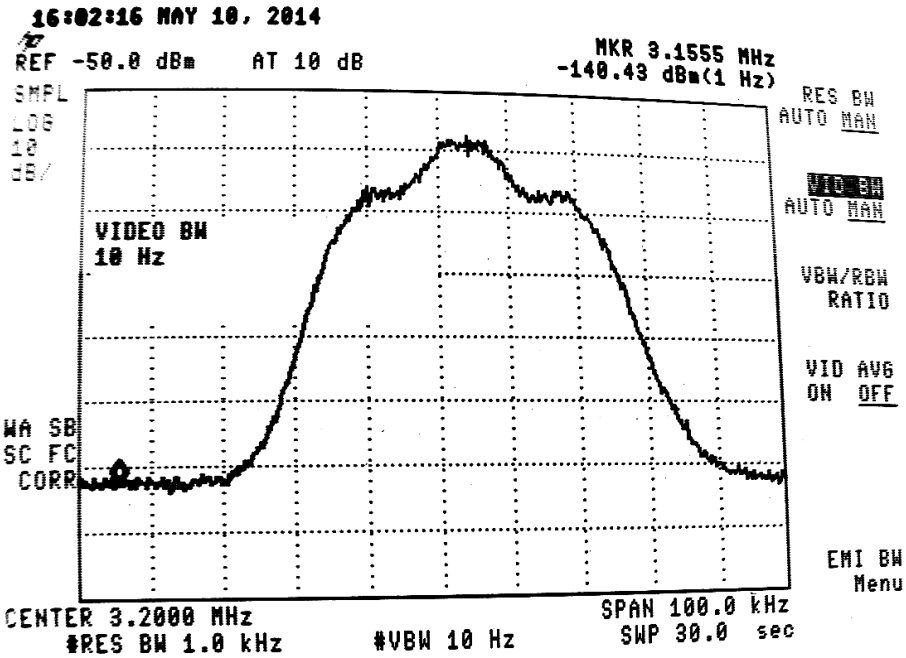
Um das messen zu können muss der SA dBm/Hz messen, siehe oben.
Man sieht sehr schön, den (sin(x)/x)^2 -Verlauf im log-Massstab mit dem Abfall zum fT=75MHz.
Man sagt, dass weißes Rauschen bis zu 12% fT vorliegt (0.1dB Abfall).
Die Rauschdichte beträgt -61dBm/Hz und ist ein wenig höher als das Soll von -60dBm/Hz (meine interne Versorgunsspannung liegt ein klein wenig unter 5.00V)
Was der genaue Grund ist, weiß ich im Moment nicht, evtl. müsste ich auch meinen SA vorher noch einmal kalibrieren.
Aber das Ergebnis stimmt schon einmal auf +/- 1dB (siehe oben).

2) Als nächstes wollen wir ein sehr schmales Q-Filter vermessen. (BW = 30 kHz)



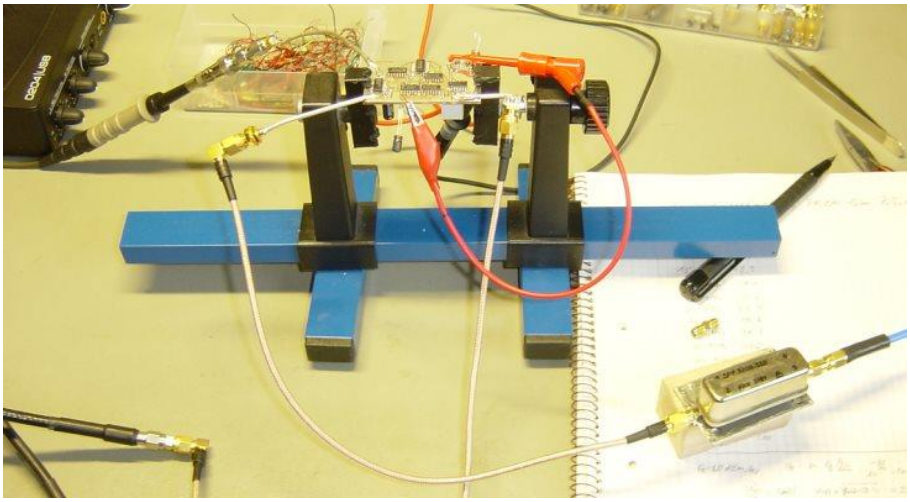
Machen wir doch erst einmal eine Referenzkurve mit dem VNWA

Und schauen uns das Ganze nun auf dem SA an.



Dazu wird das Filter folgendermaßen verbunden: Gen--> Filter-->SA
Man muss ein bisschen mit den Filtereinstellungen spielen um ein vergleichbares Bild zu bekommen, aber es sah dann hier so aus.

Man sieht, dass unser Generator einen schönen Ersatz für einen Trackinggenerator darstellt.
Mit der Filterei siehe Bild wird es zwar nicht so schnell wie ein VNWA, aber das Ergebnis ist dennoch brauchbar und vergleichbar.
Übrigens hätte man in dem Bild auch die dBm/Hz wieder ausschalten können.



Zum Abschluss noch Bilder vom Filter und auf meinen derzeit noch "wilden Aufbau".

6 Anhang Messaufbau nach Jim Williams AN83f

Jim Williams, ein genialer Ingenieur der Firma Linear Technology, hat vor 14 Jahren eine sehr interessante Application Note zum Thema „Performance Verification of Low Noise, Low Dropout Regulators“ geschrieben. Im Internet ist sie unter „AN83f“ zu finden. Ähnlich wie bei unserem Ansatz wird das Signal um 60 dB verstärkt. Hinzu kommen aber noch Hochpass- und Tiefpassfilter, damit nicht untersuchte Frequenzbereiche herausgefiltert werden. Dieser Schritt fehlt bei unserem Entwurf.
Hier das Schema und der Schaltplan, entnommen aus der AN83f der Firma Linear Technology:

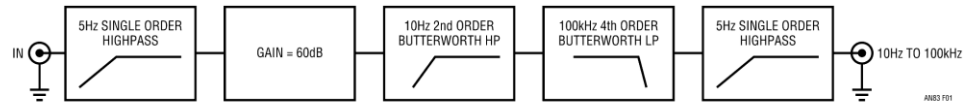


Figure 1. Filter Structure for Noise Testing LDOs. Butterworth Sections Provide Appropriate Response in Desired Frequency Range

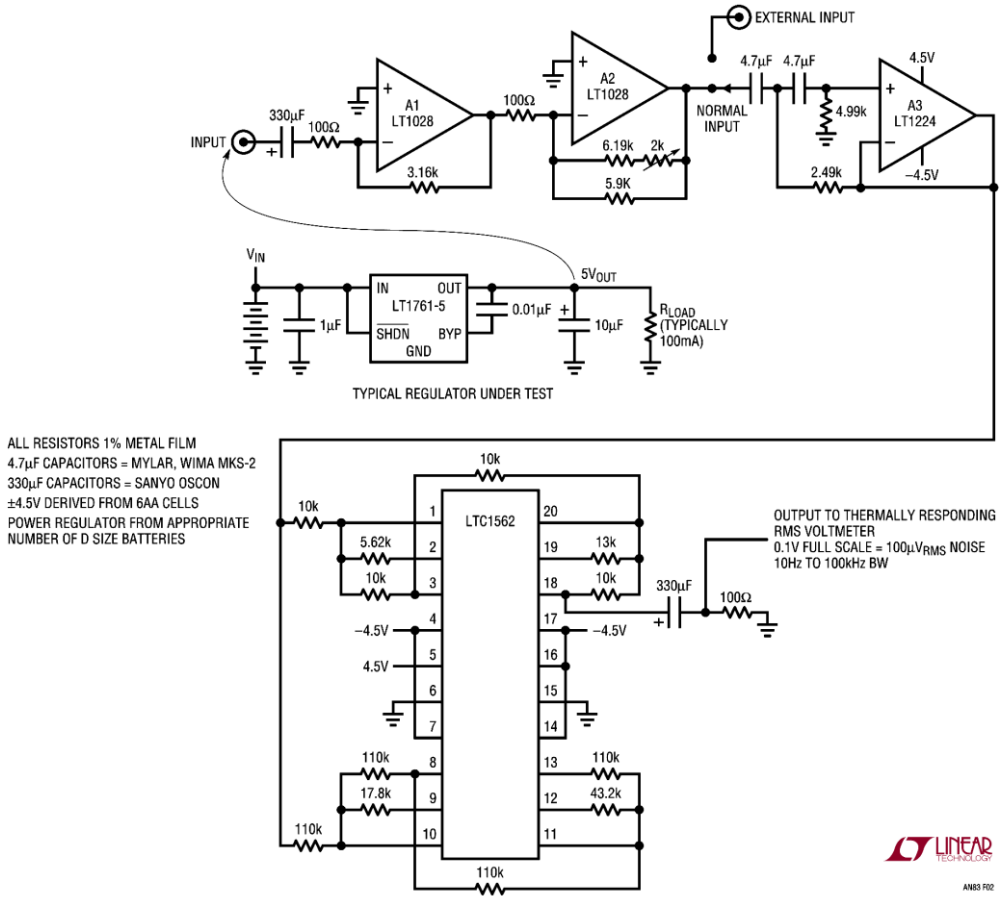


Figure 2. Implementation of Figure 1. Low Noise Amplifiers Provide Gain and Initial Highpass Shaping. LTC1562 Filter Supplies 4th Order Butterworth Lowpass Characteristic

Nachtrag: Hier findet ihr die gesammelten Werke von Jim Williams:
http://www.introni.it/riviste_jim_williams.html
http://www.linear.com/doclist/?au=Jim+Williams

André Bülau hat diese Schaltung nachgebaut und im Mikrocontroller.net diskutiert:
http://www.mikrocontroller.net/topic/250656#2676221

In diesem Thread hat André das Rauschen eines LM317 mit nachgeschalteter Wenzel-Rauschberuhigung untersucht:
http://www.mikrocontroller.net/topic/295213#3148897