

1kW LDMOS Power Amplifier

Autor: Kurt Moraw, DJ0ABR

Bezugsquelle: www.helitron.de

Overview:

All information, schematics, BOM and other documents can be downloaded from www.dj0abr.de Chapter „SW LDMOS PA“.

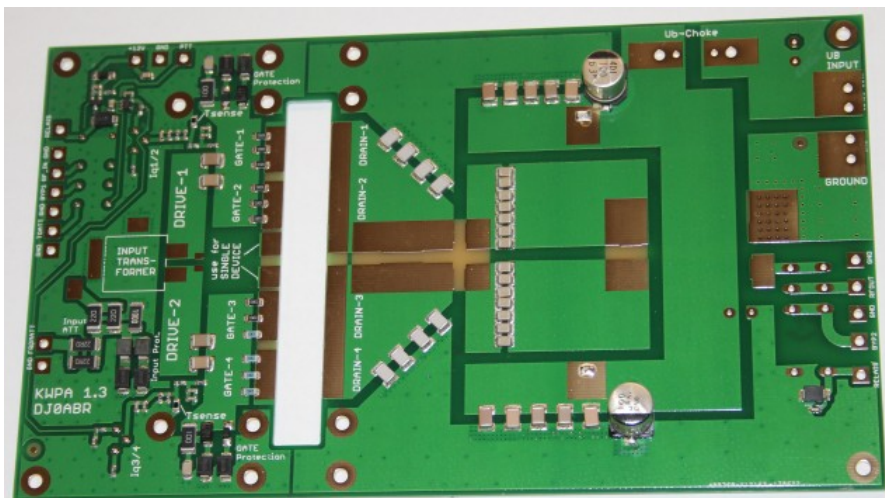
Schematics as well as the PCB are divided in two parts, the input circuit and the output circuit. The PCB is manufactured as a single board. After soldering of the SMD parts it is divided into two parts.

You can also download this document with color pictures which is easier to read than the black and white print.

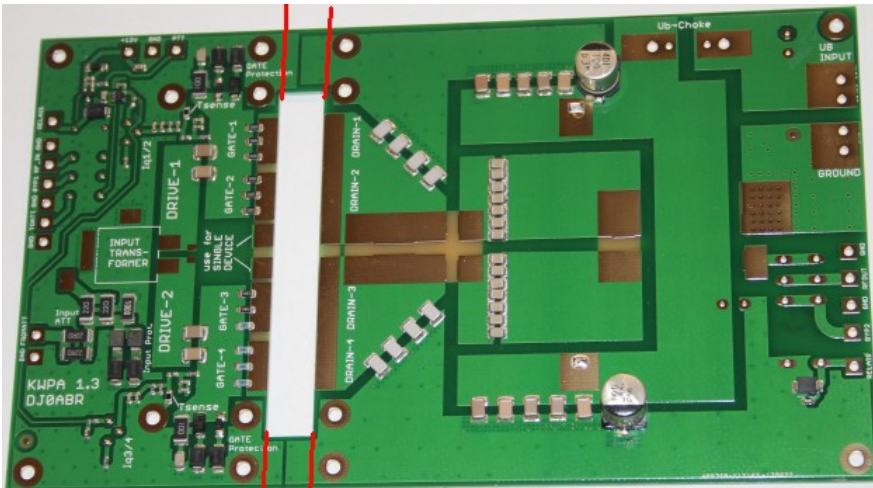
Many videos about this amplifier are available at youtube: follow the video link in chapter “SW LDMOS PA” on www.dj0abr.de folgen. The video showing the assembly of the board is: „2x BLF188XR Amp with WATERCOOLING (Part-2)“ .

SMD assembly:

if you ordered a PCB without SMD parts then first solder all SMD parts to the PCB. This picture shows the SMD assembled board:



Now we separate the input and output parts. The red lines show where to cut the PCB (4 cuts).



Assembly is made in this order:

1. Planing of the heat spreader by the help of the empty PCB and the drawing at the end of this document.
2. Assembly of all through hole parts (not the ferrite cores !)
3. Manufacturing of the copper heat spreader
4. solder the LDMOS Transistors (or two of them) to the heat spreader
5. mount the PCB to the heat spreader
6. manufacture the ferrite cores and solder it to the board
7. wiring and testing the board

Assembly of through hole parts:

assemble (see BOM):

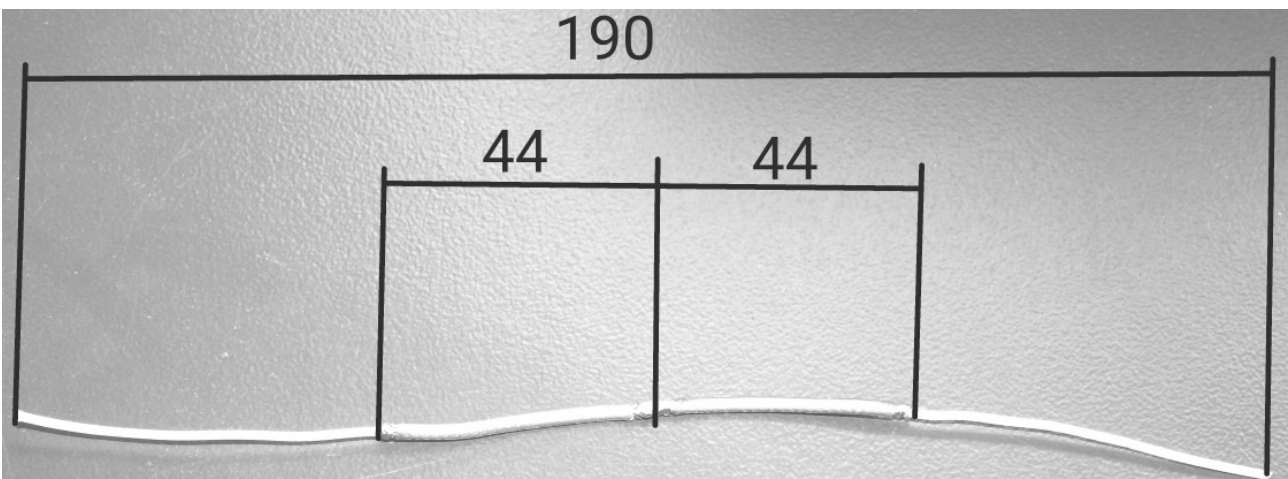
2 Relais, two trimmers 250 Ohm, two 470uF/63V electr.Caps

Input ferrite core:

it is a 4:1 transformer. These pictures show how it is made and how to solder it to the board:

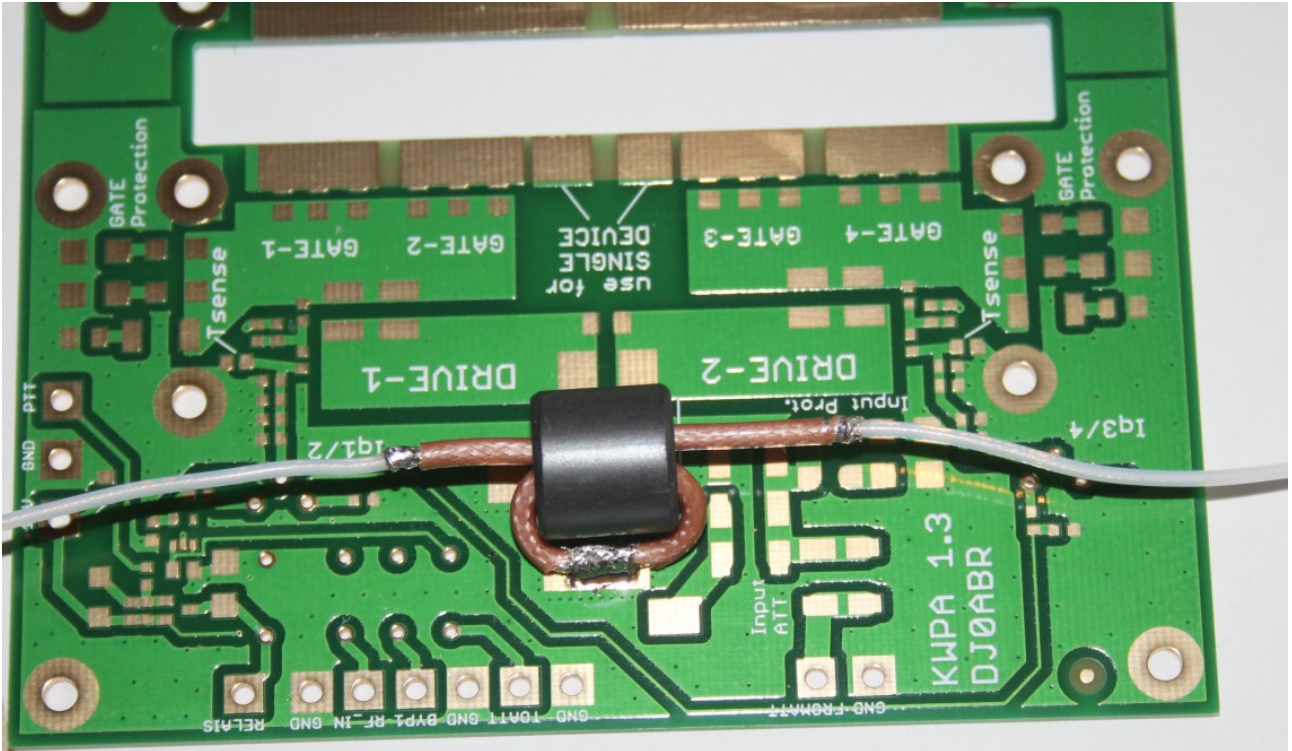
a piece of RG-316 coaxial cable it wound to the Laird 28B0562-100.

Prepare the coaxial cable (in mm):

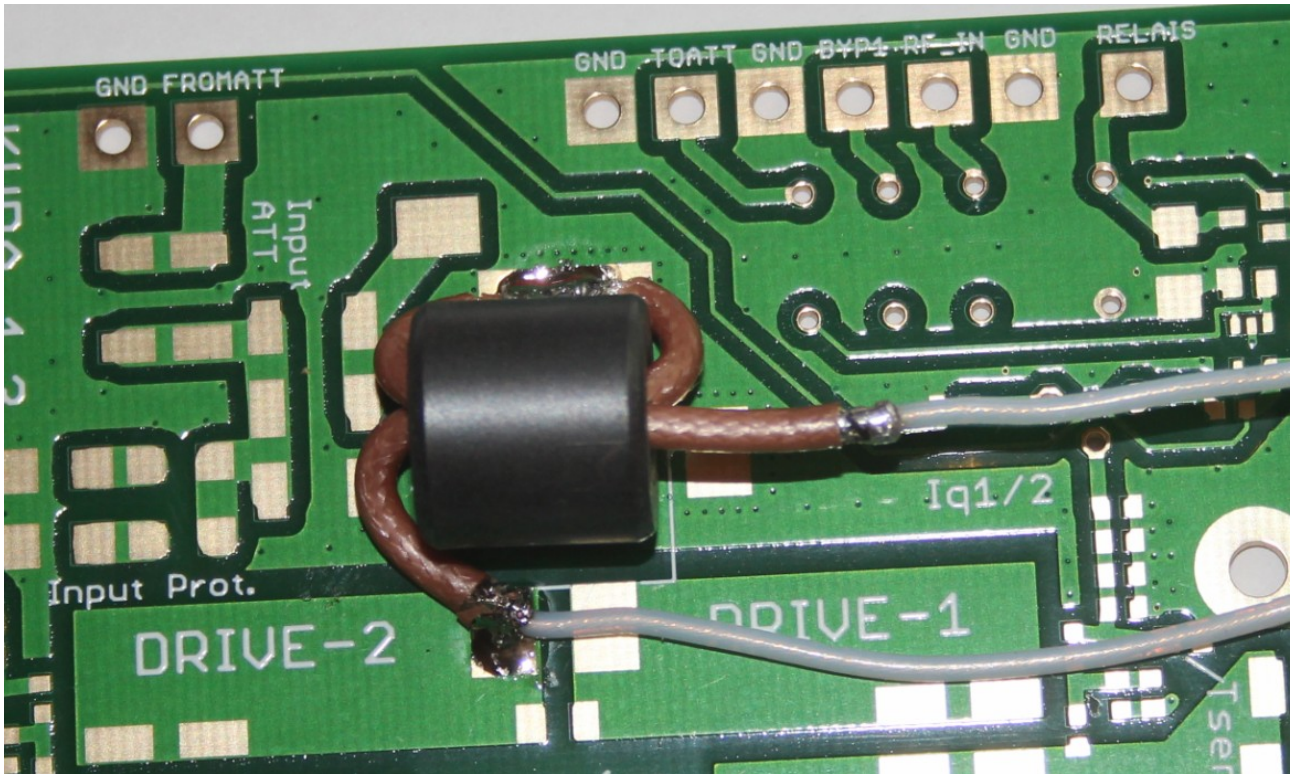


- * take a piece of RG-316, total length 190mm
- * remove 5mm of the coating exactly in the middle, leave the shield intact and tin the shield
- * remove coating and shield 44mm at the left and right as shown in the picture
- * remove 3mm of the coating of the 44mm parts and tin the shield.

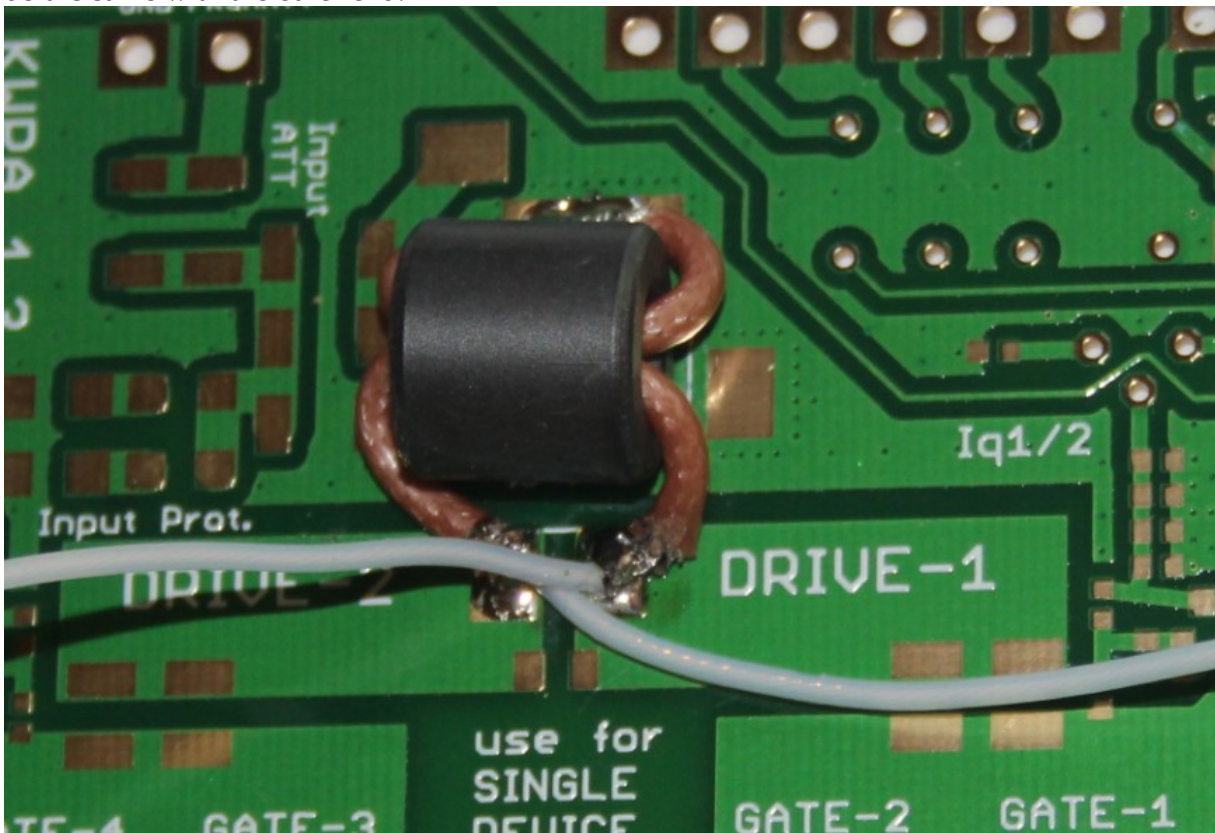
Now wrap the cable through the core as shown here. Solder the tinned shield in the middle of the cable to the board:



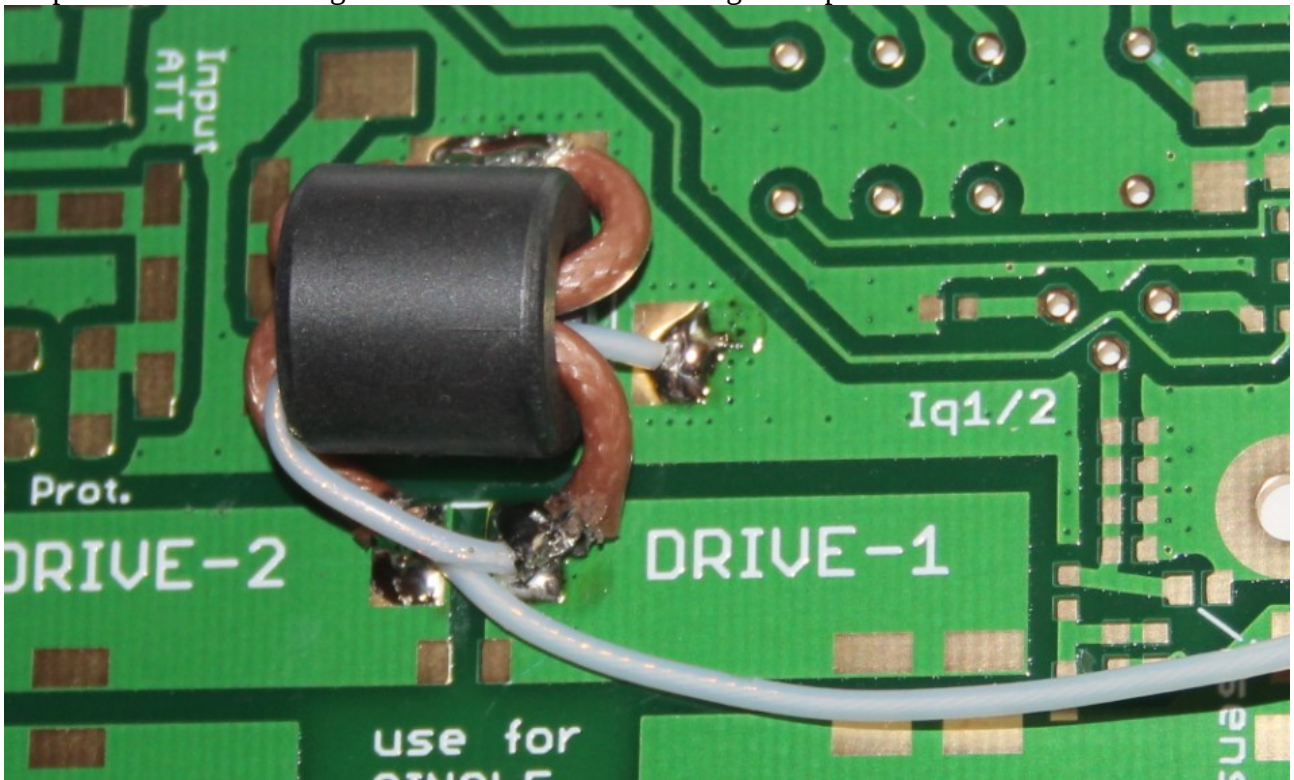
Now fold over one end and solder the shield to the board:



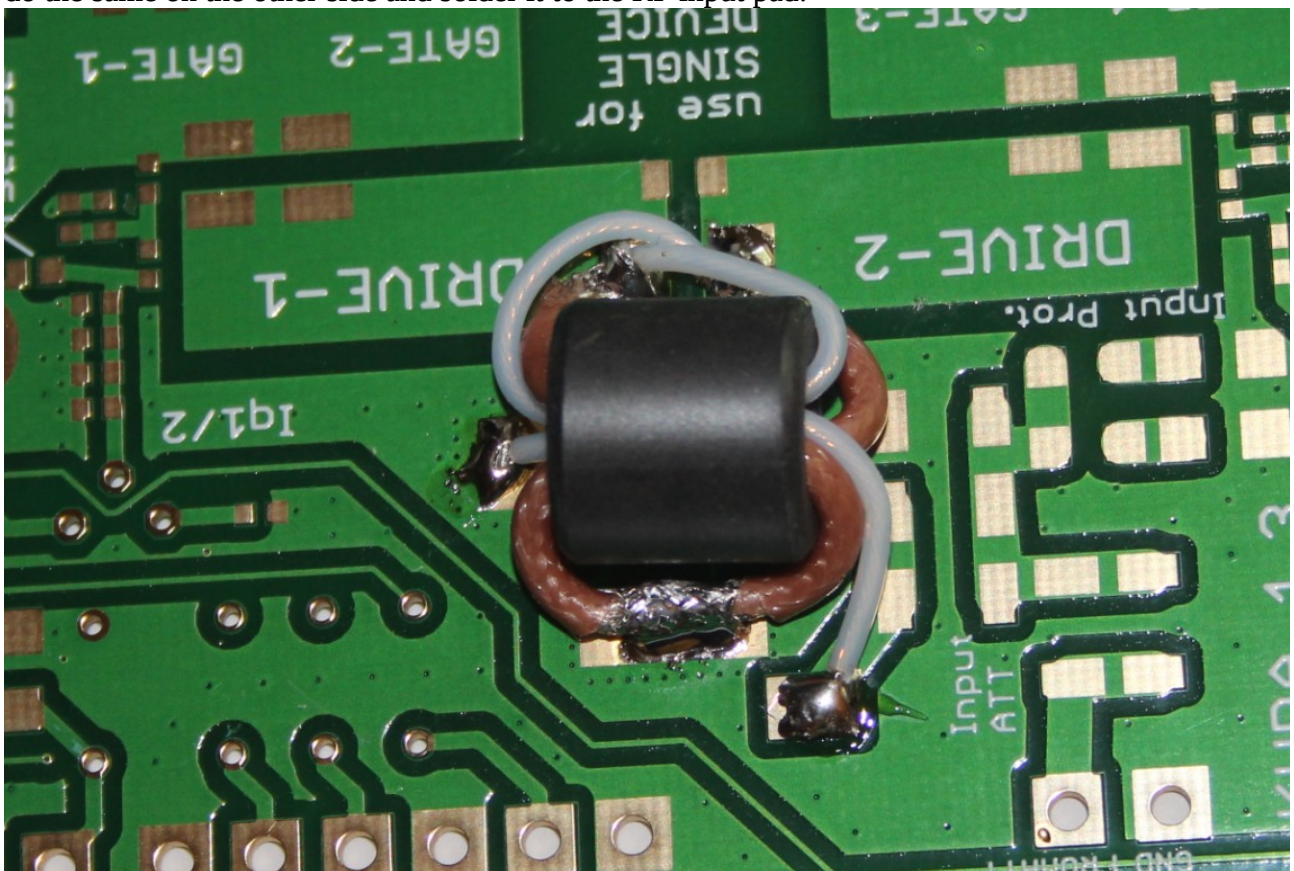
do the same with the other end:



wrap the inner wire through the core and solder it to the ground pad:



do the same on the other side and solder it to the RF input pad:



two output transformers:

You can use one or two cores, I have tested both versions and one core works up to 1kW. But these ferrite cores are really cheap so its better to use two cores and never get any temperature problems.

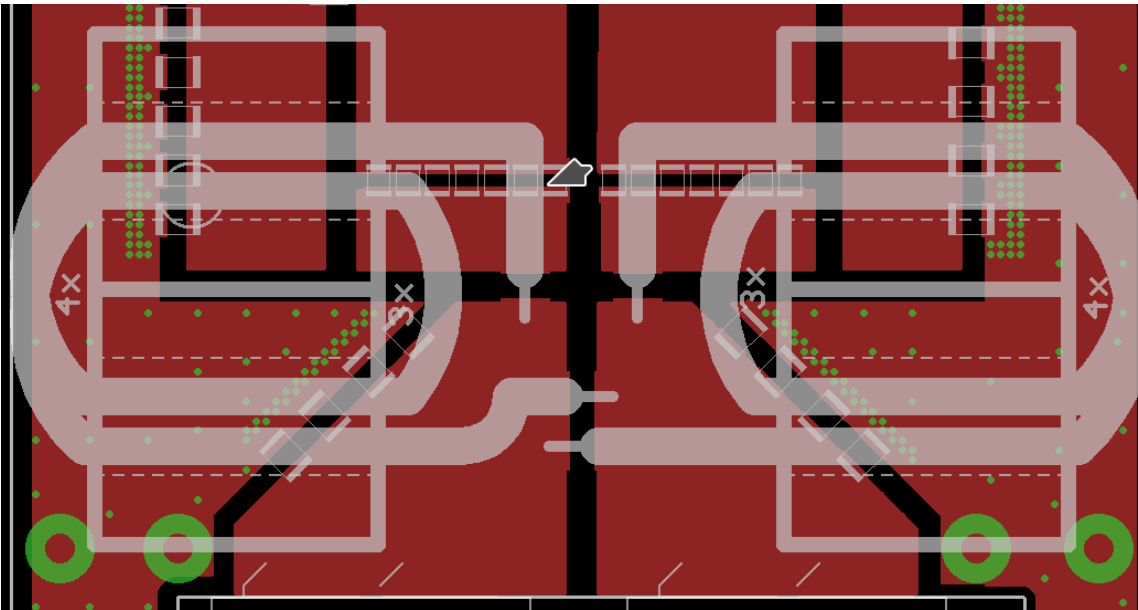
Two pieces of RG-316 are would in parallel to a Laird 28B1020-100 ferrite. This results in an impedance of 25 ohm. The length of these cables is about 500mm:



Use cable ties to fix the two cores, then wrap the (double) RG-316 trough the core.



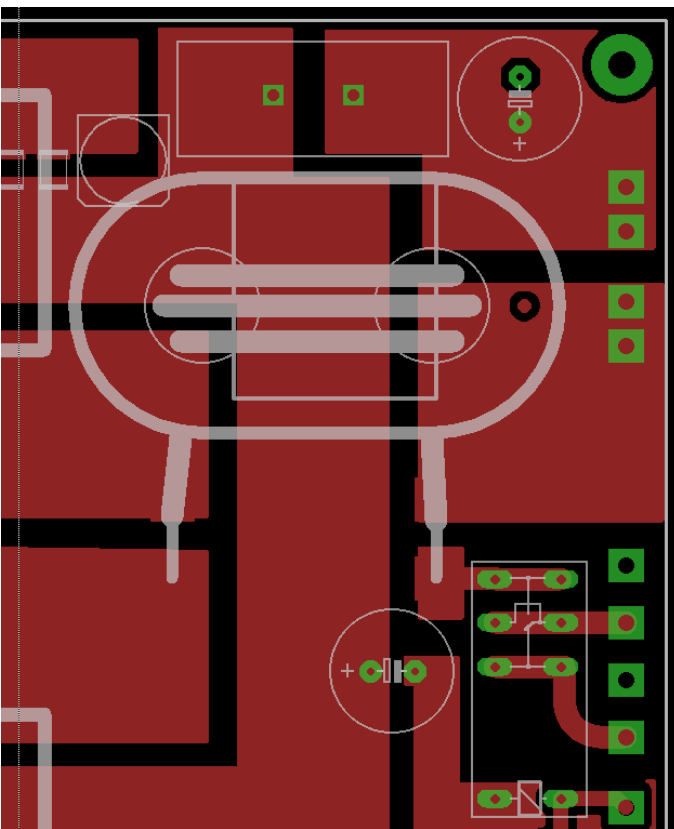
thread it through the core, 4 windings.



this picture shows how to solder the RG-316 cables to the PCB. You have two RG-316 in parallel, solder both to the PCB. The pictures shows only one for better clarity.

Output-Balun:

wrap 4 windings RG-316 to the cores. But RG-316 may get warm at high output power. Its better to use the thick RG-214. It may be hard to get 4 windings into the cores, but it is possible. Solder it to the board (shield and inner wire):

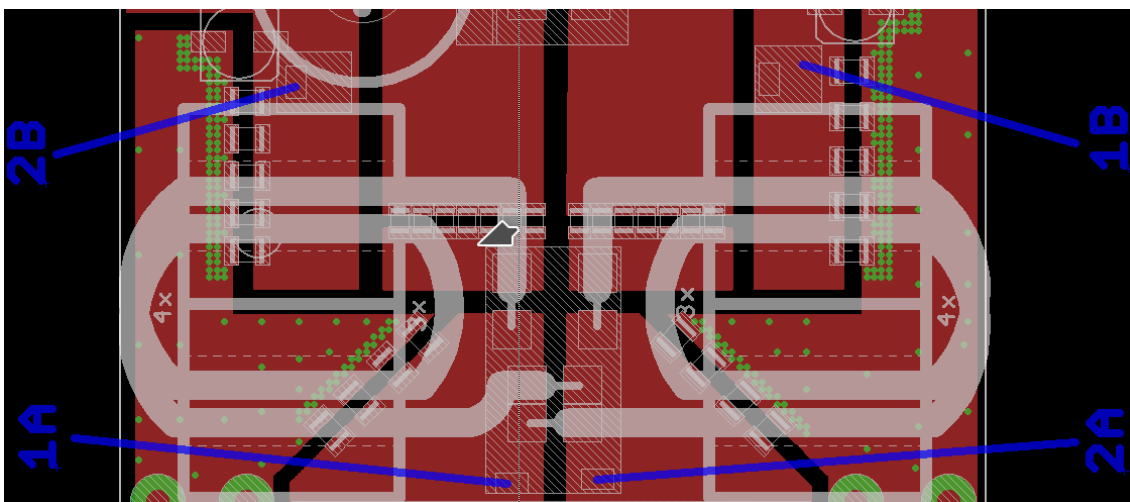
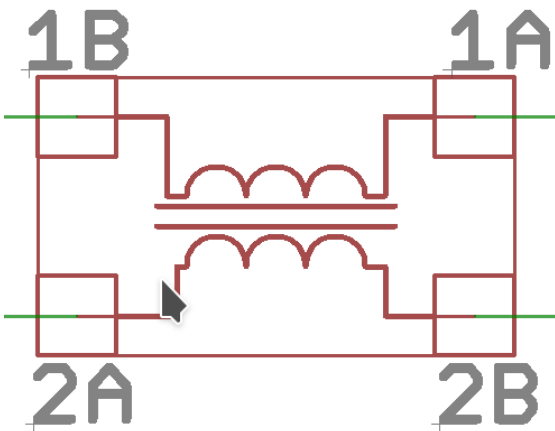


symmetric inductor for the power supply:

use silver plated PTFE cable 1,5mm or 2mm and wind it to the two Laird 28B1020-100 cores as shown in this picture.



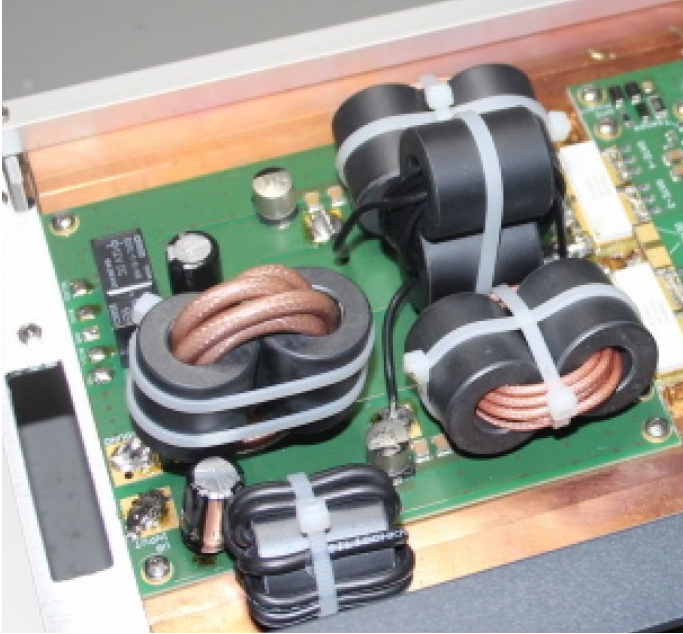
Take two wires in parallel and wind it to the core (about 4 windings), mark the ends and solder it to the PCB.



Supply-Choke:

simply use one Laird core and wind a PTFE cable 1,5 or 2mm on this core, about 5 windings.

If all cores are mounted it looks like that:



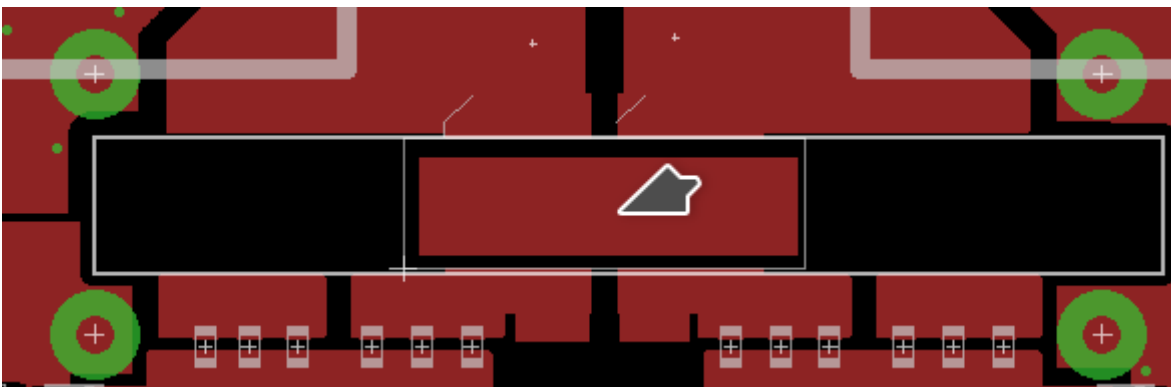
One or two LDMOS Transistors:

the PCB is prepared for both versions, one or two LDMOS transistors.

two LDMOS transistors generate only a little more power compared to one transistor since the output power is mainly defined by the transformers. But with two LDMOS transistors the amp is more rugged and the IM3 is a bit better. One transistor works up to 850 watts and two up to 1100 watts.

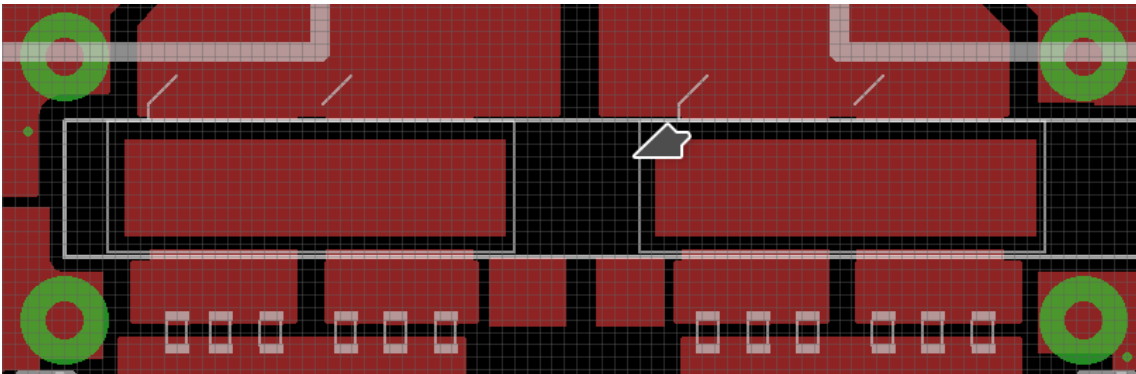
Mounting one LDMOS:

mount it in the middle of the board:



Mounting two LDMOS:

each LDMOS has two transistors in one case. These two transistors are connected in parallel. The drains are connected directly and the gates via decoupling resistors:



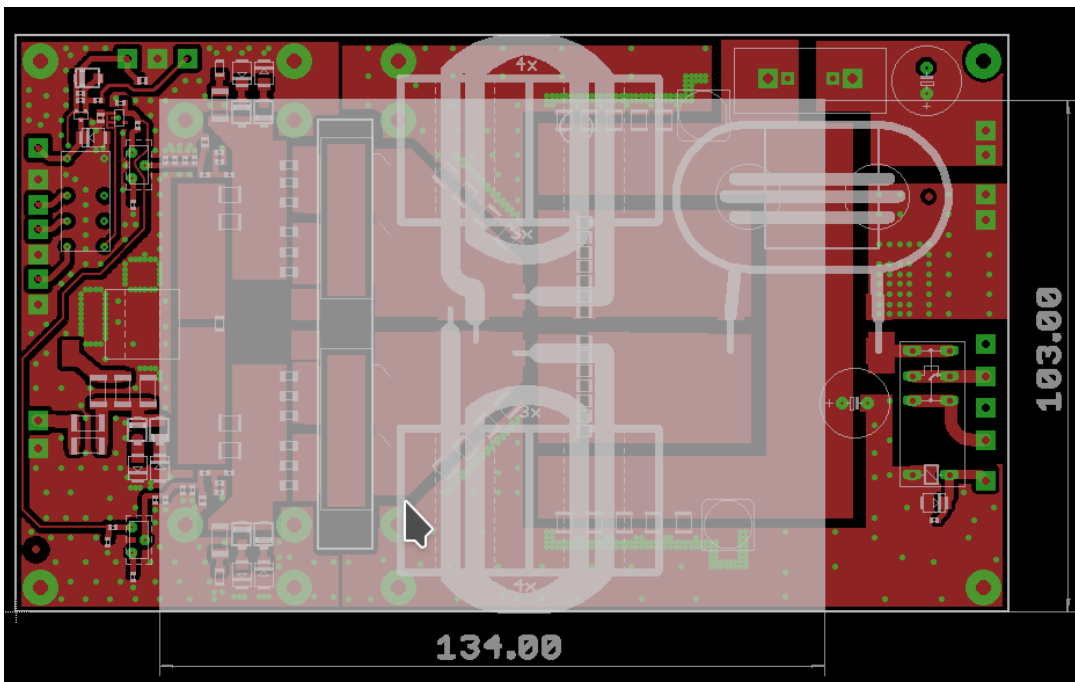
Cooling:

a heat spreader (copper plate, 10mm or more thick) is mandatory and the LDMOS must be soldered to this heat spreader, do NOT try to screw the LDMOS to the copper plate, it must be soldered !

There are many videos on YouTube showing how to solder it, the cooking hob works well (at least if your wife is not at home).

The PCB is mounted directly to the copper plate. Make this plate as big as possible but take care that the through-hole parts do not touch the copper.

Example: copper plate 134x103mm



Two holes are labels „Tsense“. The NTCs for temperature stabilization are located near these holes. Use these holes to screw the PCB to the copper and the NTC get a good thermal contact to the cooler.

There are many other ways to manufacture the heat spreader depending which tools you have in your workshop. The bottom side should be milled or polished to have best thermal contact to an aluminium cooler.

An interesting option is to use water cooling (i.e. with parts from PC coolers) which works very well.

Push the PCBs between the pins of the LDMOS and the copper board then first fasten the screws and finally solder the LDMOS to the PCB.

Completion and options:

The board is now complete so we can do some important details:

Input Attenuator:

auf der Platine befindet sich bereits ein Eingangs-Dämpfungsglied aus R1/R2/R3/R19/R20 welches zusätzlich Schutzdioden hat.

In vielen Fällen reicht das aber noch nicht um die Empfindlichkeit der PA auf eine normales Maß zu drücken. In aller Regel wird man dem Eingang noch ein weiteres 10dB Dämpfungsglied vorschalten wollen. Damit erreicht die PA dann Vollaussteuerung bei ca. 10 Watt Eingangsleistung.

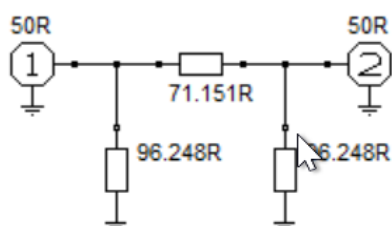
Da sich ein 10dB Eingangs-Dämpfungsglied natürlich erwärmt wird es extern aufgebaut. Die Platine hat die dazu passenden Anschlüsse:

An RF_IN schließt man den Transceiver an.

Am Anschluss TO_ATT kommt die HF (beim Senden) wieder heraus, von hier geht man also zum externen Dämpfungsglied.

Der Ausgang des externen Dämpfungsglieds geht dann an Anschluss FROM_ATT.

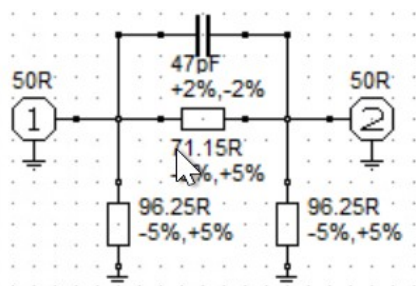
Schaltungsvorschlag für das Dämpfungsglied mit 2 Watt Kohleschichtwiderständen:



da es hier nur auf eine ungefähre Dämpfung ankommt, werden die idealen Werte angepasst. Statt 96,248 Ohm nimmt man 100 Ohm Widerstände und statt 71,151 Ohm nimmt man 68 Ohm (oder 2 in Reihe geschaltete 33 Ohm) Widerstände.

Normale 2W Kohleschichtwiderstände sind gut, aber es gibt auch hochwertige HF-Metallfilmwiderstände, was aber kaum Vorteile bringt.

Beim Betrieb der PA wird man merken, dass die Empfindlichkeit auf 10m und vor allem 6m deutlich abnimmt. Um eine einigermaßen gleichmäßige Empfindlichkeit zu haben kann man in diesem Dämpfungsglied die höheren Bänder anheben:



den genauen Wert des Kondensators muss man an der fertigen PA ermitteln.

RX-Bypass:

Damit der Transceiver im Empfangsbetrieb mit der Antenne verbunden ist muss noch eine Koax-Kabelverbindung hergestellt werden und zwar zwischen Anschluss RX_BY1 (Eingangsteil) und RXBY2 (Ausgangsteil).

Relaisleitung:

Auf der Platine befinden sich zwei Pins „Relais“. Diese einfach mit einem Stück Draht verbinden.

Stromversorgung:

Die Platine benötigt zwei Spannungen:

12V (13,8V) ... für die Relais und die Vorspannungserzeugung. Man kann hier die 12V des üblichen Stationsnetzteils benutzen.

50V (30 bis 50V) ... für die Leistungsendstufe. Hierfür gibt es Netzgeräte von Meanwell (Reichelt) oder die bekannten HP-Servernetzteile (ebay).

Inbetriebnahme:

Ist die Kühlung aufgebaut und die Platine verdrahtet beginnt die Inbetriebnahme.

Um den teuren LDMOS Transistor zu schützen ist das ein mehrstufiger Prozess:

1. die 250 Ohm Potis so drehen, dass der Schleifer so nah wie möglich an Masse liegt, also die geringste Spannung aus dem Poti herauskommt. Dadurch ist der Ruhestrom der Transistoren Null.
2. Ausreichend große 50 Ohm Dummyload an den Ausgang anschließen.
3. Transceiver an den Eingang anschließen, 40m Band, FM und kleinst mögliche Leistung einstellen, noch nicht senden.
4. 12V anschließen

5. Anschluss „PTT“ (gleich neben dem 12V Anschluss) mit einem Stück Draht mit GND verbinden, die Relais ziehen jetzt an.
6. noch KEINE 50V anschließen, wir gehen erstmal sehr langsam vor: zunächst versorgen wir die PA aus einem kleinen Labornetzteil mit ca. 20 bis 30V und einer Strombegrenzung von ca. 3 bis 5A.
7. Ruhestrom einstellen. Es wird kein Strom fließen, da die Potis auf 0 gedreht sind. Fließt trotzdem ein Strom, so stimmt etwas nicht und man muss den Fehler suchen. Jetzt stellen wir einen Ruhestrom von 0,5A pro Hälfte ein. Also ein Poti auf 500mA aufdrehen und danach mit dem zweiten Poti auf 1A drehen.
8. Wir entfernen die PTT Leitung von der Masse und verbinden sie jetzt mit dem PTT Ausgang des Funkgeräts.
9. An den Ausgang, parallel zur Dummyload, ein Oszilloskop anschließen um die Ausgangsleistung abschätzen zu können. (Ausgangsleistung $P = U_{eff}^2 / 50$)
10. Jetzt mit dem Transceiver mit minimaler Leistung (!!! Ausgangsleistung auf Minimum drehen !!! nur zu leicht übersieht man das !!!) auf ca. 7MHz senden. An der Dummyload muss eine Ausgangsleistung zu sehen sein. Das 3A Netzgerät geht möglicherweise schon in die Strombegrenzung und regelt die Spannung herunter, was aber kein Problem ist. Es kommt nur darauf an, dass wir ein wenig Ausgangsleistung sehen können. Mehr als 10 oder 20 Watt werden kaum herauskommen.
11. Ist der Test mit der 3 oder 5A Strombegrenzung erfolgreich verlaufen und es war eine Ausgangsleistung zu sehen, dann kommt jetzt Schritt 2: der Anschluss eines 50V Netzteils über einen Vorwiderstand. Man nimmt also das kräftige 50V Netzgerät (24 bis 30V würden für diesen Test auch reichen) und fügt in die Plus-Leitung einen Leistungswiderstand von ca. 3,9 Ohm ein. Der Widerstand sollte mindestens 10 Watt aushalten, aber egal, er wird bei diesen Tests vermutlich sowieso sehr heiß werden und evt kaputt gehen. Der Widerstand ist nur eine Sicherheitsmaßnahme für den Fall dass die PA einen Kurzschluss macht. Bei 50V und 3,9 Ohm kann maximal 12A fließen was dem LDMOS Transistor noch nichts anhaben kann.
Wenn man mit dem Transceiver jetzt sendet, sollte schon einen gute Ausgangsleistung von über 50 Watt zu sehen sein. Bitte nur kurz Senden, sonst raucht der 3,9 Ohm Schutzwiderstand.
12. Ist obiger Test erfolgreich verlaufen, so ist die PA vermutlich in Ordnung und kann jetzt ohne Vorwiderstand versorgt werden um die volle Leistung abzugeben.

Ab hier ist es erforderlich ein passendes Tiefpassfilter zwischen PA und Antenne anzuschließen !

Ruhestrom:

bei obiger Inbetriebnahme haben wir den Ruhestrom auf 0,5A pro Hälfte eingestellt. Wenn alles gut läuft können wir ihn erhöhen auf 2A pro Hälfte, dadurch wird die Linearität besser. Der Ruhestrom fließt übrigens nur beim Senden, im Empfangsbetrieb ist die Vorspannung ausgeschaltet.

Für OMs die über einen Spektrumanalysen verfügen:

Man schaut sich das Spektrum am Ausgang der PA an, vor allem die erste Oberwelle, also die doppelte Sendefrequenz. Wenn man jetzt an einem der Vorspannungs-Potis ein wenig dreht, so kann man sehen wie diese erste Oberwelle größer oder kleiner wird. Durch entsprechende Einstellung kann man sie fast komplett entfernen.

Bitte „vorsichtig“ nur wenig drehen und den Ruhestrom nicht ins unendliche hochjagen, das könnte den LDMOS überlasten !

Sicherheitsmaßnahmen:

Eine Stromversorgung von 50 Volt und über 30A ist ein kräftiges Teil und im Fehlerfall gefährlich.

Man muss zwei Dinge beachten:

1. Brandschutz im Fehlerfall
2. Schutz des teuren LDMOS Transistors

um diese beiden Dinge abzudecken habe ich eine einfache Schutzschaltung entwickelt. Die Schaltung befindet sich hier:

http://dj0abr.de/german/technik/kwpa/kwpa_isafe.htm

entweder man baut diese Schaltung auf oder man sorgt mit anderen Maßnahmen für eine Abschaltung im Fehlerfall.

Sicherheitshinweis zum LDMOS Transistor:

dieser ist sehr robust, aber nur am Ausgang. Am Eingang (Gate) ist er extrem empfindlich. Bei der Arbeit daher auf statische Aufladungen achten solange er noch nicht eingelötet ist.

Die Platine bitte nicht mit einer Gegenkopplung versehen, diese ist nicht notwendig und gefährdet den Transistor.

Auf geringe Steuerleistung achten. Die Platine enthält eine 2-stufige Schutzschaltung. Sendet man mit zu viel Steuerleistung, so wird als erstes die Diode am Eingangsdämpfungsglied rauchen, das ist immerhin viel billiger als der Transistor.

Ein LDMOS verträgt ein schlechtes SWR, aber nur kurz. Bei hohem SWR bitte mit einer geeigneten Schutzschaltung die PA abschalten. Abgesehen von schlechten Antennen ist der übliche Grund für ein schlechtes Ausgangs-SWR ein falsch geschaltetes Tiefpassfilter.

Diese Probleme werden vom LDMOS-PA-Controller erkannt und behandelt. Ein Aufbau dieser Zusatzplatine ist empfehlenswert.

Wie macht man einen LDMOS Transistor kaputt ?

Ich habe mal recherchiert und die üblichen Fehler von vielen OMs zusammengeschrieben. Mir selbst ist noch kein Transistor kaputt gegangen, dank der vielen Schutzmaßnahmen. Hier also die Zerstörungsliste:

- auf Schutzmaßnahmen am Eingang verzichten und irrtümlich mit 100W Steuerleistung in die PA hineinfahren.
- Eine Gegenkopplung einbauen mit dem Ziel die (sowieso gute) Linearität zu erhöhen. Überspannungen vom Ausgang (zB Antenne defekt) koppeln so aufs empfindliche Gate zurück
- Irrtümlich das falsche Tiefpassfilter gewählt. Der Transistor geht nicht sofort kaputt. Eine Schutzschaltung mit einer Reaktionszeit von ein paar 100ms reicht normal aus.
- Bei der Arbeit an der PA mit der Mess-Spitze abgerutscht und einen Kurzschluss gemacht.
- Zu schwache Dummyload brennt durch und es gibt keine Schutzschaltung für hohes SWR

- durch HF-Einstrahlung regelt das Netzteil über 50V hoch
- den Ruhestrom irrtümlich so hoch einstellen dass der LDMOS überlastet wird
- eine Kühlkörpertemperatur über 60 Grad zulassen

Anhang: Anschlusspins (wie auf der Platine beschriftet):

BYP1	Mit BYP2 verbinden (mit RG316)	Zum Durchschleifen des Empfangssignal
RF IN	Eingang vom Transceiver	
TO ATT	Ausgang zu einem ext. Dämpfungsglied	Wenn keines benutzt wird, dann direkt mit FROM_ATT verbinden
FROM ATT	Eingang von einem ext. Dämpfungsglied	
+12V	Versorgung für Relais und Vorspannung	+12 bis +14V
PTT	PTT Eingang	Zum Senden auf Masse legen
RELAIS	Die beiden Pins „RELAIS“ miteinander verbinden.	Schaltleitung der Relais
RF OUT	HF Ausgang zu einem Tiefpassfilter.	Ausreichend dicke Koaxkabel benutzen. RG316 geht gerade so, RG214 ist besser.
BYP2	Mit BYP1 verbinden (mit RG316)	Zum Durchschleifen des Empfangssignal
UB INPUT und GROUND	Anschluss für ein Netzgerät 50V min. 30A	10mm ² Kabel benutzen.

Anhang: Befestigungslöcher Maßbild:

