

Basteltagebuch

Trennverstärker 1-100MHz

Version 01

Jörn Bartels, DK7JB

49088 Osnabrück

dk7jb@yahoo.de

<http://www.bartelos.de/dk7jb.php>

1. Dezember

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Einleitung</i>	4
2	<i>Trennverstärker</i>	5
2.1	Empfehlungen von Kubik	5
2.2	Trennverstärker – der Nachbau	8
2.2.1	kubik_006_001.....	8
2.2.2	kubik_006_004 – max. Isolation.....	9
2.2.3	kubik_006_006.....	10
2.2.4	kubik_006_008.....	11
2.2.5	Messungen Kubik Verstärker mit DG4RBF-Oszillator	12
2.2.6	NE46134 Isolationsverstärker	13
2.2.7	RD00HHS1 Isolationsverstärker.....	15
2.2.8	RD00HHS1 Breitbandverstärker	19
3	<i>Trennverstärker mit dem Crystal Input Clock Fanout Buffer NB3H83905C</i>	20
4	<i>Anmerkungen zu Trennverstärkern</i>	21
4.1	PNP HF-Transistoren sind selten	21
4.2	Trennverstärker in der Literatur und im Internet	21

1 Einleitung

Reinhold (Kubik) und ich haben einen längeren Emailaustausch (Februar bis April 2014) zu vielen spannenden Themen geführt, die nacheinander in mehreren Baumappen behandelt werden. In dieser Baumappe geht es Trennverstärker, die die Isolation erhöhen sollen, ohne das Rauschen maßgeblich zu erhöhen. Ich bedanke mich für die intensive Zusammenarbeit und die Erlaubnis den Inhalt der Email hier verarbeiten und abdrucken zu dürfen.

Zum Kubik-Verstärker habe ich auch schon eine Baumappe geschrieben:

<http://www.bartelsos.de/dk7jb.php/der-kubik-verstaerker>

Dieser Verstärker wird hier auch noch mal kurz beleuchtet. Für ausführlichere Informationen empfehle ich euch die Baumappe.

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 Trennverstärker

Frage: Was für einen Trennverstärker könntest du für Oszillatoren empfehlen, wenn der Pegel nicht groß genug ist und/oder die Isolation bisher nicht ausreichend ist. Bei unserem guten 100 MHz Oszillator haben wir festgestellt, dass eine Impedanzänderung am Ausgang deutlich messbar die Frequenz beeinflusst.

Bei unseren Oszillatoren reicht mit +6 dBm der Pegel aus, nur die Isolation könnte vielleicht etwas besser sein. Bei den Oszillatoren die ich für den Kurzwellenbereich aufbaue, können bestimmt beide Faktoren (Pegel, Isolation) noch verbessert werden.

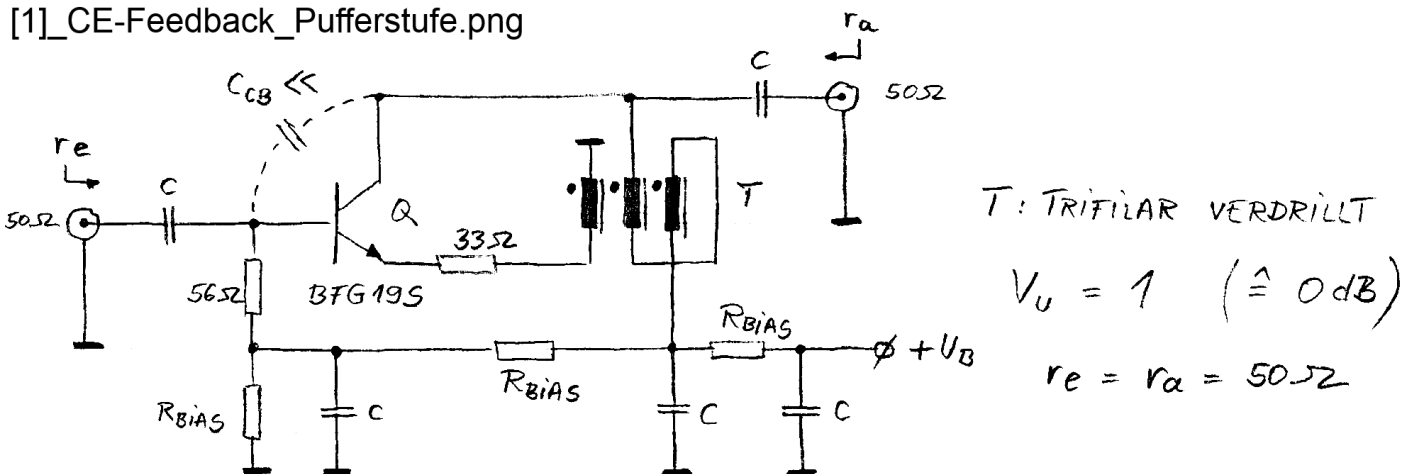
2.1 Empfehlungen von Kubik

In diesem Unterkapitel beschäftige ich mit verschiedenen Trennverstärkern. Die per Hand gezeichneten Schaltpläne stammen von Kubik. Ich bedanke mich für seine Empfehlungen. In meinem Anwendungsfall habe ich einen Oszillator mit einer Ausgangsleistung von +6dBm, der mit einem Trennverstärker betrieben werden soll.

Die kommenden Bilder [1] bis [6 zeigen eine kleine Auswahl an Verstärker/Treiber bzw. reine Pufferstufen mit guten Isolationseigenschaften.

Beim CE und EB-Feedbackverstärker in [1] und [2] sollte man HF-Transistoren mit (sehr) kleiner Kollektor-Basis Kapazität bevorzugen. Der MOSFET Breitbandverstärker in [5] passt zu der von mir angegebenen verfügbaren Leistung von 6dBm und kann genug Leistung liefern um z.B. einen High-Level Mischer anzusteuern. Der Mitsubishi MOSFET ist günstig und leicht zu bekommen. Da der Sourceanschluss direkt an Masse liegt ist die Kühlung des Transistors besonders einfach.

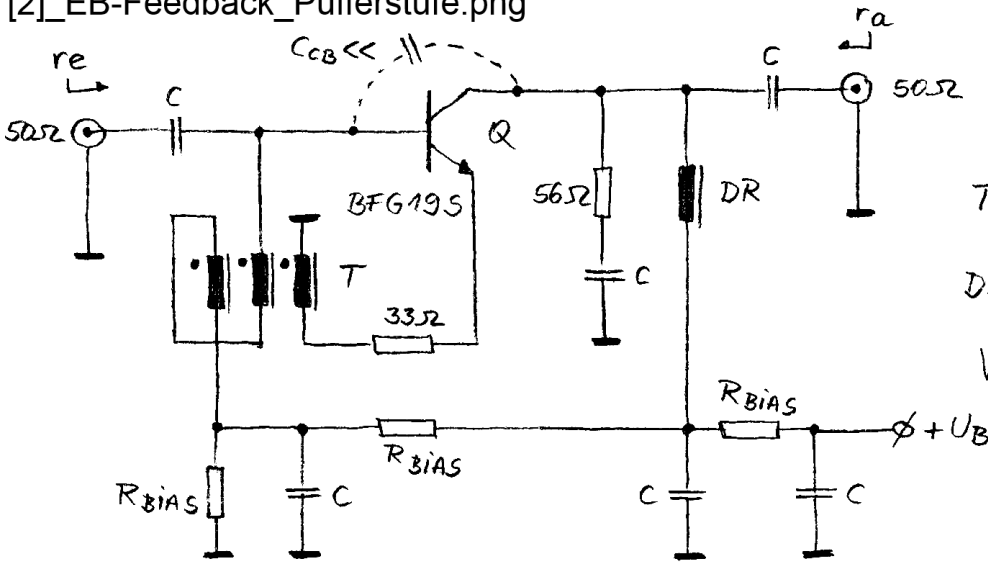
[1]_CE-Feedback_Pufferstufe.png



Kubik schreibt hierzu noch: Die CE-Feedback Schaltung mit dem nun obsoleten BFG195 (das S sieht bei mir aus wie eine 5) stammt aus einer etwas älteren Applikation einer VCO-Pufferstufe die für Deine Zwecke leicht verändert (50 Ohm Eingang, einfachere Biasschaltung) wurde. Ein beliebiger BFG, NE, 2SC o.ä. Transistortyp mit möglichst kleiner CB-Kapazität kann substituiert werden.

Ich habe bei meinem TRX-2012 Projekt sehr gute Erfahrungen mit dem NE46134 gemacht.

[2]_EB-Feedback_Pufferstufe.png



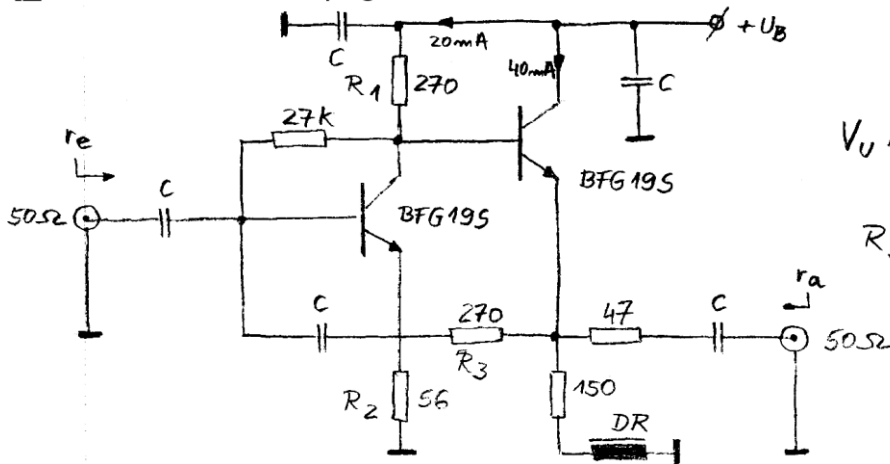
$r_e = r_a = 50\Omega$

T: TRIFILAR VERDRILLT

DR: DROSSEL

$V_U = 1 (\hat{=} 0dB)$

[3]_Isolationsverstärker.png

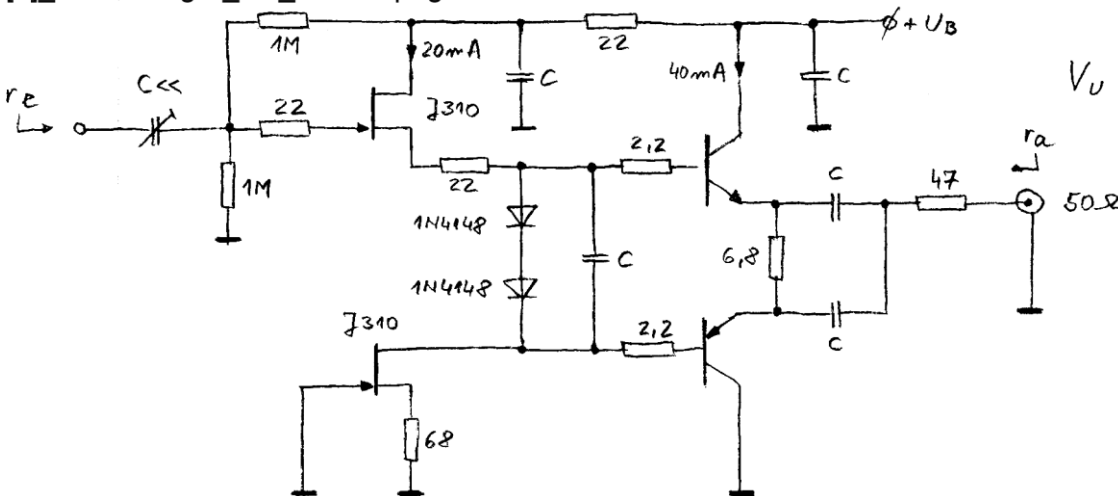


$V_U \sim \frac{1}{2} \cdot \frac{R_1}{R_2} = 2,4 (\hat{=} 7dB)$

$R_3 \sim r_e \cdot (2 \cdot V_U + 1)$

$r_e = r_a = 50\Omega$

[4]_Sourcefolger_mit_Treiber.png



$V_U = 0,5 (\hat{=} -6dB)$

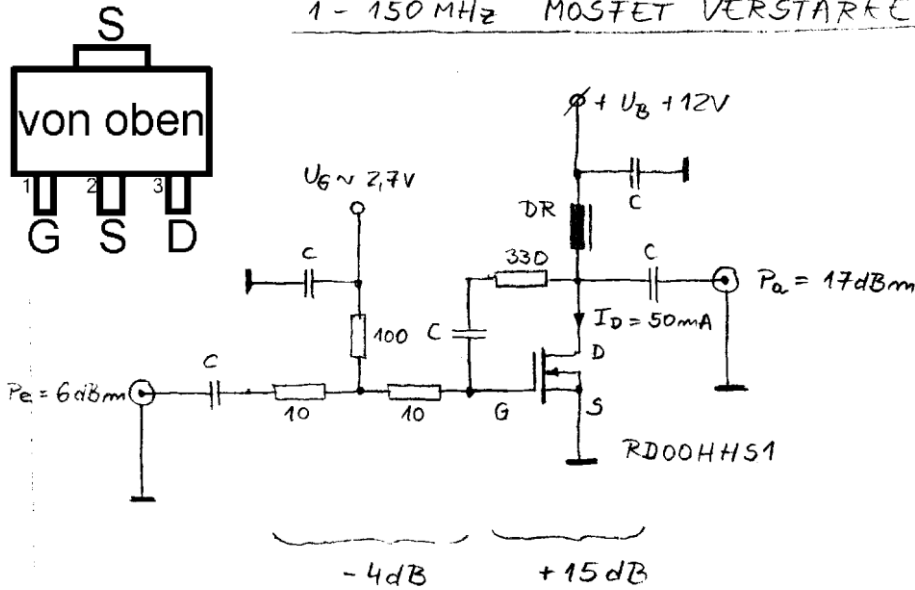
$r_a = 50\Omega$

$r_e \gg$

Rauschen von Spannungsreglern: Trennverstärker

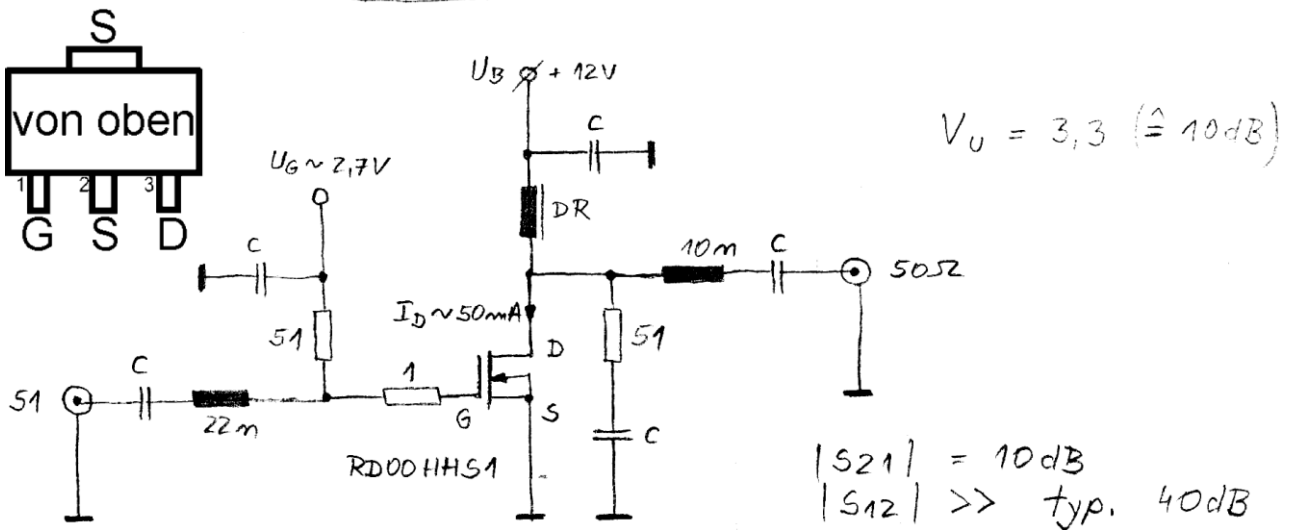
[5]_MOSFET_Breitbandverstärker.png

1 - 150 MHz MOSFET VERSTÄRKER



[6]_MOSFET_Isolationsverstärker.png

1 - 150 MHz 10 dB MOSFET ISOLATIONSVERSTÄRKER



2.2 Trennverstärker – der Nachbau

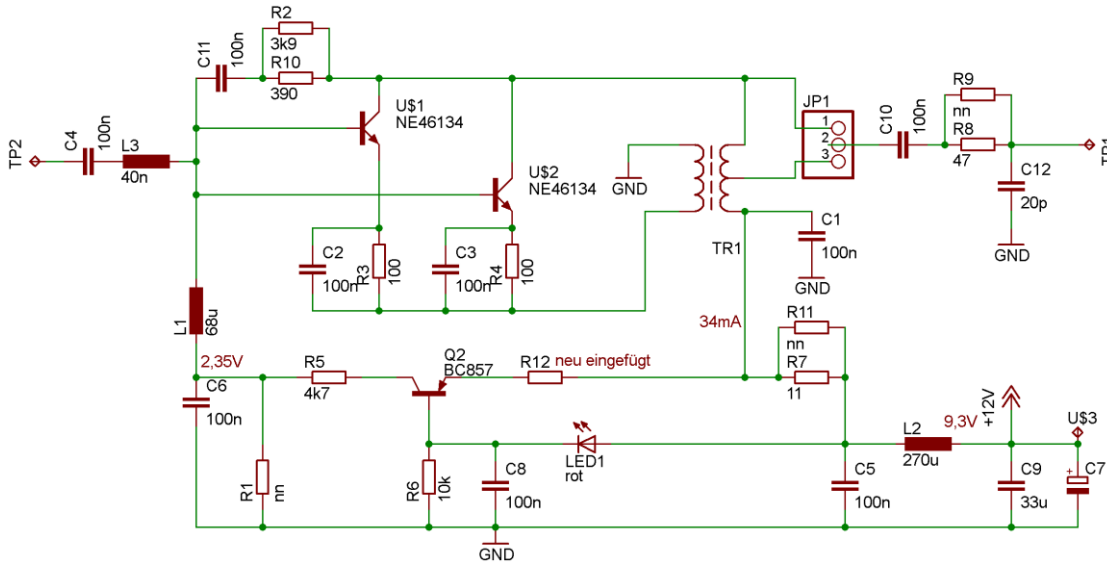
In diesem Unterkapitel stelle ich verschiedene Varianten eines Trennverstärkers im Nachbau vor. Momentan beruhen die Werte nur auf Simulationen. Ich bedanke mich bei Kubik für den Entwurf und die Simulation.

Genauer wird der „Kubik-Verstärker“ – so wie Eric und ich ihn nennen – in meinem K2 Basteltagebuch Band 1 beschrieben: <http://www.bartelsos.de/dk7jb.php/selbstbau-trx-2012>

Als Übertrager eignen sich nur die kleinen 61er Doppellochkerne. Alle anderen Materialien funktionieren nicht! Auch wenn die Simulationen einen erweiterten Frequenzbereich erhoffen lassen, kann man nur bis ca. 50MHz die vorhergesagten Werte erreichen. Die Kopplungswerte des Übertragers müssen sehr hoch sein, was sich nur durch verdrehte Leitungen erreichen lässt. Hier lohnt sich jeder Aufwand. In der TRX-2012 Baumappte habe ich hierzu eine umfangreiche Versuchsreihe aufgestellt. Unter dem Link findet ihr noch weiteren Baumappen zum TRX2012 und zum Messen vom Rauschen eines Verstärkers und zur Intermodulationsmessung.

Die NE46134 Transistoren müssen vermessen und selektiert werden. Solltet ihr diese Mühe scheuen, solltet ihr die Transistoren vom Gurt nehmen und benachbarte Exemplare verwenden. Meine Messungen haben gezeigt, dass dies in den meisten Fällen eine gute Wahl ist ;-).

2.2.1 kubik_006_001



Ergebnisse einer „Kubik-Simulation“:

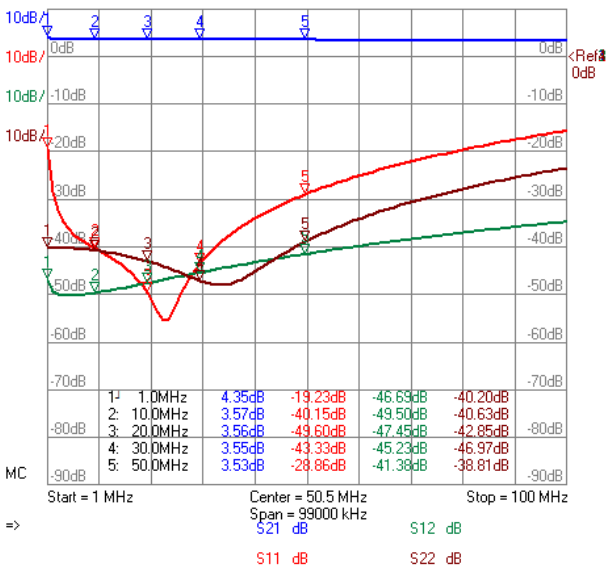
3 dB Stellung

Rauschen:

NF = 3 dB

IP3:

OIP3= +36,4dBm

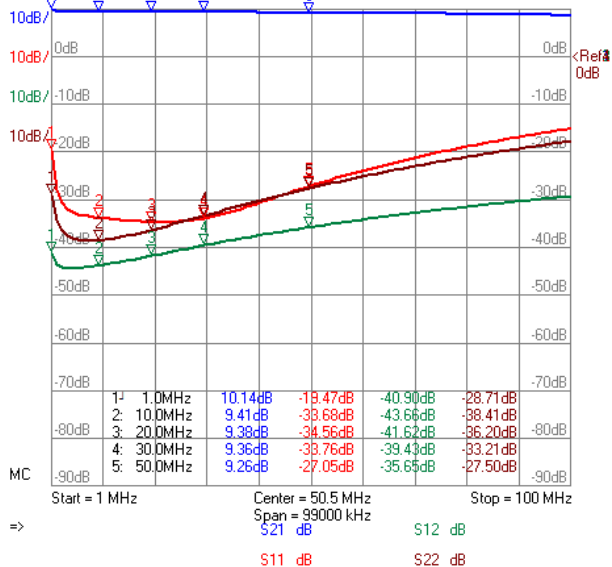


9 dB Stellung

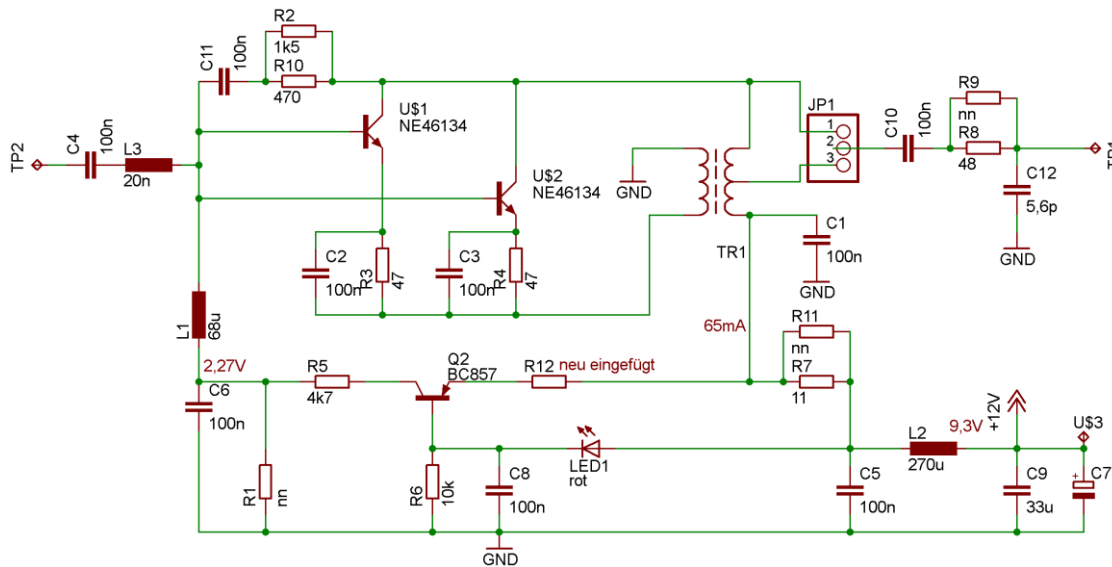
Iges=34mA

NF = 2 dB

OIP3 = +28,3dBm



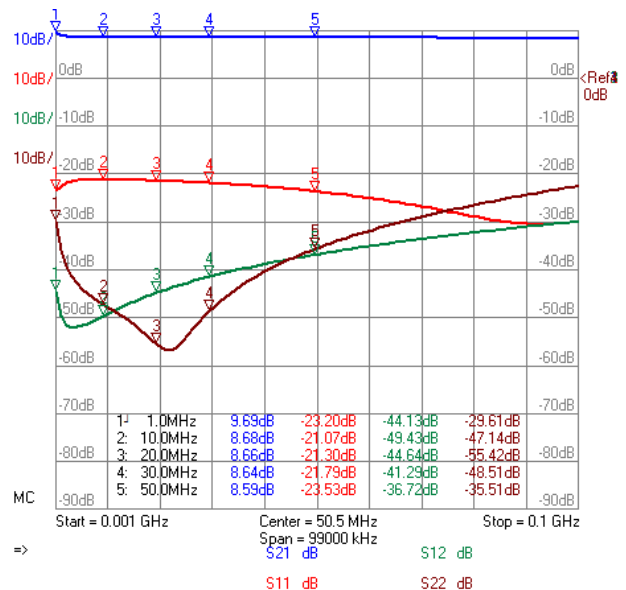
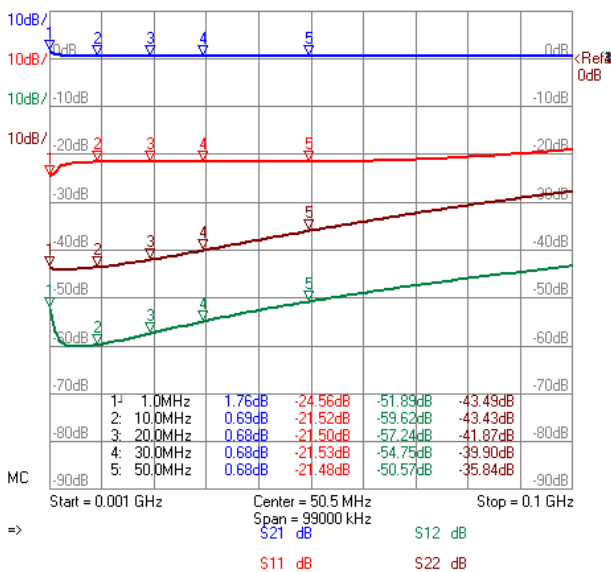
2.2.2 kubik_006_004 - max. Isolation



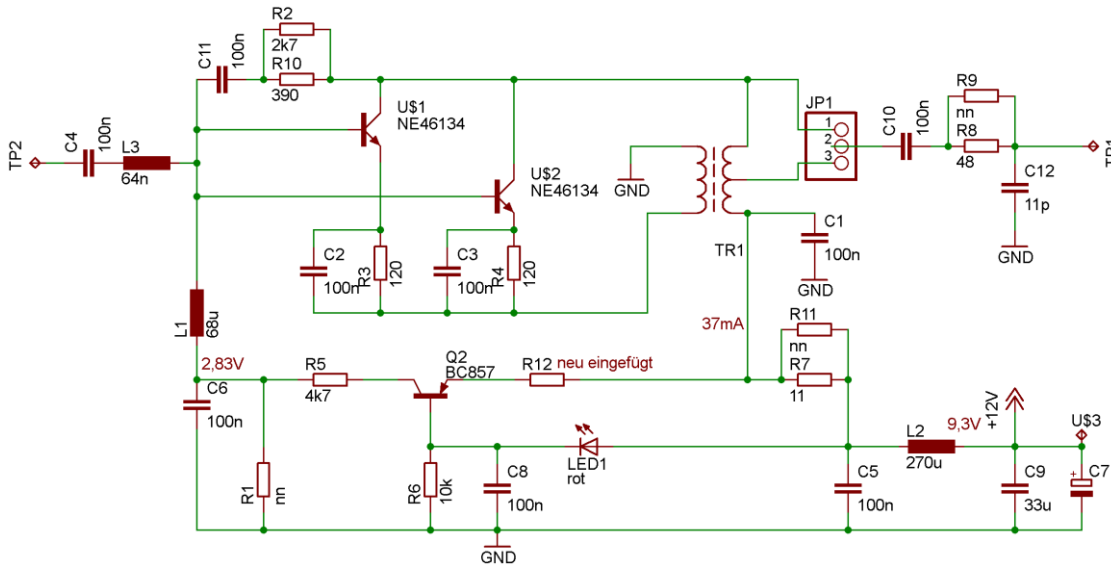
Ergebnisse einer „Kubik-Simulation“:

3 dB Stellung
 Rauschen: NF = 4 dB
 IP3: OIP3 = +40,6dBm

9 dB Stellung Iges = 65 mA
 NF = 2,6 dB
 OIP3 = +41,8dBm



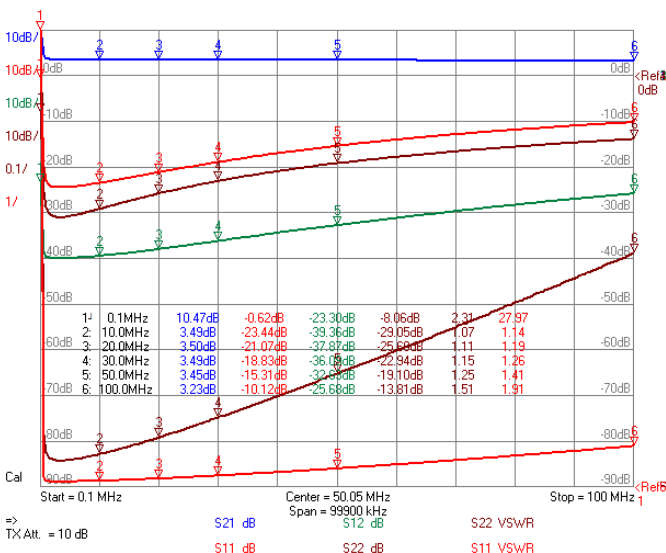
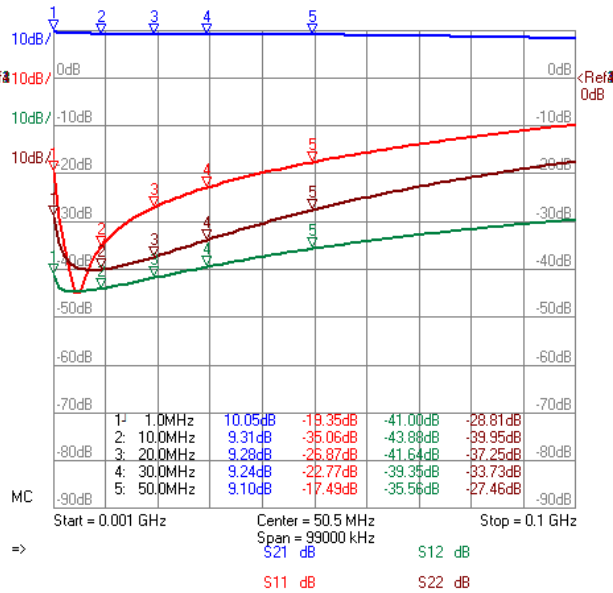
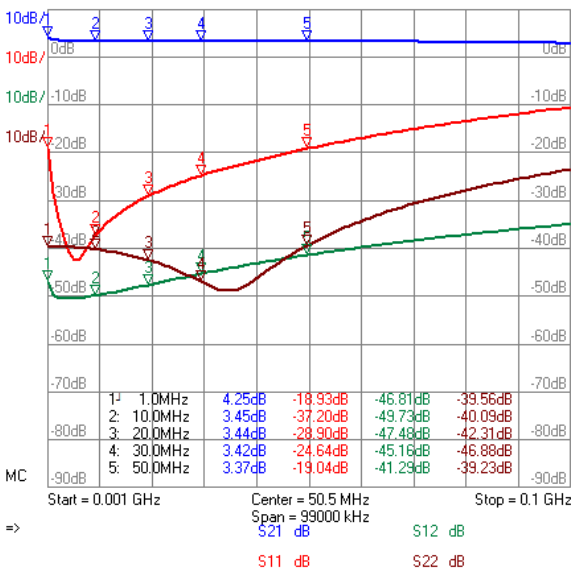
2.2.3 kubik_006_006



Beim Aufbau muss mit R5, R12 und der LED1 gespielt werden um die richtige Basiseinstellung zu finden.

Ergebnisse einer „Kubik-Simulation“:

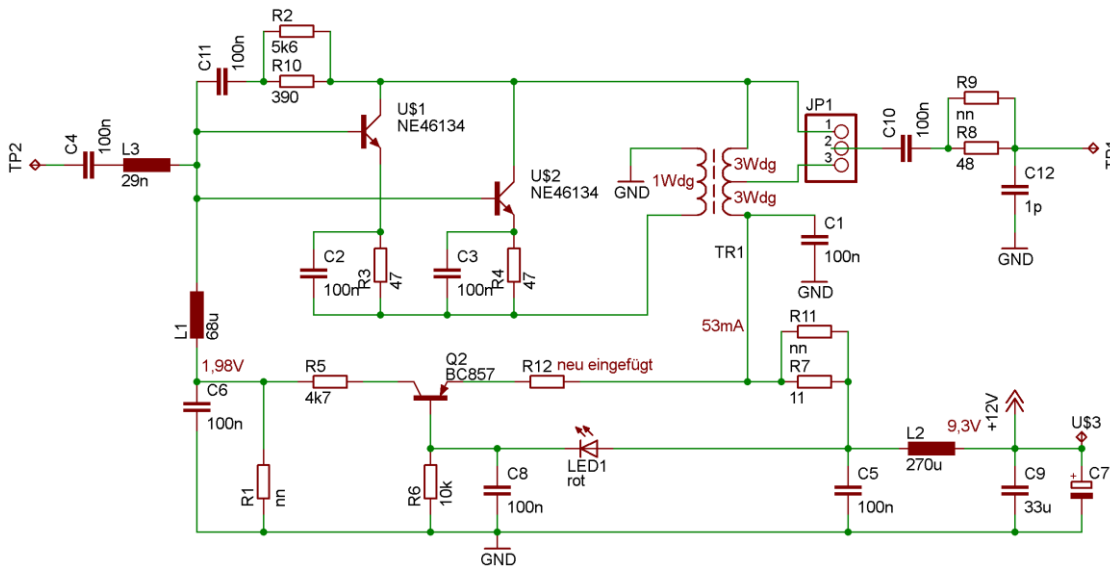
	3 dB Stellung	9 dB Stellung	Iges= 37 mA
Rauschen:	NF = 3 dB	NF = 2,2 dB	
IP3:	OIP3= +37,6dBm	OIP3 = +30,3dBm	



Eigener Aufbau

Hier ein eigener Aufbau – noch nicht optimiert. Auch beim Trafo habe ich mir noch keine Mühe gegeben. S11 und S22 können noch deutlich verbessert werden.

2.2.4 kubik_006_008

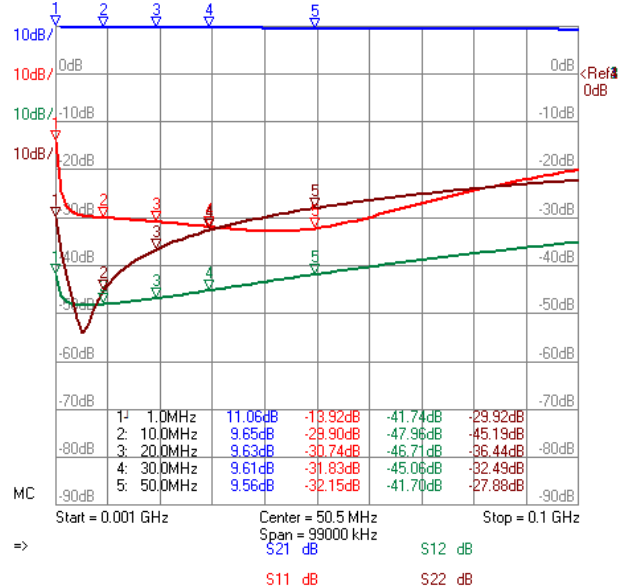
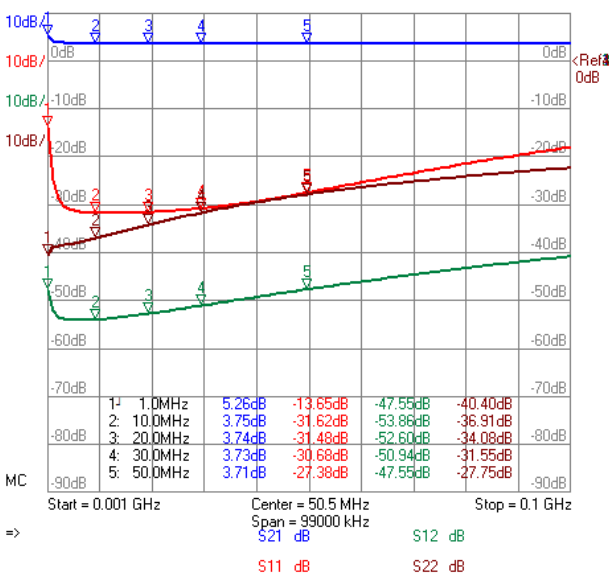


Beim Aufbau muss mit R5, R12 und der LED1 gespielt werden um die richtige Basiseinstellung zu finden.

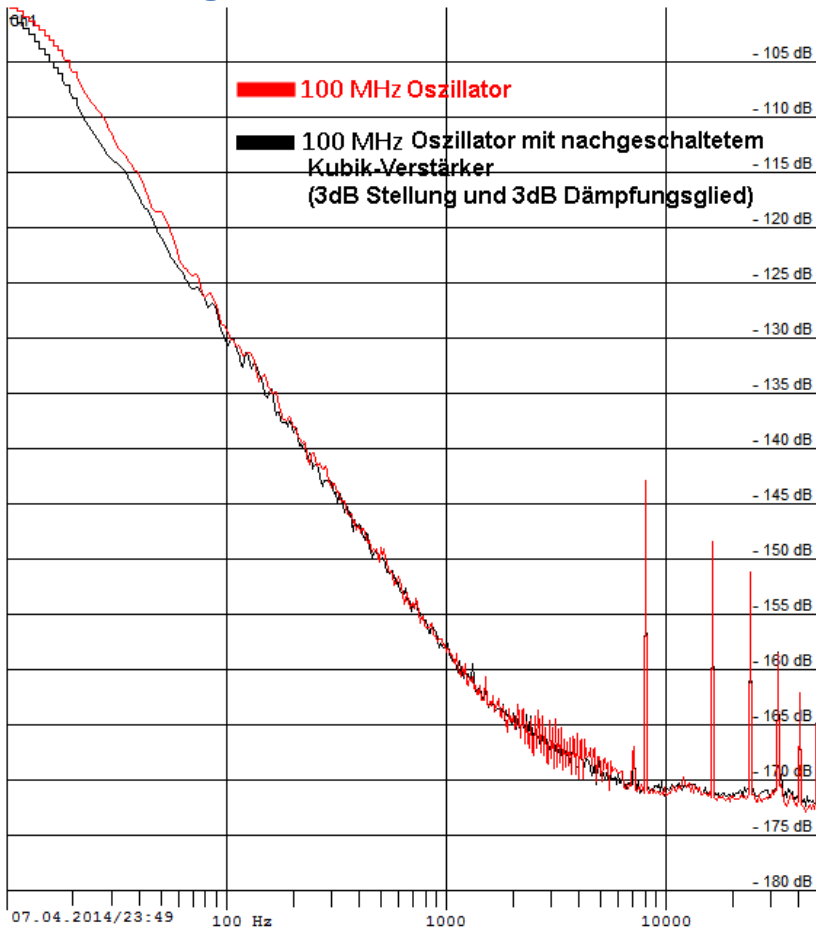
Ergebnisse einer „Kubik-Simulation“:

3 dB Stellung
 Rauschen: NF = 4,1 dB
 IP3: OIP3 = +40,2 dBm

9 dB Stellung Iges = 53 mA
 NF = 2,6 dB
 OIP3 = +37,1 dBm



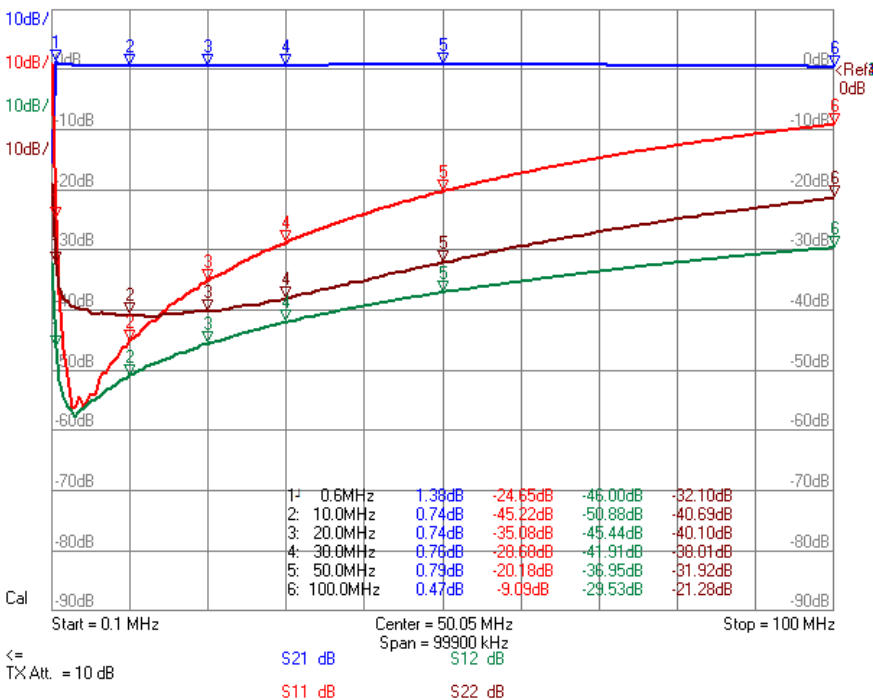
2.2.5 Messungen Kubik Verstärker mit DG4RBF-Oszillator



Bei dieser Messung zum Phasenrauschen habe ich den Kubik-Verstärker verwendet, den ich in meiner K2-Baumappte beschrieben habe (100mA).

Meinem 100MHz Oszillator habe ich den Kubik-Verstärker in der G=3dB Stellung nachgeschaltet. Um die Verstärkung wieder auszugleichen, wurde hinter dem Verstärker mit einem 3dB Pad der Pegel wieder abgeschwächt.

Dieser Verstärker ist auch bei 100 MHz noch gut genug für meine Oszillatoren – ein sehr erfreuliches Ergebnis.

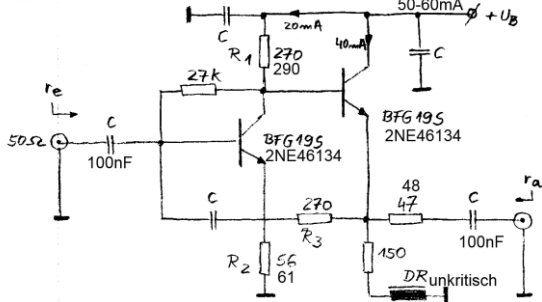


Hier noch die gemessenen S-Parameter: Kubikverstärker mit 3dB Pad.

2.2.6 NE46134 Isolationsverstärker

OIP3= +28 dBm und NF=7,2 dB (Simulationsergebnisse)

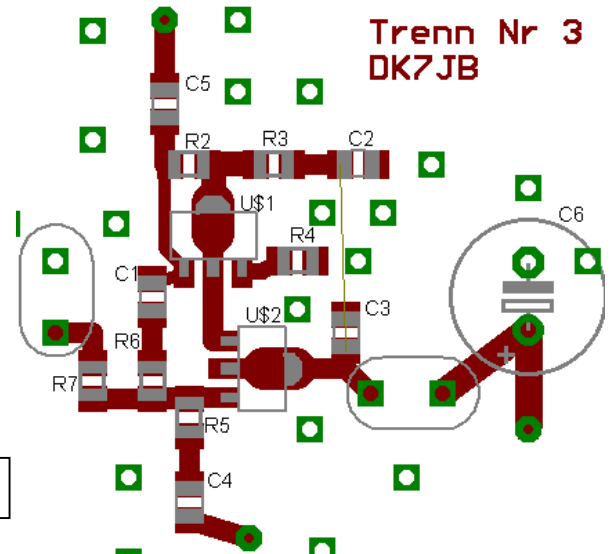
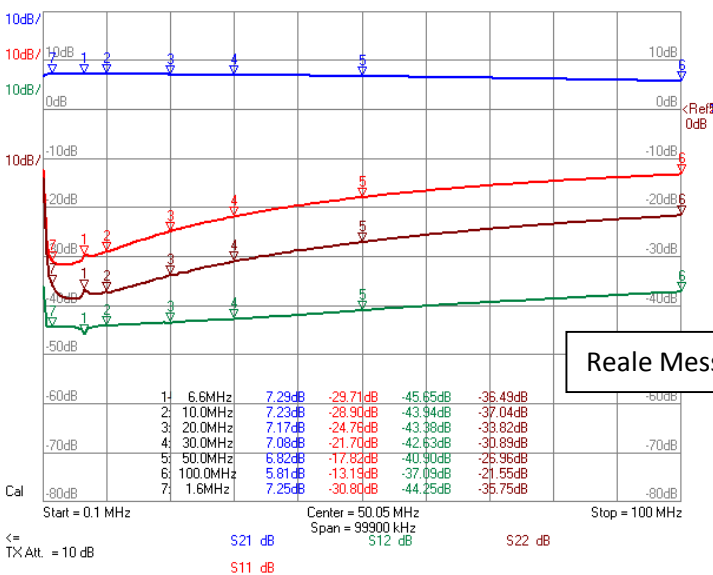
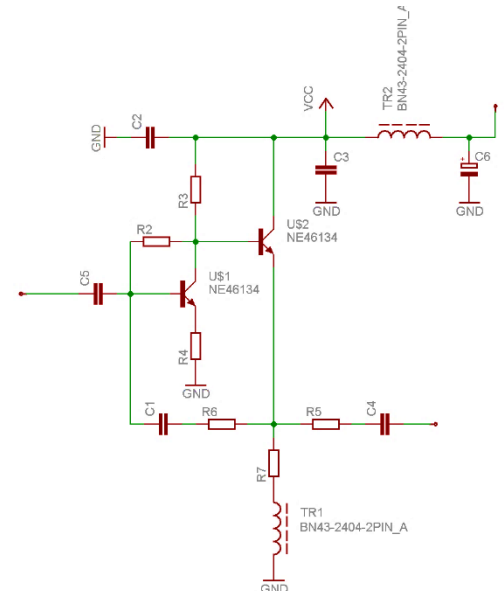
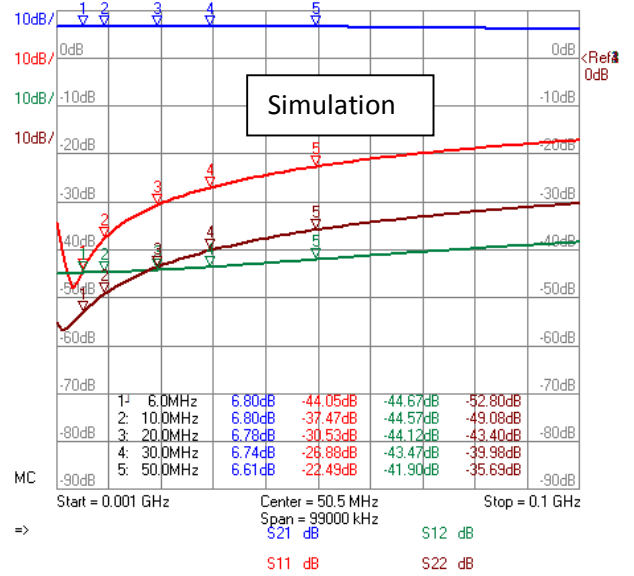
[3]_Isolationsverstärker.png mit NE46134



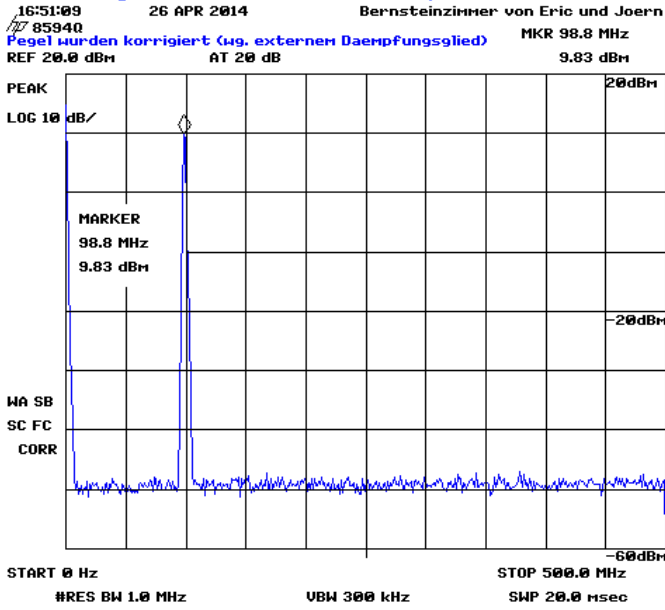
Beim Layout ist darauf zu achten, dass im Bereich Kollektor vom ersten Transistor bis Basis vom zweiten Transistor die Kapazität nach Masse möglichst klein wird. Alleine Kapazität der Löt pads zur Massefläche stören schon gewaltig und wirken sich gnadenlos negativ aus. Die S-Parameter werden schnell um bis zu 20dB schlechter. Auf der Bestückungsseite sollte daher auf eine umfließende Massefläche an dieser Stelle verzichtet werden. Nachteilig wirkt sich hier noch aus, dass beim NE46134 die Kühlfläche am Kollektor hängt. Beim ersten Transistor bewirkt dies natürlich eine Kapazität nach Masse. Da der Kollektorstrom nur 20mA beträgt, kann auf eine vergrößerte Kühlfläche verzichtet werden und beim zweiten Transistor ist dies unkritisch. Eigentlich müsste man noch den Frequenzgang mit einem kleinen C parallel zu R2 verbessern können. Vielleicht würde sich hier ein Versuch mit 5-15pF lohnen (für mich nicht ;-)).

Die Experimente zeigen, dass es wohl für uns besser/bequemer ist, wenn wir für unsere 100 MHz Oszillatoren einen normalen MMIC nehmen mit Dämpfungsgliedern am Eingang und Ausgang. Für die hier vorgestellte Schaltung spricht die bessere Isolation und verzichte auf einen Übertrager, der bei höheren Frequenzen nur stört.

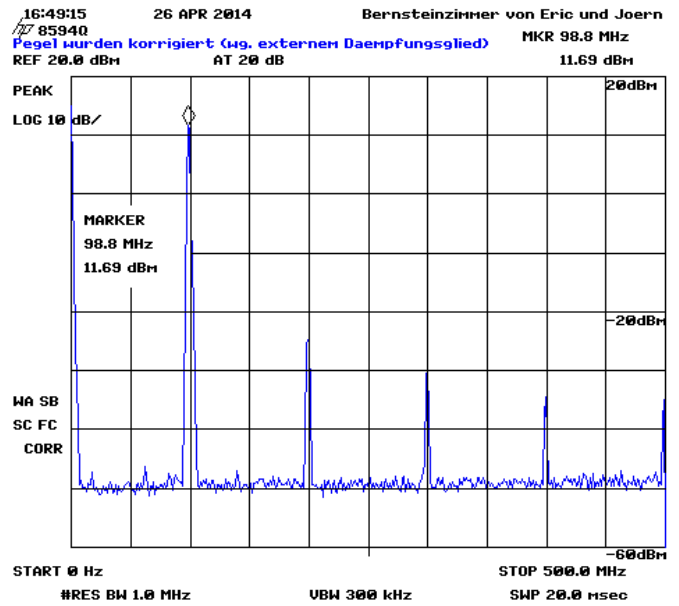
Die beiden nebenstehenden Bilder zeigen mein Layout, mit dem Experimente durchgeführt werden



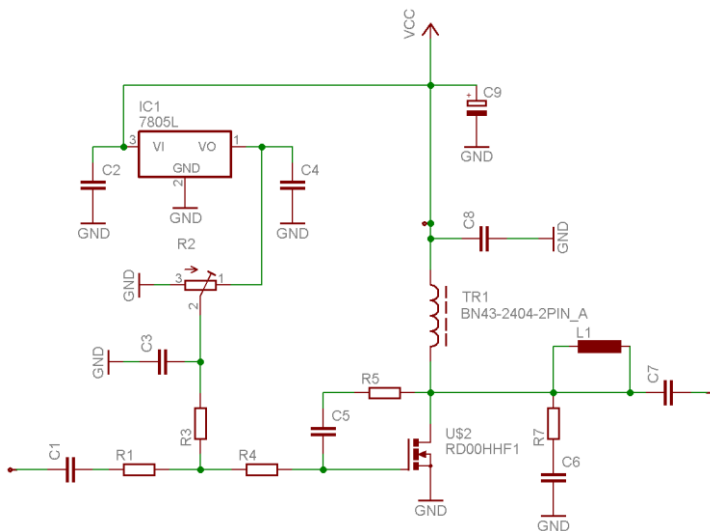
100 MHz Oszillator mit NE46134 Isolationsverstärker und nachgeschaltetem 100MHz Tiefpass



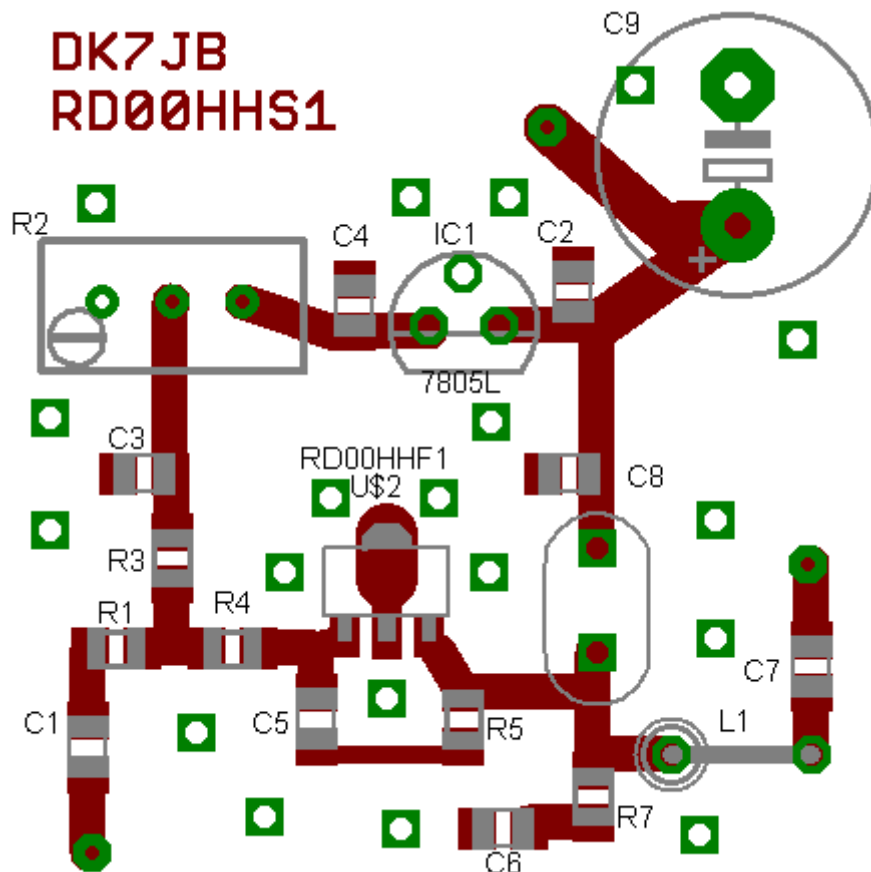
100 MHz Oszillator mit NE46134 Isolationsverstärker



2.2.7 RD00HHS1 Isolationsverstärker



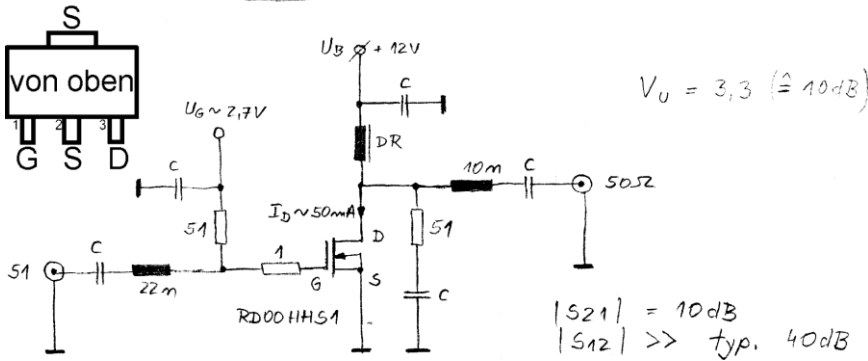
Hier untersuche ich den MOSFET Breitbandverstärker mit einem RD00HHS1, der von Kubik in Kapitel 2.1 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. unter den Nummern [5] und [6] vorgeschlagen worden ist. Mit meinem Layout lassen sich beide Verstärker aufbauen.



Rauschen von Spannungsreglern: Trennverstärker

[6]_MOSFET_Isolationsverstärker.png

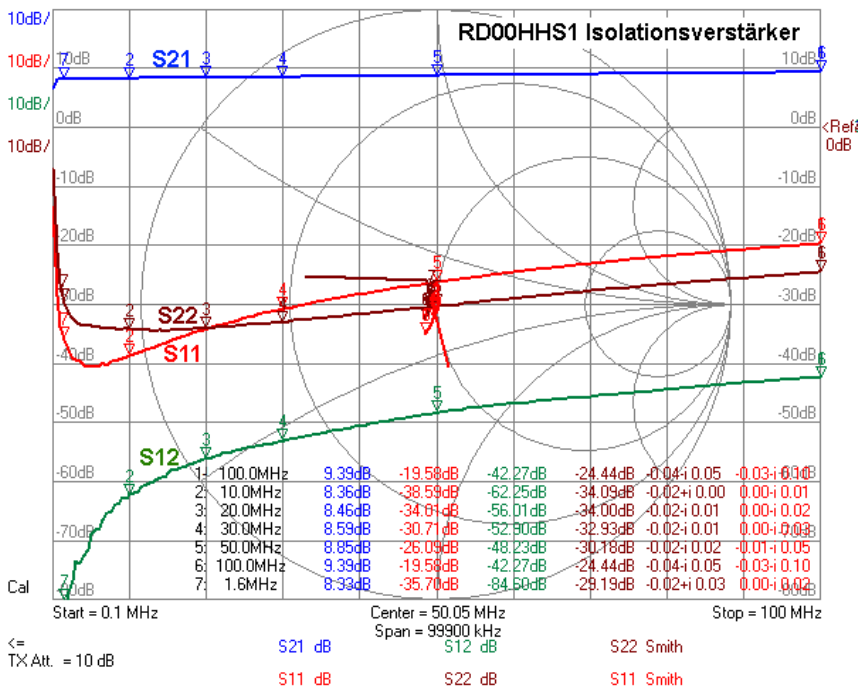
1-150MHz 10dB MOSFET ISOLATIONSVERSTÄRKER



Mit den hier angegebenen Werten wurde der Verstärker aufgebaut.

Abwandlungen: Die Induktivitäten am Eingang und Ausgang fehlen noch und $I_D = 40\text{mA}$.

22.04.2014 20:06:21 RD00HHS1 als Isolationsverstärker 40mA noch ohne echte Anpassung

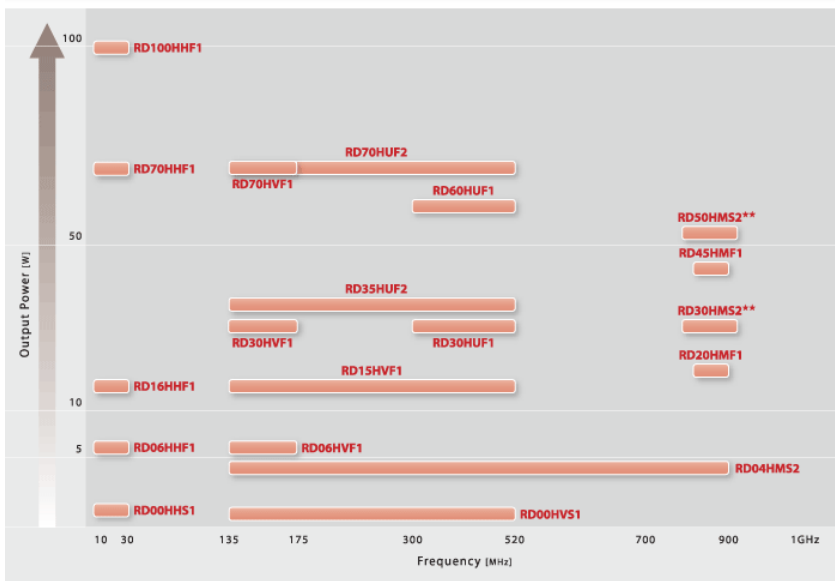


Diese erste Messung mit dem VNWA hat beeindruckende Werte geliefert. Die Eingangs- und Ausgangsanpassung ist unabhängig von einer Fehlanpassung am anderen Port. Die Werte ändern sich nur um rund 2dB. Auch die Isolation ist sehr gut.

Wenn man anders als in diesem Beispiel das I_D auf 50mA erhöht, erhält man ein S_{21} von 10dB.

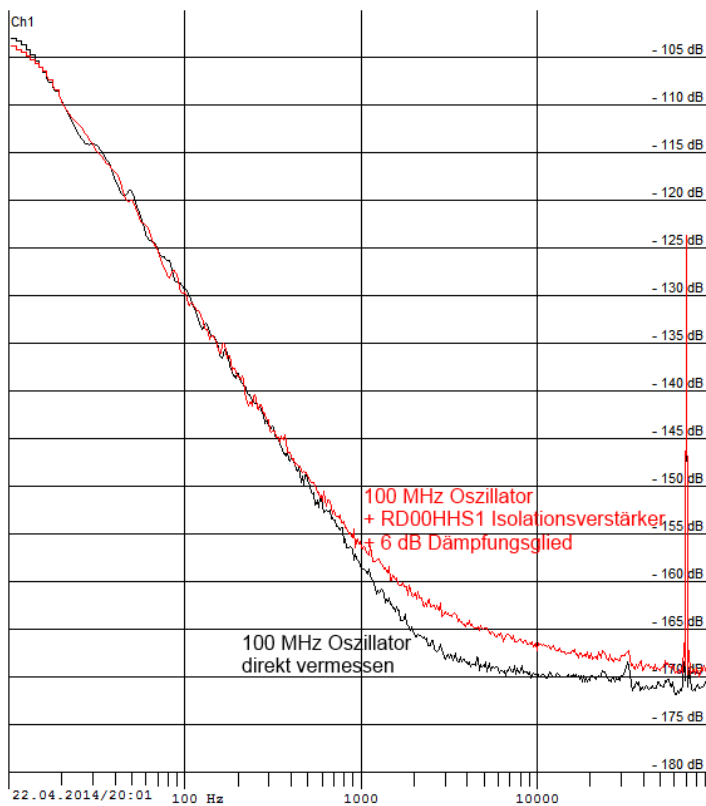
Dieser FET ist eigentlich nur für den Bereich der Kurzwellen spezifiziert, wie das Bild unten auf der Seite zeigt. Die S-Parameter sind auch bis 100 MHz noch sehr gut. Mit dem VNWA wird die Schaltung aber auch nur im Kleinleistungsbereich vermessen.

12.5V Operation RF High Power MOS FET (Discrete)



Das nebenstehende Bild habe ich auf der Internetseite von Mitsubishi Electric Corporation gefunden:

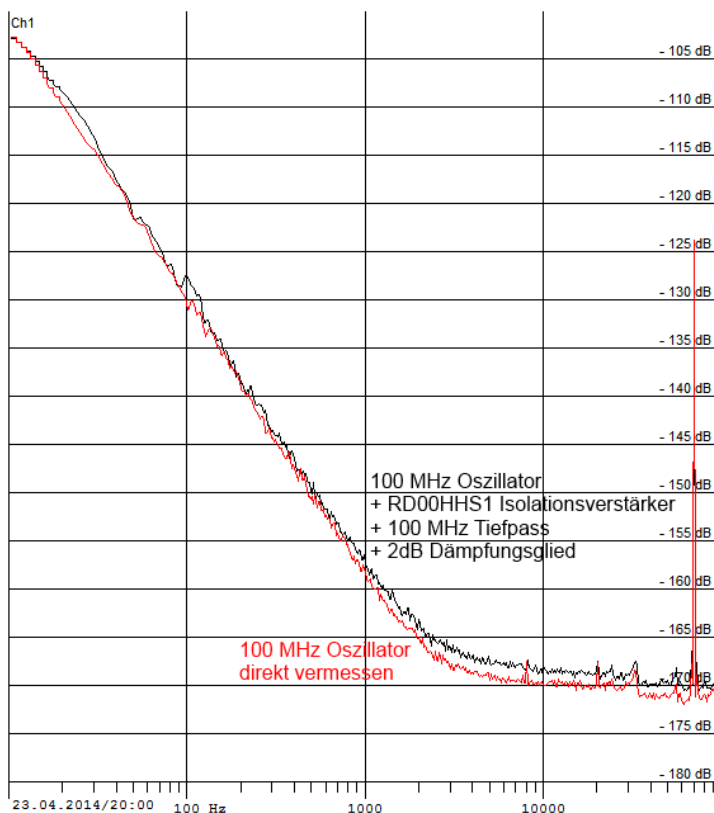
<http://www.mitsubishielectric.com/semiconductors/products/hf/sirfpowermod/index.html>



Nun hat es mich interessiert, ob sich dieser Verstärker als Isolationsverstärker für meine 100 MHz Quarzoszillatoren eignet. Gemessen wird das Phasenrauschen. Die schwarze Kurve zeigt zwei meiner 100 MHz Oszillatoren gegeneinander vermessen. Für die rote Kurve habe ich den DUT-Oszillator mit diesem Verstärker verstärkt und den Pegel wieder mit einem 6 dB Pad. Leider erhöht sich das Phasenrauschen. Für unsere sehr guten 100 MHz Oszillatoren ist der Verstärker nicht gut genug. Ich bin gespannt, ob es im Bereich der Kurzwelle besser wird.

Irgendwann werde ich für diesen Verstärker auch mal das Rauschmaß für unterschiedliche Frequenzen vermessen. Den IP3-Wert werde ich beispielhaft nur für eine Frequenz aufnehmen.

Diese Messungen werde ich aber erst durchführen, wenn die Messaufbauten sowieso aufgebaut werden.



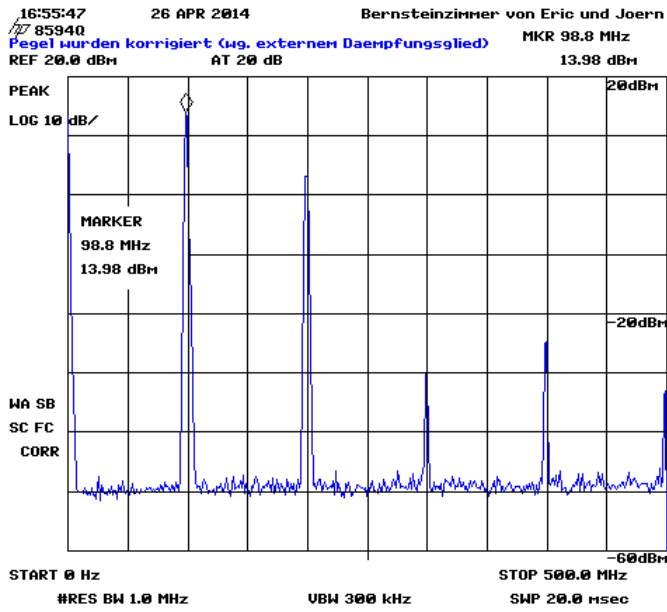
Nun habe ich bei der Phasenrauschmessung einen Tiefpass eingeschleift um die Oberwellen zu beseitigen. Die Messergebnisse sind gleich besser geworden.

Nun muss ich nur noch die Spektren vermessen, damit ich den Einfluss der Oberwellen auf die Messwerte untersuchen kann.

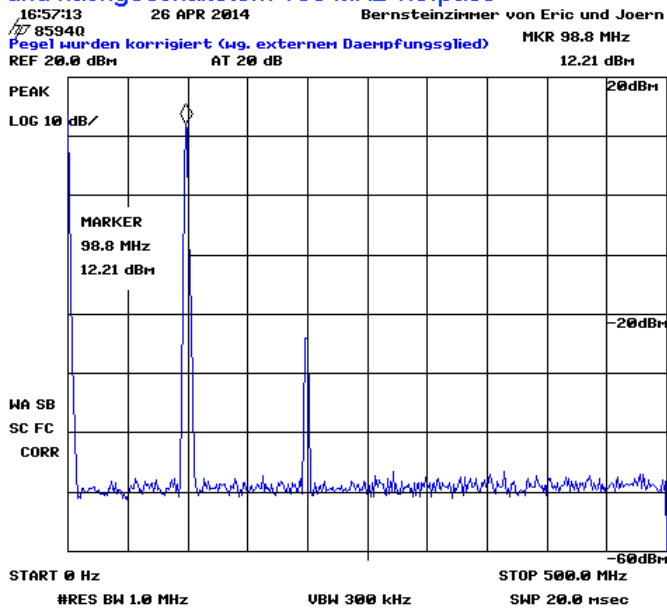
Rauschen von Spannungsreglern: Trennverstärker

Jörn DK7JB dk7jb@yahoo.de

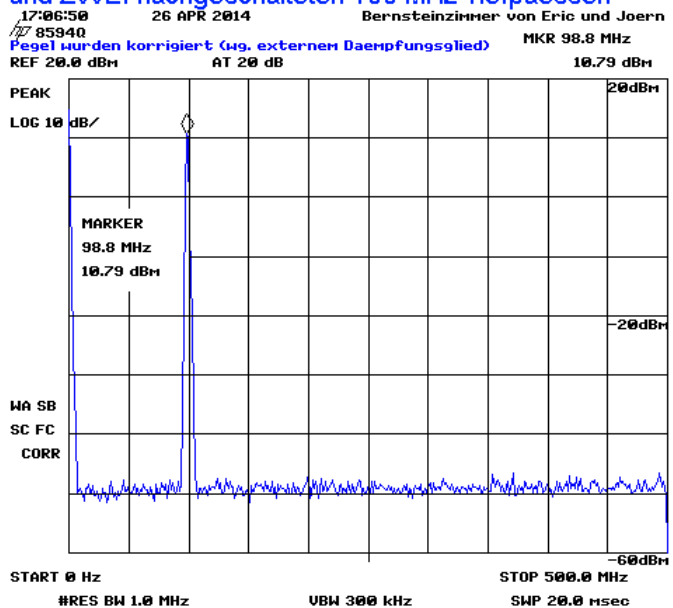
100 MHz Oszillator mit RD00HHS1 Isolationsverstärker



100 MHz Oszillator mit RD00HHS1 Isolationsverstärker und nachgeschaltetem 100 MHz Tiefpass

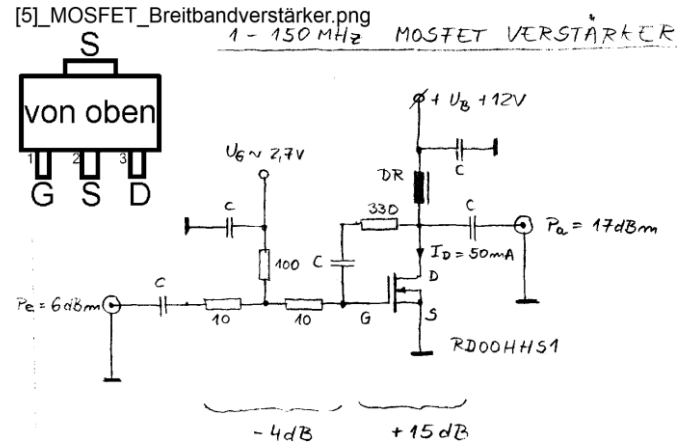
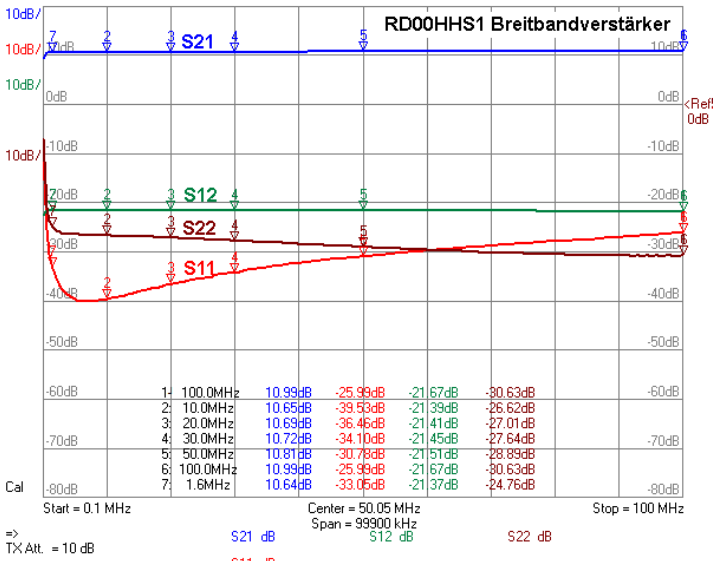


100 MHz Oszillator mit RD00HHS1 Isolationsverstärker und ZWEI nachgeschalteten 100 MHz Tiefpässen

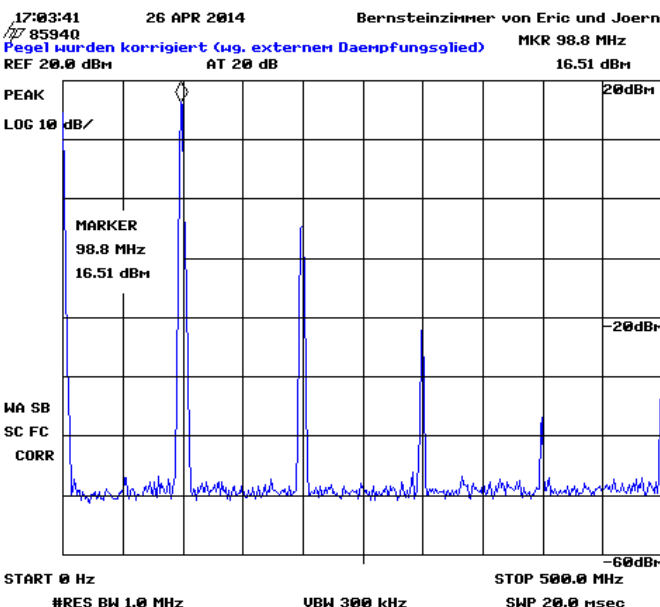


2.2.8 RD00HHS1 Breitbandverstärker

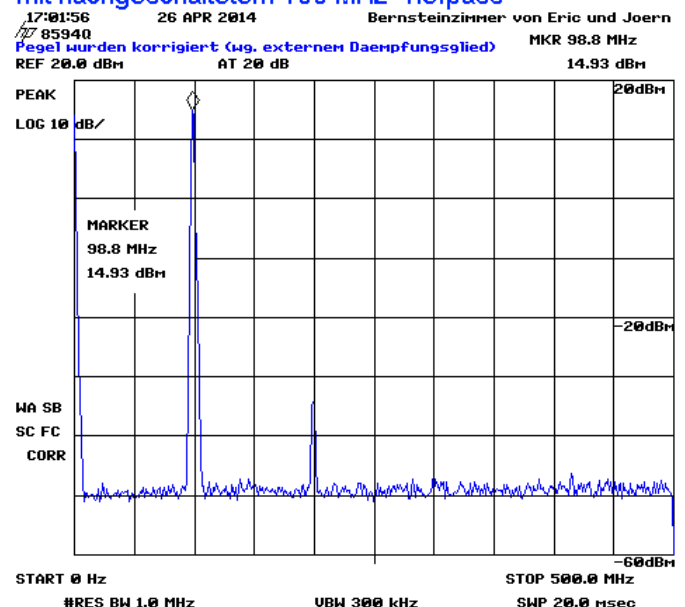
25.04.2014 15:04:14 RD00HHS1 Breitbandverstärker



100 MHz Oszillator RD00HHS1 Breitbandverstärker



100 MHz Oszillator mit RD00HHS1 Breitbandverstärker mit nachgeschaltetem 100 MHz Tiefpass



3 Trennverstärker mit dem Crystal Input Clock Fanout Buffer NB3H83905C

Als Trennverstärker kann natürlich auch der Buffer-Baustein NB3H83905C verwendet werden, der im Kurzwellenbereich ein geringes Rauschen aufweist. Auch als Sinus-Rechteckwandler ist dieser Baustein bei Präzisions-Frequenzmessungen sehr zu empfehlen und das Phasenrauschen eines Kurzwellenoszillators wird nicht oder nur unwesentlich angehoben.

Das Signal wird am Ausgang in ein Rechtssignal gewandelt. Als Eingangssignal wird ein „Single Ended LVCMOS Clock“ – Signal von 3 MHz bis 100 MHz akzeptiert. Meine Experimente zeigen, dass der Baustein extrem gutmütig ist und fast alles verarbeitet. Selbst eine völlige Fehlanpassung am Eingang und Ausgang hat den Noisefloor nicht messbar angehoben.

Weitere Hinweise findet ihr zu diesem Baustein in den folgenden Baumappen:

Baumappe: Frequenzmessung mit dem VNWA - Allan Deviation

<http://www.bartelsos.de/dk7jb.php/frequenzmessung-vnwa>

Baumappe: Kurzwellen-Oszillatoren → kommt in den nächsten Tagen

4 Anmerkungen zu Trennverstärkern

4.1 PNP HF-Transistoren sind selten

Bei der Suche nach geeigneten Transistoren ist mir ausgefallen, dass es nur sehr wenige PNP Transistoren für Hochfrequenz gibt und echte npn/npn Kombinationen noch viel seltener.

Hier habe ich eine gute Übersicht zu Transistoren und den NPN&PNP Paaren gefunden:

http://www.b-kainka.de/Daten/Transistor/SC04_SELGUIDE_1996_2.pdf

Im Katalog von www.rf-microwave.com findet man eine gute Auswahl an Transistoren. Dort ist auch eine Übersicht mit bekannten und zum Teil schon veralteten Transistoren zu finden. Aus diesem Katalog stammt auch das folgende Bild: <http://www.rf-microwave.com/catalogo/eng/D.pdf>

Complementary transistors couples NPN - PNP							
NPN	BFR 96	BFG 97	BFQ 72	BFQ 71	BFR 92	MRF 571 not available	BCX 54
PNP	BFQ 32	BFG 31 not available	BFQ 75	BFQ 76	BFT 92	MRF 536	BCX 51
Ic mA	75	100	50	30	25	30	1 A
Ft GHz	5	5	5	5	5	5	50 - 130 MHz

Solltet ihr noch weitere NPN/PNP Kombinationen bei HF-Transistoren kennen, würde ich mich über eine Rückmeldung freuen.

4.2 Trennverstärker in der Literatur und im Internet

Hier sind noch einige Ideen für Trennverstärker zu finden:

Low Phase Noise Design: OCXO Buffer Amplifiers: <http://www.ko4bb.com/~bruce/OCXOBufferAmplifiers.html>

Low Phase Noise Design: Isolation Amplifiers: <http://www.ko4bb.com/~bruce/IsolationAmplifiers.html>

Development of a low noise high reverse isolation low distortion RF Amplifier:
http://www.ko4bb.com/~bruce/CE_TransformerFeedback_BufferAmplifier.html

Precision Time and Frequency Systems: <http://www.ko4bb.com/~bruce/>

<http://www.sm5bsz.com/osc/osc-design.htm>

<http://www.ko4bb.com/~bruce/>

<http://www.ko4bb.com/~bruce/OCXOBufferAmplifiers.html>