



Das "Kastl" von DL6JI - MOS-Fet-PA mit 2x ARF1500

Liebe 15-hunderter Fans!

So fing alles an: Im Herbst 2007 stieß ich bei der Suche nach Ferritkerndaten der Fa. TOMITA auf den Klasse-Artikel bei mods-ham.com von Manfred, DL1JM über seine derzeit im Bau befindliche PA mit den inzwischen "berühmten" ARF 1500 und dazu auf die Veröffentlichung von JA1DJW und JE1BLI über ihren Prototyp einer PA (THP, HL 2.5kfx) mit 2x ARF 1500...

Schnell war ein Kontakt zu Manfred hergestellt und es folgten eine Menge meist ziemlich langer Telefongespräche und E-Mails...

Die Schaltungstechnik der Japaner ist eigentlich klassisch; das muss doch für einen Eigenbau zu packen sein!

In der Hoffnung, euch nicht zu sehr zu langweilen, werde ich über einige Bau-Einzelheiten, Versuche und Abweichungen vom Originalkonzept berichten, vielleicht sind für den einen oder anderen ein paar interessante Anregungen dabei?

Zunächst waren von einem früheren Projekt (modifizierte PA nach DL9AH) ein, wenn auch zu schwaches 100V-Netzteil und ein getrenntes Gehäuse für die Ausgangstiefpassfilter vorhanden. Fehlte also "nur" noch das Ver-

stärkerteil. Von Manfred bekam ich die Anschrift des Transistorlieferanten... Hürde Nr.1 war also genommen.

Das Konzept des dreiteiligen Aufbaus wollte ich beibehalten, da ich so größere Freiheit bei den Einzelkomponenten bekam.

Nun musste ein bisschen geforscht werden: Wie muß z.B. bei einer Verlustleistung von mindestens 1000 Watt eine Kühlfläche aussehen? Die Kombination einer 700W-Kochplatte mit einer zufällig vorhandenen Kühlfläche, einem 92er Lüfter, einer Luftleitung aus Pappe brachten wichtige Erkenntnisse über den ungefähren Aufwand mit einem Kühlprofil... Dazu kam noch ein besonders böses Verhalten meinerseits gegenüber dem armen 92er (12VDC), indem ich ihn mit bis zu 20V DC betrieb. (Erfahrung mit mehreren 12V-Lüftern: Dauerbetrieb mit bis zu 24V DC ist möglich, bringt im Notfall jede Menge Luft, allerdings auch Geräusch!)

An Hand der gewonnenen Erkenntnisse wurde schliesslich das Gehäuse geplant: Mit zwei nebeneinanderliegenden 92er Lüftern war die Breite des Kühlblocks vorgegeben: ca. 190mm, als Länge wurden 250mm angesetzt. Die Höhe der Kühlfahnen betrug 95 mm, um die Lüfterhöhe abzudecken. Frage also: woher bekommt man so etwas?

Antwort: Eigentlich nirgends! Also: Selbstbau! Das erwies sich als verhältnismäßig einfach nach folgendem Modell: Diverse Aluminiumplatten als rechteckige Glattschnitte in Kombination mit Vierkantstangenmaterial erlauben (für den Küchentisch-Schrauber) fast beliebige Gehäuseformen. So entstand zunächst der Kühlblock aus 23 Platten (4mm stark) mit den Abmessungen 250 x 110mm, zwischen denen je ein 4mm-Streifen von je 15mm Breite bei der Unter-

kante lag. Das ganze Paket wurde mit 4 Stück M6 Niro-Gewindestangen zusammengepresst und dabei auch noch mit Rück- und Zwischenwand verbunden.



Der selbstgebaute Kühlkörper im Gehäuse der PA

Zum Glück fand sich auch noch ein OM mit Fräsmöglichkeit, so dass der ganze Block unten, wo später ja die Kupferplatte hinwollte, schön glatt war. Zusätzlich habe ich diese Fläche noch tuschiert und geschabt, um restliche Unebenheiten zu beseitigen. Zwischen der Ausgangsebene des Lüfters auf der Lufteintrittsseite blieb noch eine Vorkammer von 40mm (Tipp von Manfred, DL1JM).

Die beiden Stirnseiten bestehen ebenfalls aus 4mm-Material, doch da gibt es noch ein Problem: Wie bekommt man da erstens ein schönes Loch hinein und zweitens noch eine ansehnliche Abdeckung drauf?

Vorschlag vom "Bastelopa": Sägen !!! (Nicht lachen!) Man nehme also eine Laubsäge (Wiederum: Nicht lachen), dazu einen kleinen Vorrat an nicht zu dünnen Sägeblättern, Spiritus zur Schmierung, evtl. 2 Flaschen Bier, eine mäßige Menge Geduld und beginne dann "gemütlich" zu sägen. (Nicht ohne vorher an den Rand des vorgezeichneten Kreises ein kleines Loch gebohrt zu haben!)

Nach maximal 25 Minuten fällt die erste herausgesägte Scheibe zur großen Freude des Bastelfreundes heraus. (Wir reden hier nicht von den

Freaks mit der tollen Kreisschneideeinrichtung, sondern wie man es auch am Küchentisch machen kann!)

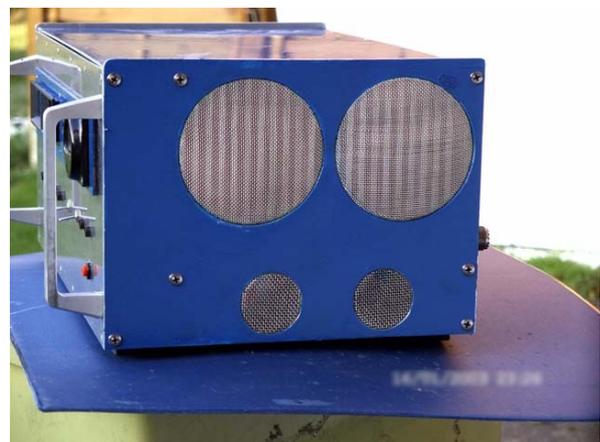
Aber... es geht ja noch weiter: Zunächst wird dann die Innenfläche der Bohrung nachgearbeitet, ebenso die Außenkante des herausgesägten Stücks.

Danach folgt eine Phase des Außeneinsatzes, entweder durch den OM oder die XYL: Man begeben sich in die Küchenabteilung des nächstgelegenen Supermarktes um dort ein Draht-Küchensieb zu erstehen.

Nach angemessener Bezahlung des preiswerten, neuen KW-Bauelements kann man dann zu Hause ohne Furcht vor Weiterungen Griff und Drahring des Siebes demontieren: Es bleibt ein schönes Drahtgitter übrig!

Ab jetzt geht auch alles ganz schnell: Ein Drahtgitterstück - mit ca. 15mm Übermaß zur Lüftungsöffnung zurecht geschnitten - wird über die Öffnung gelegt, darauf die herausgesägte Platte - und diese dann mit Hammer und Holzklötzchen in die Öffnung getrieben, bis das Drahtgitter mit der Außenfläche bündig ist!

Nach vorsichtiger Entfernung der Innenplatte wird das Drahtgitter ringsum mit Sekundenkleber oder UHU-Endfest 300 bestrichen und kommt für eine Stunde in Mutters Backofen bei ca. 100 Grad...



Küchensiebe werden als Lüfterabdeckgitter verwendet

Nach dem Aushärten des Klebers werden die überstehenden Reste des Drahtgitters mit einem Seitenschneider ohne Wate abgeschnitten, fertig! (Man kann natürlich auch ein fertiges Lüfterabdeckgitter für 39 Cent benutzen, aber das fand ich zu einfach). Da jetzt das Gehäuse im Groben steht kann man sich getrost der kupfernen Wärmeverteilungsplatte (bei mir: 195x250x11mm) zuwenden: Voller Vorfreude auf die vielen Bohrungen, besonders wenn auch noch Gewinde rein soll!

Wie es mir am Anfang auch erging, bereitet die Beschaffung der Ferritkerne hier in DL Schwierigkeiten. (Konnte allerdings durch eine unerwartete Musterlieferung behoben werden.) Hier aber ein paar Vorschläge für diejenigen OMs die nicht so einfach an die Originalkerne herankommen können...

Ich habe verschiedene Ausführungen von 1:4 Guanella-Ausgangstrafos selber gebaut, vorher auf SWR vermessen und dann die meisten auch in der PA "echt" erprobt. Das erfreuliche Fazit: man kann sich mit den am hiesigen Markt erhältlichen Ringkernen durchaus sehr gut behelfen! Auch der Wellenwiderstand der verwendeten Leitungen erwies sich als relativ unkritisch. So habe ich beispielsweise ein selbsthergestelltes 19 Ohm-Koaxkabel sowohl mit dem TOMITA-Kern als auch auf zwei Valvo-Ringkernen (Material: 4C6 mit den Abmessungen 36x27x15mm) verwendet, ohne signifikanten Unterschied in der resultierenden Ausgangsleistung. Auch mit einem selbstgefertigten 25 Ohm Kabel auf zwei Valvo-Kernen ergaben sich die gleichen Werte. Nachdem nun seit ein paar Monaten bei Kabel Kusch (sehr nette Leute!) 25 Ohm-Koax (tatsächlich 22 Ohm) direkt erhältlich ist, erübrigen sich allerdings Klimages mit Selbstbaukabel. Für die An-

fertigung des Ausgangs-Trafos sollte das 61er Material von Amidon gut brauchbar sein, da es die gleiche Anfangspermeabilität wie der Valvo-Kern hat (=125). Die HF-Trafos mit zwei Ringkernen sind alle mit der Wickeltechnik nach W1JR gewickelt, so hat man eine gute Trennung zwischen Ein- und Ausgang. Auch 43er Kernmaterial dürfte ggf. noch brauchbar sein (Mü-A-850)...



Guanella statt Tomita zur Ausgangstransformation

Die Abbildung zeigt eine Variante des Ausgangstrafos mit zwei 50 Ohm-Kabeln parallel und einer für 1,8MHz noch gut ausreichenden Minimalwindungszahl (geht natürlich auch mit richtigem 25 Ohm-Kabel).

Die beiden anderen Trafos lassen sich zur Not relativ leicht mit aneinandergereihten Ringkernen realisieren.

Ein weiteres lästiges Kapitel bei der Materialbeschaffung waren die speziellen Koppelkondensatoren...

Also musste wieder ein bisschen geforscht werden. Grundsätzlich erschienen mir die MKT-Kondensatoren von Siemens für fast alle Einsatzfälle gut geeignet, da sie - der Konstruktion nach - dem idealen Plattenkondensator gleichen.

Zunächst interessierte das Verhalten der C's über den gesamten KW-Bereich: Gibt es Eigenresonanzen, oberhalb derer sich der Kondensator wie eine Induktivität verhält?

Entwarnung: Bis 170 MHz ein „echter“ Kondensator! Da ich bei den höheren Kapazitätswerten vorwiegend über 100V-Typen verfüge, wurde also anschliessend die Spannungsfestigkeit untersucht: DUT (=Device Under Test) mit einem Bein an variabler Gleichspannung und mit dem anderen über 47 Ohm an Masse: Bei Erhöhung der Gleichspannung bis zum Durchschlag würde am 47 Ohm ein Spannungsimpuls entstehen, der gut mit dem Scope zu beobachten wäre. - Aber bis 300V DC gab es keinen Durchschlag, also Betrieb mit ca. 100V noch OK (und bisher auch kein Problem).

So konnten diese vorhandenen C's noch gut für alle Entkopplungspunkte benutzt werden. Wie aber sieht es bei Verwendung als Koppelkondensator aus? Versuch : 100W aus Transceiver werden über 0,1uF/100V auf 50 Ohm-Last gegeben: Keine Erwärmung festzustellen, deutet auf niedrigen ESR. Weiterer Versuch: DUT wird in niederohmigen Serienresonanzkreis eingefügt: Keine messbare Erhöhung des Serienwiderstands. Mit dieser Art von Kondensatoren müsste also die Übertragung von 1,5kW noch problemlos möglich sein!? Ich habe mich aber noch nicht getraut (hi) !

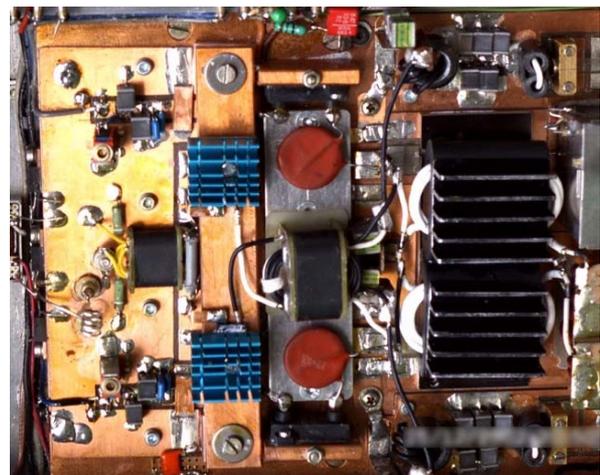


Das Innenleben meiner ARF1500-PA

Im Zusammenhang mit den Kondensatoren kam die Frage auf, wie die Drains der 1500er an den Ausgangsrafo koppeln? Meine Lösung: Da keine der schwer-beschaffbaren ATC-

HV-Chips zu bekommen waren, einfach auch keine zu verwenden, sondern die Primärseite des Trafos *direkt* anschließen und die DC- Abtrennung auf die Sekundärseite zu verlegen! Hier fließt bei 50 Ohm auch nur ein Viertel des Stroms im Vergleich zur Primärseite - also können auch Kondensatoren mit einem Viertel der Kapazität auf der anderen Seite verwendet werden! OK?

Inzwischen ist bereits so allerlei auf der Kupferplatte aufgebaut... Einiges auch ein bißchen "abweichlerich": Bei mir wurden die Leiterplatten, die z.B. die Bauelemente der Ansteuerseite enthalten, *nicht* alleine für die Führung der dicken Drainströme verwendet! Ich fand, dass es kaum eine bessere Massefläche geben kann, als meine schöne teure Kupferplatte! - So habe ich die Source-Anschlußbahnen also mit entsprechenden Kupferstreifen direkt mit dieser verbunden (geschraubt). Natürlich sind die Masseflächen der Leiterplatten dann noch vielfältig mit eben der gleichen Grundplatte auch verbunden!



Gegenkopplung in der Mitte, rechts die Tomita-Trafos

Eine weitere Einzelheit beim Original wollte mir nicht einleuchten: Dass die Druckplatten über den 1500ern isoliert werden müssen? Vielleicht wegen der darauf befindlichen Gegenkopplungswiderstände?

Bei mir wurden sowohl die 470 Ohm-Widerstände als auch die 5 Ohm Gegenkopplungswiderstände durch Dickfilm-Typen realisiert...



Gegenkopplung je Transistor, Dickfilmwiderstand plus C

Die Bildchen zeigen die Befestigung eines 470-Ohm-Widerstandes an einem senkrechten Kupferstück sowie zweier 4,7 Ohm Widerstände auf einer querliegenden Kupferbrücke aus 6mm dickem Material.

(Die beiden kleinen Kühlflächen auf den 4,7 Ohms und auch auf dem Ausgangstrafo gehören vielleicht in das Gebiet der "Spielerei" - und der Bereich unter der Kupfer-Platte wird noch ergänzend von zwei kleinen 40er Lüftern gekühlt... Zumindest kann so etwas auch nicht schaden!)

Damit all die schönen Teilchen mit einander spielen, bedarf es noch einer zeitlichen Steuerung der Vorgänge beim Ein- und Abschalten...

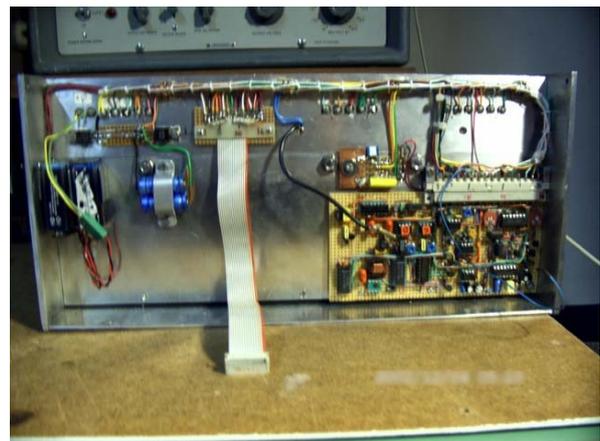
Da ich ein "Hardware-Opa" bin, habe ich auch eine Lösung aus meiner Zeit benutzt: Für mich hatte es einfach den Vorteil einer guten zeitlichen Übersicht und Kontrolle mit einem Scope... Deshalb will ich euch - im Zeitalter von Software - auch nicht mit weiteren Einzelheiten langweilen ...

(wenn sich trotzdem jemand für die "Opa-Schaltung" interessiert, bitte einfach anfragen!)

Hier noch zwei Einzelheiten: Beim Einschalten des Verstärkers über PTT kommt die Ansteuerung aus dem Transceiver zeitlich früher, als die Ein- und Ausgangsrelais jeweils schalten können - Das Gleiche gilt auch im Störfall:

Die Ansteuerung steht an, obwohl die Relais noch nicht auf Umleitung geschaltet haben!

Ich habe dieses Problem etwas entschärft, indem ich beim Ein- und Abschalten mittels schneller, übererregter Reed-Relais (0,1mS) parallel zur Ansteuerung noch einen 50 Ohm Lastwiderstand gegen Masse schalte, sowie einen Kurzschluß hinter dem 3dB Dämpfungsglied aktiviere. Das geschieht auch im Störfall.



Die konventionelle Steuerschaltung auf Rasterplatine



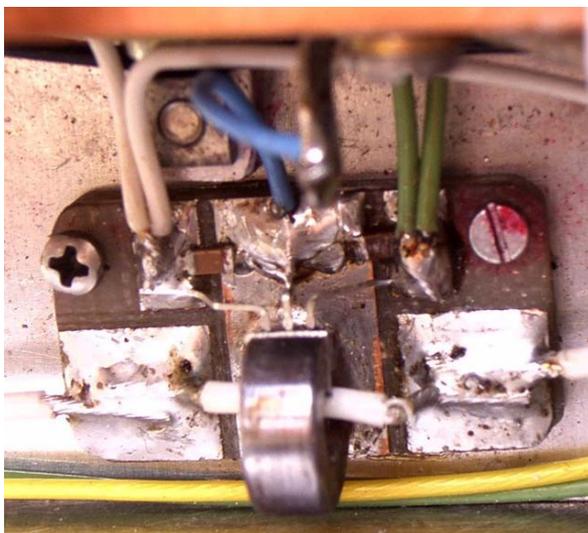
Der Eigenbau-SWR-Sensor

À propos Störfall: Ein bisschen Überwachung ist natürlich trotzdem nötig. Ich habe mich daher für eine Minimalversion mit folgendem zeitlichen Ablauf entschieden:
Überstrom - SWR>3 - Übertemperatur.

Vielleicht interessiert euch der spezielle Überstromsensor, den ich für absolut wichtig halte?

Ich stieß eines Tages auf den Hall-Sensor TLE4905L von Siemens (bei Reichelt für 0.60€ zu beschaffen).

Vorversuche mit einer M6-Mutter, die einen seitlichen Schlitz zur Aufnahme des Sensors erhielt, um den hinteren Schenkel eine Windung dicker Draht, Strom durch und sogleich Erfolg! Bei ca. 13A schaltete der Sensor durch. Die Eigenschaften des Sensors sind für eine potentialfreie Überwachung der Drainströme bestens geeignet, da man die Ausgänge der beiden Sensoren parallel auf einen Lastwiderstand zur Auswertung schalten kann. Die Empfindlichkeit der Sensoren kann man beispielsweise durch Verändern des Luftspalts und auch durch Verschieben des Sensors im Luftspalt leicht anpassen. In der Abbildung (unten) kann man solch ein Ding bewundern...



Überstromsensor TLE4905L in einer M6-Mutter

Daß mir die angegebene Stabilisierung der Gate- Vorspannung nicht recht gefallen wollte, wird euch sicher nicht verwundern...

Ich habe stattdessen einen 723er benutzt, der von jener Ablaufsteuerung mit einer slow- Attack- fast- Decay-

Charakteristik geschaltet wird. Für die Anpassung der Gate-Vorspannung an unterschiedliche Temperaturen sorgt schliesslich noch ein NTC-Widerstand im Referenzspannungskreis des 723ers.

Die Drehzahlsteuerung der Lüfter wurde vom Temperatursensor LM35 abgeleitet (der natürlich in erster Linie das Digitalthermometer versorgt). Die Drehzahl wird proportional zur Temperatur verändert und passt sich dann stufenlos der Temperatur an: Bei Raumtemperatur liegen an den Lüftern ca. 6V DC an - also ein "gemütliches Säuseln"... wird's wärmer, kommt auch mehr Luft, bis 20V DC max.

Nun sollte es eigentlich soweit sein, dass man endlich mal Power machen kann!

Ansteuerung ... ganz sachte! - Es kommt was raus!! (Diverse negative Erfahrungen und eher unlustige Erlebnisse passieren euch natürlich nicht!?)

Also "ma ährlich", am Anfang fand ich das Dingens ein bißchen „zickig“: An der Dummy soweit OK, aber bei Anschluß der Antenne ein völlig verrücktes SWR bei relativ geringem Drainstrom! Auch zeigte sich manchmal eine Vorliebe für eigenmächtige Schwingungen. Meine Reaktion in Folge: Unmut, Unfreude - aber auch Nachdenken...

Zum Beispiel: Wer sagt eigentlich, dass die Gegenkopplung wirklich eine solche ist???

Fazit: Anschlüsse umpolen! Freude und endlich "Ruhe im Karton"! Eine zusätzliche Maßnahme (Tip von OM Hilberling beim PT8000) brachte das „Kastl“ (Familienbezeichnung bei DL6JI) derartig zur Ruhe, dass ich Ein- und Ausgang bei voller Betriebs-

spannung offen lassen konnte: Vor jedes Gate wird ein Widerstand mit 0,2 bis 0,5 Ohm gelegt (hier 0,5 Ohm)... So etwas wirkt natürlich bei 28 MHz als schwacher Tiefpass, so dass die Ansteuerungsleistung nur noch für 600W Pout reicht... (Ist mir schliesslich aber egal, denn bis mal wieder auf 10m was geht (Sonnenflecken) dauert es wohl noch ein Weilchen!

Aber jetzt kommt dann doch noch der (ganz leise) Knaller! Fragt mich bitte nicht, wie es dazu kam - aber es kam! Plötzlich ging meine Stromversorgung in die Begrenzung, buchstäblich gingen auch ein paar Lämpchen aus... Erschauern!

Später Ursachenforschung - aber leider zwecklos und dann die ernüchternde Feststellung: Zum "Glück" war "nur" einer der beiden 1500er gestorben! Tage tiefer Depression waren die Folge...

Doch brachten schliesslich Verhandlungen mit meiner lieben XYL in Richtung einer Ersatzbeschaffung wieder Licht ins Dunkel!

Dem lieben Verstorbenen habe ich übrigens ein würdiges Mausoleum in Form eines schwarzen Bilderrahmens errichtet, der jetzt die Wand in meinem Shack ziert...



Würdigung eines verschiedenen ARF1500

Es folgte die Phase der Unsicherheit: Mit zitterigen Fingern der Einbau eines neuen 1500ers und zunächst auch nur Versuche mit halber Betriebsspannung - dann später wieder mehr. Aber Alles bleibt OK!!!

Ein Gedanke rührte sich in mir: Wie wäre es, wenn beim Auftreten einer Störung die Betriebsspannung schnell weggeschaltet würde??

Womit? Ein Relais kommt dafür natürlich nicht in Frage...

Die Minusleitung sollte dabei unangeastet bleiben, also evtl. mit P-Kanal-FETs??? Das Angebot in diesem Bereich ist eher dürftig, aber bei Reichelt fand sich dann doch mit dem IRF 9640 ein "aussichtsreicher" Kandidat (200V /11A). Damit tat sich dann wieder ein reichhaltiges Forschungsfeld auf !

Leider kann aber auch eine solche Schaltung keine Fehlfunktionen vorhersehen, aber wenn sie schnell reagiert, würde u. U. doch Schlimmeres verhütet werden...

Erste Versuche: Abschaltung einer Last bei Niederspannung bei 5A, Gate durch Optokoppler abgeschaltet. Ein Transistor ist OK. Der gleiche Versuch nun bei 100V - auch OK.

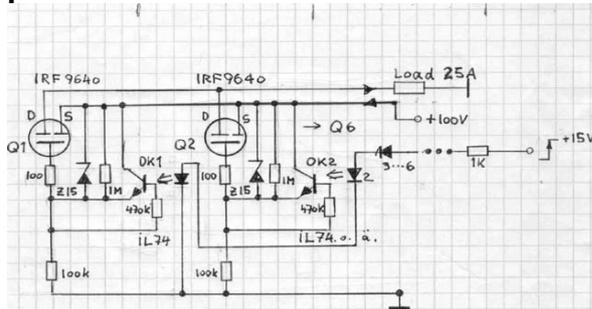
Jetzt sollte der Versuch schliesslich noch mit 6 parallelgeschalteten Transistoren und einer Last von ca. 25A folgen!

Also gesucht wird: Ein "kleiner" Lastwiderstand, der bei 100V ca. 2,5 kW aufnimmt! - Der endlich realisierte Versuchsaufbau nahm auf dem Fußboden etwa die Fläche von einem Quadratmeter ein!

2 Kochplatten, Bügeleisen, 2 Dummyloads, ein Toaster usw, usw...

Der Versuchsverlauf war dann allerdings völlig unspektakulär: Das Abschalten der Fets mit je einem Opto-

koppler, deren Erregerdioden in Reihe geschaltet sind, klappte absolut problemlos!



Abschaltung für hohe Ströme und Spannungen

Eine wichtige Kleinigkeit aber noch: Ein Widerstand vor den Gates! Jetzt mußte allerdings noch ein Test folgen, der die realen Verhältnisse im Zusammenhang mit den Innereien der PA zeigen sollte und ob evtl. durch die Induktivitäten von Speisedrossel und Ausgangstrafo dann beim Abschalten doch gefährliche Überspannungen entstehen würden...

Also: Drains abtrennen, Lastwiderstand auf zwei Zweige auftrennen und Abschalten. - Das erfreuliche Ergebnis zeigte auch keine gefährlichen Überspannungen. Aufatmen!

So reifte der Entschluß zu einem "Brutal-Versuch" mit einer Abschaltung bei 1kW Ausgangsleistung und anstehender Steuerleistung vom Transceiver!! Schutzhelm aufsetzen, splittersichere Brille, Feuerlöscher Schluß!!! Nix passiert - aber doch grosse Freude über den Erfolg!



Rückwand der MOS-FET-PA

Da im Inneren des Gehäuses wenig Platz blieb, wurde der kleine Schaltblock dieser Sicherheitsschaltung mit allen zugehörigen Bauelementen kurzerhand an der Rückwand angebracht.

Seitdem haben die Überstromsensoren bereits mehrfach ausgelöst. - Wiederum irgendwie auch ein beruhigendes Gefühl!

Auf der nachfolgenden Seite sind noch einige Oszillogramme und Messwerte aufgeführt ...

Liebe 1500er Fans, falls noch jemand Fragen an den "HW-Opa" hat, stehe ich gerne zur Verfügung!

p.s:

Eigentlich braucht man solch ein „Kastl“ gar nicht, aber für mich war es doch eine Herausforderung noch einmal so ein (Mehr-) Wochenendprojekt im Ruhestand zu verwirklichen.

Viel Spaß beim Nachdenken, Bauen und späteren Betrieb des „Big Guns“!

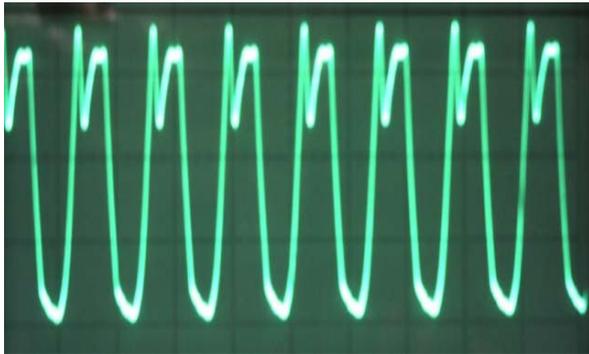
Vy73 !!

Klaus Pade, DL6JI

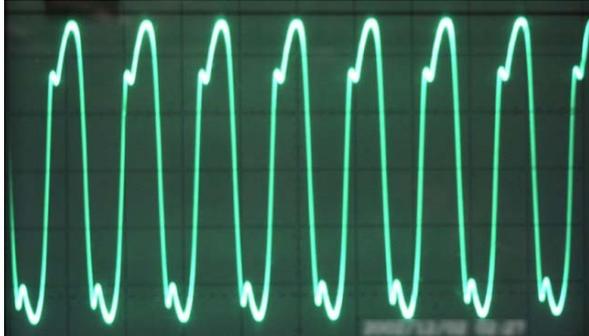
mein Rufz. (at) t-online.de

Tel.: 02452 62303

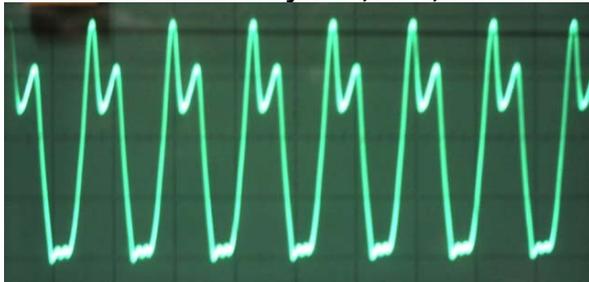
Anhang



Kurvenform der Drains, 80m, 1kW



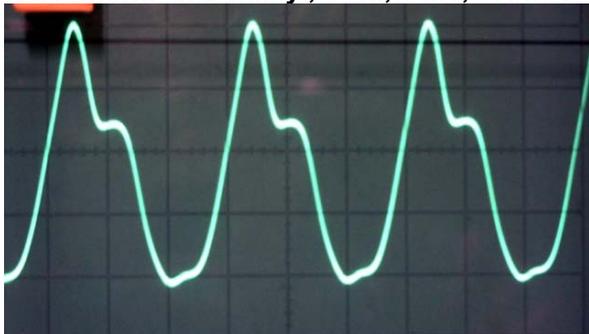
Kurvenform an Dummy 80m, 1 kW, o. Filter



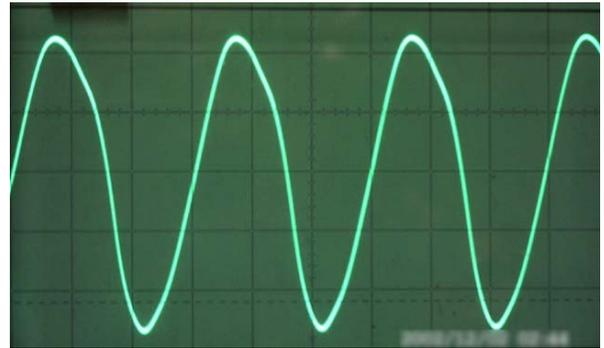
Kurvenform der Drains, 40m, 1kW



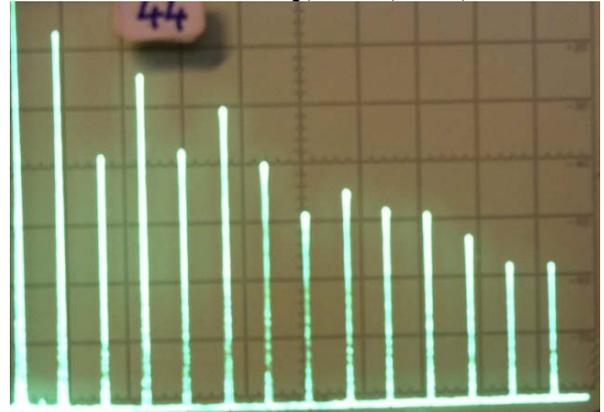
Kurvenform an Dummy , 40 m, 1 kW, o. Filter



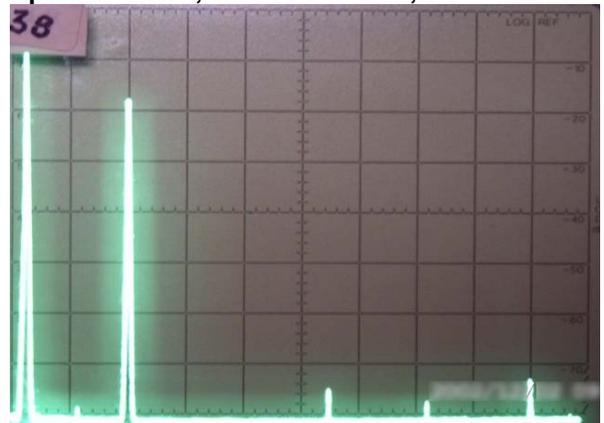
Kurvenform an den Drains, 20m, 1kW



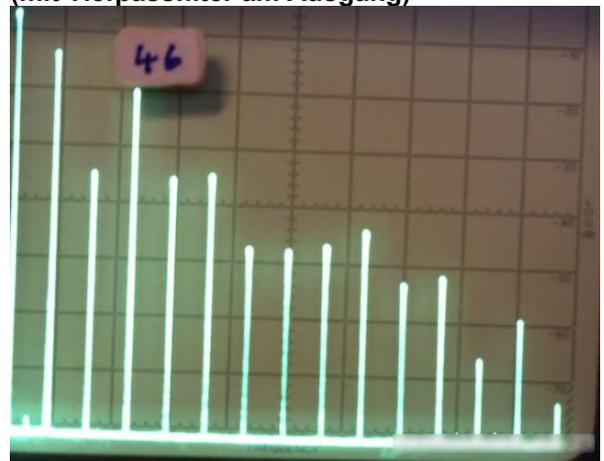
Kurvenform an Dummy, 20 m , 1 kW, o. Filter



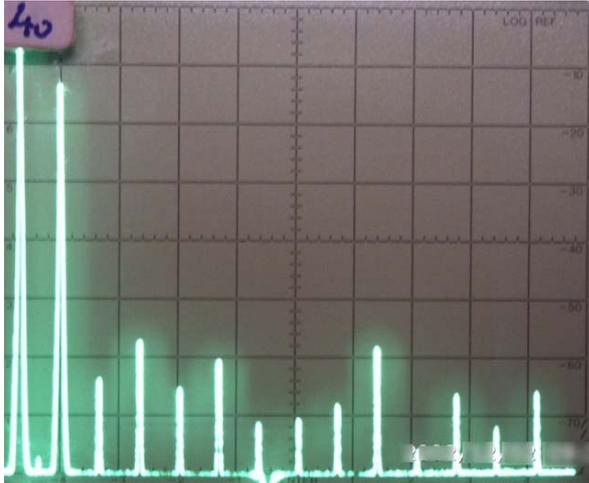
Spektrum 80m, ohne Filter 1kW, 0.5MHz/div



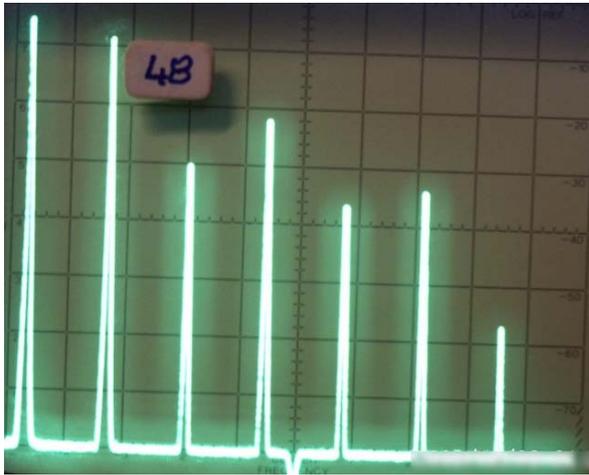
Spektrum 80m , 1 kW , 2MHz bzw. 10dBm/div (mit Tiefpassfilter am Ausgang)



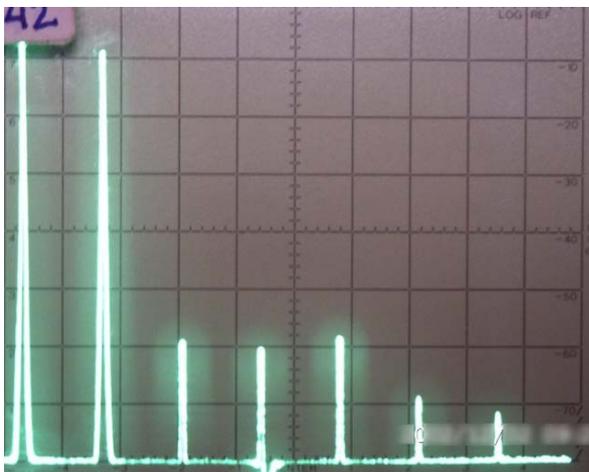
Spektrum 40 m ,ohne Filter , 1 kW, 1MHz/div



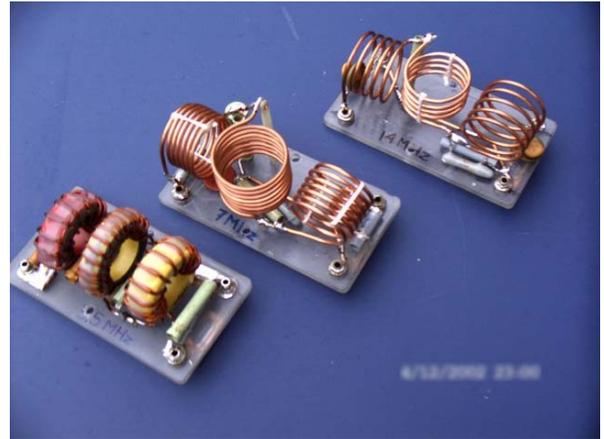
Spektrum 40m, 1kW, 10MHz bzw 10dBm/div
(mit Ausgangstiefpassfilter, nicht optimal,
aber noch gerade ausreichend)



Spektrum 20m, o. Filter, 1kW, 1MHz/div
(Bemerkenswert ist die berausende Vielfalt
der Oberwellen, obwohl die Kurvenform an
der Dummy-Load mit Scope doch gar nicht
„soo schlecht“ aussieht! Mit Filter wird es
dann schon ein bisschen besser...



Spektrum 20m, 1kW, 10MHz bzw. 10dBm/div
(mit Ausgangstiefpassfilter)



Steckbare Tiefpassfilter