

Ein QRP-CW-TRX für 40/20m

Es sollte ein einfacher Transceiver werden. Mit möglichst wenig Aufwand an Bauelementen ein optimales Ergebnis zu erreichen, das war mein Ziel. Natürlich muss man Kompromisse finden. Und so nahm ich eine Vorlage von DJ7OO. An diesem Konzept gefiel mir die Darstellung der Skala. Etwas nachgebildet dem legendären FT7 von Yaesu.



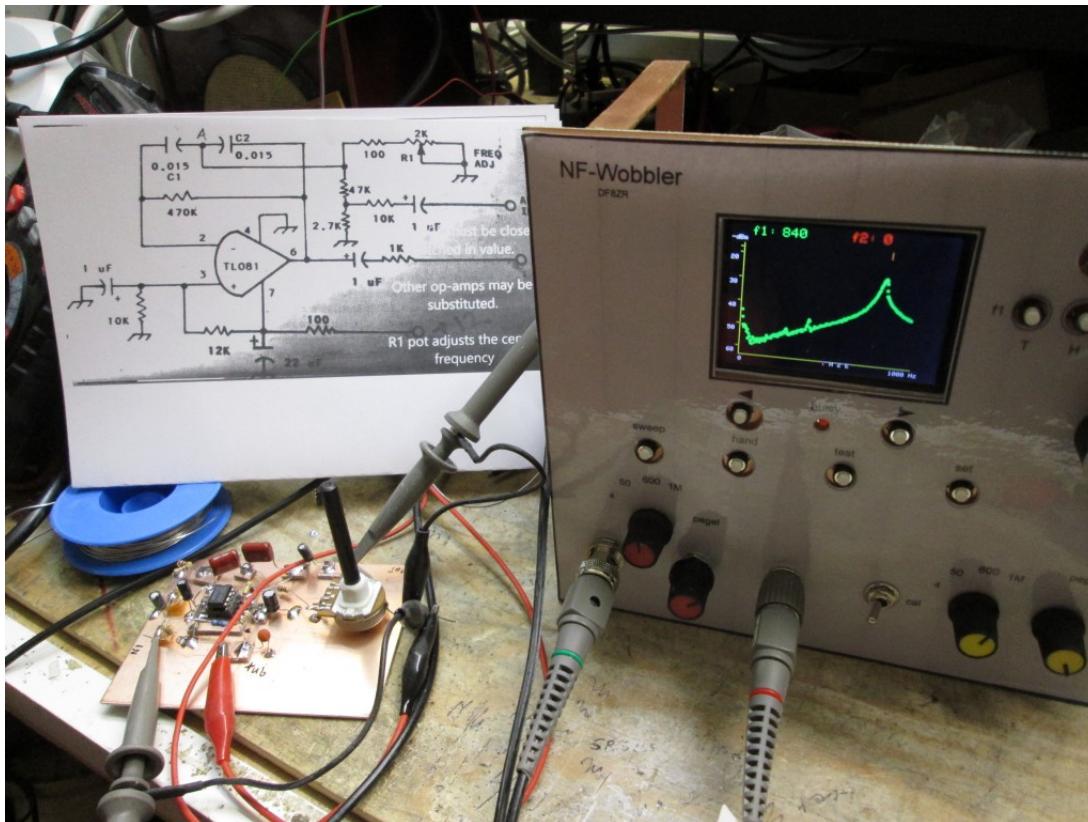
Das hier ist aber ein Empfänger für alle Wellenbereiche von Langwelle bis Kurzwelle. Den Ursprung der Software findet man bei:

<https://tj-lab.org>

Der VFO ist ein Si5153, der Prozessor ein ESP32. Und ein preiswertes TFT-Display ermöglicht diese schöne Analog-Skala. Man findet die Bauanleitung bei: <http://www.kh-gps.de/uni-rx.htm>

Ein CW-Filter

Bei Youtube fand ich diesen Bauvorschlag für ein aktives CW-Filter. Die Wirkung hat mich überzeugt. Und so bastelte ich schnell mal diese einfache Schaltung:



Die Resonanz lässt sich von 0 bis 1000 Hz mit dem Poti verschieben. Hier konnte ich meinen NF-Wobbler(DIY) wieder sinnvoll einsetzen. Das Bild zeigt den Durchlass bei 840 Hz. Es werkelt ein OP27 mit +5V Betriebsspannung. Der Bauteileaufwand ist gering, die Wirkung gut. Für meine Zwecke reicht die Performance. Natürlich könnte man auch ein DSP-Filter von SOTABEAM einsetzen. Kostet aber mit Zoll ca. 40...50 EUR. Das wäre ideal für den Direktmischer, da man im SSB-Betrieb das störende Seitenband effektiv ausblenden kann.

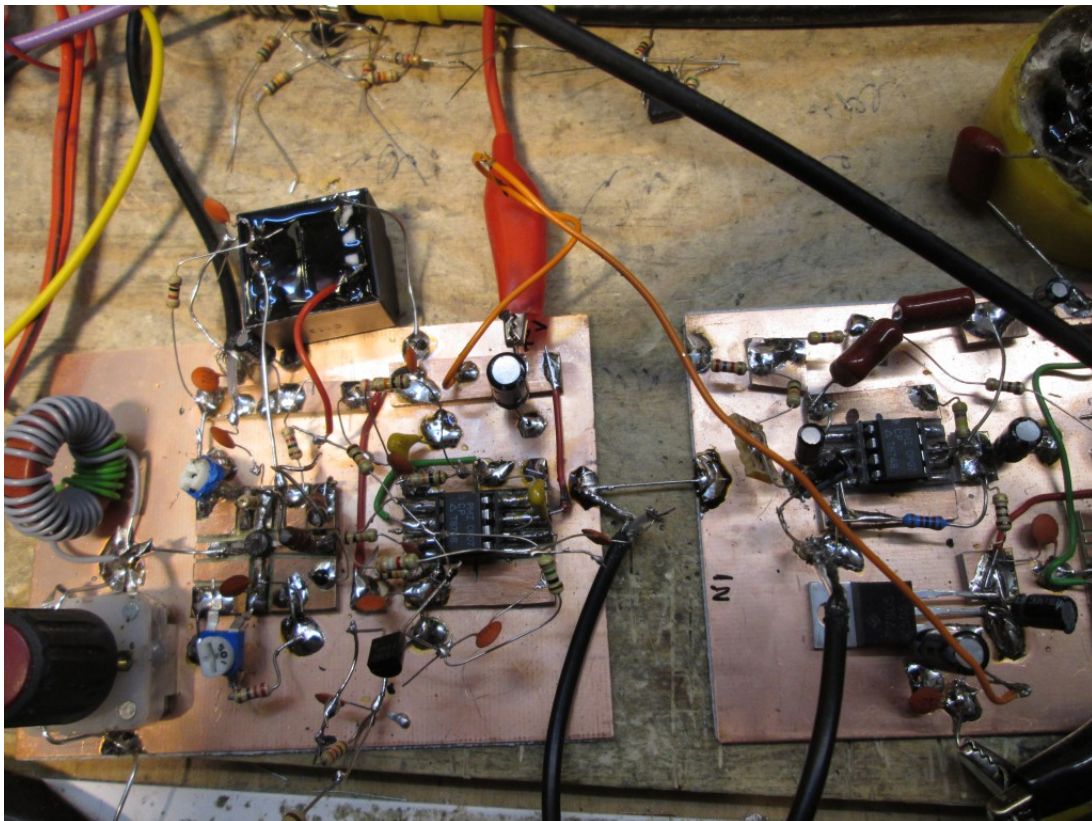
Der NF-Teil

Das Problem eines DC-RX ist der niedrige Pegel des Audiosignals. Nach der Demodulation muss man hoch verstärken.

J310 oder einen BF962. Ein Ringdiodenmischer hätte kaum ein Eigenrauschen im Vergleich zum NE602. Der Oszillatorpegel des Si5153 ist ja hoch genug. In Experimenten werde ich die Varianten untersuchen.

Favorit

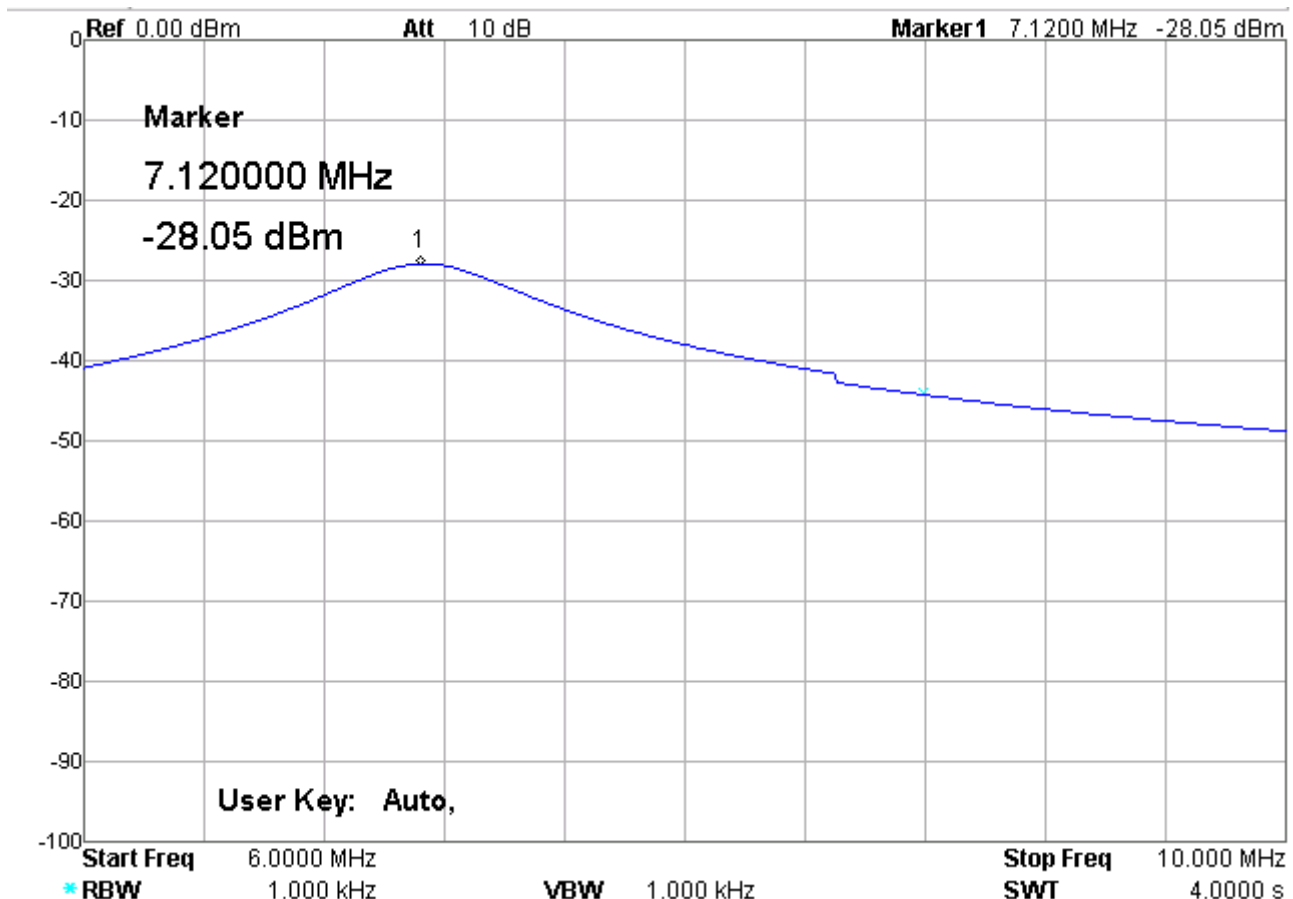
Die beste Eigenschaft zeigte sich am klassischen Mischer mit einem Dual-Gate-MOSFET BF961. Wie beim alten Volksempfänger mit der REN904 machte ich eine Transformatorkopplung für die NF. Das Signal war zuvor noch nie so „sauber“ auf dem Oszilloskop zu sehen. Allerdings nimmt der Transformator gern Brumm aus dem Netz auf. Man müsste ihn im stationären Betrieb magnetisch schirmen. Im Fielddaybetrieb wäre das nicht wichtig. Der hier sichtbare Trafo ist ein 3,5 VA 230/6.



Frontend

Es zeigte sich ein Durchschlagen starker Kurzwellen-Rundfunk-Sender. Ein Schwingkreis reicht da nicht für eine wirksame

Dämpfung. Daher werde ich den RX- an den Tiefpass des TX anschließen. Dieser TP hat dann hoffentlich die notwendige Zusatzdämpfung. Natürlich hilft auch hier das aktive CW-Filter. Es unterdrückt wirksam die AM-Modulation und trennt das CW-Signal deutlich von den Hintergrundgeräuschen.

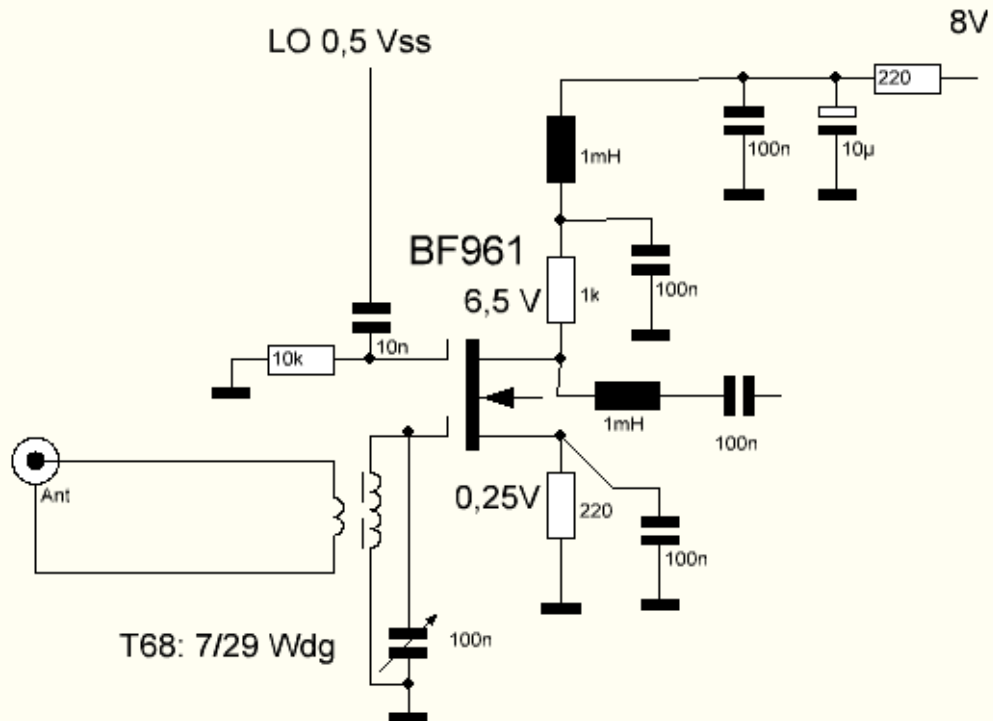


Resonanz am Gate 1 aufgenommen. Der Eingangspegel war 16 dB niedriger! 29 Wdg auf einem T68 Ringkern(4.5 uH).

Probleme

Das aktive CW-Filter reagierte in der Schaltung nicht so, wie ich hoffte. Es neigt zum Schwingen. Den Endverstärker werde ich deshalb weit abgesetzt montieren. Außerdem muss ich vermutlich den Si5351 auch in ein metallisches Gehäuse bringen, denn er könnte in den Eingang des RX einstrahlen. Sehr unangenehm, weil er ja dieselbe Frequenz wie das Nutzsignal hat. Ich muss also auf einen hf-gerechten Aufbau achten.

TRX-DC-Mai22



DF8ZR

Der Mischer

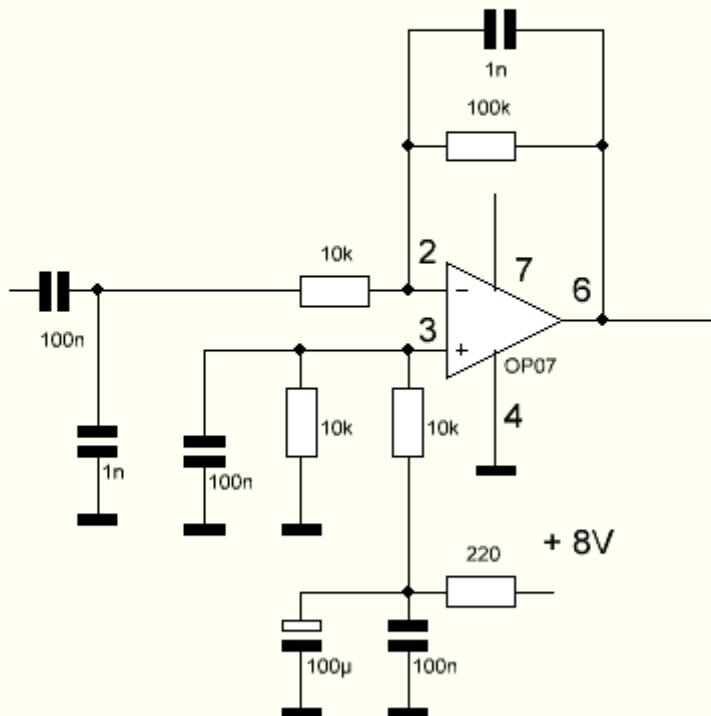
Hier der einfache Aufbau des Empfängers. Das Antennensignal wird später nach dem Bandpass abgenommen, denn die Selektion ist sonst unzureichend. Der BF961 arbeitet im Schalterbetrieb. Er braucht aber am Gate 1 eine Vorspannung. 0,25V DC haben sich bewährt.

NF-Vorverstärker

Er hat einen Frequenzgang als Tiefpass bis 5 kHz. Er war ursprünglich für einen AM/SSB-RX vorgesehen. Ein DC-RX verlangt eine hohe NF-Gesamtverstärkung. Zunächst also hier eine Anhebung des Pegels mit dem Faktor 10.

TRX-DC-Mai22

NF-Vorverstärker



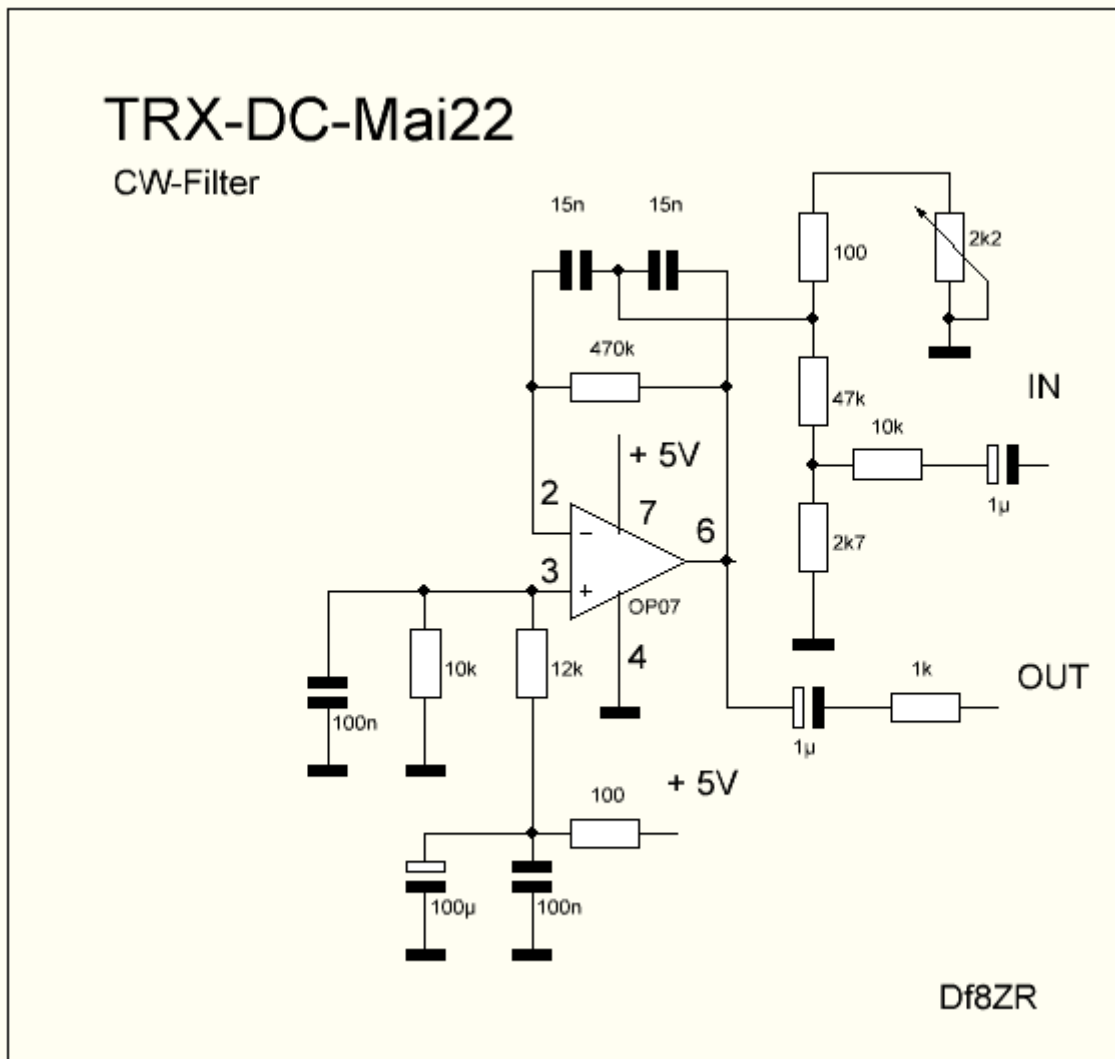
Df8ZR

Wem das zu wenig ist, kann ja den Gegenkopplungswiderstand auf 47k verringern. Aber Vorsicht: Gerade die hohe NF-Verstärkung neigt zum Eigenschwingen. Also die einzelnen Blöcke weit voneinander montieren und in der Stromversorgung gut entkoppeln.

Das aktive CW-Filter

Hier hat mich ein Schaltungsvorschlag überzeugt, der schon einige Jahre alt ist. Statt des dort vorgesehenen uA741 verwende ich wieder den Op07. Wenn schon rauscharm geplant war, dann konsequent bleiben! Die Kondensstoren(15n) müssen möglichst identische Werte haben. Es macht auch nichts, wenn die Absolutwerte abweichen und ggf. der Durchlass des Filters nicht

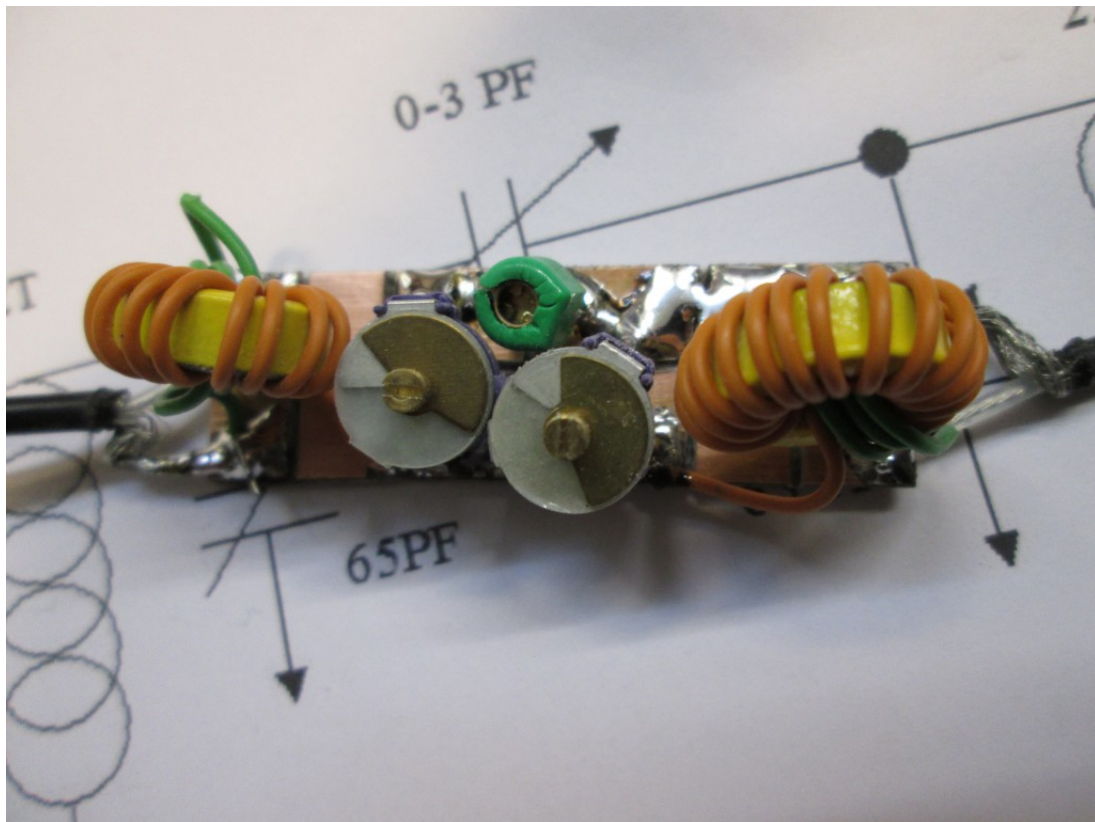
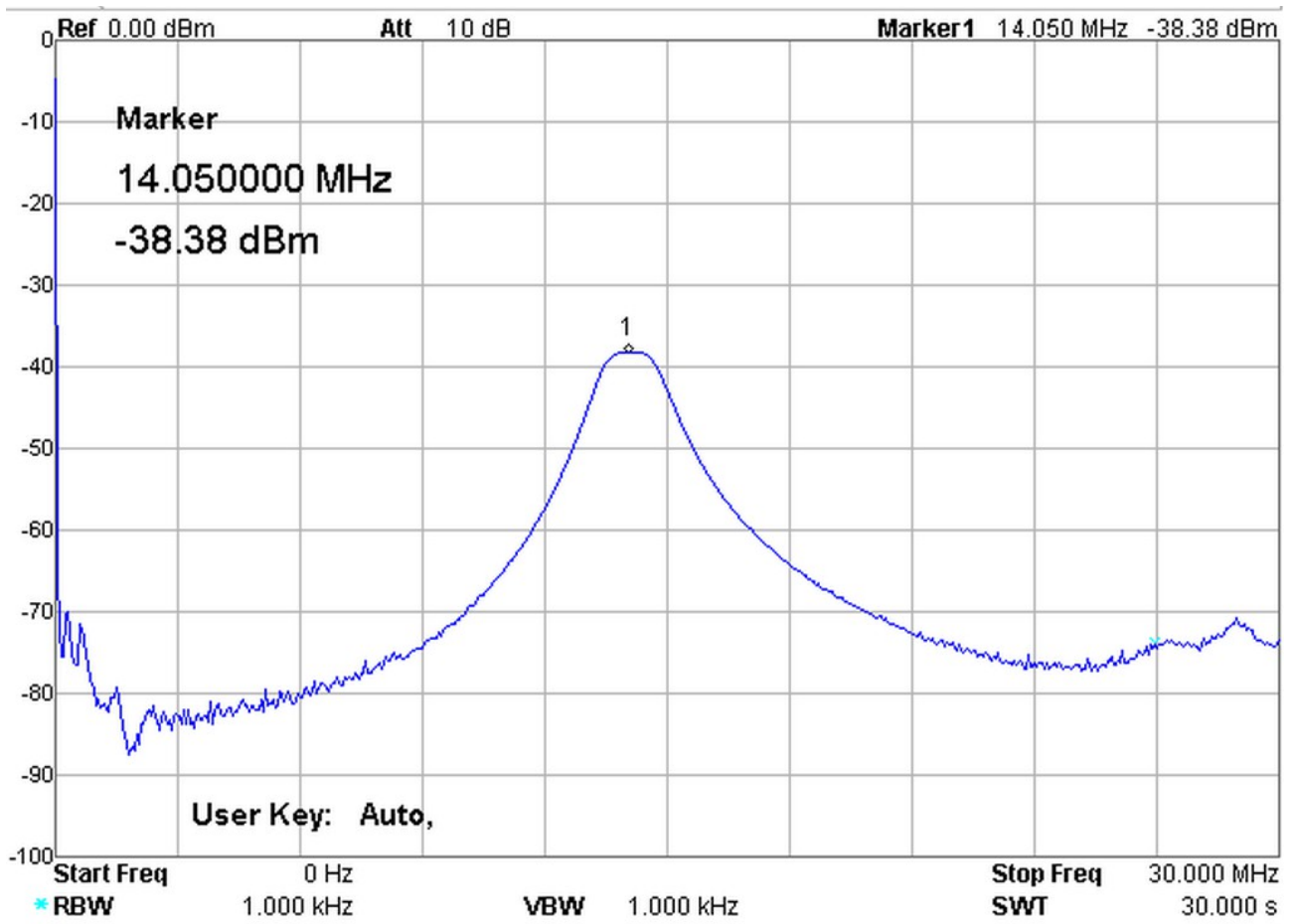
ganz bis 1 kHz reicht. Mit 400 Hz bis 800 Hz kann man auch leben.

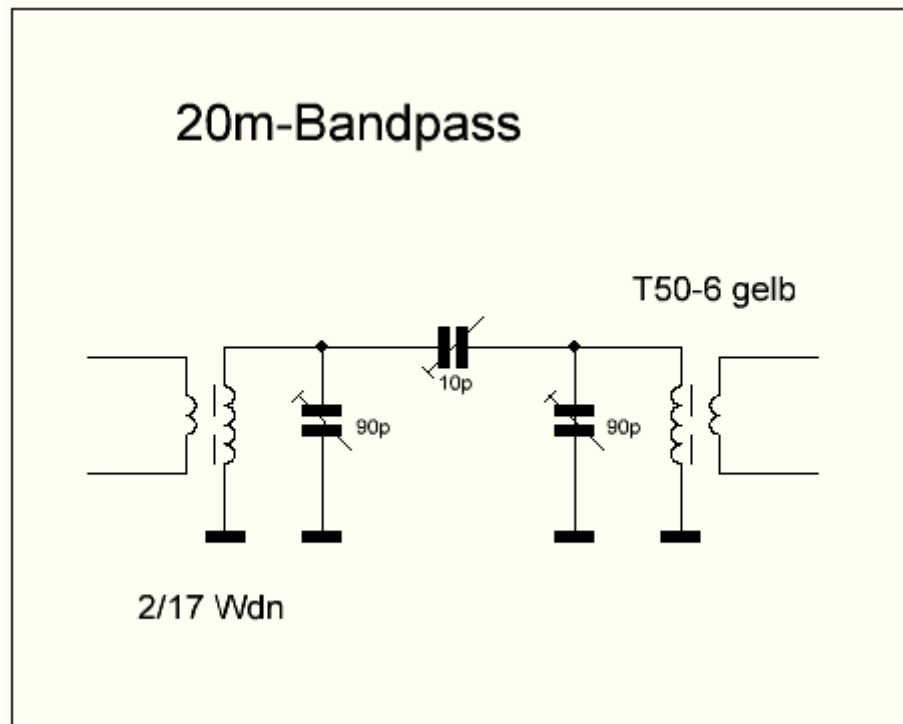


Wenn das Filter im hohen Bereich schwingt, dann den 100R vor dem Poti auf 200 R erhöhen. Das Filter zeigt hier bereits einen Nachhall, der aber nicht stört.

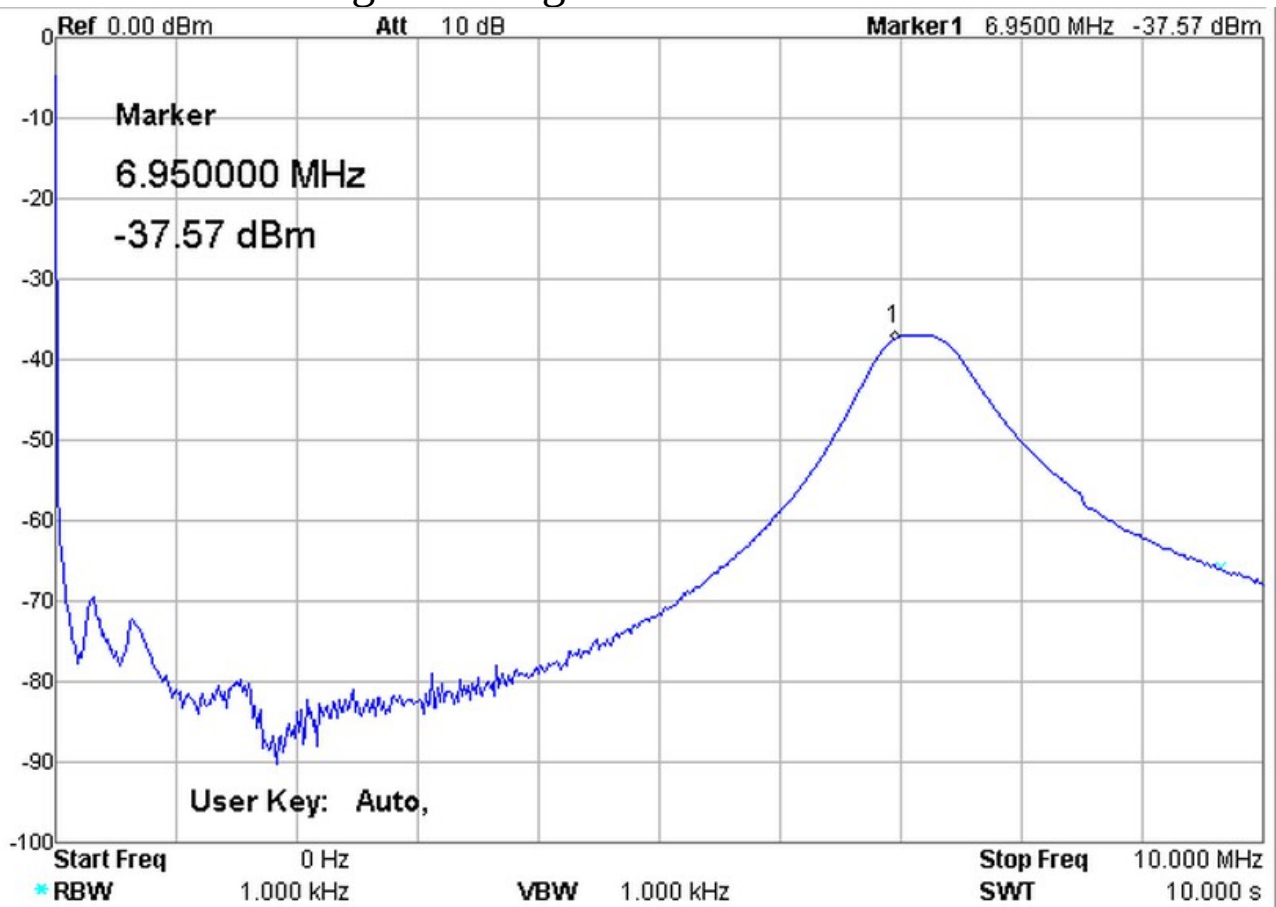
20m-Bandpass

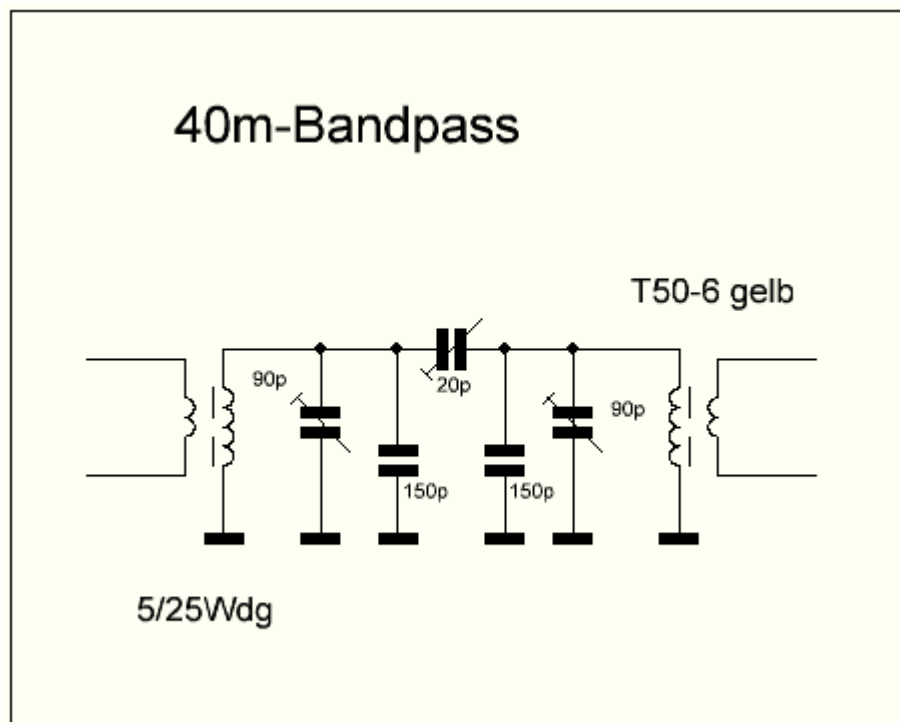
Auf Ringkerne T50-6(gelb) wickelte ich 17 Wdg isolierten Schuttdraht. Und zwei Wdg für die Ein- und Auskopplung der mit einem C-Trimmer lose gekoppelten Schwingkreise. Der Durchlass geht von 13,8 MHz ... 15 MHz. Die Durchlassdämpfung ist < 2 dB. Dieses Filter ist einfach zu realisieren und genügt den Ansprüchen.





Das 40m-Filter ist gleich aufgebaut. Hier sind die Werte:





Hoffentlich hilft das Filter, den OE1(6,155 MHz) zu unterdrücken.

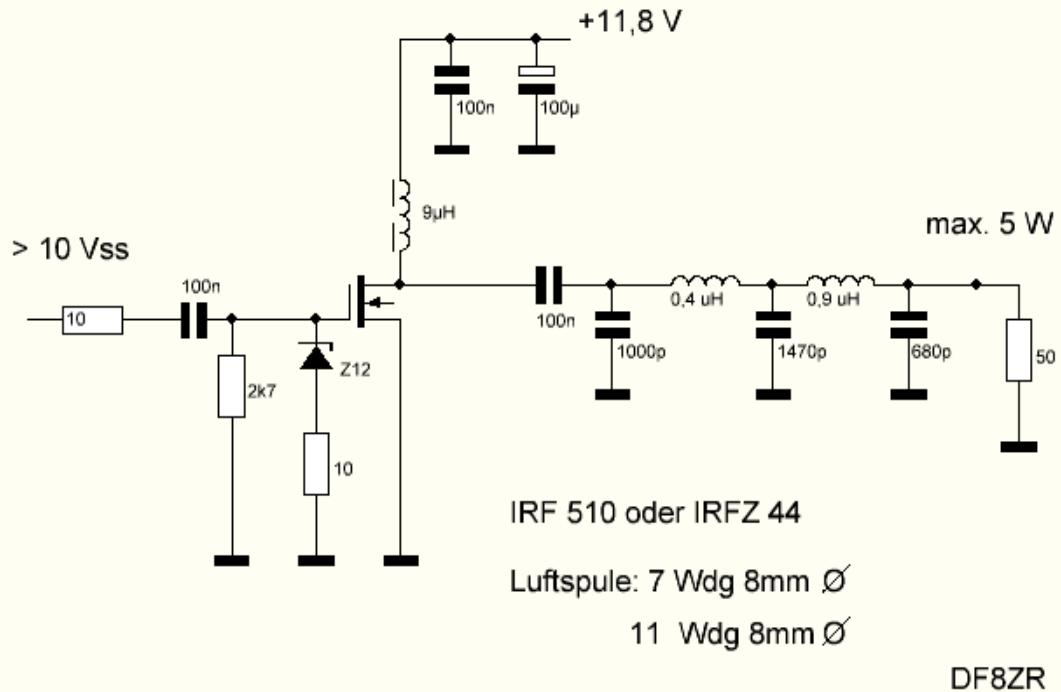
Endstufe

Meine Erfahrungen mit dem IRF510 sind gemischt. Habe damit nie mehr als 4 W bei 12V herausgeholt. Daher habe ich auch mal einen IRFZ44 getestet. Der ist etwas besser, aber 10W kommen auch da nicht raus.

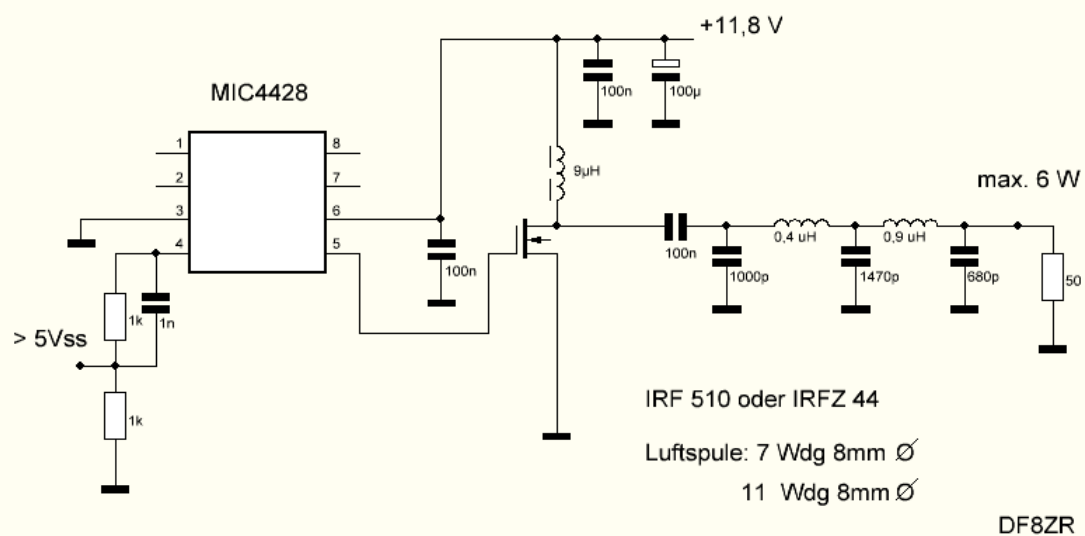
Die Ansteuerung ist kritisch. Man muss mehr als 10V_{ss} aufbringen. Das geht vielleicht mit einem 2N2222, der mit 12V betrieben wird. Aber auch ein digitaler Treiberbaustein funktioniert gut. Der verlangt nur 5V_{ss} am Input. Doch auch hier sollte man mit einer Ansteuerleistung von 0,5W HF rechnen.

Wie man es auch macht, mehr ist nicht drin. Es sei denn, man kauft einen Bausatz, der die Leistung von 10W garantiert. Das wird aber eine Gegentaktendstufe sein.

QRP-Endstufe 7 MHz



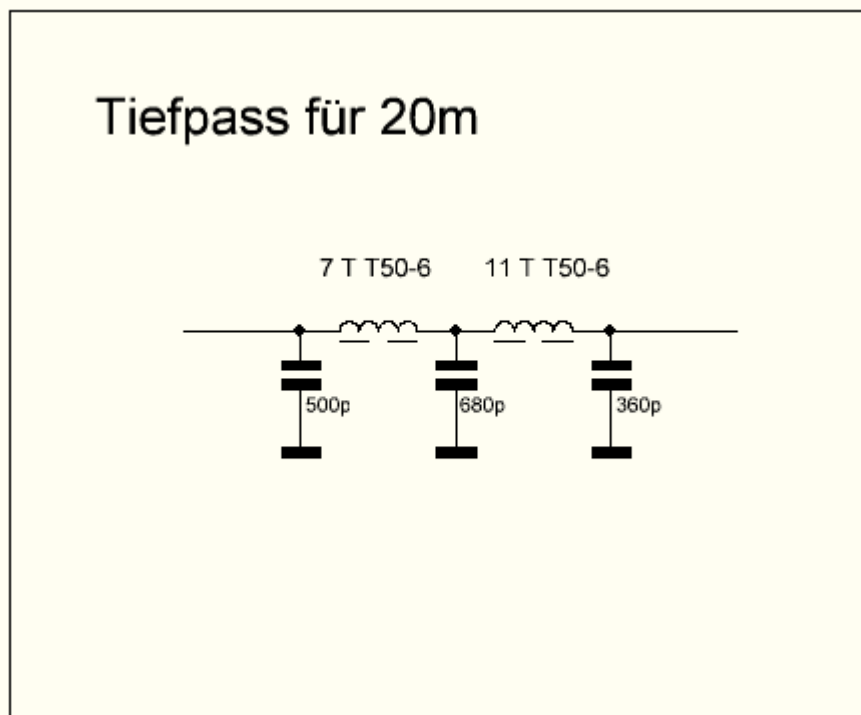
QRP-Endstufe 7 MHz



Diese Schaltung ist einfach und effektiv. Allerdings braucht man ein Spezial-IC. Man könnte mit dem MIC4428 und einem zweiten

MOSFET einen Class-D-Power-Combiner realisieren und damit die Leistung verdoppeln. Aber erste Versuche waren nicht ermutigend. Habe mich deshalb entschlossen, nur die einfache PA mit 5W zu basteln. Das Problem verschiebe ich auf spätere Experimente.

Und hier noch der Tiefpass für das 20m-Band:



Die Tiefpässe müssen mit umgeschaltet(Relais) werden. Die Ansteuerung erfolgt ja durch die Software automatisch in Abhängigkeit von der Frequenz.

Der VFO arbeitet bereits

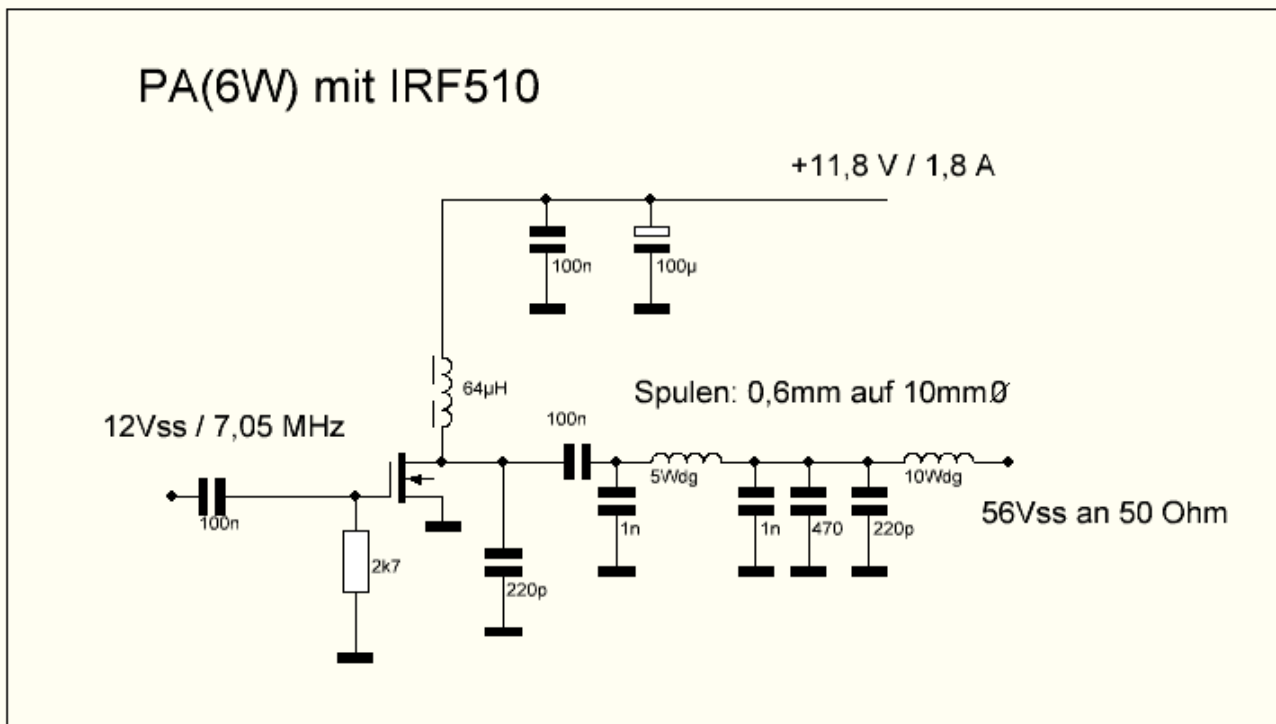
Am 10. Juni war es soweit: Ein erstes Erscheinen der Skala. Man sieht im folgenden Foto bereits die fertige Frontplatte. Hinter den „Löchern“ fehlt noch der kleine Lautsprecher. Auf die Vorkreisabstimmung mit einem Drehko habe ich verzichtet. Da es ein CW-TRX sein soll, genügen Festkapazitäten, die durch die automatische Bandabstimmung dem Schwingkreis zugeschaltet werden. Eigentlich nur einer, denn im Grundzustand ist der Empfänger auf das 20m-Band abgestimmt. Und weil wir nur den

CW-Bereich nutzen wollen, genügt hier die Bandbreite des Eingangskreises, sodass eine Nachstimmung nicht notwendig ist.

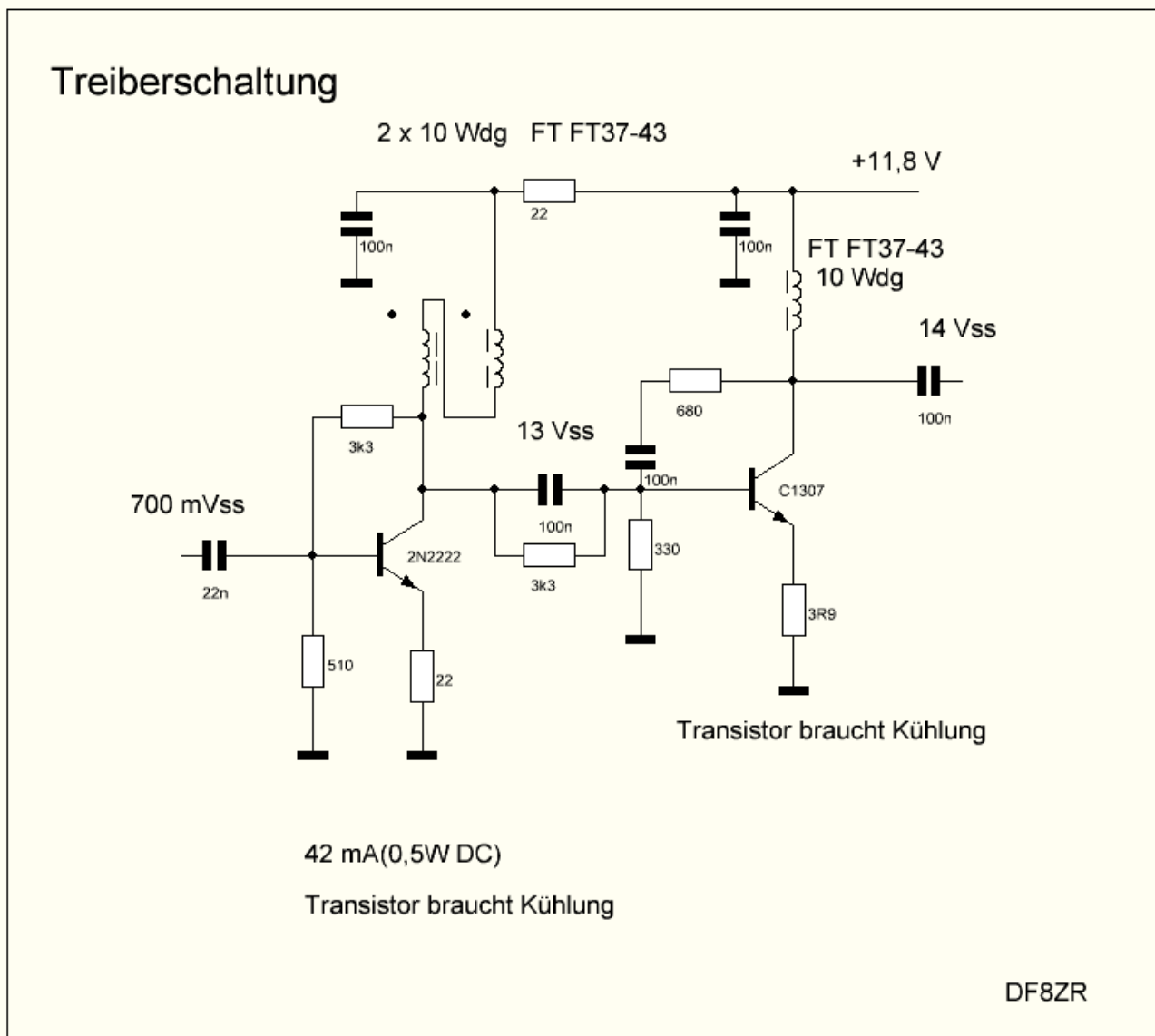


Nochmal PA

Weil es schwierig ist, mit 11V DC Betriebsspannung mehr als 5W zu erzeugen, hier nochmal die Standardschaltung, die wirklich funktioniert:



Das eigentliche Problem ist die Ansteuerung. Denn hier musste ich 12...14 Vss aus einer 50 Ohm-Quelle(Messsender) anlegen. Das entspricht einer HF-Leistung von 0,5 W. Selbst mit einem Treiberbaustein MIC4428 geht das nicht direkt aus dem SI5351. Auch bei dem muss man den Pegel(3Vss) noch verstärken. Ich liebe einfache Schaltungen ohne exotische Bauteile und so nahm ich einen 2N2222 und einen C1307.



Beide Transistoren müssen gekühlt werden. Anstelle des 2N2222 kann man auch einen 2N2219 nehmen. Der hat ein größeres metallisches Gehäuse und leitet die Verlustwärme besser ab. Er könnte auch ohne Kühlkörper auskommen.

Die Spannungsangaben beziehen sich auf den Leerlaufbetrieb. Unter „Last“ braucht man am Eingang etwa 1,9 Vss. Dann hat der Treiber am Ausgang ca. 5,6Vss. Ausreichend, um den FET durchzusteuern und am Antennenanschluss 60Vss zu erzeugen. Bei 7 MHz habe ich fast 9W erreicht. Bei 14 MHz bleiben noch 6W. Das sind Werte bei 11,8 V DC. Mit 13 V DC kommt mehr heraus.

Neue Probleme

Nach dem Einbau zeigte sich ein hartnäckiges Schwingen der Endstufe. Alle Blockierungs- und Abschirmmaßnahmen brachten nichts. Der Oszilloskop zeigte ein Rauschspektrum mit hohen Spitzenwerten. Vermutlich ein wildes Schwingen auf der Schaltflanke, die sich zuvor nicht gezeigt hatten. Ich habe deshalb die Endstufe extern aufgebaut und getestet. Auch hier waren diese Schwingungen zu beobachten, selbst wenn ich den MIC4428 verwendete. Ein stabiler Betrieb war nicht zu erreichen, was die Fertigstellung des TRX zwangsläufig verzögerte.

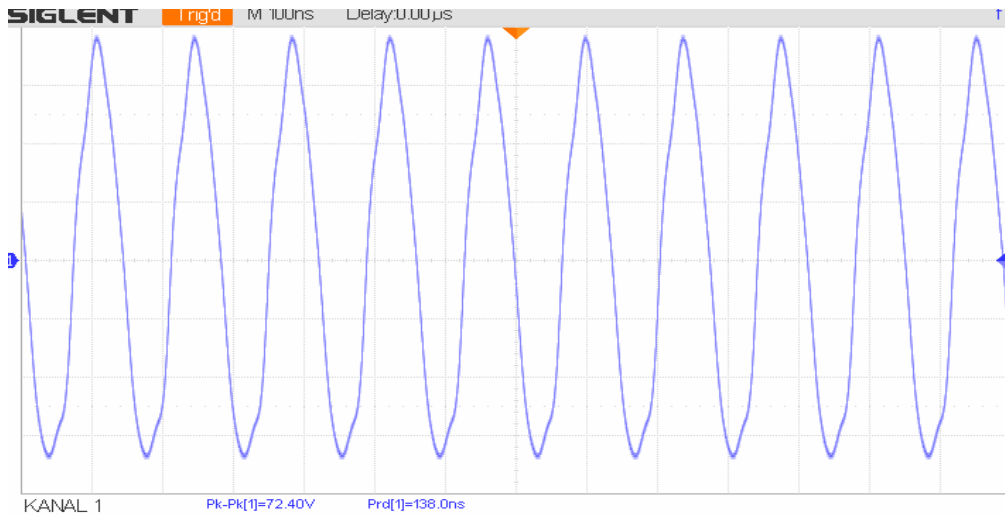
Mit +8V DC lief der MIC4428 stabil bis 7,4 MHz. Allerdings war das Impuls/Pausen-Verhältnis nicht mehr symmetrisch. Oberhalb 7,4 MHz war mit diesem Treiber kein stabiles Ansteuersignal zu erzeugen. Der Eingang hatte einen einstellbaren Gleichspannungspegel. Man konnte den optimalen Arbeitspunkt in weiten Grenzen einstellen.

Ich hatte einen IRF513 ohne Drainspule angeschlossen. Dessen Eingangskapazität ist wie beim IRF510. Bei 14 MHz war die Ansteueramplitude des Vortreibers von 4Vss auf 3,8 Vss gefallen. Das Datenblatt gibt einen 5V-Pegel ohne Arbeitspunktvorspannung vor. Aber auch 4,8Vss reichten nicht für ein Ausgangssignal. Der Baustein verlangt einen Eingangsstrom bei H-Pegel von $> 4\text{mA}$! Mein Vortreiber war aber mit $R_i < 500\ \Omega$ (Emitterfolger) dazu fähig ($> 9\text{mA}$ ss).

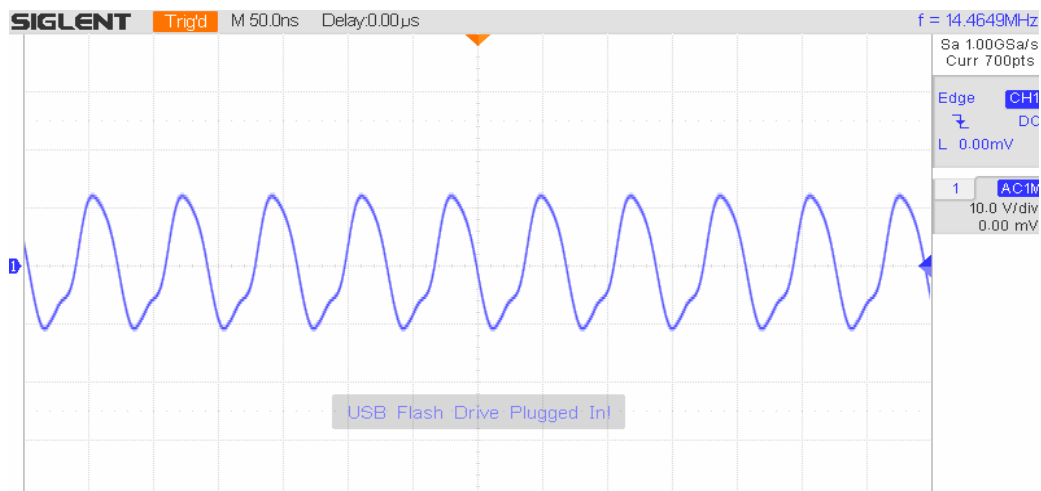
Fazit

Der MIC4428 ist vermutlich nur bis 7,4 MHz verwendbar. Ich werde andere Schaltungen testen.

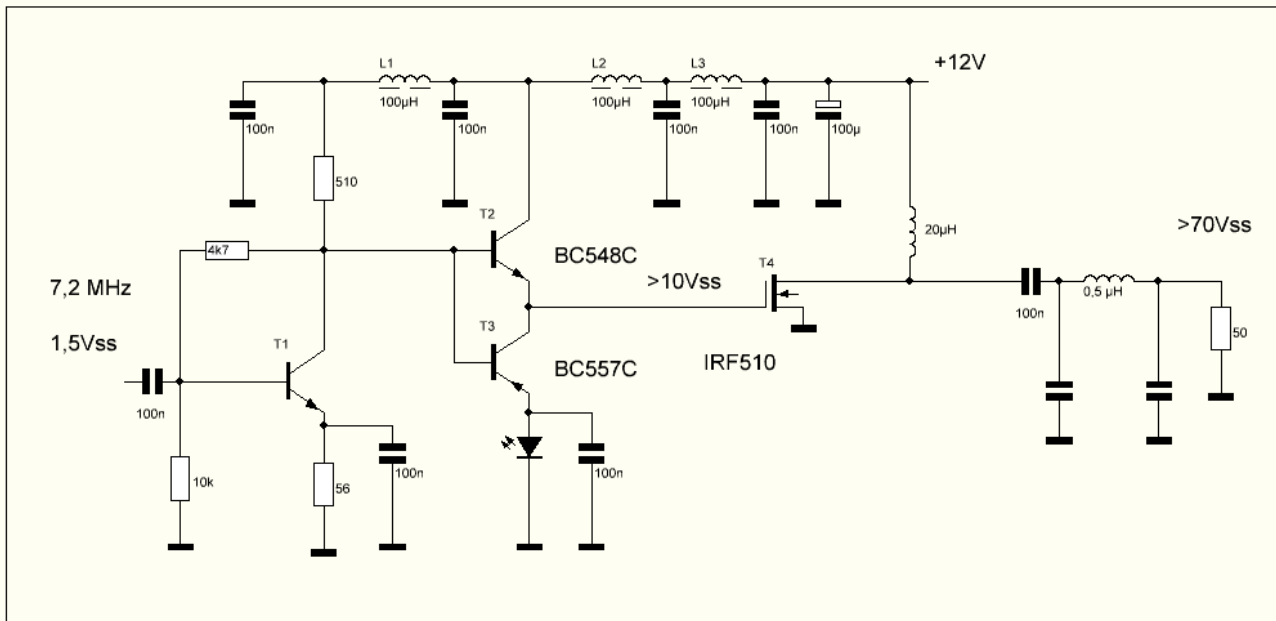
Treiber



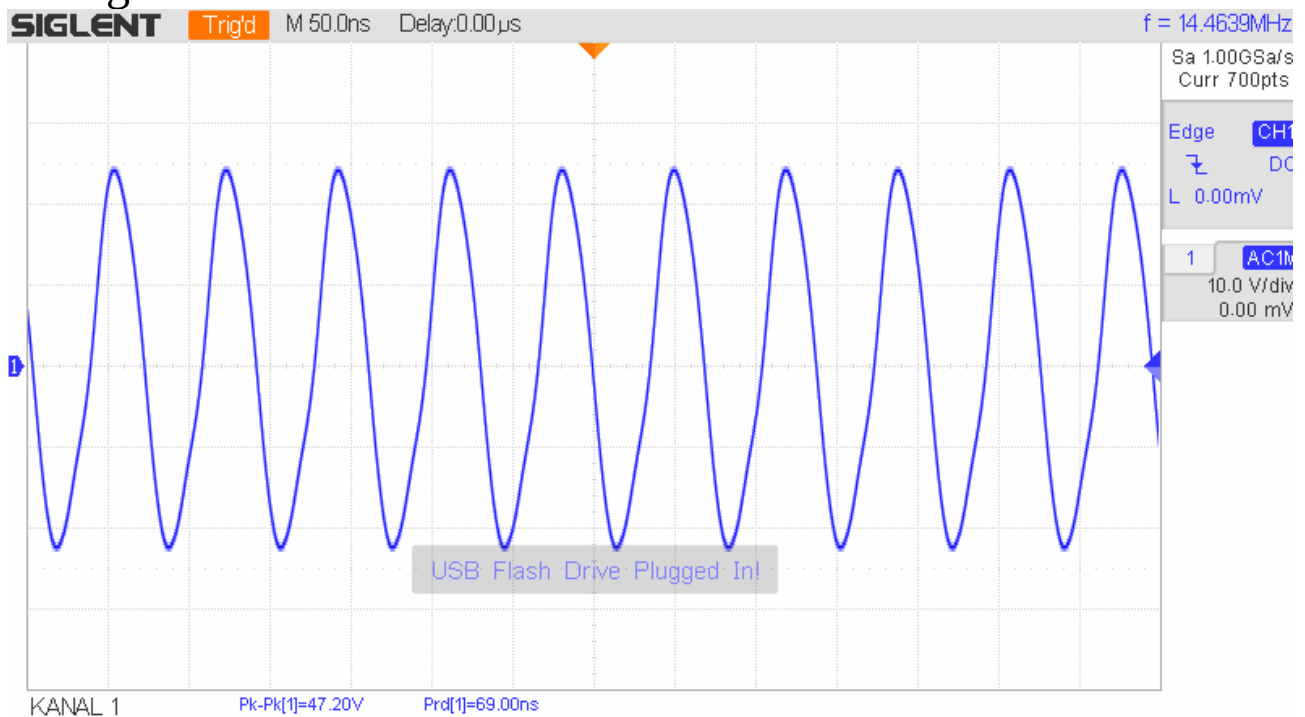
Fast 13 W an 50 Ohm und 12V Betriebsspannung! Allerdings war nur ein einfacher Tiefpass angeschlossen. Das Signal enthält noch viele Oberwellen, die man mit einem weiteren Tiefpass unterdrücken muss. Immerhin verspricht diese Schaltung einen guten Wirkungsgrad. Allerdings bei 14 MHz kommen nur 1 W heraus! Hieran muss ich noch arbeiten:



Außerdem schwingt die Schaltung bei Fehlanpassung.



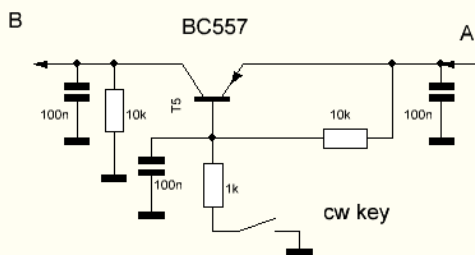
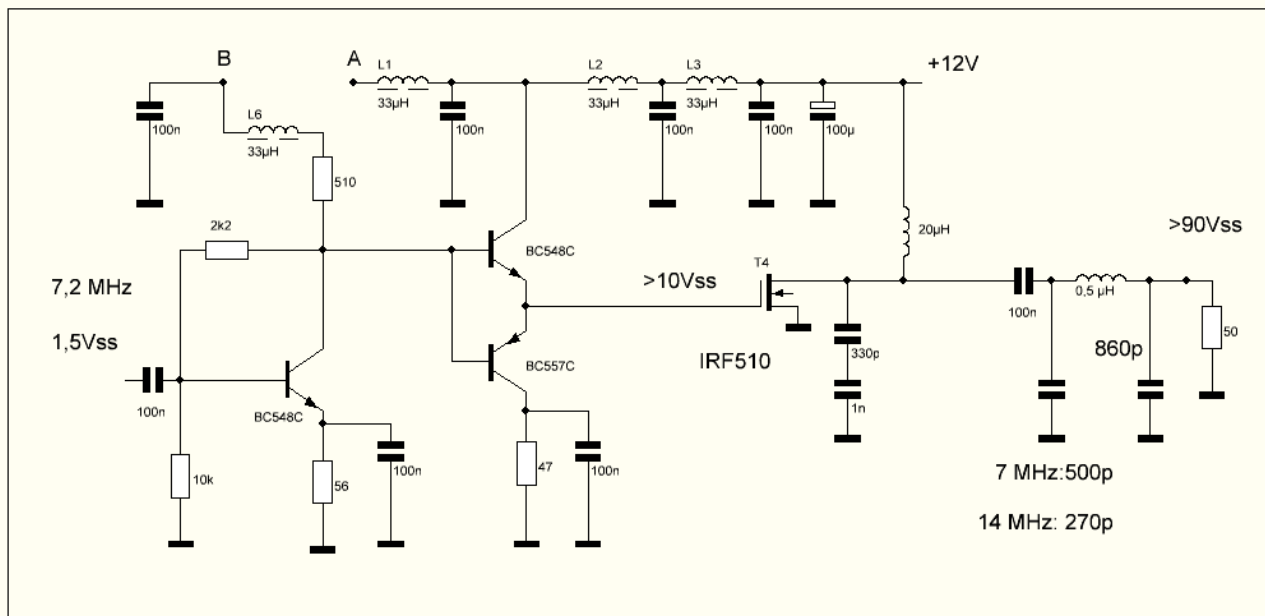
Erfolg:



Immerhin 5,5 W bei 14 MHz! Damit sollte man zufrieden sein. Es lag an der zu großen Induktivität im Tiefpass. Die Kondensatoren habe ich unverändert gelassen und nur die Spule abgestimmt. Da es sich um eine Luftspule handelt, war das ganz leicht durch Auseinanderziehen möglich. Nun gilt es, die Schaltung einzubauen und hoffentlich ohne Selbsterregung zu betreiben.

Der Entwurf

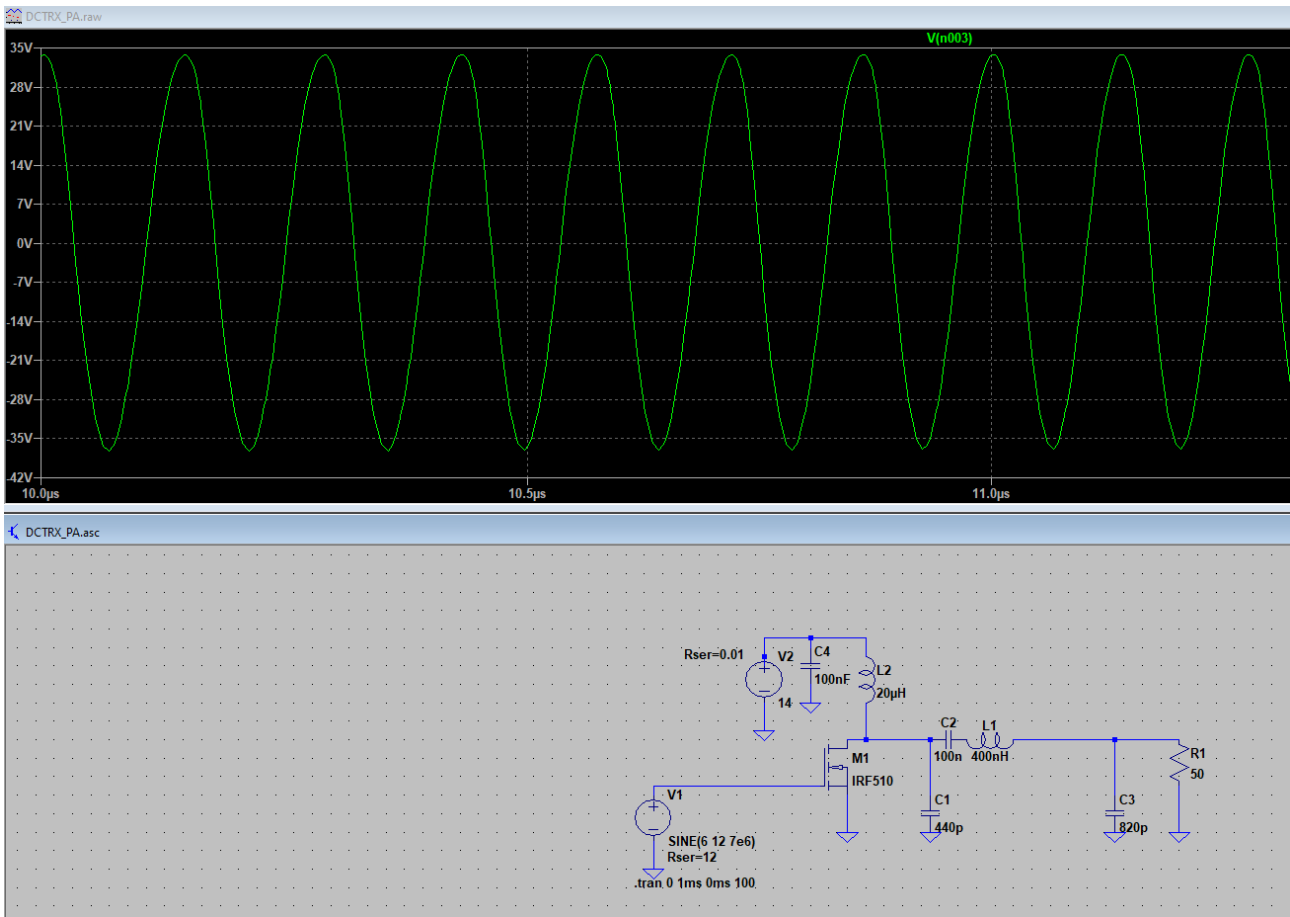
Hier die Schaltung, die auf dem Basteltisch gut funktionierte:



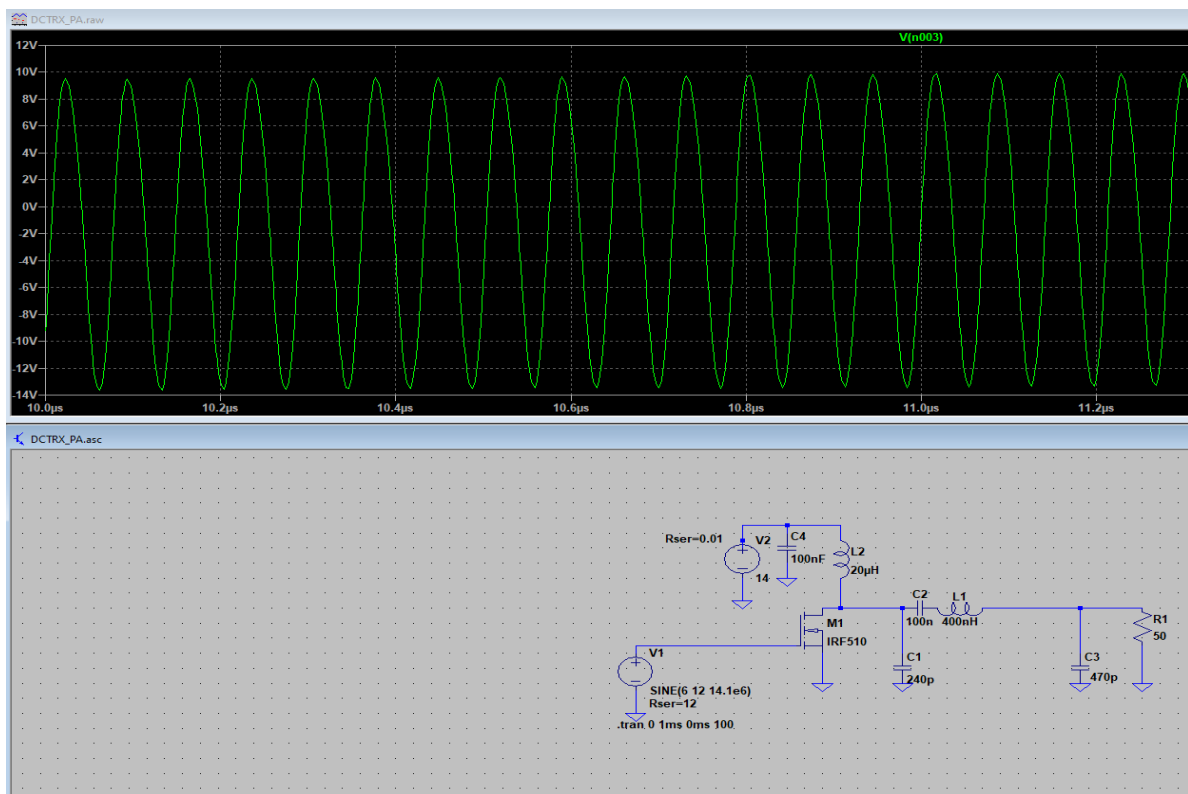
Unten ist die Erweiterung für die Morsetaste. Hier könnte man noch die Flankensteilheiten optimieren. Die Spule im Tiefpass wird mit 7 Wdg isoliertem Schaltdraht auf 10mm hergestellt. Bei 14 MHz und +12 V DC wurden 66Vss(> 10W) gemessen.

LT-Spice

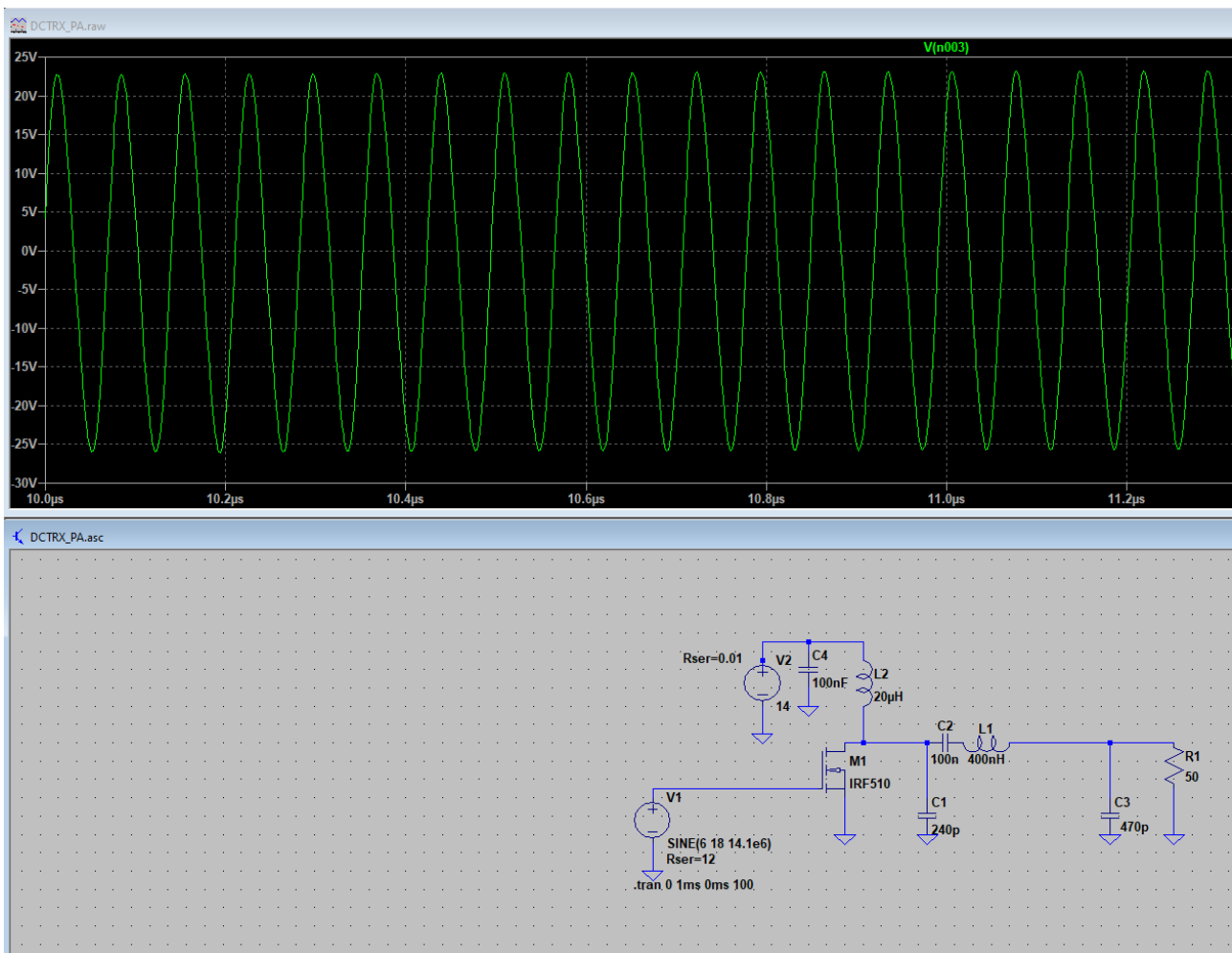
Theorie und Praxis. Tatsächlich hatte ich die in der folgenden Simulation gezeigten max. Amplituden auch auf meinem Oszillografen gesehen. Aber nach dem Einbau kamen noch Effekte hinzu, die den Wirkungsgrad minderten. Immerhin hatte ich experimentell die optimalen Werte gefunden.



Bei 14.1 MHz sieht das dann so aus:



Mehr als 25Vss ist nicht drin. Erst wenn man die Ansteuerspannung auf 14Veff erhöht, zeigt sich ein Pegel von



50V_{ss}, der etwa 6 W Output entspricht. Hierzu muss man also die Verstärkung des Treibers erhöhen, was aber in meinem Fall zur Selbsterregung und wilden Schwingungen führte. Am besten wäre es, die Endstufe in ein eigenes Gehäuse zu bauen und große Abstände einzuhalten. Auf engem Raum wird es immer Probleme geben.

Erkenntnis

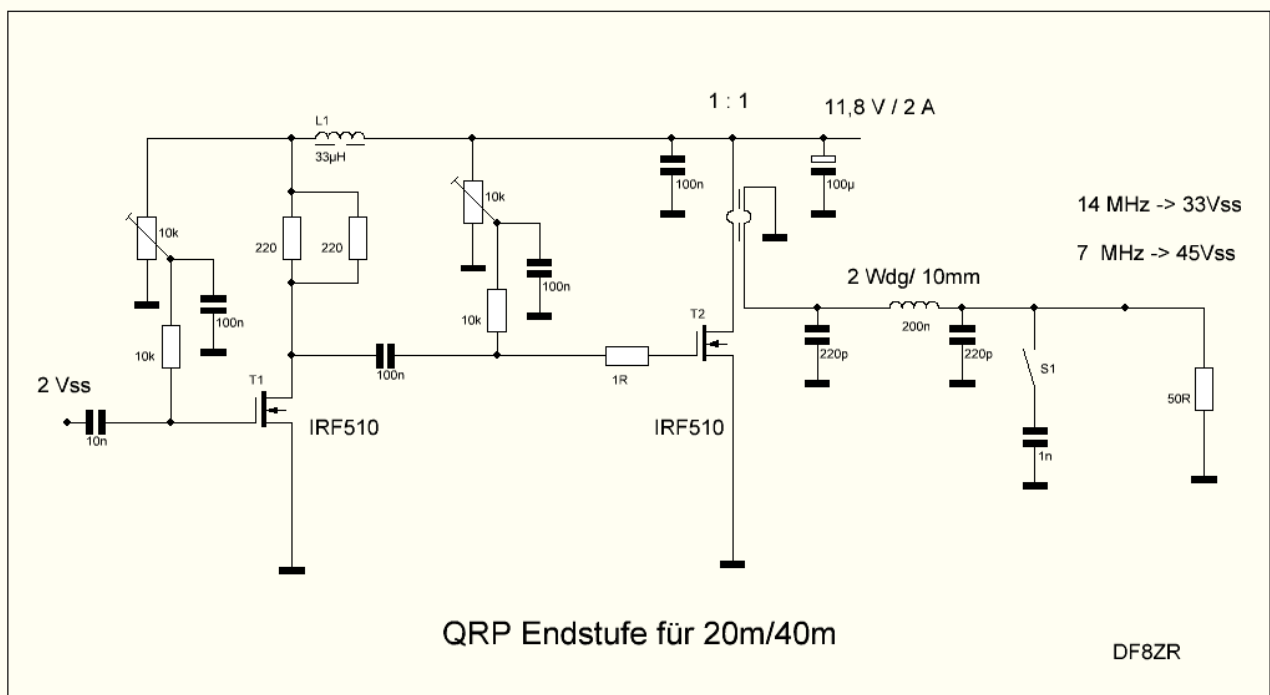
Alle Class D/E-PAs sind für den HAM-Betrieb nur mit Einschränkungen zu verwenden. Der Ansteuerpegel und die Last dürfen nur in engen Grenzen verändert werden, denn sonst produzieren diese Endstufen keinen reinen Sinus. Die Welle schwingt auf der Flanke oder es werden unzulässig hohe Nebenwellen erzeugt.

Enttäuschung

Nach dem Aufbau zeigte sich wieder einmal der Unterschied zwischen Theorie und Praxis: Die Ausgangleistungen wurden nicht annähernd erreicht! Habe einige Transistoren ausgetauscht. Auch solche mit besseren Eigenschaften eingesetzt. Aber selbst die Ansteuerung durch den BC548C reichte nie aus, um ein Rechteck mit 12V Peak zu liefern. Die Erhöhung des Eingangspegels auch nicht. Fürchte, dass ich um den Bau einer konventionellen Endstufe mit Transformatorkopplung nicht herumkomme.

Doch zurück zur Class D

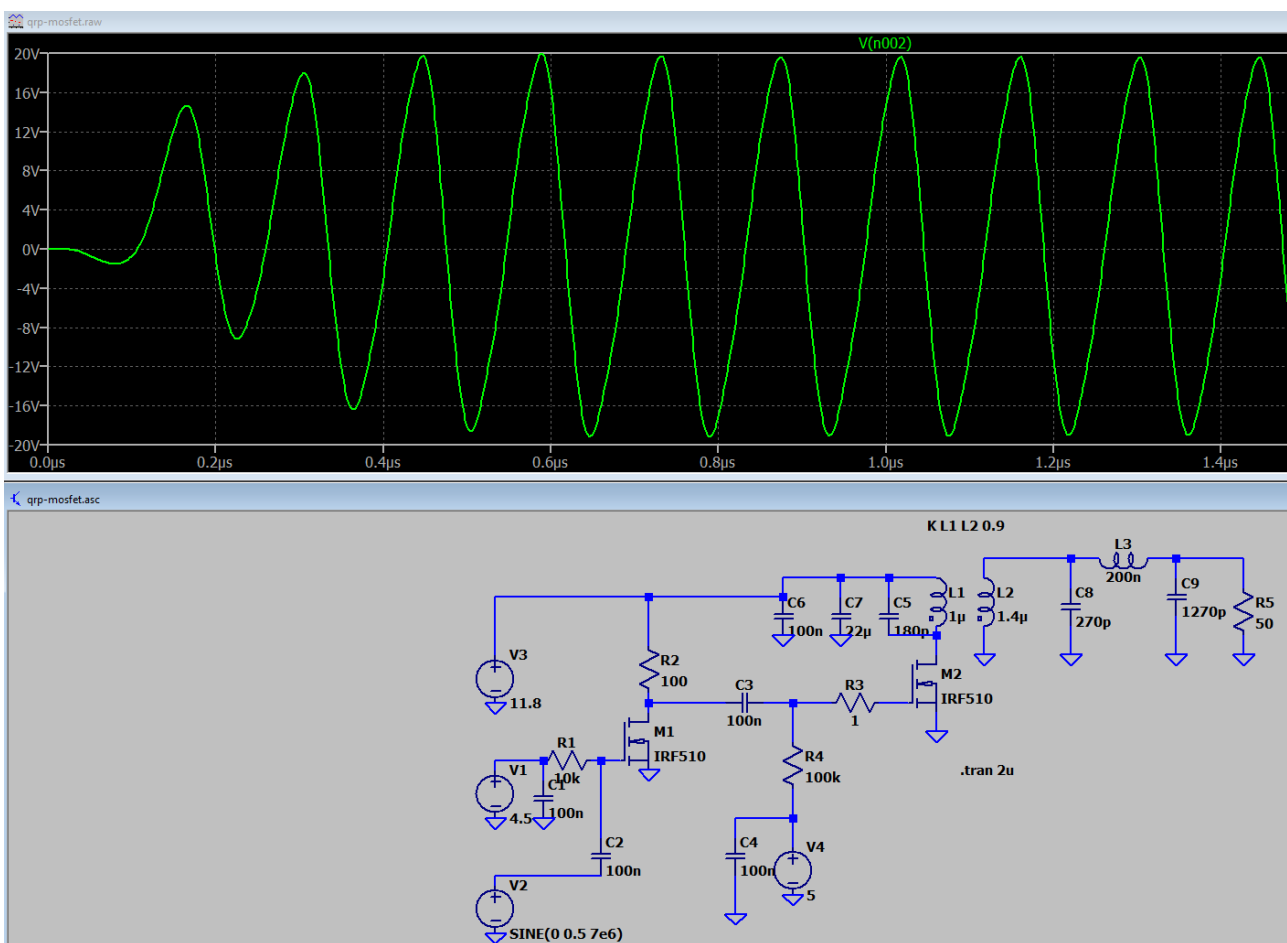
Nach einigen Experimenten und Trafowickelei erlebte ich, dass die „Fummelei“ nicht meine Sache ist. Die transformatorische Koppelung zur Leistungsanpassung ist mühsam zu entwickeln. Da kauft man besser einen Bausatz. Und außerdem muss man in der Regel die Transformatoren den Frequenzen anpassen. Das war mir schaltungstechnisch denn doch zu aufwendig. Also kam ich zurück zu den IRF510. Hier die Schaltung, mit der man 3/2 W Output leicht erzielen kann, ohne dass die Sinusform zu sehr leidet.



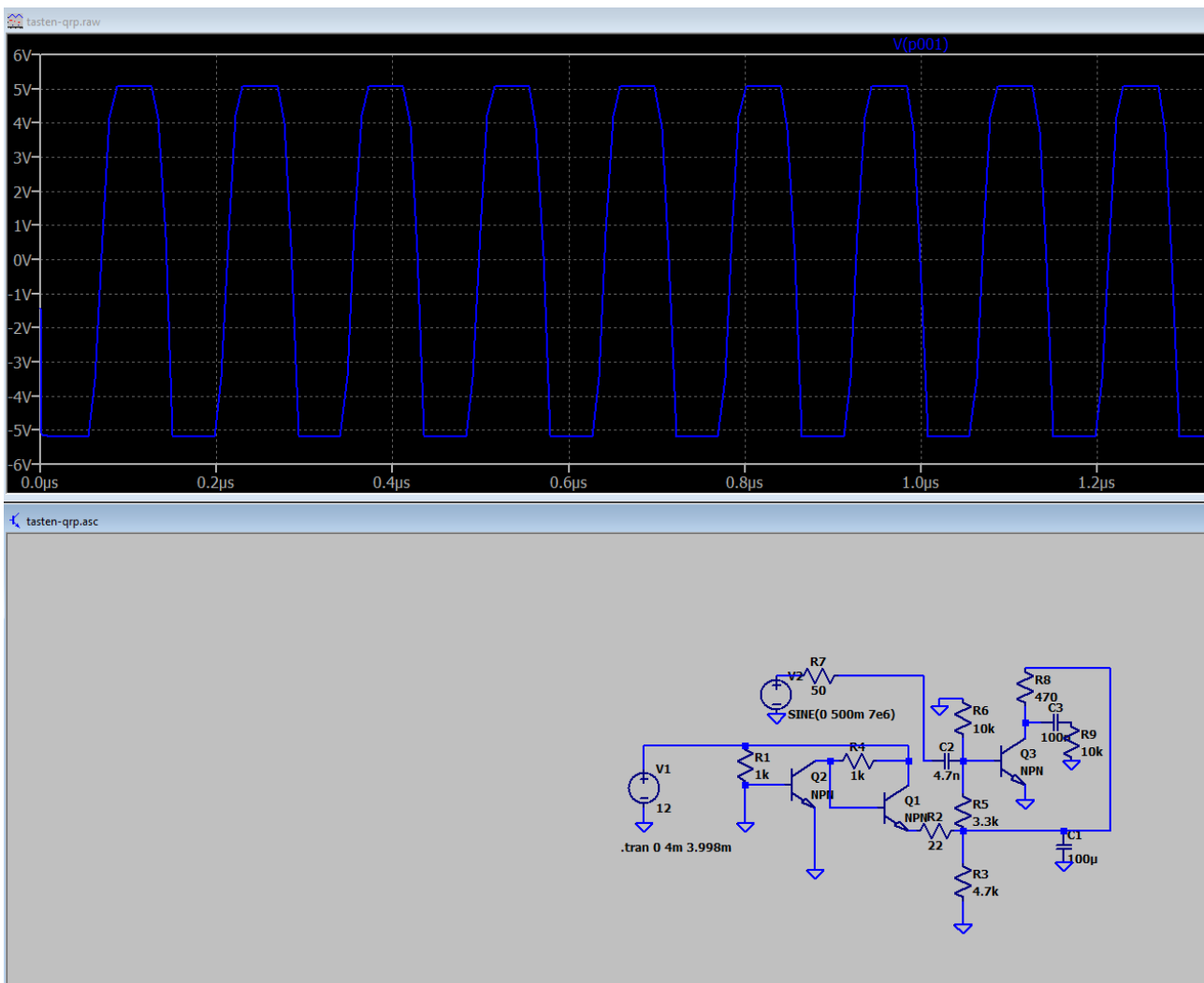
Die PA verträgt auch Fehlanpassungen von 20 Ohm bis 500 Ohm. Ist also fieldday-geignet. T2 muss man hinreichend kühlen! Die Drainwiderstände bei T1 sind Metallschichtwiderstände. Beide parallel erwärmen sich nur mäßig. T1 kann man mit einem kleinen Kühlkörper betreiben oder den auch weglassen.

Der Ausgangstrafo ist ein Doppellochkern(15 x 10 x 7). Es wird jeweils nur eine Wdg gebraucht. Offenbar ist der Innenwiderstand des MOSFETs optimal ans Pi-Filter angepasst.

S1 ist ein Relaiskontakt, der sich bei $< 14\text{MHz}$ (7MHz) schließt und den 1n dazu schaltet. Baulich ist diese Endstufe ohne großen Aufwand zu realisieren. Für einen QRP-Betrieb mit 5...10W kann man einen ähnlichen Leistungsverstärker ja nachschalten oder ggf. die Betriebsspannung auf $>14\text{V}$ erhöhen. Die Simulation zeigt die Leistungsfähigkeit, die sich in der Praxis fast ebenso darstellte.

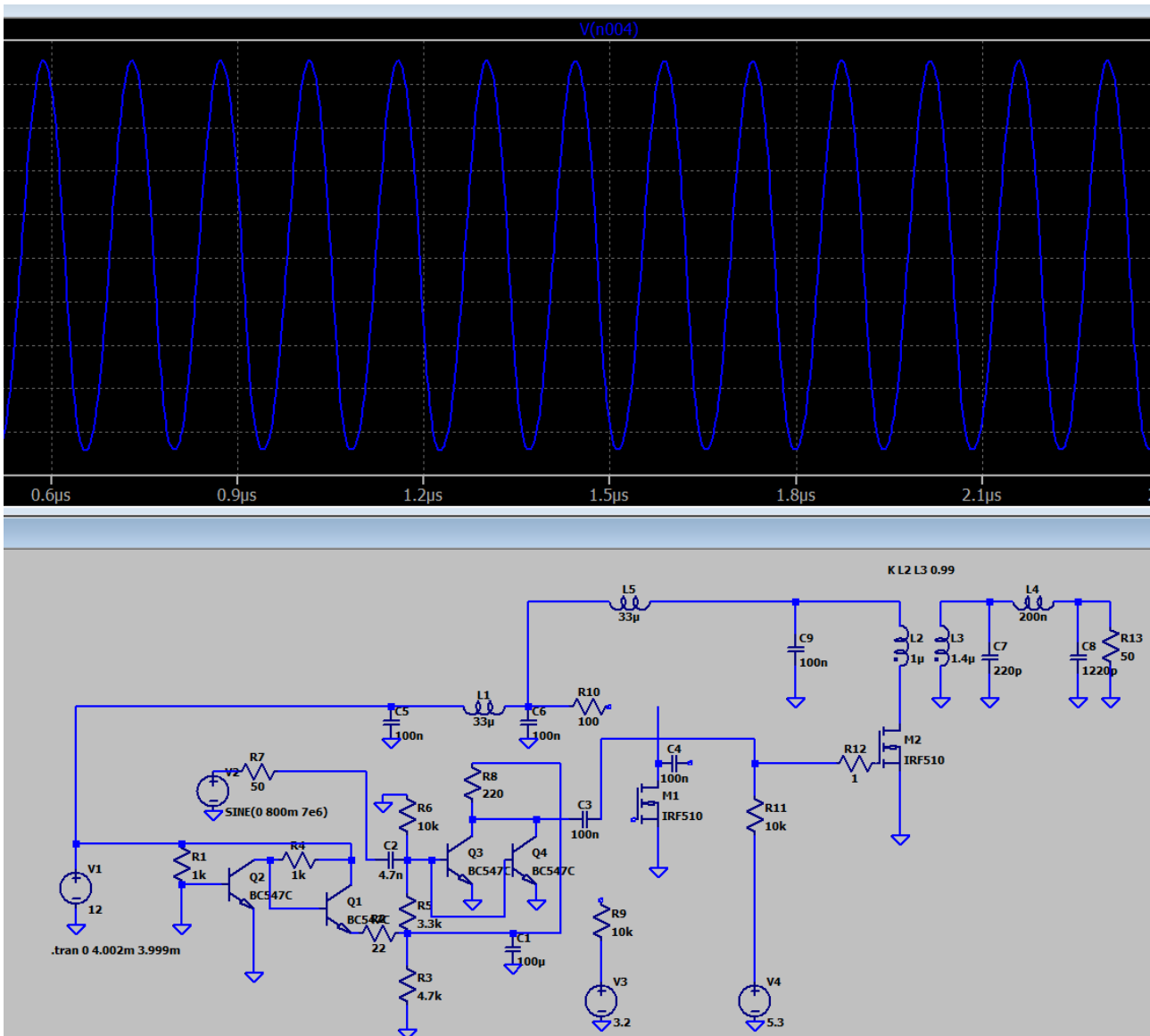


Ich kam auf diese Lösung, weil ich ja wusste, dass man mit einem IRF510 eigentlich ganz elegant die hohen Schaltimpulse erzeugen kann, die den zweiten MOSFET wirksam durchschalten können. Dann fand ich bei DJ0ABR die Bestätigung. Er hatte einen Vorschlag für 5W veröffentlicht. Dennoch wollte ich zunächst die Sache mit einer Simulation absichern. Und dann bestätigten sich die guten Eigenschaften auch in der Praxis. Ich konnte bisher kein wildes Schwingen oder größere Verzerrungen der Sinusform beobachten. Jetzt muss ich noch dafür sorgen, dass die Zeichen keinen Chirp haben, weil die Ein-/Ausschaltimpulse zu steil sind. Aber das ist ein Randproblem, für das es fertige Lösungen gibt.



Mit 500mVeff kann man 10Vss Rechteck für die Ansteuerung des ersten MOSFETs erreichen. Allerdings zeigten sich wieder wilde Schwingungen, wenn ich den zweiten IRF510 hinzufügte. Daher

ließ ich den ersten FET weg und ersetzte ihn durch einen doppelten BC547C. Das folgende Bild zeigt die Spannung an der 50 Ohm-Last.



Die Amplitude ist $> 30 V_{ss}$. Und es waren keine Schwingungen zu beobachten. Also werde ich diese vereinfachte Schaltung testen.

Was für ein Sch...

Da quäle ich mich mit der Optimierung der Endstufe und muss nun feststellen, dass auf der Gleichstromzuleitung ein Spannungsabfall von 4V ist, wenn ich taste. Der TRX nimmt etwa 2 A auf. Schuld an den vielen Fehlmessungen sind allein die chinesischen Zuführungskabel, diese rot/schwarzen „dicken“ PVC-Leitungen, die aber im Inneren vielleicht nur zwei 0,1mm

dünne Kupferdrähte haben. ***Dieser chinesische Schrott gehört auf keinen Basteltisch!***

Und aus demselben Grund habe ich mir jetzt zwei Messleitungen aus Silikonkabeln im Netz bestellt. Auch mit den für das Multimeter gelieferten Kabeln kann man keine niedrigen Widerstände messen. Außerdem haben die Messspitzen viel zu oft schlechten Kontakt. Die sind ebenso unbrauchbar für korrekte Messungen.

State of the Art

Nachdem ich Silikonlitze 2,5qmm beschaffte, war der Spuk vorbei. Nun ist kein Spannungsabfall mehr zu messen. Das Labornetzgerät kann $> 3A$ abgeben. Bei 1,8 A DC und 10Vss HF kommen hinten 40 Vss heraus. Das sind etwa 4 Weff. Allerdings sind nun die 10Vss nicht so einfach zu erzeugen. Ich muss dazu die Ausgangsspannung des Si5351 kräftig verstärken. Und diese Quelle sollte nicht weniger als 50 Ohm haben. Das sind nämlich die eigentlichen Anforderungen, die eine funktionierende Endstufe verlangt. Und die nicht so einfach zu erfüllen sind. Ich brauche ein Ansteuersignal von $250 \text{ mW} = 24 \text{ dBm}$.

...wird fortgesetzt!