1,5 ... 2kW Sendeleistung mit 2xARF1500 nach einer Entwicklung von JA1DJW und JE1BLI (Tokyo Hy-Power - Labs Inc., THP)

An einem Abend im April ´07 konferierte wieder einmal die bekannte Runde auf 3,6036...
Thema war der Eigenbau besonders leistungsfähiger Transistorendstufen für den KW-Bereich.
Obgleich ich schon eine gute Röhren-PA besitze, reizte mich das Thema natürlich auch, zumal es schon sehr lange her war, dass ich auch mal was für VHF, UHF und SHF gebaut hatte. Unangenehm kam mir gleich in Erinnerung, wie schnell doch damals die hohen Ströme die kleinen sensiblen Transistor-Propellerchen dann in die ewigen Siliziumjagdgründe befördert hatten und so das schmale Studentenbudget für einige Tage auf Masse gelegt hatten... aber spannend war der Eigenbau seinerzeit schon, auch wenn man es damals nur mit Sendeleistungen unter 100 Watt zu tun hatte!

In der besagten Runde im April war aber nun gleich von 1000W++ bzw. "Gallonen" die Rede und dabei von unvorstellbar hohen Strömen oder Spannungen die hierfür netzseitig erforderlich sind... ganz zu schweigen von den Sendetransistoren. Was müssen das für Dinger sein!?
Die Diskussion ging hin und her... bipolar...MOS-FET´s... 12Volt oder 100Volt... oder gleich 250Volt .. oder doch lieber nur 60Volt? Mehrere Endstufen zusammenschalten oder doch nicht? Schliesslich fand DH4NAD (OM Armin) eine Transistortype, die sofort bei mir den "Willson-Effekt" (=will so einen) bewirkte:
Den **ARF1500**, oder auch im Fachjargon "Eins-Fünf-Loch-Loch"... Einen neuen Power-MOS-FET mit geradezu unvorstellbaren Daten:

1500Watt(!) Verlustleistung eines einzigen Transistors. Spannungsfestigkeit bis 500 Volt und ein max. Dauerstrom von 60A. Die HF-Verstärkung verspricht 17dB. Ein Wirkungsgrad bis 75% soll max. erreichbar sein.

Ich dachte nur: "*Mann ist der dick Mann!*"

Schnell buddelten wir weitere Informationen zum Thema aus dem Internet, wobei sich eine PA-Neuentwicklung der Tokyo-Hy-Power Labs. von JA1DJW, Nobuki Wakabayashi und JE1BLI, Toshiaki Ohsawa, als besonders interessant herausstellen sollte (siehe beigefügte PDF).

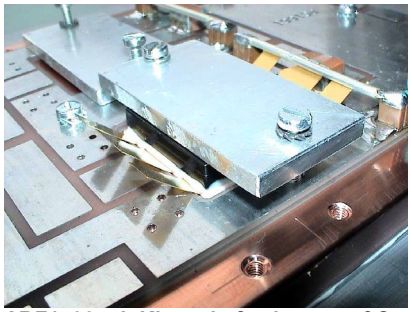
Prototyp einer PA von Tokyo-Hy-Power

Der Kontakt zu Nobuki, dem Gründer und Präsidenten der THP erwies sich dann in Folge als sehr wertvoll, um noch weitere Informationen und Unterstützung zu erlangen, sodass bereits nach wenigen Tagen schon alle notwendigen Details zum Nachbau des japanischen Prototypen auch hier in DL vorhanden waren...

Kernstück der neuen Endstufe sind die beiden ARF-Transistoren, die für ca. 200 Euronen per Stück in DL zu kaufen sind.

2x ARF1500 fertig zum Einbau

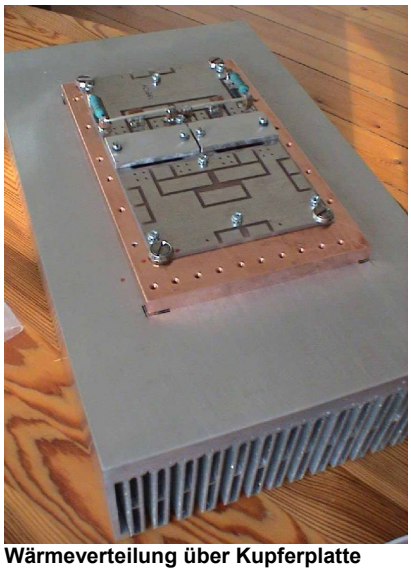
Die neuen Transistoren sind in vieler Hinsicht anders, als sonst-übliche Power-Typen: Grösse, Bauform und Beschaffenheit fallen hierbei besonders auf. Es gibt keine Schraubbefestigung und keine Metallflächen, stattdessen aber eine neuartige Beryllium-Keramik- Fläche zur Wärmeableitung. Auf 'ner Fläche in der Grösse einer Briefmarke muss immerhin die Wärme einer Herdplatte zum Kühlkörper abgeführt werden!



ARF1500 mit Klemmbefestigung auf Cu

Daher sollen diese Monster-Transistoren auch auf einer **massiven Kupferplatte** als

Wärmeverteiler mit einer Klemmbefestigung montiert werden... und dann erst auf einem Kühlkörper der Klasse 0,03 K/W bei erzwungener Konvektion (z.B. mittels Kühltunnel o.ä.).

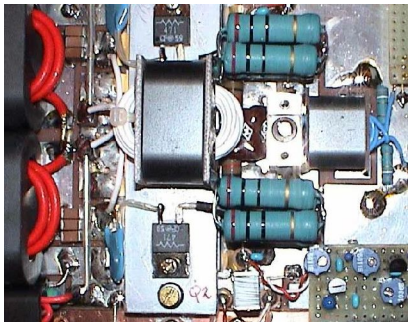


Wärmeverteilung über Kupferplatte

Ein praktischer Versuch mit einem Gasbrenner unter verschiedenen Cu-Platten zeigte dann auch eindrucksvoll, dass erst bei Materialstärken um 10mm die Erwärmung relativ gleichmässig war und den gewünschten Erfolg brachte...

kpl. Montage auf dem Kühlkörper

Aber kommen wir nochmal auf das Schaltungskonzept der japanischen PA zurück (Details sind übrigens dem Link JE1BLI und JA1DJW zu entnehmen): Es handelt sich dabei um einen Breitband-HF-Verstärker mit Eingangs- und Ausgangstransformation ohne spezielle Abstimmelemente, was den praktischen Betrieb auf KW damit sehr erleichtern dürfte. Lediglich für den Betrieb im 10m-Band muss zusätzlich noch die Eingangsanpassung mit einem Relais umgeschaltet werden, wegen der extrem niedrigen HF- Eingangsimpedanzen der beiden MOS-FET's, die im Gegentakt "Push-Pull-Betrieb" arbeiten.
Um die extrem hohe Verstärkung einerseits zu begrenzen und andererseits eine gleichmässige Sendeleistung über den kompletten KW-Bereich zu erzielen, wurde eine effiziente Gegenkopplung mit einem Breitbandübertrager eingefügt.

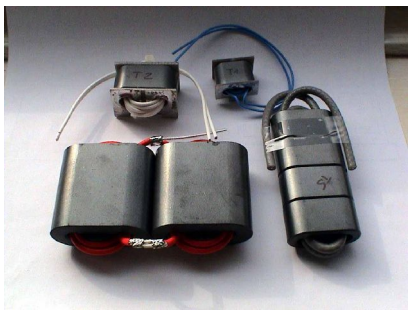


Gegenkopplung m.Breitbandübertrager

Die resultierende Verstärkung ist anschliessend immer noch zu hoch und das Eingangs- SWR etwas ungünstig, sodass die Steuerleistung mit einem Widerstands-Netzwerk gedämpft wird (100W ergeben nun die volle Ausgangsleistung ohne Übersteuerungsgefahr).

Dämpfung: TO220-Schichtwiderstände

Da sich die HF-Eingangsimpedanzen der FET's teilw. unter einem Ohm mit hohem kapazitiven Anteil befinden und der Ausgang auch nur Werte um 5...8 Ohm aufweist, müssen extrem leistungsfähige Breitbandübertrager mit niedrigen Verlusten aus Ferrit-Doppelloch-Kernen für die erforderliche Transformation sorgen.

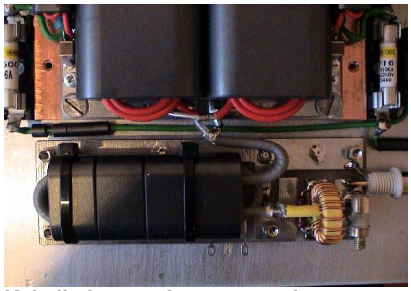


Transformatoren aus Tomita-Ferriten, Bewicklung gem. JA1DJW und JE1BLI

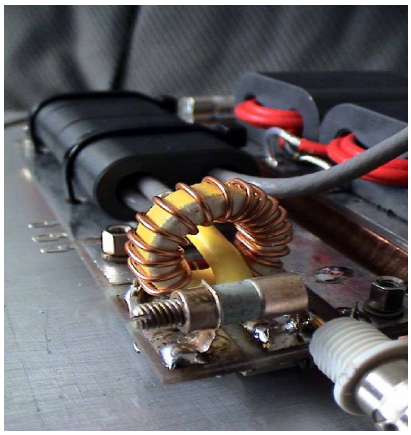
Ausgangsübertrager für über 2000W

Zur Verbesserung der Symmetrie in der PA und Anpassung an den koaxialen 50-Ohm-Ausgang, wird eine Mantelwellensperre (Koax-Balun) aus 4 Doppelloch-Ferriten nachgeschaltet. Es bietet sich dabei an, gleich eine Auskopplung für Pegel,

SWR und Schutzschaltung vorzusehen...



Kabelbalun am Ausgang und ...



... Auskopplung für Pegel und SWR

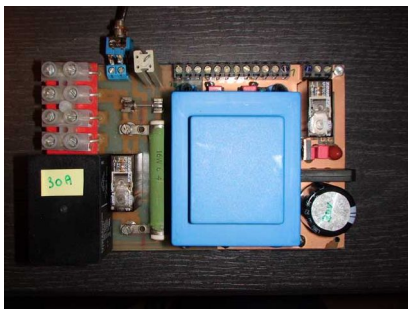
Die Ruheströme der beiden FET's werden jeweils auf ca. 500mA eingestellt wobei die Speisung sehr niederohmig und temperaturstabil ist. Hierfür sorgt ein Messfühler, der sich direkt auf der Cu-Platte befindet. Der Ruhestrom wird nur über die PTT bedarfsgerecht hochgeschaltet. Zwei weitere Sensoren überwachen bei 50° und 80°C den Kühlkörper. Ein analoger Sensor mit dem LM35 zeigt die Temperaturverhältnisse direkt und linear z.B. per Instrument an der Frontplatte an.

Ruhestromsteuerung und Sensoren

Für die Stromversorgung dieser Hochleistungsendstufe genügt eine unstabilisierte Spannung von 100 bis 150 Volt mit ausreichender Ladekapazität von ca. 20.000uF. Der Strombedarf beträgt hierbei ca. 30A. Der notwendige 220V-Netztrafo kann z.B. in LL- oder UI-Bauform ausgeführt sein.

220V / 2x100V Netztrafo mit ca. 3000W

Um den Einschaltstrom zu begrenzen und die Hausicherung zu schützen, ist ein "weicher" Anlauf über einen 30...40-Ohm- Hochlastwiderstand sinnvoll, der anschliessend mit einem Relais überbrückt wird, wenn an den Elkos ca. 100V Spannung anstehen.



Das Netzteil-Starterbord für "weichen" Trafoanlauf, rechts 12V Netzteil für div. Relais, die Ruhestromerzeugung und den Micro-Controller

Die Gleichrichtung erfolgt über 2x KBPC3510, 35A-Gleichrichterblöcke an den beiden 100V-Wicklungen des Trafos. Hinreichend Kühlung ist auch hierbei erforderlich.

Für den Nachbau des japanischen Tokyo-Hy-Power Prototypen mussten zahlreiche Bauteile (teilw. auch zu Probezwecken) beschafft werden. Die Lieferfrist der grossen Transistoren betrug einige Wochen - ebenso für die speziellen Tomita-Ferritkerne und HV-SMD-Kondensatoren.

Für Jäger und Sammler...

Die Sonderanfertigung des Trafos dauerte nur wenige Tage und war preiswerter, als erwartet. Kühlkörper, Relais, Gleichrichter, Elkos uvm. konnten über Ebay beschafft werden. Besondere Sorgfalt sollte bei der Montage der Transistoren und der Kupferplatte walten. Die beste Wärmeleitpaste sollte hierfür gewählt werden *(siehe Kritikpunkt 5 auf S.8)*

Das PA-Modul ist mittlerweile fertig. Es funktionierte auf Anhieb, was für ein professionelles Design spricht!
Die Ausgangsleistung beträgt - wie von JA1DJW und JE1BLI angegeben - um 2 Kilowatt(++) in der Mitte des KW- Bereiches und um 1,5 Kilowatt oben und unten.

Die Belastung des 220V-Netzes (16A) liegt bei mir hier mit der PA an der Grenze und führt in SSB- Betrieb bereits zu flackernder Beleuchtung im Shack! ;-)

Das fertig-aufgebaute HF-Modul wird (vor dem weiteren Einbau in ein Gehäuse) erstmal an einem provisorischen Netzteil temperaturmässig getestet und der Ruhestrom auf konstante Werte Werte im Bereich 20-70°C eingestellt. Die japanischen Entwickler haben hierfür eine ausgeklügelte Schaltung entwickelt, die es gilt, richtig im Betriebstemperaturbereich einzustellen.

Bei mir war zu erst eine Überkompensation vorhanden (=hohe Temperatur -> sinkender Ruhestrom), was im Dauerbetrieb zu Oberwellen und unsauberer Modulation geführt hätte. Meine nächste Einstellung (Unterkompensation = steigender Ruhestrom bei steigender Temperatur) war ebenso ungünstig, wie auch gefährlich, weil dies ein "Hochlaufen" zur Folge gehabt hätte. Nach einigen -kontrollierten- Aufwärm- und Abkühlphasen war dann endlich die geeignete Einstellung gefunden: Eine leichte Überkompensation für "Beckenrandschwimmer" (=vorsichtige Leute).

Nach dieser Feuerprobe (im wahrsten Sinne des Wortes) werden noch einige weitere Messungen am Endstufenmodul durchgeführt: Stromaufnahme der FET's bei verschiedenen Aussteuerungen (Symmetrieverhalten) und Vollastverhalten mit resultierender Wärmeentwicklung zur besseren Einschätzung des Kühl- und Lüfteraufwandes beim späteren Gehäuseeinbau.

Mein vorgegebenes Ziel ist es dabei, im Raumtemperaturbereich von ca. 20°C,die ausreichende Kühlung für eine Sendeleistung von mind. 1kW (Dauerstrich) bereitzustellen. Höhere Werte sind im praktischen Betrieb ohnehin unrealistisch und hätten einen dramatischen Kühlaufwand bei grösseren Gehäuseabmessungen zwangsläufig zur Folge - ganz abgesehen von nervigen Lüftergeräuschen im Shack!

Durchblick: Das gewählte Kühlprofil

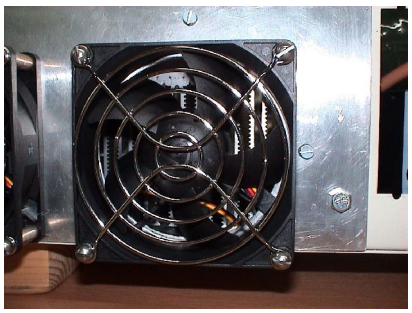
Die Gehäusewahl für meine neue MOS-FET-PA gestaltete sich komplizierter, als vorher angenommen. Im wesentlichen bestimmen Netztrafo und PA-Modul mit Kühlkörper die Abmessungen. Das hohe Gewicht (ca. 40kg) der einzelnen Komponenten erfordert zudem ein sehr stabiles Chassis... Zu guter Letzt hatte ich auch noch den Wunsch, keine "Riesenkiste" hier am Funktisch zu installieren und damit eine Bauhöhe von max. 20cm absolut nicht zu überschreiten...
Daher fiel meine Wahl schliesslich auf ein preiswertes 19-Zoll- Server-(Laufwerks-)gehäuse mit einer Höhe von 4HE und einer Bautiefe von ca. 45cm.

Schnell war das Gehäuse völlig entkernt und ich konnte mit dem Einbau von stabilisierenden Montagewinkeln beginnen. Anschliessend werden Kühlkörper und Trafo, sowie die weiteren Zusatzplatinen installiert.

Servergehäuse mit Winkelschienen im Boden verstärkt - Hauptkomponenten bereits eingebaut.

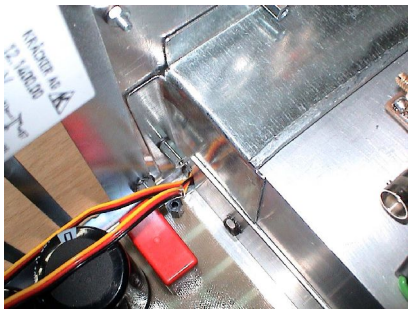
Selbst im 19"Gehäuse wird es bald eng

Etwas kompliziert und aufwändig gestaltete sich der Kühltunnel, bzw. die Lüftervorkammer zur gleichmässigen Verströmung der Luft in das Aluminiumkühlprofil, weil es dabei gilt, möglichst keine "Nebenluft" zu verströmen, bzw. eine hohe Effizienz der Luftkühlung zu erreichen. Bei meiner Konstruktion wird die Luft von aussen angesogen, durch den Kühlkörper geblasen , vor der Frontplatte umgelenkt und rückwärtig wieder ausgeleitet (siehe Bilder unten)... Die spätere Planung sieht ein Umlenkblech am Kühlkörperaustritt vor, damit die Frontplatte im Gehäuseinneren nicht zu heiss wird..

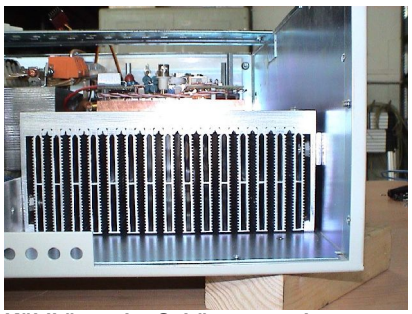


Die sehr leisen Asia-Lüfter werden später gegen Papst-Typen getauscht

Lüfter und Vorkammer vor Kühlprofil



Die Vorkammer wird aus Blech geformt

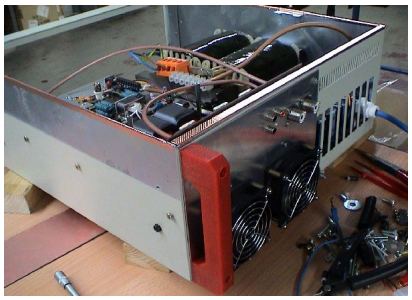


Kühlkörper im Gehäuse montiert

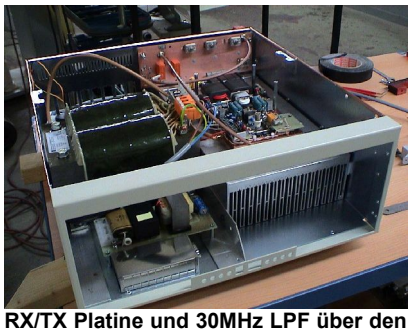
Die zu erwartenden Innentemperaturen führen zur Wahl robuster 105°-Elkos im Netzteil (10x 1800uF =18.000uF, 160V, 105°C).

Vormontage des 150V / 30A Netzteils

Die Brückengleichrichter produzieren bei Vollast ca. 50W Verlustleistung, sodass entsprechende Kühlung auch hierbei beachtet werden sollte.
Lüfter und Geräterückwand werden mit Griffen verstärkt, damit die 40kg keine Schäden beim Aufstellen oder Hochkippen verursachen.

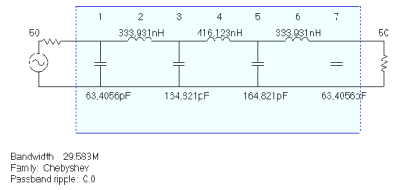


Griffe an der Rückwand zum Schutz

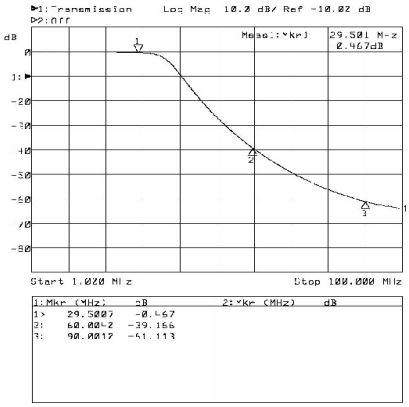


RX/TX Platine und 30MHz LPF über den Buchsen an der Rückwand

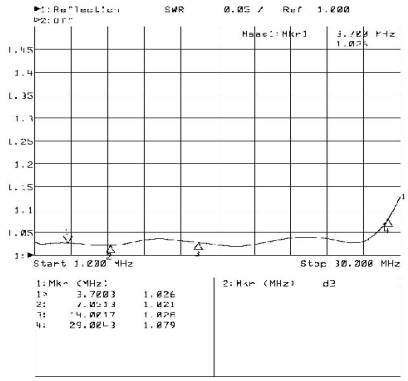
An der Rückwand wird die RX/TX-Umschaltung mit dem Basis LPF montiert. Das Filter soll später gegen mehrere schaltbare ersetzt werden und stellt in meinem Konzept hier vorerst das Basisfilter dar. Ich habe hierzu einen 7-poligen Tschebysheff-Tiefpass berechnet und präzise am Montageort eingemessen...



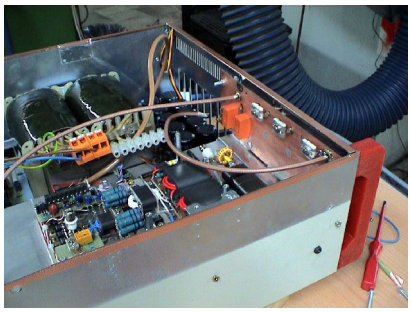
Das Schaltbild des berechneten LPF



Der Basistiefpass mit hoher Ferndämpfung zu Rundfunk- und Fs-Bereichen



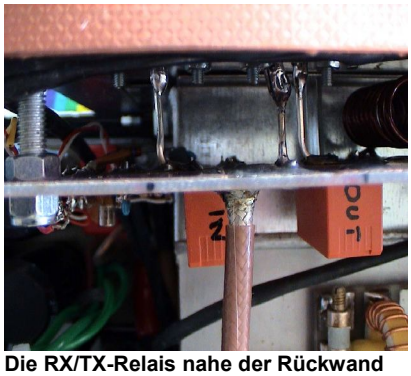
Das Durchgangs-SWR des Basisfilters für erste Testzwecke wurde auf den kpl. Kurzwellenbereich optimiert



Das Basistiefpassfilter besteht aus einer Kombination von Platinenkondensatoren und Glimmertrimmern. Das Filter wird später gegen schaltbare 7-polige Band-Tiefpässe ersetzt.

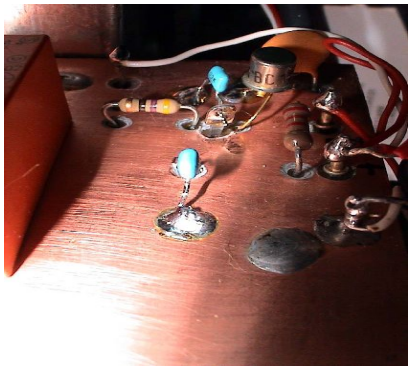
Die HF-Kabel zum PA-Modul werden in RG142 (Teflonkoax) ausgeführt,womit ca. 2000W übertragbar sind. Das Kabel wird mit dem Schirm auf die Cu-Fläche der Platine gelötet, der Innenleiter zur Rückseite durchgesteckt...

Die RX/TX-Relais werden mit ausgesuchten 15 Amp-Typen realisiert und sehr kurz (ca. 2cm) über 2mm-Silberdraht mit den PL-Buchsen verbunden...



Die RX/TX-Relais nahe der Rückwand

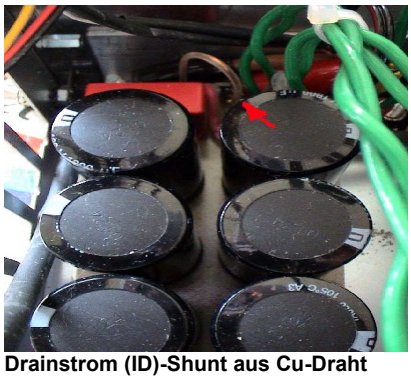
Die kurzen Anschlüsse zu den Buchsen



Die RX/TX-Umschaltung (oben), die Anschlussbuchsen (mitte) und die simple PTT-Steuerung mit nur einem PNP-Transistor in Kollektorschaltung (u.)

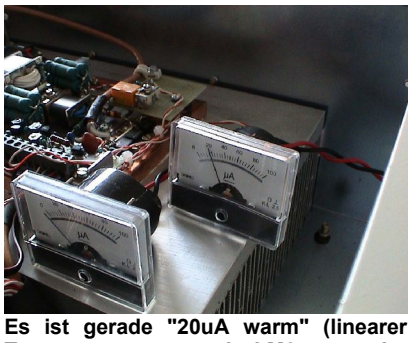
Die beiden RX/TX-Relais werden mit einer simplen Transistorschaltung über die PTT-Buchse von der Rückwand angesteuert.

Die Anzeige des Drainstromes ist bei dieser Hochleistungs-PA von besonderer Bedeutung. Daher benötige ich später in der Frontplatte ein Instrument, dass hierüber Aufschluss geben soll. Den erforderlichen Shunt für die maximalen 30A baue ich als Cu-Drahtbügel aus 10-cm Draht in einem Silikonschlauch und löte ihn direkt auf die Elko-Platine.



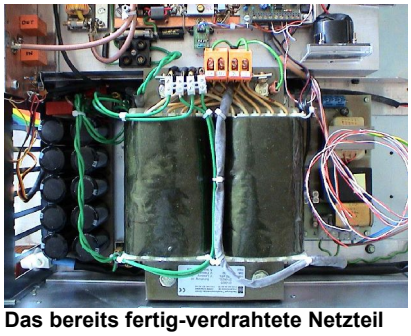
Drainstrom (ID)-Shunt aus Cu-Draht

Instrumente für Temperatur und Drainstrom, Systemkabelbaum im Schlauch

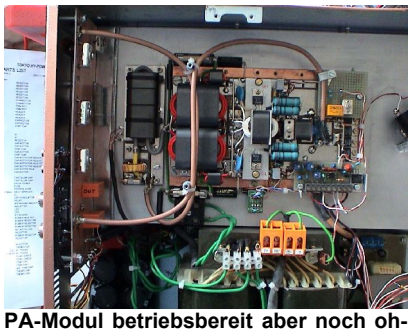


Es ist gerade "20uA warm" (linearer Temperatursensor mit LM35 zum Instrument - später in der Frontplatte)

Der Systemkabelbaum wird durch einen Schlauch unter dem Trafo hindurchgeführt.



Das bereits fertig-verdrahtete Netzteil



PA-Modul betriebsbereit aber noch ohne Sensorik und ohne Microcontroller

Erster praktischer Betrieb

Am Abend sitze ich vor meinem IC756proIII und der neuen (provisorisch- angeschlossenen) MOS- FET-PA...
Worauf warte ich eigentlich? Keine Röhren, die erstmal vorwärmen müssen... also los geht's...

Logbucheintrag DL1JM:
30.07.2007 20:30 UTC, 3,600 000 MHz...

Das erste QSO mit der neuen PA! Ich muss aufpassen, dass die "zahme Aussteuerung" mit gedrosselter Steuerleistung nicht fortwährend über 1kW geht! Langsam erstmal die "Kiste" kennenlernen...

DO8MN, DK3DS, DK2HA, DJ7LU und DC1CA geben mir gute Rapporte. Meine Befürchtungen hinsichtlich Netzbrummen oder verzerrter Modulation -in Folge von zu niedrigen Ruheströmen- bestätigen sich glücklicherweise nicht. Ein OM spricht sogar von *"warmem Röhrensound"*... Ich bin begeistert!

Nach einigen Stunden kontrolliertem QSO-Betrieb, wobei meine Augen fortlaufend die Instrumente beobachteten, kann ich feststellen, dass der Wärmeverteilungseffekt der dicken Cu-Platte schlichtweg beeindruckend ist. Bereits nach wenigen Sekunden Sendung ist ein sofortiger, gleichmässiger Temperaturanstieg zu verzeichnen, der dann ebenso schnell wieder zurückgeht, wenn die PTT losgelassen wird und die Lüfter arbeiten. Die Betriebstemperatur des Kühlkörpers pendelt dabei um 40... 50°C bei schwacher (fast unhörbarer) Lüfterleistung...

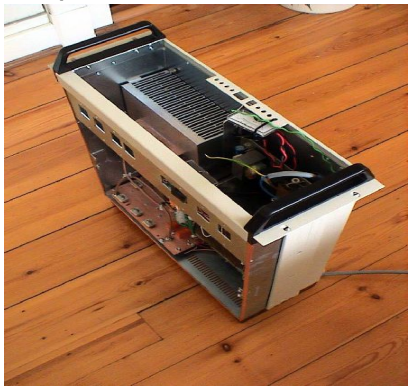
Warum der "Burn-In-Test" so heisst...

Zufrieden und ziemlich müde beendete ich dann das erste Test-QSO und wollte gerade die provisorisch-angeschlossene PA ausschalten und abkabeln, als ich plötzlich ein nix Gutes erahnendes, brutzelndes "Bsss.. Bzz" in der PA hörte! *Schnell ausschalten*... dachte ich nur, aber dazu kam es nicht mehr... Ein ohrenbetäubender Knall war zu hören und die alte "Hamburg-bei-Nacht-Nummer" spielte mal wieder... (Die Haussicherung hatte ausgelöst).

Mit gemischten Gefühlen betrachtete ich dann bei Licht den Tatort... Einer der massiven Montagebügel an den teuren Transistoren war Russ-geschwärzt und der breite goldene Drainanschluss hatte zwei kleine schwarze "Durchschusslöcher" und die zugehörige 16A-Sicherung hatte ausgelöst!

Ich vermutete schon den frühzeitigen Tod des ersten ARF15-Loch-Loch..., als mir die Idee kam, dass vieleicht ein Metallspahn oder eine Verunreinigung unterhalb der Anschlussfahne des Transistors die Ursache gewesen sein könnte. Ablöten und Hochbiegen brachte dann Gewissheit: Einige Metallspähne lagen zwischen Kupferplatte und Drainanschluss in Folge nachträglicher Bohrarbeiten an der PA (was man möglichst vermeiden sollte). Bei 150V Leerlaufspannung und 18.000uF ist der Knall-Effekt vorprogrammiert!
Nach Reinigung und Sicherungswechsel lief der Transistor dann glücklicherweise wieder einwandfrei und ich konnte mit dem Gehäusebau fortfahren...

Die funktionsfähige PA noch ohne Frontplatte und ohne Zusatzelektronik



Die Griffe an Front- und Rückseite sind bei dem hohen Gewicht sehr sinnvoll

Nun kann man sich bereits die neue PA schon besser vorstellen... Die Bauhöhe incl. Gerätefüsse beträgt 19cm: Ziel erreicht!

Nach einigen Tagen praktischer Erprobung habe ich eine **Mängelliste** erstellt, die es nun abzuarbeiten gilt, bevor es mit der Frontplatte und dem Microkontroller weiter geht:

1. Die Kleinbauteile der japanischen Ruhestromschaltung werden sehr heiss, weil in STBY die Vorspannung einfach nur auf Masse gelegt wird, was mir absolut nicht gefällt...
Erste Abhilfe: R41 auf 150 Ohm vergrössern *(weitere Verbesserungen hier ggf. später noch notwendig)*.
Die Ruhestrompotis werden in Spindeltrimmer geändert zur präziseren Einstellung.

2. Die Spannungsfestigkeit der Filterkondensatoren ist bei ungünstigem SWR nicht ausreichend und die Glimmertrimmer neigen zu Überschägen (nette violette und hochfrequente Lichteffekte). Ich muss hierbei wohl konsequent nur noch 1000V-Bauteile wählen.

3. Die Relais haben sehr unterschiedliche Schaltzeiten (-Spannungen), sodass einige Änderungen notwendig sind *(siehe unten)*.

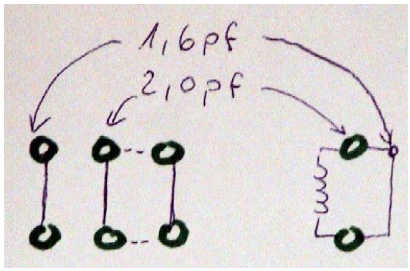
4. Ich tausche die sehr leisen und etwas schwachen "Fern-Ost-Lüfter" gegen leistungsfähigere Typen des Herstellers Papst, bei gleichzeitiger Drehzahlreduzierung ...

5. Im laufenden Betrieb stellte sich die verwendete Wärmeleitpaste unter den Transistoren als sehr problematisch heraus. Seinerzeit wurde sie von mir nach besonders geringem Wärmewiderstand ausgewählt und enthielt eine Silberbeimischung. Diese Beschaffenheit reduziert jedoch die Spannungsfestigkeit unter den Drain-Anschlussfahnen bei den ARF-Transistoren, wenn etwas Paste bei hohen Temperaturen im Laufe der Zeit unter dem Keramiksubstrat hervortritt. Bei über 100V DC plus HF-Wechselspannung verbrennt das Fett und das Silber in der Paste wird perfekt leitend. Also grosse Vorsicht!
Ich muss zwangsläufig die Drainanschlüsse mehrfach sorgfältig reinigen, um hier Abhilfe zu schaffen...

Ein kleiner Exkurs in die Relaistechnik *(zu Punkt 3)*:
Nach einigen Recherchen und verschiedenen Messungen habe ich mich nun bei der RX/TX- Umschaltung und den Bandpassfiltern für einen anderen Relaistyp entschieden: Ein Tyco / Schrack Relais RP320012 (siehe Bild), welches z.B. bei Bürklin zu kaufen ist und einerseits hohe Wechselströme verkraftet (16/25A, 4000VA) und andererseits bis ca. 500V spannungsfest ist, bei sehr hoher Spitzenspannungsfestigkeit von ca. 4kV!

Das HF-geeignete RP320012-Relais mit einem sehr breiten Umschalt-Kontakt, doppelten Printanschlüssen und grossem Spulenabstand

Hierdurch werden gleichzeitig auch die schädlichen HF-Kapazitäten in Folge grosser Kontaktabstände klein gehalten. Ich habe das o.a. Relais mal exemplarisch gemessen und kann es nur jedem OM für vergleichbare Projekte empfehlen, wenn z.B. ein preiswertes HF-Leistungsrelais benötigt wird.



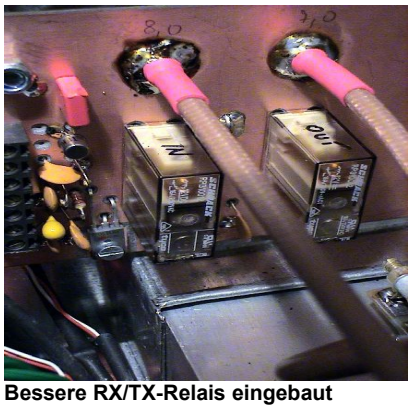
Streukapazitätsmessung des oa. Relais

Ein weiterer Punkt bei den Relaisfunktionen in der PA sind die Schaltzeitpunkte, wobei es unbedingt zu vermeiden ist (Gefahr!), wenn die Steuerleistung Sekundenbruchteile vor dem Ausgang (Last) geschaltet wird. Dies trat bei meinen parallel geschalteten ersten Relaistypen in Folge von Exemplar-Streuungen auf und verursachte gefährliche Überspannungen am Ausgang. Der optimale Ablauf wäre also - wie folgt:

0. PTT wird freigegeben*)*
1. PTT schaltet Ausgang
2. PTT schaltet Eingang
3. PTT schaltet Ruhestrom
4. PTT wird ggf. blockiert*)*

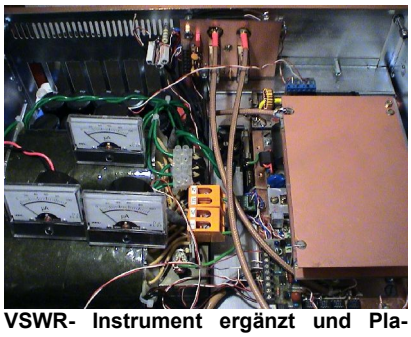
**) bei Schutzfunktionen*

Dieses Timing lässt sich nun auf unterschiedliche Art realisieren, wobei ich einerseits das "schnellste" Relais aus mehreren selektiere und für den Ausgang nehme und andererseits eine einfache Ablaufschaltung dazu ergänze...



Bessere RX/TX-Relais eingebaut

Nachdem alle Punkte abgearbeitet sind,...
kann ich mich nun wieder um den Fortgang der übrigen Arbeiten kümmern.
Am Ausgangskoppler habe ich eine negative Spannungserzeugung für die ALC-Buchse in der Rückwand ergänzt und ein weiteres Instrument für Power und VSWR angeschlossen.



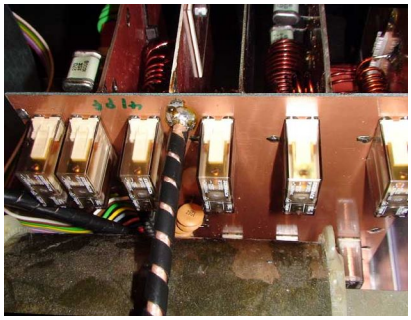
VSWR- Instrument ergänzt und Platinen- Tiefpassfilter versuchsweise über dem PA-Modul montiert.

...

Die Tiefpassfiltereinheit ...

besteht aus einer 16x16 cm grossen Basisträgerplatte, auf die im Winkel von 90° **sechs Eurokarten** mit den jeweiligen Filtern montiert werden.

Platinenfilter auf Relaisplatte montiert

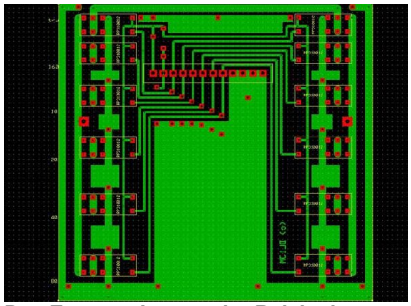


Die Relaisplatte mit 12x Schrack 1xUM

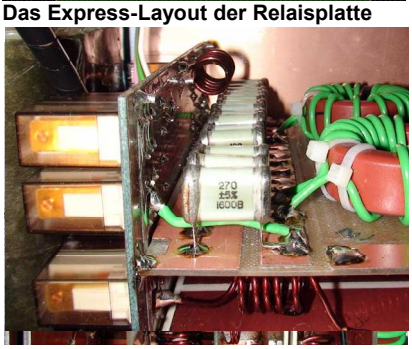
Vorwiegend setze ich dabei (auf Grund guter Erfahrungen) meine "unkaputtbaren" und hochbelastbaren **Platinenfilter** ein.
Lediglich das Filter fürs 160m-Band wird aus einer Kombination von zwei Ringkernen und zahlreichen russischen 1600V-Glimmer-C's hergestellt.
Der 80m-Tiefpass besteht aus einem Ringkern und mehreren Platinen-C's.
Das Filter fürs 40m-Band hingegen aus einer Kombination von Platinen- und 1600V-Glimmer- C's.

Sämtliche Filter sind als 7-polige Tiefpässe (als L-C-L-C-L-C-L) ausgelegt. Lediglich für 160m kommt ein 5-pol-Typ (C-L-C-L-C) zum Einsatz.

Da die Basisträgerplatte mit den zahlreichen Relais (und breiten Leiterbahnen wegen der hohen Ströme!) doch nennenswerte Schadkapazitäten an Aus- und Eingängen aufweist (2x ca. 41pf), musste der Filteraufbau und -Abgleich dies entsprechend berücksichtigen.



Das Express-Layout der Relaisplatte



Rechts das 160m-Filter mit Glimmer-Cs

Die Filter werden folgendermassen vom Microcontroller (siehe übernächste Seite) über die automatische oder manuelle Bandwahl geschaltet:

1: 160m-Band
2: 80m-Band
3: 40m-Band
4: 30m- und 20m-Band
5: 15m-12m-10m-Band
6: Durchgang (ohne Filter)

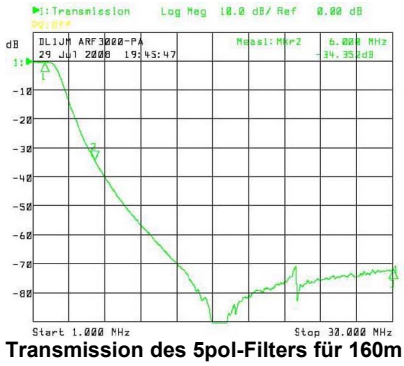
Die Filter links hinter der Frontplatte - rechts das Warmluftumlenkblech

Hinsichtlich der Filtereigenschaften stelle ich bei Umschaltung in den Durchgangsmodus (ohne Filter) fest, dass ca. 10% der Sendeleistung (Summe aller Oberwellen incl. Verluste) am Ausgang bei 50-Ohm-Abschluss reduziert sind.
Bei Vollaussteuerung und 2000W out an 50-Ohm (2200W ohne Filter) messe ich einen Rücklauf von ca. 150W zwischen Filter und PA und schätze, dass die restlichen 50W im Filter in Wärme umgewandelt werden (Energiebilanz). Bei längerer Vollaussteuerung ist in der Tat eine spürbare Erwärmung der Platinenfilter um ca. 10...20C° festzustellen (unproblematisch).
Auf Grund der vorangegangenen Messungen gehe ich davon aus, dass der Oberwellenanteil (o. Filter) mind. 10dB unter dem Nutzsignal liegen muss. Hinsichtlich der gewünschten Filtereigenschaften ist also dieser Wert zur Dämpfung hinzuzurechnen (wird später mit Spektrumanalyser geprüft).

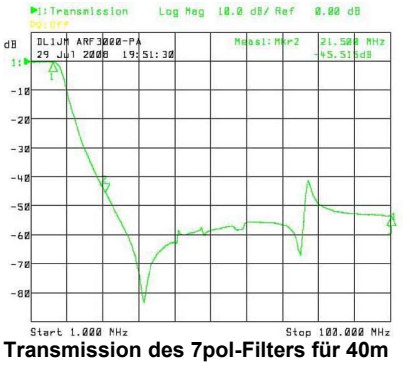
Der Filterblock (re.) zw. Trafo und Front

Funktionstest mit Systemcontroller und automatischer Banderkennung(IC756III)

Sämtliche Filter wurden im eingebauten Zustand mit Relaisplatte und Zuleitungen am Netzwerkanalysator hinsichtlich S11 (Eingangs-SWR) und S21 (Transmission) einschl. TX-Relais zur rückwärtigen PL-Antennenbuchse eingemessen. Hier die Ergebnisse:



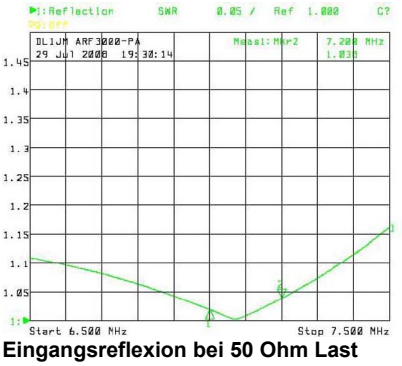
Transmission des 5pol-Filters für 160m



Transmission des 7pol-Filters für 40m

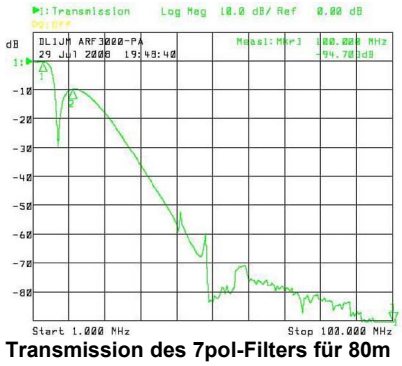
Transmission 7pol-Filter 15, 12, 10m

Eingangsreflexion bei 50 Ohm Last

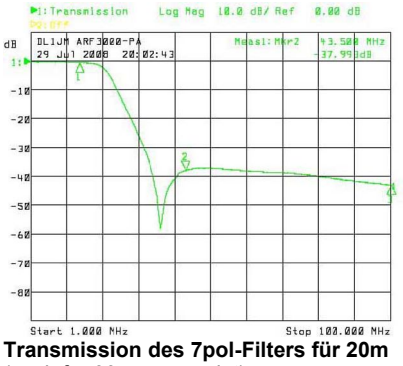


Eingangsreflexion bei 50 Ohm Last

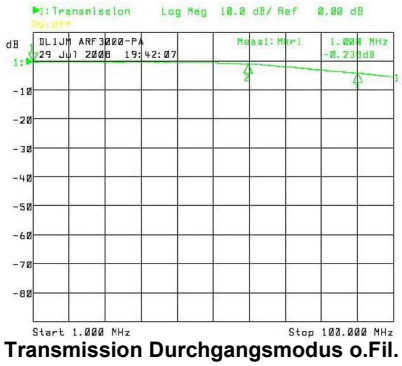
Eingangsreflexion bei 50 Ohm Last



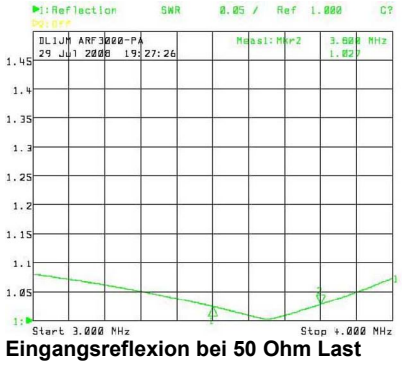
Transmission des 7pol-Filters für 80m



Transmission des 7pol-Filters für 20m
(auch für 30m verwendet)

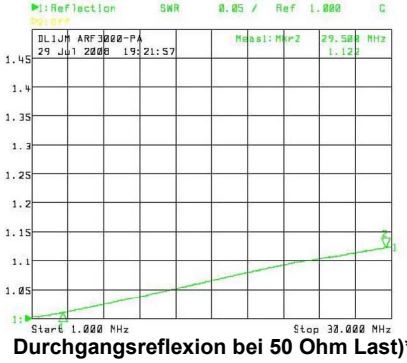


Transmission Durchgangsmodus o.Fil.



Eingangsreflexion bei 50 Ohm Last

Eingangsreflexion bei 50 Ohm Last



Durchgangsreflexion bei 50 Ohm Last)*

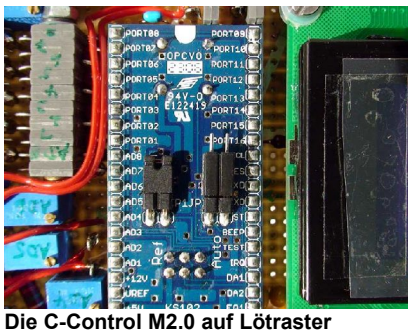
***) <u>Anm.</u>** zu Bild unten rechts:
Das vergleichsweise schlechte Durchgangs-SWR (ohne Filter = "Pass-Mode") resultiert aus den zahlreichen Relais und der Trägerplatte (=Schadkapazitäten).
Die Durchgangsdämpfung ist dennoch relativ gering (<1dB). Der Durchgangsmodus wird ohnehin voraussichtlich im praktischen Betrieb nie oder nur selten zur Anwendung kommen wegen des ungefilterten Oberwellenanteils.
Die übrigen (besseren) SWR-Verläufe resultieren aus dem Filterabgleich unter Einbeziehung (Kompensation) der entsprechenden Schadkapazitäten (2x 41pf).

Der Systemcontroller, das Kernstück der Steuerung.

Microcontroller mit LCD 4x20

Nach einigen Monaten "Schaffenspause" und Sammlung von Betriebserfahrungen geht es nun weiter mit dem Microcontroller. Hier habe ich keinerlei Vorlagen, wie THP (Tokyo Hy Power) dies an ihrer HL2.5 gelöst hat. Es soll aber eine Vielzahl von Schutzschaltungen entwickelt worden sein. Übrigens: Diese japanische PA hat mittlerweile Serienreife und wird z.Zt. für stolze 6750 CHF, bzw. 7999$ (AUD) angeboten. Ein grosser Anreiz also, die letzten Schritte meines Aufbaus nun auch weiter voranzutreiben...

Auf Grund vorhandener Kenntnisse bei den Microcontrollern aus der C-Control-Serie (siehe auch Artikel über die Antennenrotorsteuerung) hatte ich mich entschlossen, diese Technik nun auch in meiner MOS-FET-PA einzusetzen.



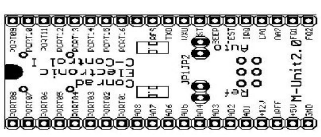
Die C-Control M2.0 auf Lötraster

Folgende Hauptaufgaben sollen realisiert werden:
Sicherheits und Schutzfunktionen, Überwachung und Anzeige der Betriebsparameter und automatische Erkennung des Frequenzbandes (Auslesen des analogen Bandsignals vom Transceiver) mit Umschaltung der Tiefpassfilter.

Anzeige der Betriebsdaten auf LCD

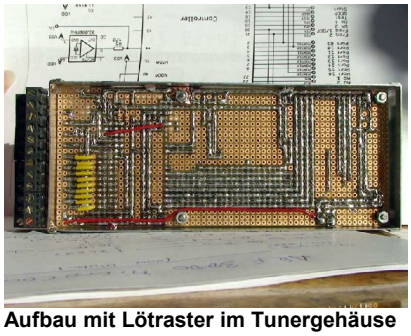
Automatische Banderkennung

Im Übrigen wünsche ich mir noch ein Statistikmenue mit maximalen Betriebsparametern und schliesslich noch ein Servicemenue... Das Ganze soll dann auch noch hübsch HF-dicht verpackt werden und sowohl gegen Einstrahlung der Sendeleistung, als auch gegen Erzeugung von Pfeiffstellen und Rauschen im KW-Bereich optimiert werden...
Aus den verschiedenen **C-Control**-Modellen wähle ich den **"M1 Unit2.0 adv"** mit Fliesskommaarithmetik und entschliesse mich, das Ding in BASIC2006-Workbench zu programmieren.



Die Anschlüsse des C-Control M2.0

Als **Display** wähle ich ein universelles, blaues, 4-zeiliges LCD mit 20 Stellen (4x20) und weisser Schrift. Das Ding sollte HD44780 oder KS0070B kompatibel sein, damit die C-Control Hard- und Software dazu passt.
Da ich die Serienproduktion der MOS-FET-Endstufe der Fa. **THP** überlassen habe;-) wähle ich bei meiner PA nur ein Lötpunktraster zum Aufbau.



Aufbau mit Lötraster im Tunergehäuse

Die Schaltung ist aber auch recht einfach und setzt nur Sorgfalt und logisches Denkvermögen voraus.

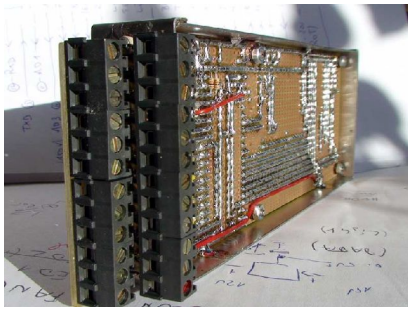
Mein Controller verfügt über **16 E/A-Logikports**, **8 AD-Ports**, **2 DA**-Anschlüsse, einen **IRQ**-Port und eine **RS-232-Schnittstelle**. Hört sich viel an, ist aber bereits voll verplant und hat keine Reserven mehr in meinem Aufbau! Folgende Signale und Schaltfunktionen werden verarbeitet: Bedientaster, PTT, Betriebsspannung, Temperatur, HF-Leistung, HF-Rücklauf, Frequenzband vom Transceiver, Schaltung der Bandpässe, Schaltung der Netzspannung/ Anlauf, Blockierfunktion für HF und PTT, lineare und stufenlose Lüfterregelung zweier unterschiedlicher Lüfterkreise (Vorkammer und Gehäuse).

Für ALC und Überstrom habe ich keine Ports mehr frei und bevorzuge dabei dann eh die konventionelle Schaltungstechnik. Die acht Analogports verarbeiten 8-bit (256 Stufen), was (meines Erachtens nach) völlig ausreichend ist. Der grösste Messwert ergibt sich bei maximaler Sendeleistung.- Bei 2500W und 256 Stufen, ergäbe sich immerhin noch eine Auflösung von ca. 10W/Stufe. Die Messwerte werden dann intern (per Software) mit Faktor "Zehn" multipliziert und angezeigt. Da die AD-Wandler für maximale Aussteuerung 5V benötigen, werden entsprechende Spindeltrimmer zur Justage vorgeschaltet. Der beschriebene Controller findet inclusive Display in einem **Tunergehäuse** Platz. Sämtliche Anschlüsse werden über Durchführungskondensatoren (1nf) nach Aussen geführt.

Schalttransistoren an den Relaisports und Durchführungskondensatoren

Einzig die RS232 (RXD/ TXD) bekommt kleinere Werte, damit die steilen Logikpegel nicht zu sehr verschliffen werden. Über die serielle Schnittstelle können ggf. später weitere **Firmwareupdates** erfolgen (ebenso eine CI V-Steuerung als zukünftiges Projekt). Der Aufbau des Controllers erforderte einige Stunden Lötarbeit, dann war es geschafft! Die Softwareentwicklung hingegen ist viel bequemer, aber für mich doch zeitaufwändiger, da ich eben bei der C-Control nur über Grundkenntnisse verfüge und immer wieder nachlesen und probieren muss...

Der fertige Controller kann mit der neuen Software (vorerst ohne PA) am Tisch erprobt werden, wobei man die verschiedenen Signale an den Ports mit Prüfklemmen "simuliert".



24 Schraubklemmen für die Aussenwelt

Für die zeitgemässe LC(D)-Anzeige habe ich mir natürlich auch einige "Feinheiten" ausgedacht:

Da macht der Funkbetrieb doch Spass?

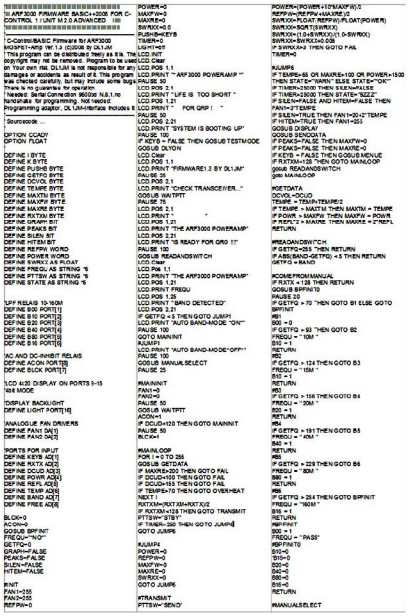
Das Angebot nehme ich gern an!

Der aufmerksame Leser hat auf der ersten LC(D)-Anzeige (beim Einschaltvorgang) den Namen meiner PA bereits erspäht: In Anlehnung an die Eingangsleistung, bzw. an zwei Stück ARF 1500, soll das Ding von nun an "***ARF3000"*** heissen!

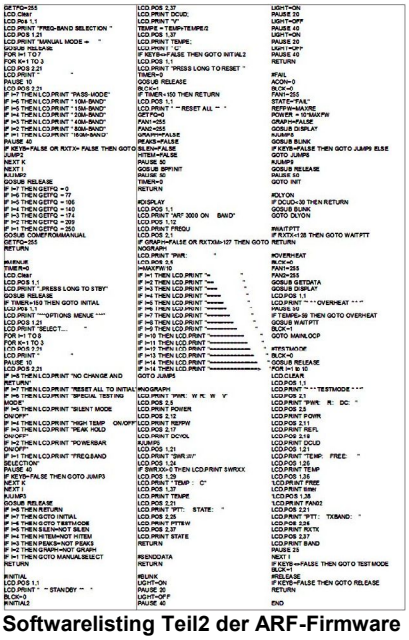
Gern hätte ich auch den japanischen Urhebern etwas Gutes getan, aber es soll ja auch keine Konkurrenz zu dem hervorragenden Produkt aus dem Hause **THP** sein, zumal die **HL2.5KFX** auch deutlich kompakter und leichter ist. Ehre wem Ehre gebührt!

Die Firmware des Controllers wird in BASIC "Workbench++" programmiert und anschliessend kompiliert, sodass einzelne Befehle nur ca. 50us dauern.
Die Software funktioniert dabei folgendermassen:
Nach dem Einschalten des Sub-Netzteils (12V) werden die Lüfter kurzfristig auf max. Drehzahl gebracht und das Vorhandensein eines Transceivers geprüft (PTT und Frequenzband). Bei gedrückter PTT wartet die Initialisierung. Ebenso, wenn erkannt wird, dass die PA kurzfristig erneut gestartet wird.
Wenn kein Bandsignal aus dem Transceiver verfügbar ist (oder noch ausgeschaltet), wird die manuelle Bandwahl gestartet. Hierbei werden in einer Schleife alle Bänder angezeigt und man muss per Taste das gewünschte nur noch bestätigen. Bei keiner Wahl wird "Pass-Band" (ohne Filter) geschaltet. Wenn im Betrieb später dennoch ein Bandsignal detektiert wird...

... wird dieses automatisch übernommen.
Wähle ich danach dennoch den manuellen Modus, hat dieser dann Priorität.



Softwarelisting Teil1 der ARF-Firmware



Softwarelisting Teil2 der ARF-Firmware

Nach Einschaltung und Bandwahl wird das 150V-Netzteil mit dem grossen Trafo "weich" hochgefahren. Erst bei Erreichen der korrekten Spannung wird PTT und Ruhestrom freigeschaltet. Bei Über- oder Unterschreiten entsprechend blockiert, ebenso, wie bei hoher Temperatur, ungünstigem SWR, bzw. bei sonstigen Störungen. Auch die 150V-Versorgung kann jeder-zeit wieder automatisch abgeschaltet werden...

Übrigens: Die vorhandene Gleitkomma-Arithmetik des Controllers ermöglicht zusätzlich gleich die kontinuierliche **SWR-Berechnung** aus Vor- und Rücklauf im Sendebetrieb!

Bei einem SWR>3 (bei allen Aussteuerungen) oder aber einem Rücklauf >200W wird der Sendebetrieb automatisch blockiert.

SWR-Berechnung a. Vor- und Rücklauf

Im laufenden Betrieb arbeitet die Software in einer sehr schnellen Hauptschleife, die sämtliche Eingangswerte prüft, teilweise Spitzen- oder Mittelwerte bildet und erst nach jedem 255ten Durchgang zur Anzeige bringt. Der Grund ist eine möglichst schnelle Reaktion der Software auf gefährliche Grenzwerte einerseits und andererseits eine hinreichend "träge" und wenig-flimmernde LC(D)-Anzeige zu realisieren...

Gleichzeitig können auch noch bei Bedarf sämtliche Betriebsdaten seriell über die rückwärtige RS232 an einen PC übertragen werden. (Die optionale Bedienung per Maus am PC wird später mal folgen).

Beim Auftreten von kritischen Betriebszuständen (z.B. zu hohem SWR) wird eine Notabschaltung initiiert und sämtliche Betriebswerte zu dem jeweiligen Zeitpunkt dauerhaft (gespeichert) angezeigt...
Je nach Fehler, startet die PA dann anschliessend wieder verzögert (z.B. bei Übertemperatur) , oder aber auch nur nach Tastenbestätigung (schwerer Fehler).
Im laufenden Betrieb werden desweiteren auch die vier Lüfter in zwei unterschiedlichen Stromkreisen (2x Kühltunnel,2x Gehäuse) unabhängig von einander per Software geregelt. Dies führt zu nahezu geräuschfreiem, normalen QSO-Betrieb... bis hin zu "Orkanstärke" bei längerer Dauerlast der Endstufe...

Wie bedient man nun die PA mit nur einem Taster? Ganz einfach: Langes Drücken bewirkt einen Reset, kurze Betätigung zeigt ein Menue, in dem die Einstellwerte nacheinander blinkend angezeigt werden und man per Tastendruck dann eine entsprechende Auswahl treffen kann - ebenso bei der manuellen Bandwahl.

Manuelle Bandwahl

Optional wählbar: Ein Power-Bargraph

Folgende Optionen sind anwählbar:

* Standby
* Reset / Automode
* Manuelle Bandwahl
* Leistungsanzeigebalken
* Peak-Hold on/off
* Hochtemperatur-Modus
* Geräuscharmer Betrieb
* Service-Mode (für Messwerte und Kalibrierung der AD-Wandler).

(* In Vorbereitung: RS232 und CI-V Einstellungen)

Ein automatischer Sleep-Mode "BZZZ" (Standby und Lüfter aus) wird nach 10min Betriebspause aktiviert bis die PTT erneut betätigt wird.

Optional auch ein Peak-Hold wählbar

Silent Operation Geräuschminimierung

Der BASIC-Quellcode besteht z. Zt. gerade einmal aus ca. 500 Befehlszeilen...

Die aktuelle **Revision 1.3** meiner Firmware läuft nun bereits seit einigen Monaten sehr stabil und lässt mir bislang keine weiteren Wünsche mehr offen...

Immer wieder faszinierend finde ich den Betrieb meines Transceivers über die PC-Software "Hamradio-Deluxe": Per Mausclick ins DX-Cluster springt mein 756 auf die gewünschte Frequenz und gleichzeitig clickt es kurz in meiner PA und sie ist automatisch im richtigen Frequenzband sofort betriebsbereit. Bedienungsfehler - in Folge von Müdigkeit oder "dicken Augen" - sind nun weitgehend ausgeschlossen...

Da der neue Controller wegen des LC(D)-Displays an der Frontplatte positioniert werden soll und auch noch ein Drehspulinstrument für Leistung und Strom hinzukommen soll, geht es weiter mit der (für mich ungeliebten) Frontplattenherstellung.

Die **Strom-** und **Leistungsanzeige** erfolgt analog über ein Instrument, dessen Skala am PC entworfen wird (mit "Meter" von "Tonnesoftware").

Das analoge Kombi-Instrument...

... in der Mitte der Frontplatte platziert

Das Display hinter einer Acrylplatte

Die 3mm-Aluminium-Frontplatte bekommt einen gefrästen Rand und wird bündig von hinten in den 19"-Rahmen eingesetzt...

Komplettansicht ohne Deckplatte, ohne die zwei zusätzlichen Gehäuselüfter

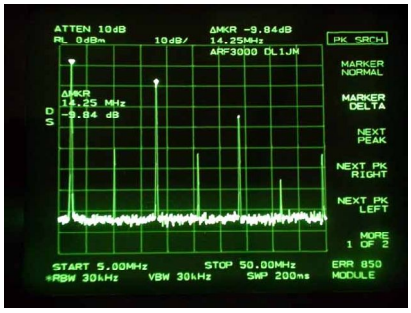
Bevor die fertige PA hinsichtlich IMD und Oberwellen gemessen wird, bekommt der Gehäusedeckel noch ein paar feine Lüftergitter und die Netzzuleitung am Gehäuse hinten einen Tiefpass aus Ferritringen zur Vermeidung von HF-Störungen...

Die **HF-Messungen** mache ich mit einer Zweitonaussteuerung (400Hz/ 1800Hz) bei Sendeleistungen um 1,5kW an meiner Dummyload, die extra für diese

Zwecke noch eine -60dB Auskopplung für den Spektrumanalyzer bekommen hat. Vorsichtshalber wird ein weiteres Dämpfungsglied vor den empfindlichen Eingang geschaltet...

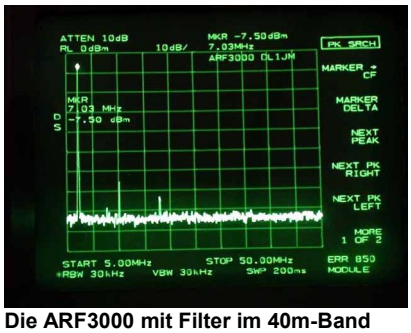
Die ARF3000 am Spektrumanalyzer

Die erste Frage, die mich schon lange beschäftigte, ist das **Oberwellenspektrum** der MOS-FET- Endstufe ohne Filter (im Passbandmode). Ich hatte ja bereits vermutet, dass hochwirksame Filter absolut erforderlich sind...



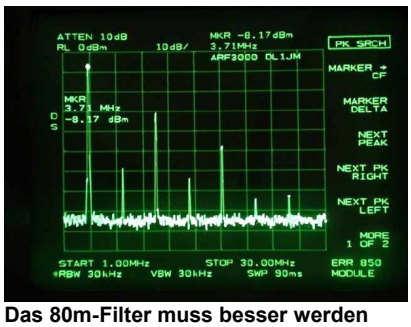
Die Oberwellen der MOS-FETs o. Filter

Das Ergebnis (hier beispielhaft bei 1,5KW im 40m-Band) übertrifft dann doch noch die schlimmsten Erwartungen: Die dritte Harmonische liegt nur knapp 10dB unter dem Nutzsignal, was zur Folge hätte, dass schlichtweg ca. 150W mal locker nebenbei auf 21MHz an die Antenne gehen (ohne Filter)...
Also ein eindrucksvolles Beispiel und **Warnung** für jeden OM, keine Transistor-PA ohne Filter zu betreiben!
Nun schauen wir uns dagegen mal die "gefilterte Variante" an:



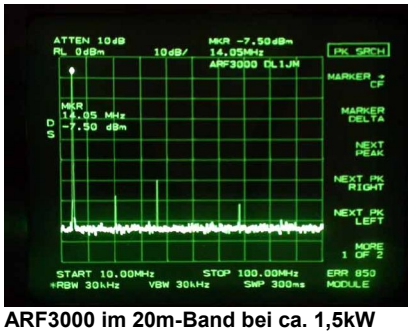
Die ARF3000 mit Filter im 40m-Band

Hier schaffen wir locker -60dB und besser. Das ist doch eine ganz andere Liga!
Die Messung bei Vollaussteuerung im 80m-Band enttäuscht mich etwas, denn die 3. Harmonische liegt nur ca. -25dB unter dem Nutzsignal und somit bei knapp 10W im 11MHz-Bereich - also völlig indiskutabel und verbesserungsbedürftig...



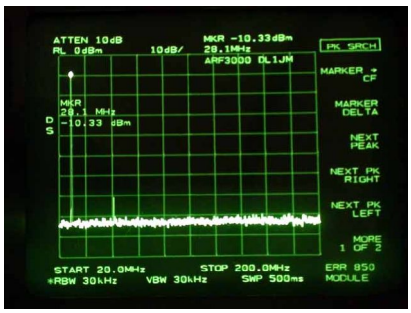
Das 80m-Filter muss besser werden

Ausserhalb des KW-Bereiches ergeben sich zwar wieder brauchbare Werte, dennoch sind Änderungen erforderlich...



ARF3000 im 20m-Band bei ca. 1,5kW

Im 20m-Band siehts dann wieder günstiger aus: Hier schaffen die Filter immerhin -55dB bei der 3. Harmonischen und über -60dB bei den übrigen Oberwellen.
Sehen wir uns nun nochmal das Filter für 15-10m an...



ARF3000 im 10m-Band und Oberwellen

Hier ist nur noch die 3. Harmonische bei -60dB messbar, ansonsten bis 200MHz absolut nix mehr! Schliesslich gehts hierbei auch um BCI und TVI ;-)

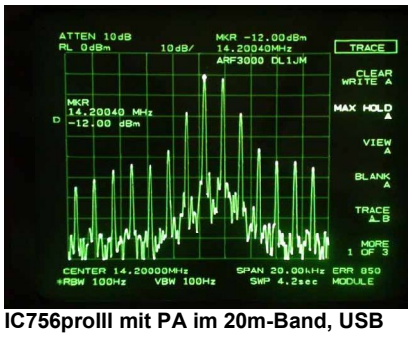
Wenn eine Dummyload "gesprengt" wird...
Mein Lastwiderstand besteht (wie in einem anderen Artikel beschrieben) aus keramischen 800W-Dickschicht Widerständen von BOURNS - eigentlich ganz robust, wie ich in der Vergangenheit feststellen konnte... aber wenn ein vergesslicher alter Mann (OM) die Anlage mit 2000W aussteuert, alles um sich rum vergisst und dann "stundenlang" an den Messgeräten spielt und auch noch mit 'ner neuen Kamera (und Bedienungsanleitung) schöne Fotos machen will... knallt es plötzlich und der Mikrokontroller meiner PA vermeldet eine Notabschaltung (SWR unendlich bei 2kW)! Was war passiert? Einer der neumodischen Keramiklastwiderstände war in Folge

von Überhitzung einfach geplatzt und aus 50-Ohm wurde mal eben unendlich - und das auch noch bei QRO!!! Damit haben wir dann auch gleich mal die Schnelligkeit des Mikrocontrollers bei einer Notabschaltung so ganz nebenbei überprüft. Ich gebe es ja zu: Es fehlte mir bislang an Courage, die Antenne zu Testzwecken im laufenden Betrieb einfach abzuziehen! Die beiden ARF1500 hatten jedenfalls überlebt und der Mikrocontroller bettelt schon wieder nach "Input", aber ohne mich! Der Nervenkitzel ist einfach zu gross!
Nach kurzer Reparatur der Dummy-Load gehts nun weiter mit den **Intermodulationsmessungen**...
Zur Erinnerung: Bei nichtlinearen Verstärkungskennlinien (hier HF-Verstärker) entstehen bei Amplitudenmodulation (AM, SSB) verschiedene unerwünschte Mischprodukte, die es nun gilt, messtechnisch zu erfassen. Bei Zweitonaussteuerung mit 2 Frequenzen (f1, f2) sind dies (u.a.): f1+f2, f1-f2, f2-f1, 2f1, 2f2, 2f1+f2, 2f1-f2, 2f2+f1, 2f2-f1,...
Letztere nennt man "**IM3**" und schenkt diesen Mischprodukten besondere Aufmerksamkeit in Folge ihres relativ hohen Amplitudenanteils nahe der Nutzfrequenz.

Ich wähle **f1=400Hz**, **f2= 1800Hz** und steuere damit (bei gleichen Pegeln) den Transceiver am Modulatoreingang so aus, bis fast die maximale Sendeleistung erreicht ist... Mein IC-756proIII (ohne die MOS-FET- PA) hinterliess dabei allerdings kein besonders gutes Bild...

IC756proIII bei Zweitonaussteuerung

Die ersten Mischprodukte lagen gerade einmal -25dB unter den beiden Tonsignalen von 400 und 1800Hz. Die übrigen Spektrallinien waren immerhin bei < -35dB noch zu verkraften. Vieleicht eine falsche Ruhestromeinstellung des Transceivers?
Da mir leider kein besserer Steuersender zur Verfügung steht, ist zu erwarten, dass die PA mein Messergebnis nicht gerade verbessern wird...



IC756proIII mit PA im 20m-Band, USB

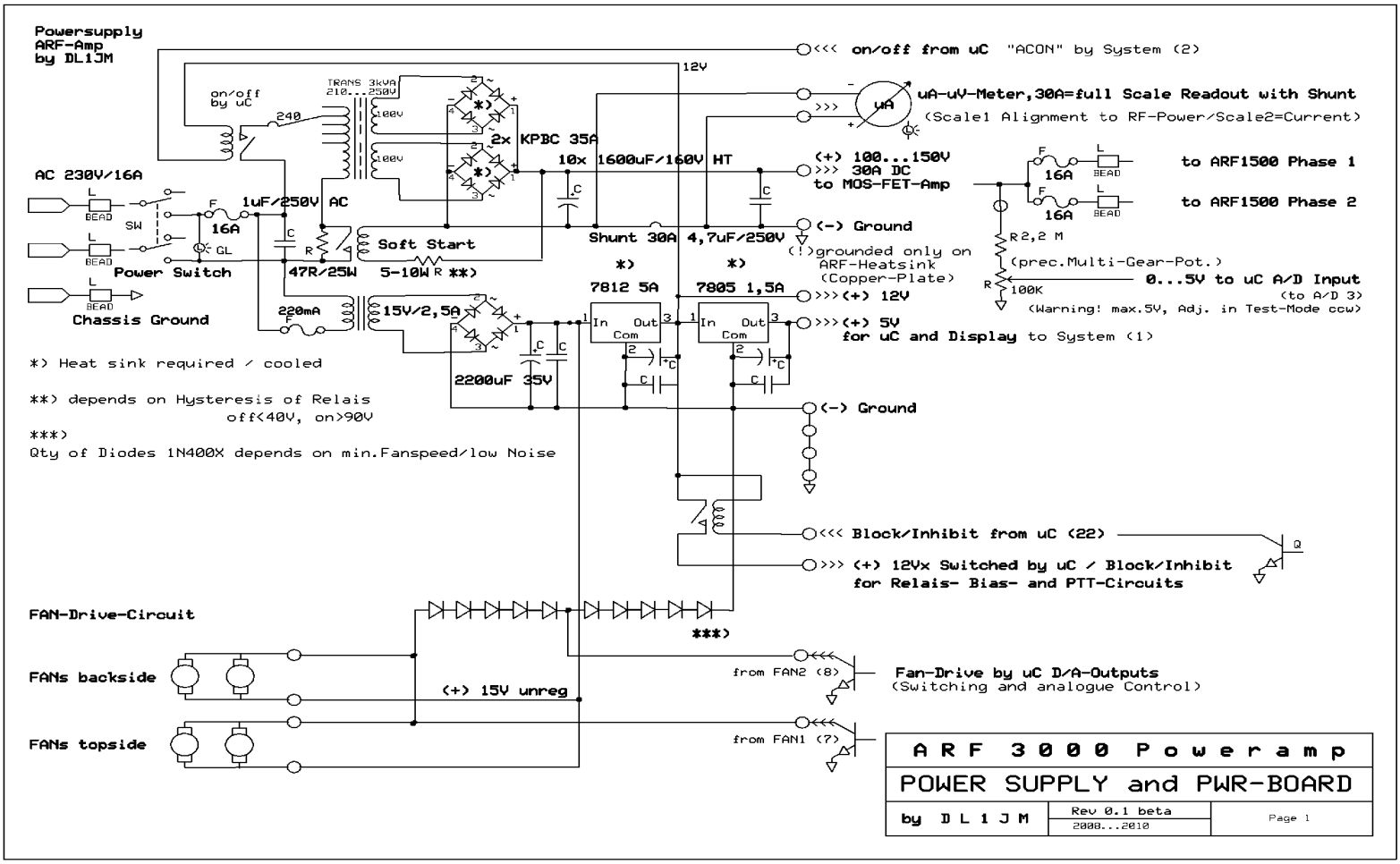
Was bereits zu erwarten war, zeigt sich auf dem Spektrumanalyser deutlich:
Die PA verstärkt das Ausgangssignal des IC756proIII gleichmässig, ohne weitere Verschlechterungen zu erzeugen. Also ein gutes Ergebnis für die ARF3000, ein Minus dagegen für den (ungeöffneten) Transceiver!
Man sollte wohl doch wieder mehr an den Geräten rumschrauben!

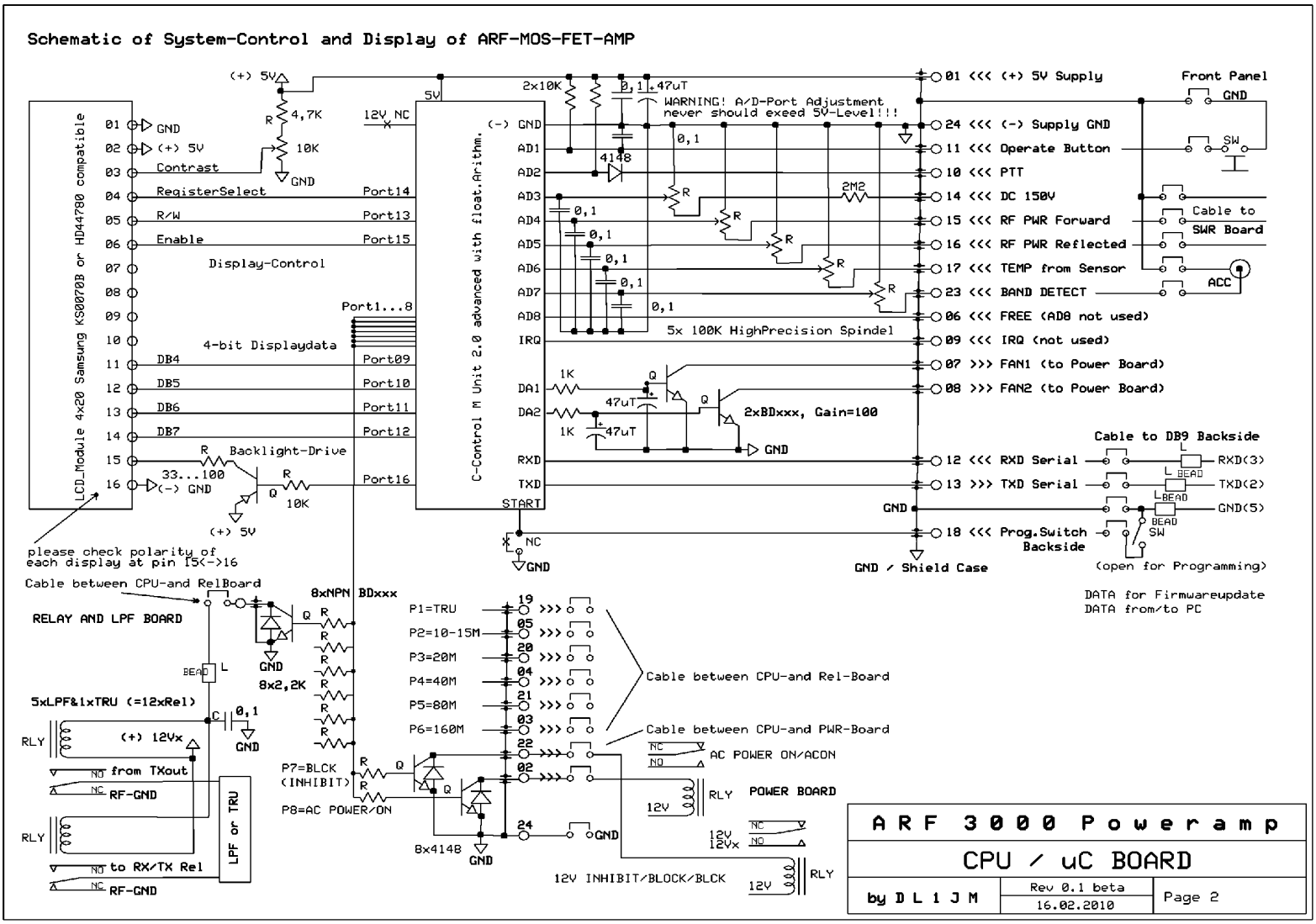
D L 1 J M

Anhang:

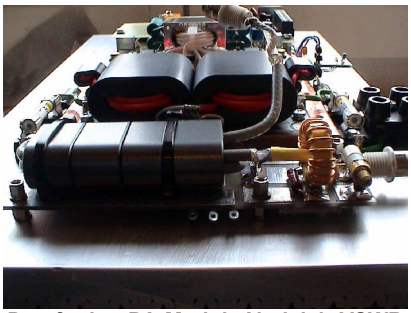
* Schaltbild des Netzteils
* Schaltbild Mikrocontroller
* Schaltbild Filtereinheit (folgt)
* Schaltbild SWR, ALC (folgt)

Anm.: Die Schaltung des HF-Verstärkers wird unter Beachtung der Urheberrechte hier nicht gezeigt und ist im Internet leicht zu finden.

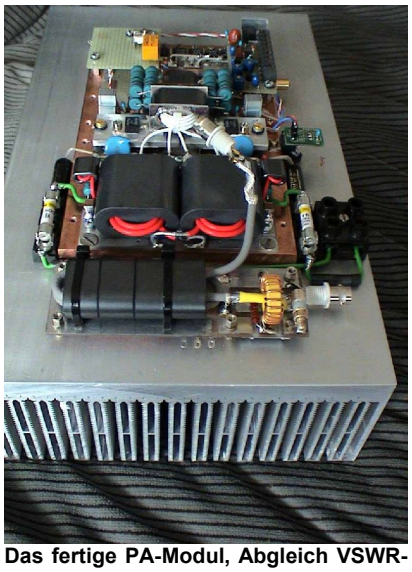

Powersupply
ARF-Amp
by DL1JM
<<< on/off from uC "ACON" by System (2)
12V
on/off by uC
TRANS 3kVA 210...250V
240
100V
2x KPBC 35A
10x 1600uF/160V HT
uA-uV-Meter,30A=full Scale Readout with Shunt
(Scale1 Alignment to RF-Power/Scale2=Current)
(+) 100...150V
>>> 30A DC
to MOS-FET-Amp
AC 230V/16A
1uF/250V AC
16A
SW
GL
Power Switch
Chassis Ground
Soft Start
47R/25W 5-10W R **)
Shunt 30A 4,7uF/250V
(-) Ground
(!)grounded only on ARF-Heatsink (Copper-Plate)
to ARF1500 Phase 1
to ARF1500 Phase 2
R 2,2 M
(prec.Multi-Gear-Pot.)
R 100K
0...5V to uC A/D Input
(to A/D 3)
(Warning! max.5V, Adj. in Test-Mode ccw)
*)
7812 5A
7805 1,5A
>>> (+) 12V
>>> (+) 5V
for uC and Display to System (1)
220mA
15V/2,5A
2200uF 35V
*) Heat sink required / cooled
**) depends on Hysteresis of Relais
off<40V, on>90V
***)
Qty of Diodes 1N400X depends on min.Fanspeed/low Noise
<<< Block/Inhibit from uC (22)
>>> (+) 12Vx Switched by uC / Block/Inhibit
for Relais- Bias- and PTT-Circuits
FAN-Drive-Circuit
***)
FANs backside
FANs topside
(+) 15V unreg
from FAN2 (8)
from FAN1 (7)
Fan-Drive by uC D/A-Outputs
(Switching and analogue Control)
ARF 3000 Poweramp
POWER SUPPLY and PWR-BOARD
by DL1JM
Rev 0.1 beta
2008...2010
Page 1


Schematic of System-Control and Display of ARF-MOS-FET-AMP
LCD_Module 4x20 Samsung KS0070B or HD44780 compatible
Contrast
RegisterSelect
R/W
Enable
Display-Control
4-bit Displaydata
DB4
DB5
DB6
DB7
Backlight-Drive
33...100
please check polarity of each display at pin 15<->16
C-Control M Unit 2.0 advanced with float.Arithm.
WARNING! A/D-Port Adjustment never should exeed 5V-Level!!!
5x 100K HighPrecision Spindel
2xBDxxx, Gain=100
01 <<< (+) 5V Supply
24 <<< (-) Supply GND
11 <<< Operate Button
10 <<< PTT
14 <<< DC 150V
15 <<< RF PWR Forward
16 <<< RF PWR Reflected
17 <<< TEMP from Sensor
23 <<< BAND DETECT
06 <<< FREE (AD8 not used)
09 <<< IRQ (not used)
07 >>> FAN1 (to Power Board)
08 >>> FAN2 (to Power Board)
12 <<< RXD Serial
13 >>> TXD Serial
18 <<< Prog.Switch Backside
(open for Programming)
GND / Shield Case
Front Panel
Cable to SWR Board
ACC
Cable to DB9 Backside
RXD(3)
TXD(2)
GND(5)
DATA for Firmwareupdate
DATA from/to PC
Cable between CPU-and RelBoard
RELAY AND LPF BOARD
8xNPN BDxxx
8x2,2K
5xLPF&1xTRU (=12xRel)
(+) 12Vx
from TXout
RF-GND
to RX/TX Rel
LPF or TRU
P1=TRU
P2=10-15M
P3=20M
P4=40M
P5=80M
P6=160M
P7=BLCK (INHIBIT)
P8=AC POWER/ON
8x4148
Cable between CPU-and Rel-Board
Cable between CPU-and PWR-Board
AC POWER ON/ACON
POWER BOARD
12V INHIBIT/BLOCK/BLCK
ARF 3000 Poweramp
CPU / uC BOARD
by DL1JM
Rev 0.1 beta
16.02.2010
Page 2

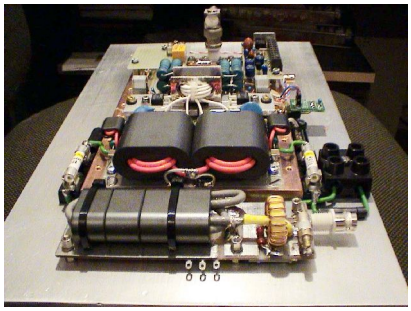
Weitere Bilder zum Projekt



Das fertige PA-Modul, Abgleich VSWR-Messgleichrichter

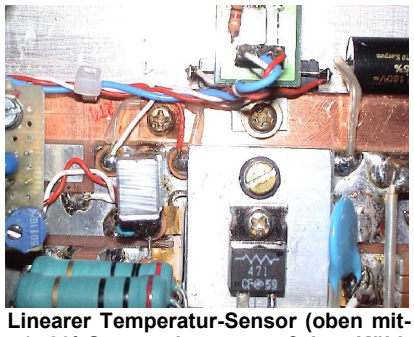


Das fertige PA-Modul, Abgleich VSWR-Messgleichrichter

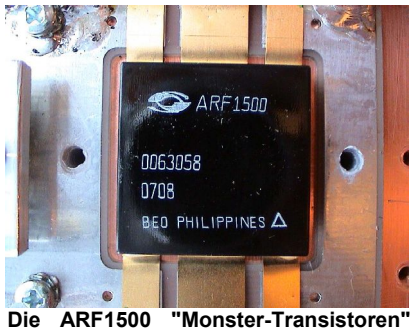


Das fertige PA-Modul, VSWR-Messgleichrichter und Balun angeschlossen

Die Ruhestromsteuerung: Ein Poti stellt die Temperaturkennline ein, die beiden anderen den Ruhestrom der MOSFET's jeweils separat. Diese Schaltung wurde mittlerweile geändert und Spindeltrimmer eingesetzt, sowie die STBY-Schaltung modifiziert.



Linearer Temperatur-Sensor (oben mitte), 80°-Sensor darunter auf dem Kühlkörper, Ruhestrom-Temperaturkompensation auf der Kupferplatte unter einer Cu-Folie.



Die ARF1500 "Monster-Transistoren" vor dem Einbau

Cats love high Frequencies...

Die Arbeiten an der PA werden vom "Chief-Engineer" stets genauestens beobachtet und kritisch überprüft !

Aktuelle Ergänzung:

Auch andere Funkamateure waren in der Zwischenzeit nicht untätig!

Hier die interessante Lösung von OM Klaus, DL6JI, der -wie man sieht- die Ausgangstransformation anders gelöst hat - ebenso weitere Schaltungsdetails...
...und das Ding funkt auch!!!

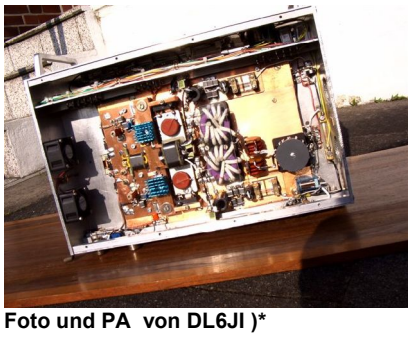


Foto und PA von DL6JI)*

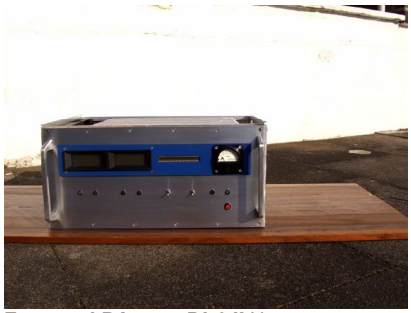


Foto und PA von DL6JI)*

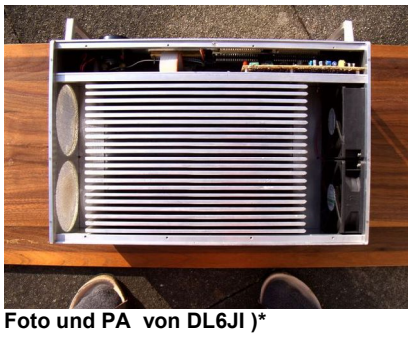


Foto und PA von DL6JI)*

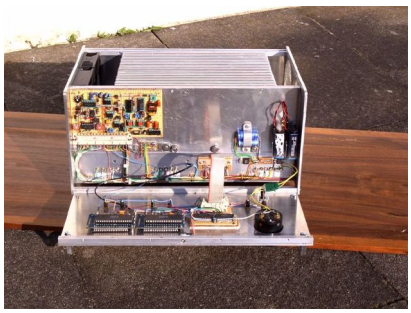


Foto und PA von DL6JI)*

*) mit freundlicher Zustimmung von DL6JI