



Projekt Antennentod

Codename 2in1

Power Amplifier für HF/VHF auf Basis
moderner LDMOS-Transistoren

Vorwort

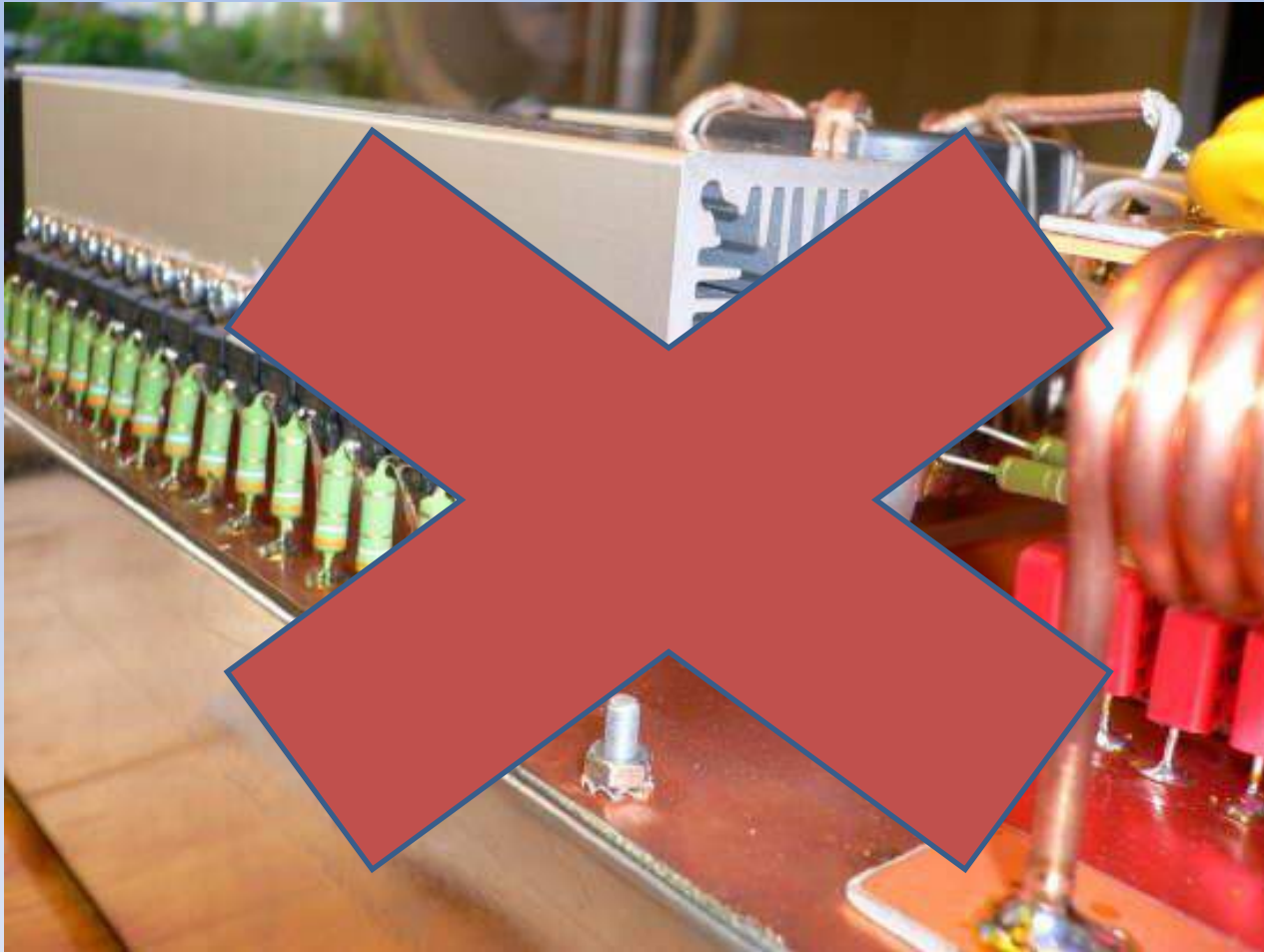
Diese Präsentation soll keine Schritt- für Schrittanleitung sein, sondern eher Konzeption und Machbarkeit in den Vordergrund stellen.

Der geübte Bastler dürfte dennoch keine Probleme haben, anhand dieser Studie eigene Projekte dieser Art zu realisieren. Ich selber habe noch keine Endstufen auf Transistorbasis gebaut-bisher habe ich solche Projekte mit Röhren realisiert. Bisher...

Rahmenparameter

- Betrieb von 2m bis 160m (!)
- Leistung $\geq 1000W$
- Kompakt
- Qualitativ gutes Ausgangssignal (Neben- und Oberwellenunterdrückung gem. den aktuellen Standards)
- Ansteuerung mit „herkömmlichen Transceivern“ der 5-100W Kategorie (25W für 2m)
- Robust/Standfest
- Solider, einfacher und „augenfreundlicher“ Aufbau
- Nachbausicher
- Materialkosten $< 500€$ (800€ inkl. 2m)
- Projektlaufzeit: Herbst 2013 (was für die länger werdenden Nächte)

Das Konzept



Das Konzept

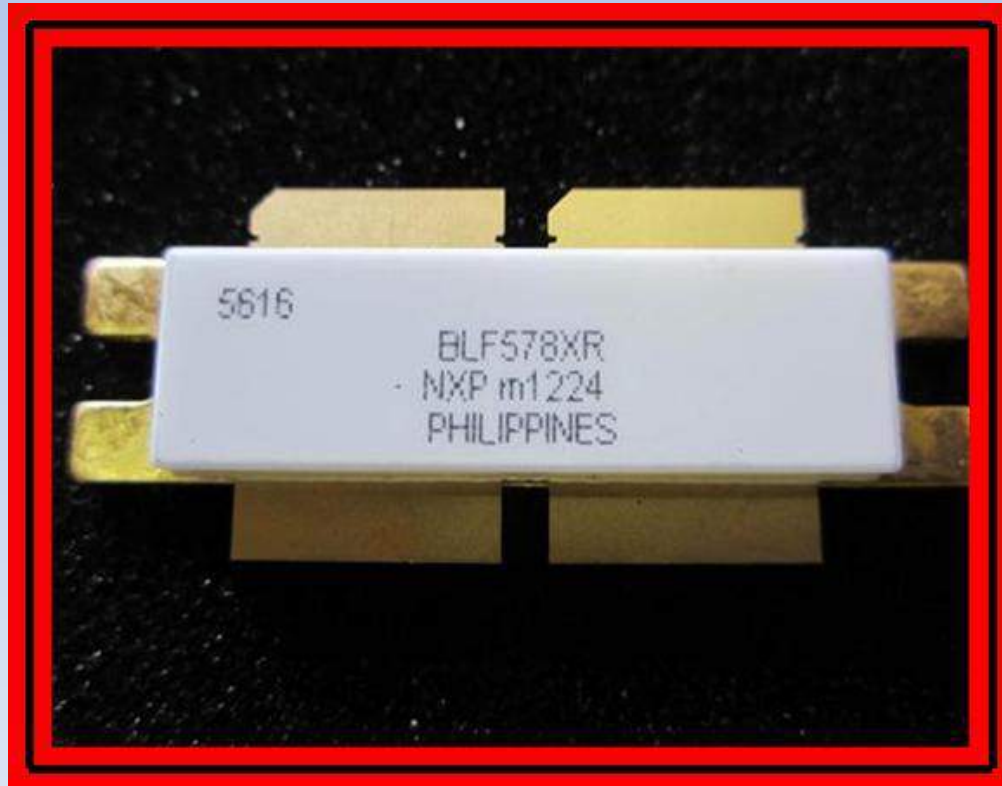
Warum nicht so, sondern anders?

- Hoher mechanischer Aufwand
- Zu hohe Eingangskapazität und somit nicht tauglich für die hohen Bänder
- Hoher Aufwand für Abgleich, Schutzschaltungen etc.
- Nicht besonders servicefreundlich (knallt eine Pille weg, folgen meist die anderen, wie die Lemminge)

Ergo: ein modernes, einfaches und verhältnismäßig kostengünstiges Konzept musste her...

Das Konzept

- Was haben wir denn da?



BLF578XR

Features and benefits

- Easy power control
- Integrated ESD protection
- Excellent ruggedness
- High efficiency
- Excellent thermal stability
- Designed for broadband operation (HF to 500 MHz)
- Compliant to Directive 2002/95/EC, regarding Restriction of Hazardous Substances

BLF578XR

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ/Nom	Max	Unit
f_{range}	frequency range		10		500	MHz
$P_{L(1\text{dB})}$	nominal output power at 1 dB gain compression			1400		W
Test signal: Pulsed RF						
P_L	output power	$V_{\text{DS}} = 50$ V ; $f = 225$ MHz [0]		1400		W
G_p	power gain	$V_{\text{DS}} = 50$ V ; $f = 225$ MHz; $I_{\text{DQ}} = 40$ mA; $P_L = 1400$ W [0]	22	23.5		dB
η_D	drain efficiency	$V_{\text{DS}} = 50$ V ; $f = 225$ MHz; $I_{\text{DQ}} = 40$ mA; $P_L = 1400$ W [0]	65	69		%
RL_{in}	input return loss	$V_{\text{DS}} = 50$ V ; $I_{\text{DQ}} = 40$ mA; $P_L = 1400$ W [0]		-17	-13	dB



Datenblatt

BLF578XR

Alternativ können verwendet werden:

- BLF178XR (fast gleiche Werte wie der BLF578XR, ca. 29db(!) Gain und etwas mehr Wirkungsgrad)
- BLF188XR
- MRFE6VP61K25H(R6)
- MRF6VP11KH
- MRF6VP121KH (weniger Output)

BLF578XR

1400W mit einer Pille, 23.5db Verstärkung,
nahezu unzerstörbar und in moderner LDMOS-
Bauweise???

Los geht`s!



Teil 1 HF-PA



Planung und Materialbeschaffung

Was brauche ich?

- Gehäuse (10€ auf Flohmarkt)
- Kühlkörper(10€ auf Flohmarkt)
- Kupfer-Kühlplatten (15€ bei Amazon)
- BLF578XR (129€ bei E-Bay)
- Fertig aufgebautes Modul für BLF578XR (119€ bei E-Bay)
- Koaxrelais mit mind. 1500W Schaltleistung (35€ bei E-Bay)
- Bandfilter (Eigenbau, ca. 20€)
- Steuerelektronik und Spannungsregler (10€ bei E-Bay)
- Thermische Schutzschaltung (Bausatz, 4€ bei E-Bay)
- 14db Abschwächer am Eingang (Eigenbau, ca. 35€ bei E-Bay oder aus der Bastelkiste)
- 3000W Netzteil 50V 60A (HP, gebraucht, gereinigt und getestet-70€ bei E-Bay)
- Kleinmaterial (Kabel, Schalter, Buchsen, LED...ca. 35€ bei E-Bay oder aus der Bastelkiste)

Macht zusammen ca. 423-493€ - Ziel unter 500€ zu bleiben erreicht!

Die Einladung eines Freundes, welcher mir freundlicherweise die Fertigstellung des Gehäuses stark erleichtert hat, lasse ich hier mal unter den Teppich fallen...**Danke Dirk und Firma T aus H!**

Planung und Materialbeschaffung

Bevor es losgeht noch ein paar Gedanken zum Konzept:

- Endstufe in 50V Technik-stabiles Netzteil und ausreichende Querschnitte einplanen
- Kühlung ist das A und O, daher auch hier hochwertige Materialien und Technologien einsetzen (Wärmeverteilung, Spezifikationen der Bauteile, Wärmewiderstand, Wärmeleitfähigkeit & Co sind hier Faktoren, mit denen man sich als Planer einmal genauer auseinandersetzen muss). Immerhin müssen bei Volllast ca. 350W Wärme, einem Wirkungsgrad von 70-80% entsprechend, von einer Fläche von etwa 5cm² schleunigst abgeführt werden. Schließlich steht bald wieder einmal der Winter vor der Tür und ich suche noch nach einer originellen Heizung für meinen Shack...oder zumindest den Kaffee warm halten...hiermit erledigt.
- Weiterhin die Frage: vor was muss ich die Endstufe sinnvollerweise überhaupt schützen?
- Bandfilter – ach ja, die brauche ich ja auch noch in ausreichender Dimensionierung – bei Betrieb von 17m bis 10m (1. Oberwelle über 30 Mhz) tut es aber für's Erste ein normales Tiefpassfilter welches so mancher irgendwo noch liegen hat...
- 6m bis 160m – warum nicht auch 2m? Oder doch lieber 2 Module für HF parallel? Platz ist ja im Gehäuse noch etwas da...zur Vorsicht baue ich da schon mal „Platzhalter“ und zusätzliche Buchsen auf der Rückseite ein...und das Netzteil hat auch noch Reserve...
- Was ist mit meinem TRX? Ist dieser in der Lage die entsprechende Steuerleistung stabil zu liefern oder habe ich diese verflixten Spikes weit über die eingestellte Leistung hinaus? Und wenn ja – wie gehe ich damit um? Wie messe ich hier überhaupt richtig? Pillen, die durch solche Unzulänglichkeiten bereits im Transistorhimmel gelandet sind, gibt es leider genug... Gott sei Dank nimmt einem der verwendete LDMOS das nicht ganz so übel. Dennoch Vorsicht!

Planung und Materialbeschaffung

„Nachgebohrt“:

Außen- ϕ (Nenn- ϕ)	Steigung	Kern- ϕ		Spannungs- querschnitts- fläche	Bohrer- ϕ für Kernloch	Schlüssel- weite	Innen- sechskant- Schlüssel	Durchgangsloch- ϕ		
		Außengew. (Schraube)	Innengew. (Mutter)					fein	mittel	grob
d = D	P	S (mm ²)				SW	SW	d _h		
M 01,0	0,25	0,69	0,73	0,46	0,75			1,1	1,2	1,3
M 01,2	0,25	0,89	0,93	0,73	0,95			1,3	1,4	1,5
M 01,6	0,35	1,17	1,22	1,27	1,25	03,2		1,7	1,8	2,0
M 02,0	0,40	1,51	1,57	2,07	1,60	04	01,5	2,2	2,4	2,6
M 02,5	0,45	1,95	2,01	3,39	2,05	05	02	2,7	2,9	3,1
M 03,0	0,50	2,39	2,46	5,03	2,50	05,5	02,5	3,2	3,4	3,6
M 04,0	0,70	3,14	3,24	8,78	3,30	07	03	4,3	4,5	4,8
M 05,0	0,80	4,02	4,13	14,20	4,20	08	04 (5)	5,3	5,5	5,8
M 06,0	1,00	4,77	4,92	20,10	5,00	10	05	6,4	6,6	7,0
M 08,0	1,25	6,47	6,65	36,60	6,80	13 (12)	06	8,4	9,0	10,0
M 10,0	1,50	8,16	8,38	58,00	8,50	17 (16)	08	10,5	11,0	12,0
M 12,0	1,75	9,85	10,11	84,30	10,20	19 (18)	10	13,0	13,5	14,5
M 16,0	2,00	13,55	13,84	157,00	14,00	24	14	17,0	17,5	18,5
M 20,0	2,50	16,93	17,29	245,00	17,50	30	17	21,0	22,0	24,0
M 24,0	3,00	20,32	20,75	353,00	21,00	36	19	25,0	26,0	28,0
M 30,0	3,50	25,71	26,21	561,00	26,50	46	22	31,0	33,0	35,0
M 36,0	4,00	31,09	31,67	817,00	32,00	55		37,0	39,0	42,0
M 42,0	4,50	36,48	37,13	1121,00	37,50	65		43,0	45,0	48,0
M 48,0	5,00	41,87	42,59	1473,00	43,00	75		50,0	52,0	56,0
M 56,0	5,50	49,25	50,05	2030,00	50,50	85		58,0	62,0	66,0
M 64,0	6,00	56,64	57,51	2676,00	58,00	95		66,0	70,0	74

Komponenten im Detail



Netzteil



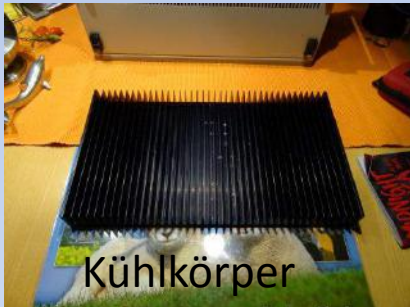
Koaxrelais



LDMOS



Gehäuse



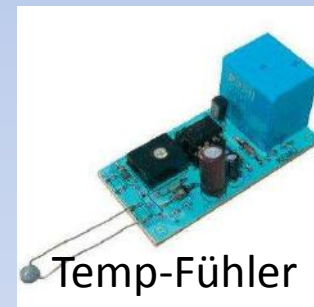
Kühlkörper



HF-Modul



Steuerung 1



Temp-Fühler



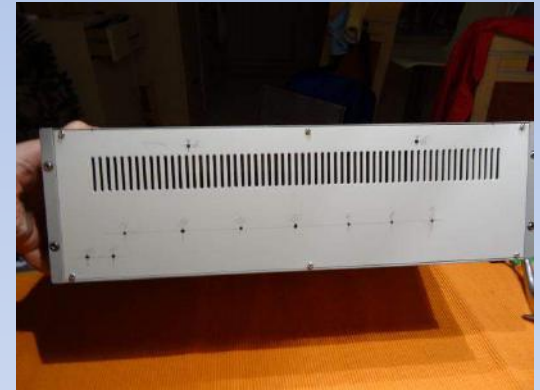
Kühlplatte



Dämpfungsglied

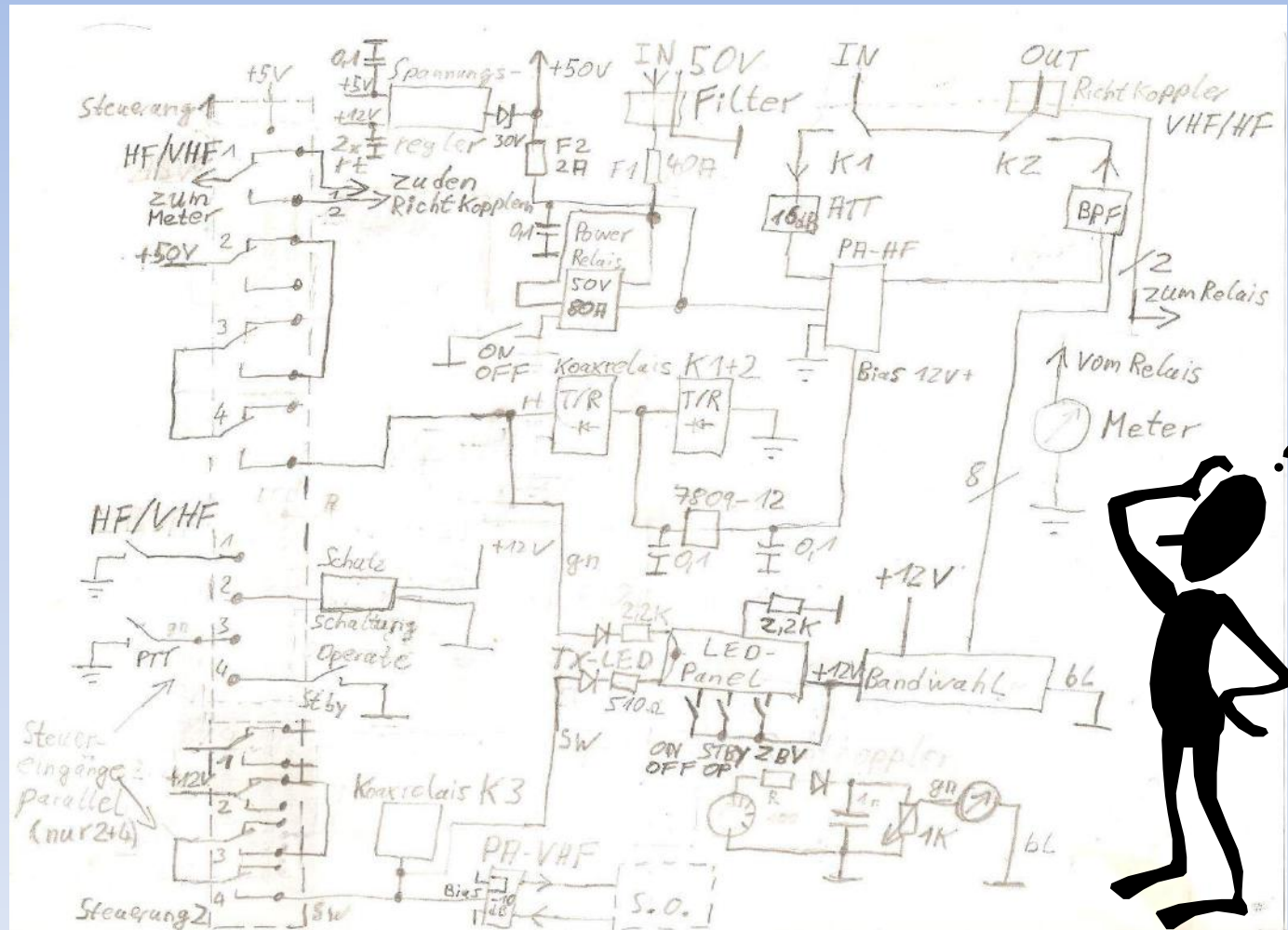
Los geht's!

- Gehäuse planen



Schaltplan/Blockdiagramm

1. Entwurf:



Einbau der Komponenten

- Das fertig vorbereitete Gehäuse:



Einbau der Komponenten

- Montage der Rückplatte:



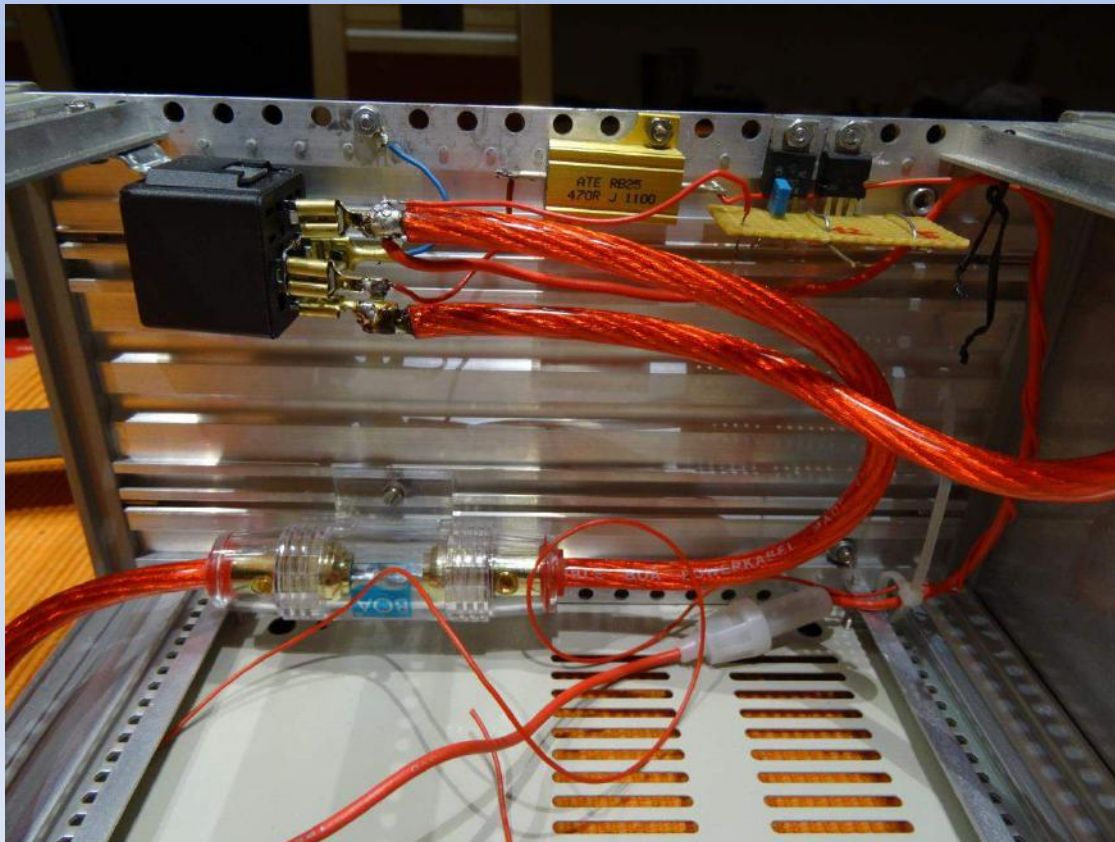
Einbau der Komponenten

- Montage des Kühlkörpers:



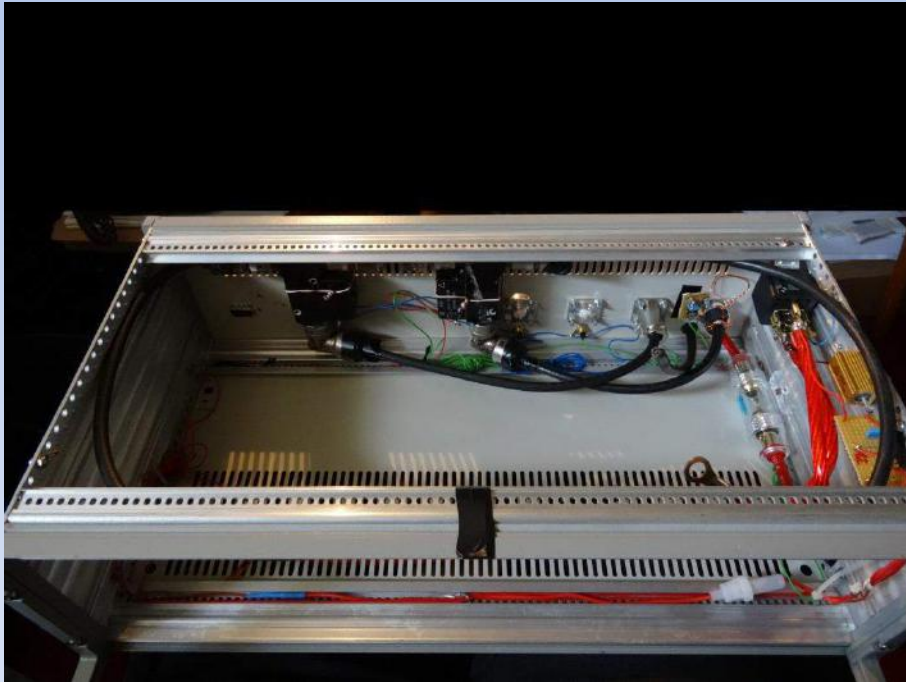
Einbau der Komponenten

- Einbau der Stromzuführung/Regler:



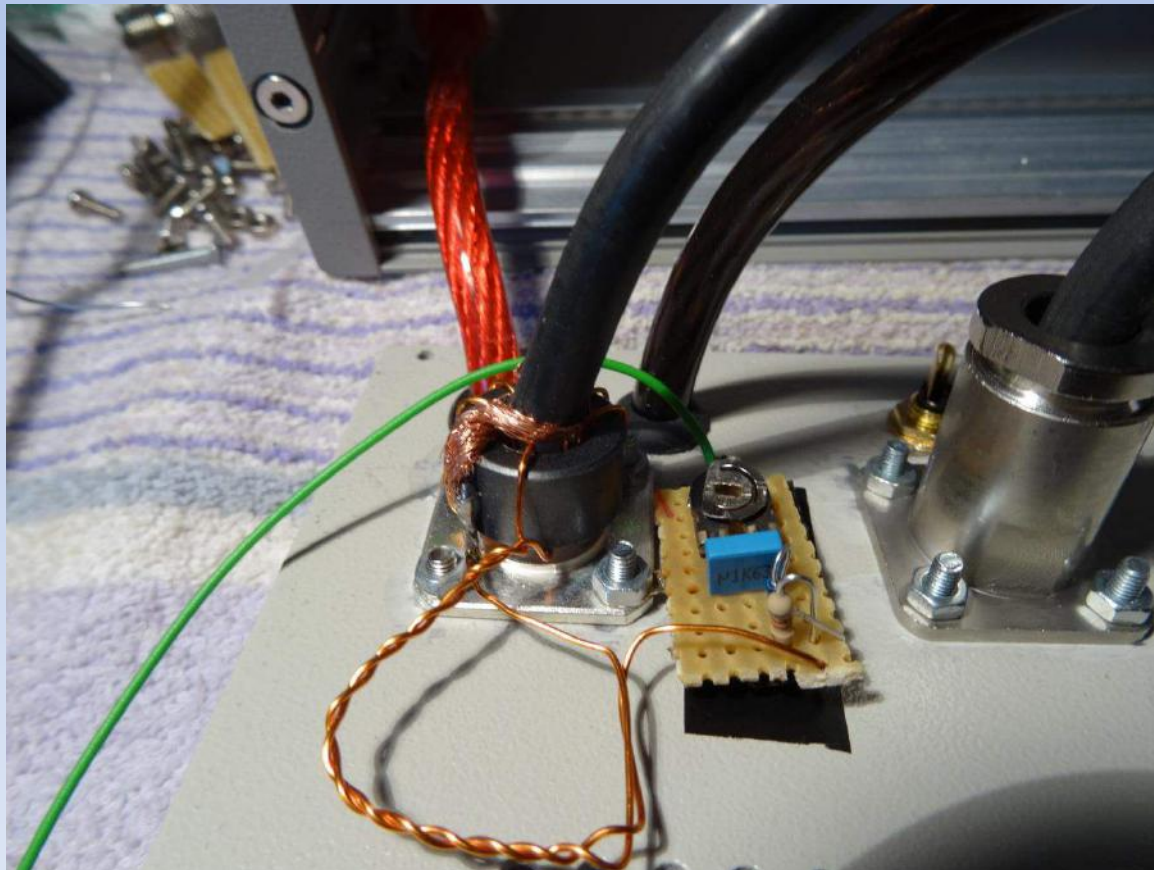
Einbau der Komponenten

- Verkabelung vorbereiten:



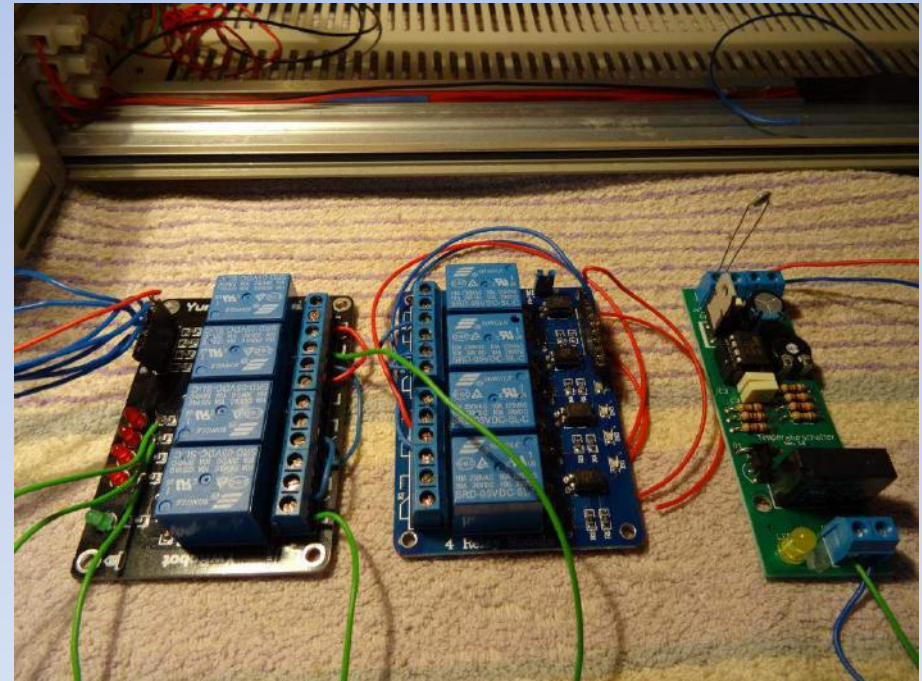
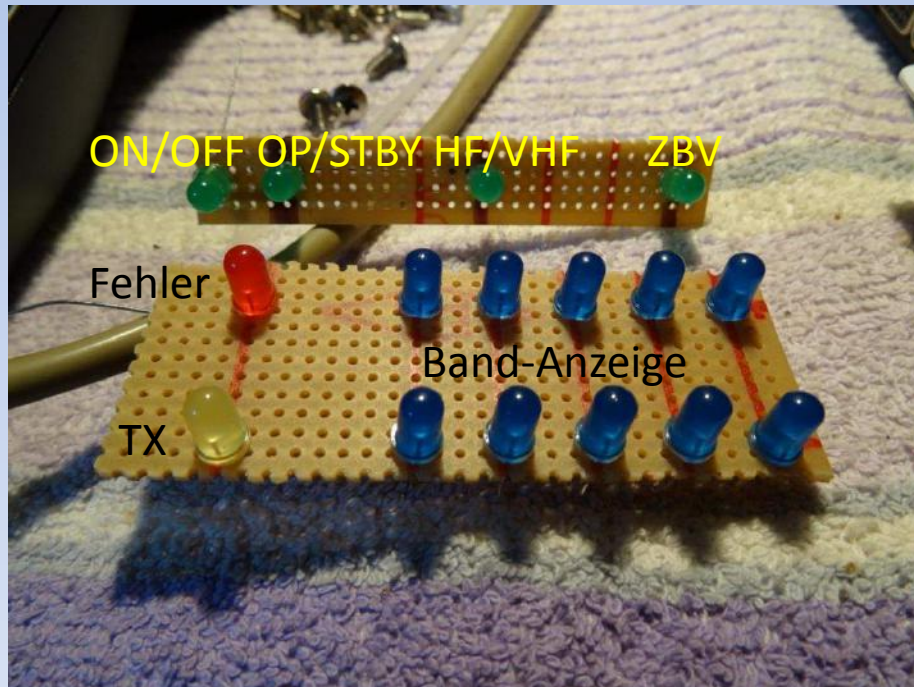
Einbau der Komponenten

- Auskopplung (lose) für die Leistungsmessung:



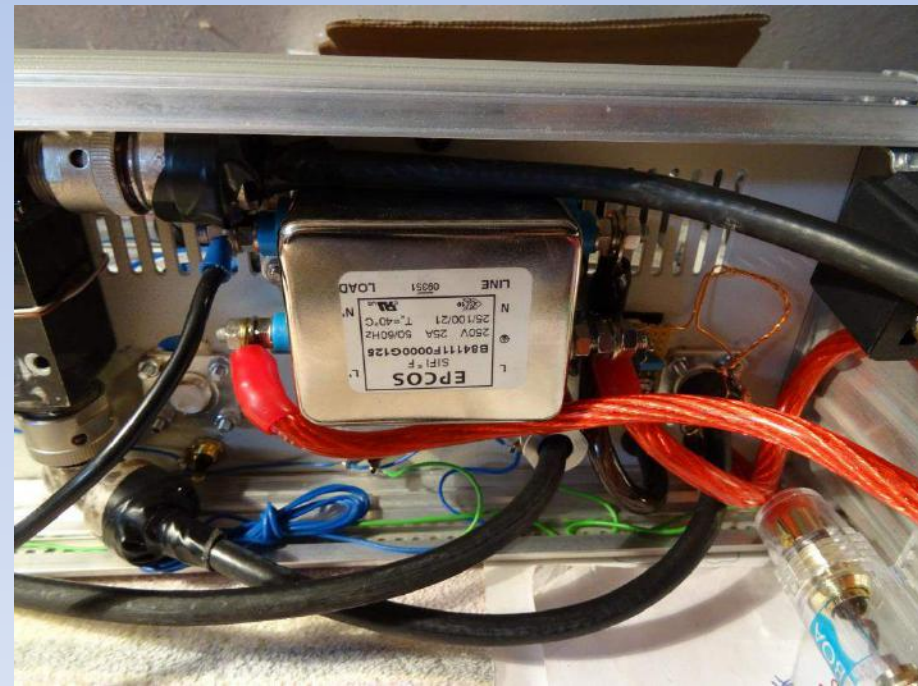
Einbau der Komponenten

- Vorbereiten der LED-Panels und Steuerung:



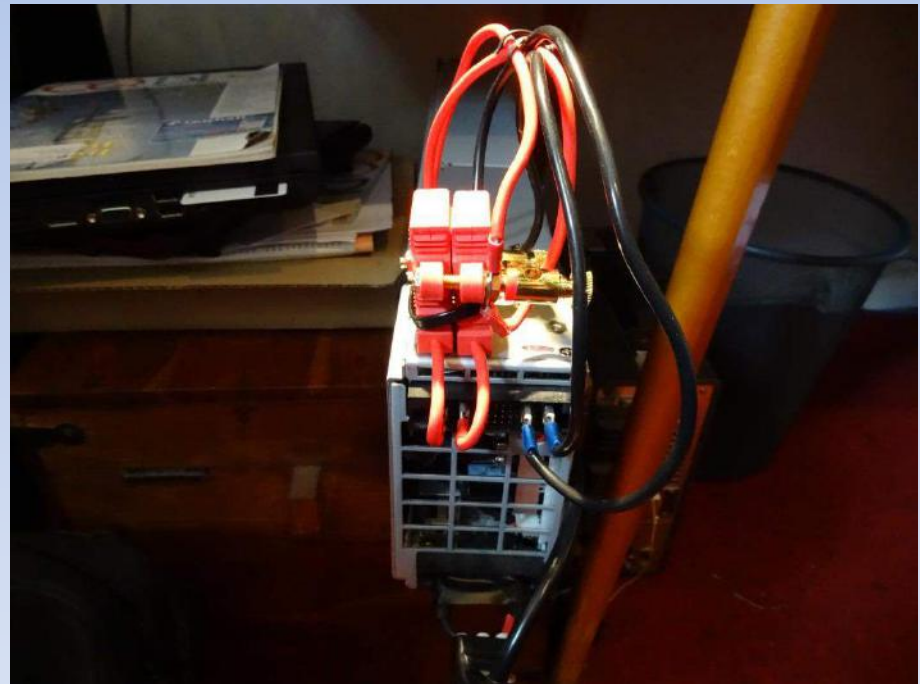
Einbau der Komponenten

- Montage der 2 Steuerungen, Temperaturfühler und Netzfilter:



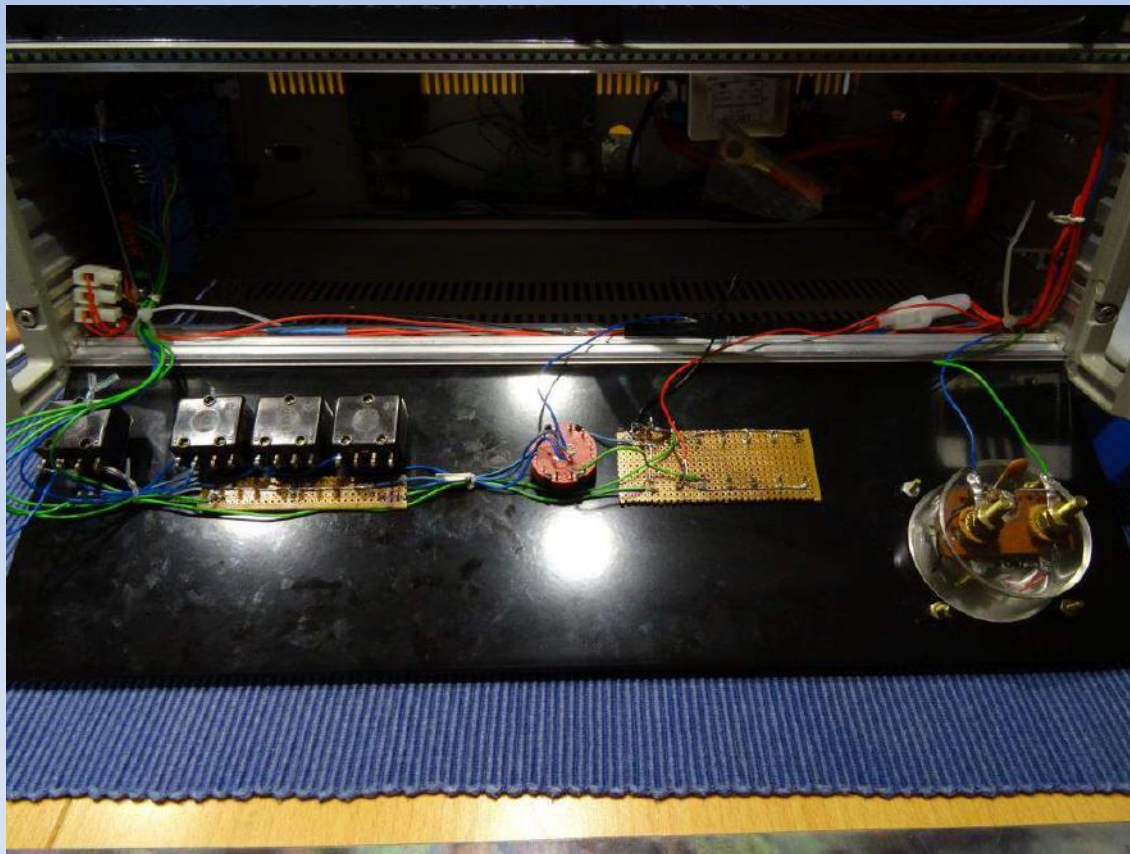
Einbau der Komponenten

- Provisorische Vorbereitung des Netzteils:



Einbau der Komponenten

- Montage der Frontplatte:



Einbau der Komponenten

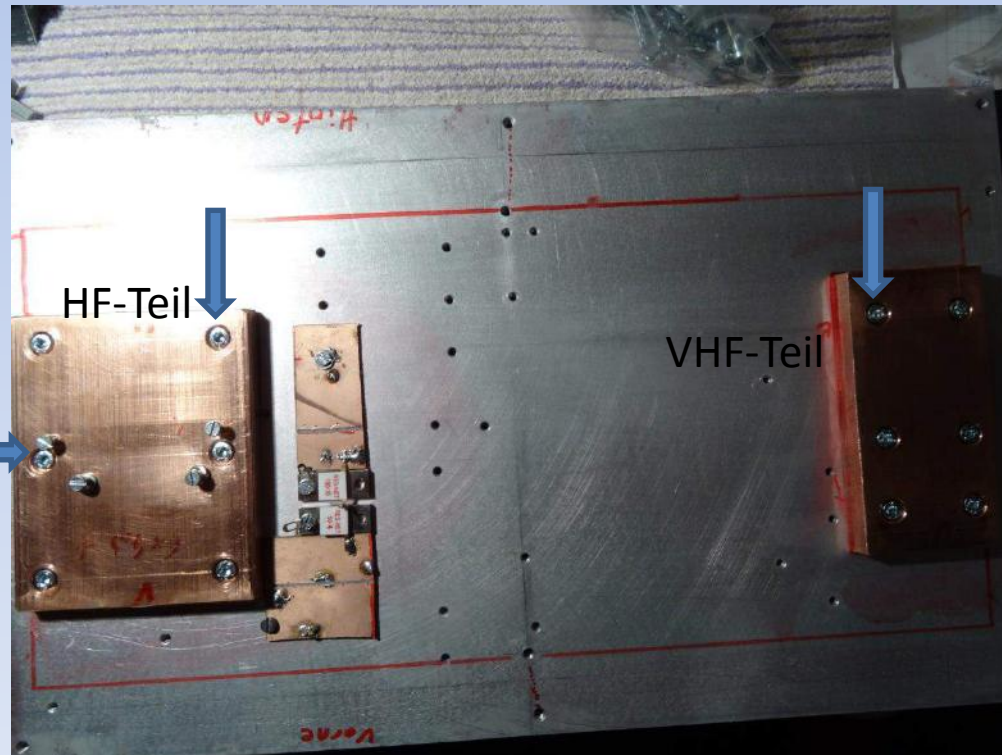
- Montage der Lüfter:



Einbau der Komponenten

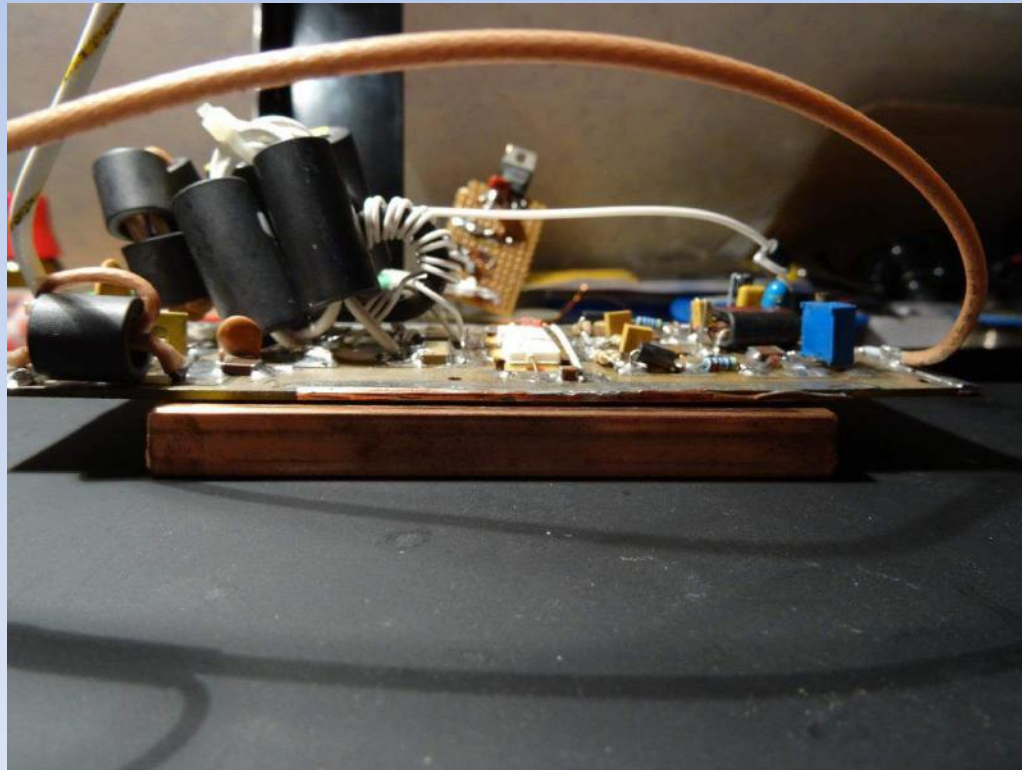
- Vorbereitung des Kühlkörpers, Kupferplatte und der Dämpfungsglieder:

Die jeweils 6 Schrauben in den Kupferplatten sind versenkt, somit entsteht eine ebene Fläche - das ist wichtig für die spätere Montage der Module.



Einbau der Komponenten

- Das fertig montierte „Herz“ der HF-PA inkl. Heat-Spreader aus Kupfer:



Einbau der Komponenten

- Tiefpassfilter:



Es handelt sich konkret um 5-polige Tiefpassfilter. Insgesamt kommen hier 8 Filter zum Einsatz: 2m, 6m, 10/12m, 15m, 17/20m, 30/40m, 80m, 160m.

Einbau der Komponenten

- Nun noch den Ruhestrom auf 2,0A einstellen, Deckel drauf und:

Fertig!



Naja, fast zumindest. Es fehlt noch der Drehknopf vom Bandschalter und die Beschriftung...

1. Test

Steuerleistung: 100mW

Ausgangsleistung auf den Bändern 160m-6m: etwa 100W +- 10% - was aufgrund der Spezifikation 10Mhz - 500Mhz und der Angabe 23,5db Verstärkung ein wenig verwundert! Egal, die PA scheint zu funktionieren und möglicherweise ist mein K3 im mW-Bereich nicht unbedingt die Referenz für die Bestimmung des Verstärkungsfaktors.

Anfänglich hatte ich Probleme mit einem weglaufenden Ruhestrom – was einer falschen Dimensionierung der Ruhestromstabilisierung geschuldet war. Nachdem ich die Schaltung neu berechnet und überarbeitet hatte, war das Problem aber überwunden und die Unterdrückung der Ober- und Nebenwellen sowie der IMD3 war im grünen Bereich. Der Hersteller der Boards hat daraufhin diese Modifikation für all seine Boards übernommen, auch für die High-Power Version (s. „Die Evolution“). Alle Boards die nach dem 15. September 2014 ausgeliefert wurden, sollten diese Modifikation bereits enthalten.

Im intermittierenden Betrieb (SSB) wurde die PA bei 700W **ohne Lüfter** nur Handwarm und ich überlege gerade diese wegzulassen...naja, für digitale Dauerstrichbetriebsarten vielleicht doch...auf jeden Fall scheint der Kühlkörper gut dimensioniert zu sein. Ich habe die Schutzschaltung nun so eingestellt, dass die PA bei etwa 50-60C° Kühlkörpertemperatur abschaltet. Die verwendeten Lüfter (140mm) laufen so leise, dass eine ursprünglich geplante temperaturabhängige Steuerung der Lüfter getrost entfallen kann.

1. Messungen

Erste Messungen ergaben eine Oberwellenunterdrückung von ca. 60db und einen Intermodulationsabstand von über 40db(!) bei 500W Output auf 28.400Mhz. Genauere Messungen folgen noch, hier werde ich auch mit dem Ruhestrom noch etwas experimentieren.

Bei 1,5W Input lagen dann am Dummy-Load über 1KW an, hier beende ich nun den 1. Test ☺ und baue nun noch ein zuschaltbares 14-16db Dämpfungsglied in 50-Ohm Technik vor dem PA-Modul ein (s. Schaltplan). Somit können **Spikes oder versehentliche Fehlbedienung** des TRX der PA nichts mehr anhaben...natürlich könnte ich auch hier die Schutzschaltung für die Eingangsleistung aktivieren. Ich weiß aber nicht, ob diese ggf. zu langsam reagiert und mir scheint der Schutz mit einem passenden Dämpfungsglied zur Zeit sicherer...

Der K3 ist (leider) einer der wenigen TRX am Markt, welcher diese **Spikes** nicht produziert und somit über eine saubere Leistungsregelung verfügt. Ebenso sinkt die Intermodulation des K3 bei reduzierter Leistung auf hervorragende Werte, was einen störungsarmen Betrieb der PA ermöglicht. Meist sorgt bei vielen Geräten die ALC dafür, dass dieses sich meist gegenläufig verhält (weniger Leistung, mehr Intermodulation)...

1. Messungen

Als Orientierung welche Werte man erwarten kann, kann folgendes Datenblatt verwendet werden:



Datenblatt-MRFE6
VP61K25H

Dieses bezieht sich zwar auf den MRFE6VP61K25H, passt aber im wesentlichen auf diese Art der Transistoren und deckt sich auch mit meinen 1. Messungen. Hier ist zu sehen, dass bei einem Class-AB Betrieb (2,5A Ruhestrom) über 40db IMD3 drin sind. Im Class-A Betrieb (4,5A Ruhestrom) sogar über 50db! Zumindest bis zum Legal-Limit in DL, danach bei bis zu 1000W noch über 30db bzw. 40db... Dieses scheint auch weitgehend unabhängig davon zu sein, ob die PA auf UKW oder HF betrieben wird. Ob das reicht oder nicht, muss jeder für sich selber entscheiden. Für SSB-Betrieb bis 750W übertrifft das jedenfalls meine Erwartungen. Ich habe den Ruhestrom nun auf 2A eingestellt, was **für mich** einen guten Kompromiss zwischen Linearität und Effizienz darstellt. Immerhin sind hier schon 100W schnell mal konsumiert...

Ausblick

Ich habe mich für ein 2. Modul für das 2m-Band und eine automatische Bandumschaltung entschieden. Somit ist die Abdeckung dieser PA dann von 2m-160m - am Markt für Geld nicht zu kaufen. Auf die Integration des 2m-Bandes wird dann im 2. Teil eingegangen. Wer auf die Erweiterung der PA für 2m verzichten möchte, kann auf dieser Folie mit dem Lesen aufhören.

By the way: ich habe den BLF578XR nun wieder ausgelötet und gegen einen BLF178XR ersetzt. Dieser hat noch etwas mehr Gain und einen geringfügig höheren Wirkungsgrad. Den nun arbeitslosen 578er plane ich dann für das 2m-Modul einzusetzen, da dieser im Gegensatz zum 178er eine deutlich höhere Grenzfrequenz im oberen Bereich aufweist (500Mhz anstatt 128Mhz).

Ende Teil 1 HF-PA

