

PA et LNA 432MHz au mât d'antenne

François Callias HB9BLF (francois.callias@net2000.ch)



PA et LNA 432MHz au mât d'antenne

Depuis quelques années, j'ai rejoint l'équipe HB9XC de la section Pierre-Pertuis à l'occasion du contest UHF-SHF du 1^{er} week-end d'octobre à Chasseral. Le QTH est bien dégagé; il est possible de faire de beaux QSO. La propagation est très variable; début octobre la météo est souvent en mode pluie, mais il y a parfois de belles surprises. Sur 432MHz, l'équipement habituel est 4x 12el. DJ9BV de fabrication Patrick Eggeri HB9OMZ, un PA transistorisé de 80 - 100W et un préampli de réception en tête de mât. Le PA est au pied du mât sous les antennes, ce qui sauve 1-2dB de pertes de câble d'antenne, mais pour être franc, «ça manque de jus». Il faudrait un PA plus puissant pour s'amuser un peu plus.

Un PA à tubes céramiques nécessite plusieurs tensions, dont une létale de 2'500V voir plus, ainsi que la tension de chauffage des filaments, les tensions pour G1 et G2, un gros ventilateur pour envoyer un flux d'air significatif à travers les ailettes de refroidissement des anodes... Compliqué. Ce PA a sa place habituellement à la station, à côté du transceiver.

On peut maintenant trouver des platines de PA à LDMOS qui sortent 500W, voir 1KW sur 432MHz. Elles sont alimentées par une tension unique de 50V. L'alimentation doit pouvoir délivrer 20A, respectivement 40A. Il faut aussi un gros radiateur à ailettes, éventuellement une petite ventilation, mais c'est tout. Moins compliqué à mettre en œuvre qu'un PA à tubes.

Sur les bandes UHF-SHF, le préampli de réception est placé directement sous les antennes, pour minimiser la longueur et donc la perte du câble de liaison entre antenne et préampli. C'est important, car les pertes du câble d'antenne, en plus d'atténuer le signal que l'on veut recevoir, augmentent le bruit dans le système de réception.

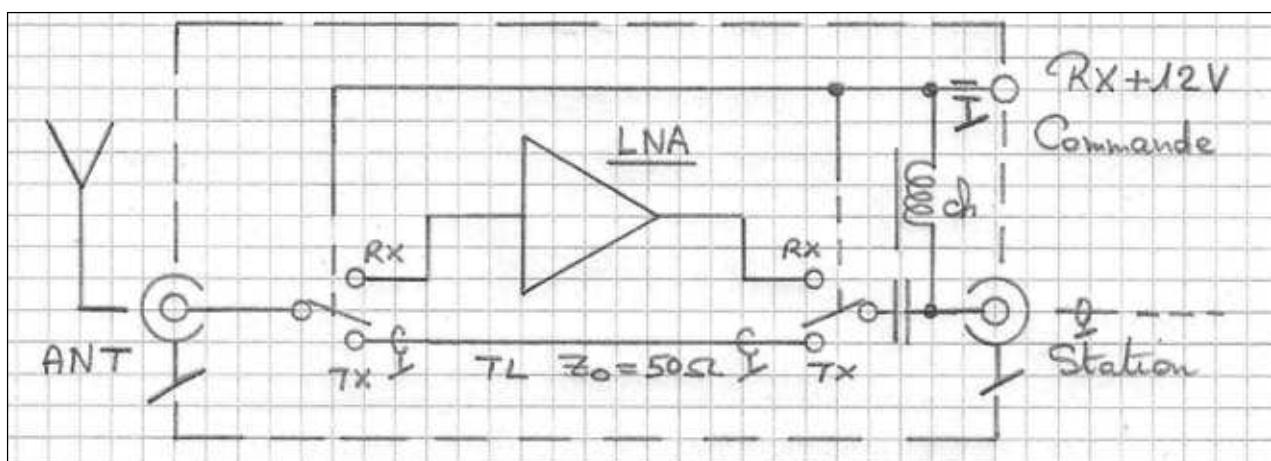


Fig. 1: Schéma d'un préampli de réception placé au mât d'antenne



Fig. 2: platine PA LDMOS de W6PQL, dans son enclos avec la connectique

En mode RX, la station de base envoie, à travers un séquenceur, une tension de +12V qui fait tirer les relais et alimente le LNA (Low Noise Amplifier; préampli de réception à faible bruit). En mode TX cette tension est à 0 et la puissance HF du TX passe à travers les relais qui sont au repos. Lorsque la STN est éteinte, les relais sont aussi au repos, ce qui protège le LNA contre des décharges statiques qui pourraient l'atteindre à travers l'antenne.

Après quelques recherches et des discussions avec HB9TLN, j'ai décidé d'acquérir une platine PA à LD-MOS fabriquée par W6PQL. Cette platine est montée sur une plaque de cuivre de 12mm d'épaisseur, qui sert de disperseur de chaleur pour le LDMOS. Les dimensions de la plaque de cuivre sont 13 x 8cm.

Elle doit être montée sur un gros radiateur à ailettes (en alu) pour dissiper efficacement la chaleur. Ce PA peut sortir 400W sur 432MHz avec un gain de 16dB. Au centre de la **fig. 2**, on voit le LDMOS (deux transistors dans le même boîtier pour un montage en «push-pull»). Il est soudé directement sur la plaque de cuivre. Le dessous du LDMOS et la plaque de cuivre ont été au préalable aplani par W6PQL pour un contact thermique irréprochable.

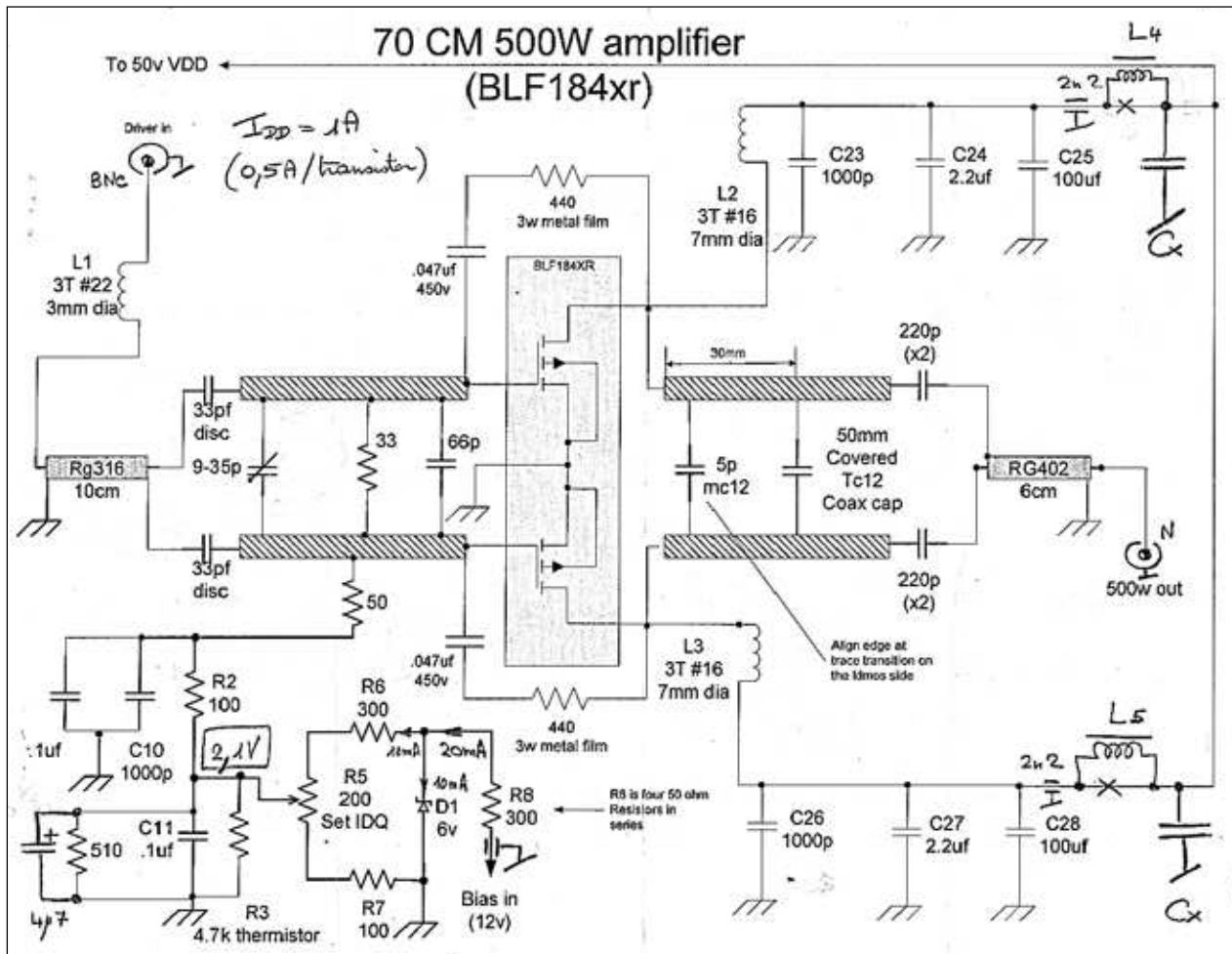


Fig. 3: Schéma du PA 70cm 500W de W6PQL

Le PCB (Printed Circuit Board) à gauche du LDMOS porte les lignes d'adaptation d'impédance (symétriques) et un bout de coax qui réalise la conversion asymétrique / symétrique depuis l'entrée 50Ω. Le plan de masse du PCB (caché dessous) est pressé contre la plaque de cuivre qui est la connexion de masse du LDMOS. Le PCB à droite du LDMOS contient les lignes symétriques pour l'adaptation d'impédance de sortie; la conversion asymétrique / symétrique est assurée par un bout de coax entre ces lignes et le connecteur de sortie. La capacité Tc12 est réalisée à l'aide d'un morceau de câble coaxial ouvert; sa longueur correspond au quart de la longueur d'onde sur 1296MHz, pour réaliser une forte atténuation de l'harmonique 3 (shunt différentiel). J'ai monté la platine du PA dans un enclos en alu fait sur mesure et connecté par un grand nombre de vis sur les côtés du dissipateur en cuivre. Le tout est fermé en-dessous par un grillage qui laisse s'échapper la chaleur dissipée par les composants du circuit de sortie.



La **fig. 4** est une vue de la platine filtre passe-bas / coupleur directionnel de W6PQL. Le filtre passe-bas est à gauche. Il a 4 inductances et 3 capacités; sur 70cm, ces dernières sont réalisées par des surfaces de cuivre contre le plan de masse qui est de l'autre côté du PCB. Ce PCB est aussi utilisé sur des fréquences plus basses (jusqu'à 50MHz); sur ces fréquences, des capacités sont ajoutées en parallèle contre la masse et les inductances ont des valeurs plus élevées (voir le schéma et le tableau des valeurs à la **fig. 5**).

Fig. 4: Filtre passe-bas de W6PQL avec coupleur directionnel

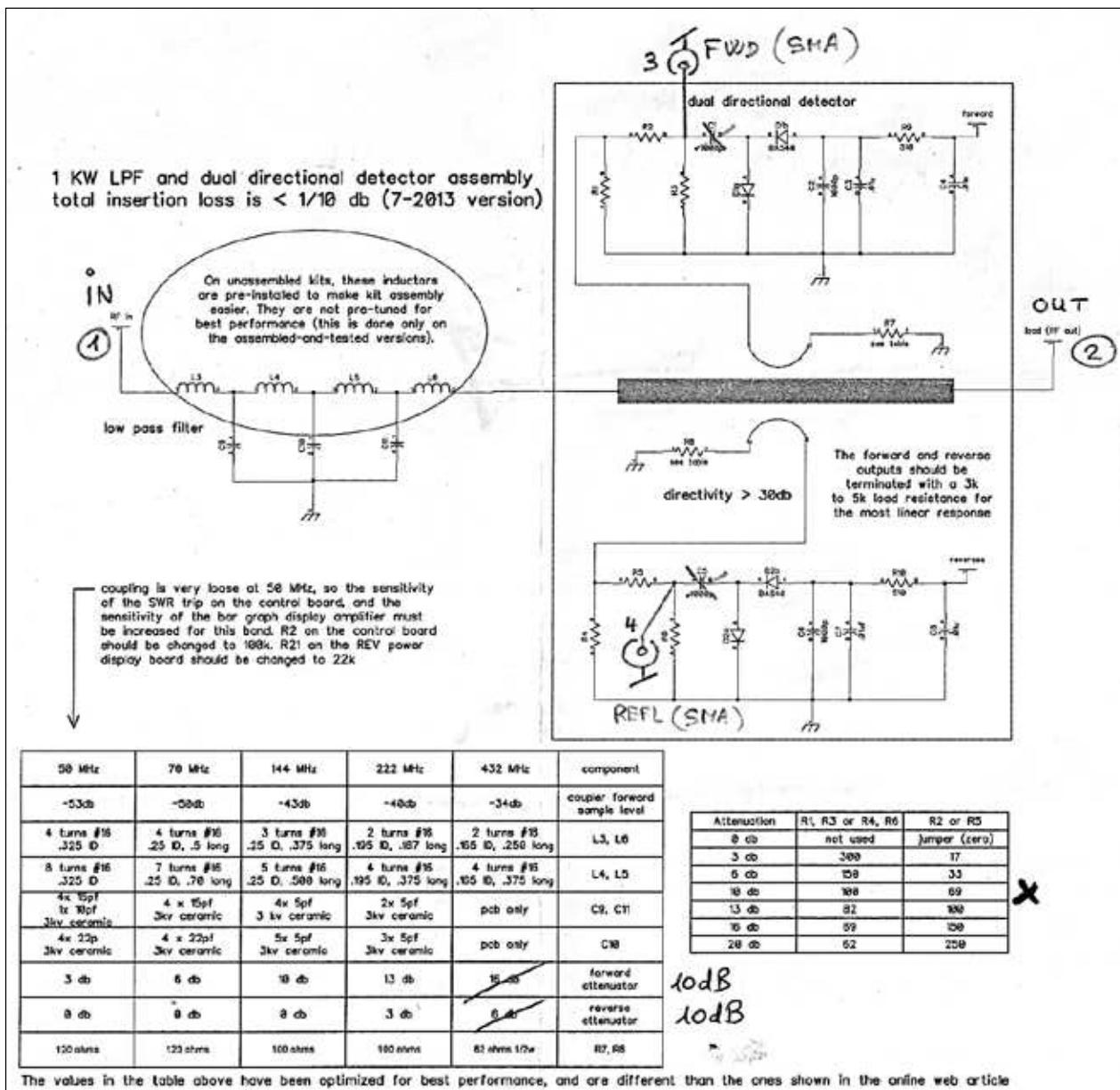


Fig. 5: Schéma du filtre LPF avec coupleur directionnel de W6PQL

Le PCB est livré avec les inductances soudées en place. Vous devrez souder vous-même les composants SMD du coupleur directionnel (SWR-meter). Les composants SMD sont assez gros. Avec un fer à souder correct, une loupe pour vérifier le travail et une main sûre, c'est faisable sans problème. Il faudra aussi faire un réglage fin en étirant ou comprimant un peu les inductances pour minimiser le SWR du filtre (là, vous avez besoin d'un SWR-mètre et d'une charge fictive de 50Ω). Sans rien faire, le mien avait un SWR de 1,2. J'ai un peu espacé les spires des inductances du milieu et légèrement resserré celles des inductances des bords (L3, L6). Sur la droite du PCB, vous pouvez voir le coupleur directionnel. Il a des redresseurs à diodes. Lors de la 1^{ère} utilisation, j'ai connecté aux sorties «forward» et «reverse» de ce circuit des ampèremètres de 1mA avec en série R=1,5kΩ. Ce coupleur directionnel a une performance moyenne, avec une directionnalité de seulement -24dB (pas les -30dB annoncés à la fig.5...), et encore après un réglage fin de la valeur de R8.



Fig. 6a: Photo du détecteur «Log»

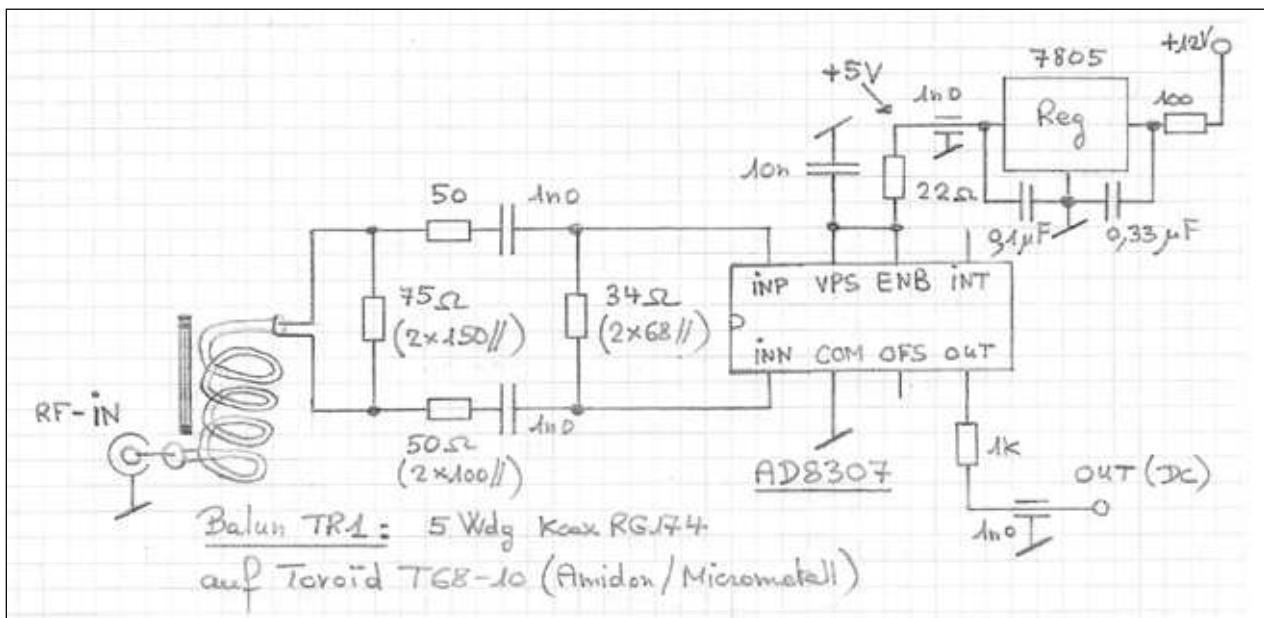


Fig. 6b: Schéma du détecteur "Log"

Maintenant, j'ai débranché les redresseurs et installé 2 sorties HF avec connecteurs SMA (FWD et REFL sur le schéma). Ces sorties vont sur des détecteurs logarithmiques placés dans la boîte. Ils sont basés sur l'AD8307 de Analog Devices; voir la photo à la **fig. 6a** et le schéma électrique à la **fig. 6b**. Cet IC donne à la sortie une tension DC qui correspond au logarithme de la puissance d'entrée (pente de 26mV/dB). Cela permet de réaliser un wattmètre et un SWR-mètre avec affichage dans la station. Dans la boîte de contrôle à la station, des amplis différentiels commandent l'affichage de la puissance et du SWR (S11). Les schémas sont disponibles sur demande: francois point callias chez le fournisseur: net2000.ch.

Le SWR-mètre ne montre pas l'affichage usuel, mais le rapport entre la puissance envoyée et la puissance réfléchie par l'antenne, $S_{11} = 10\log(P_{DIR}/P_{REFL})$ en [dB] avec une valeur maximale de 20dB: Aiguille sur 0 → $S_{11} = 0dB$, SWR = ∞ ; Aiguille au milieu → $S_{11} = -10dB$ SWR = 2; Aiguille au maximum → $S_{11} = -20dB$ SWR=1,2. Cet affichage a effrayé certains opérateurs...



Fig. 7: L'intérieur de la boîte PA-LNA

La **fig. 7** montre l'intérieur du PA-LNA. La platine du PA est en haut. Dessous, vous avez le filtre passe-haut (HPF) connecté au préampli de réception (LNA). Les détecteurs logarithmiques sont cachés sous le LNA. Encore en-dessous, le filtre passe-bas TX (LPF). Sur la gauche, il y a l'interface de commande TX/RX. Le filtre passe-haut sert à protéger le LNA contre des signaux forts en-dessous de la bande 432MHz (Comme par exemple celui de la station 144MHz, lors de contest multi-bandes).

La **fig. 8** est le schéma bloc du PA-LNA. Le câble coax venant de la station de base est connecté à l'entrée «I/O» de la boîte; le relais Z3 commute la station de base entre l'entrée du PA et la sortie du préampli (LNA). De l'autre côté, le relais Z1 commute l'antenne entre la sortie du PA (à travers le LPF et le coupleur directionnel) et l'entrée du préampli de réception (à travers le filtre passe-haut). Le relais Z2 est un relais de protection. Il tire et connecte l'antenne au relais Z1 seulement si l'alimentation 50V est présente. S'il n'y a pas de tension d'alimentation, ni le PA ni le LNA ne sont connectés à l'antenne. Cela évite que des décharges d'électricité statique s'écoulent à travers l'antenne puissent atteindre le PA lorsque le système est éteint.

VHF - UHF - SHF

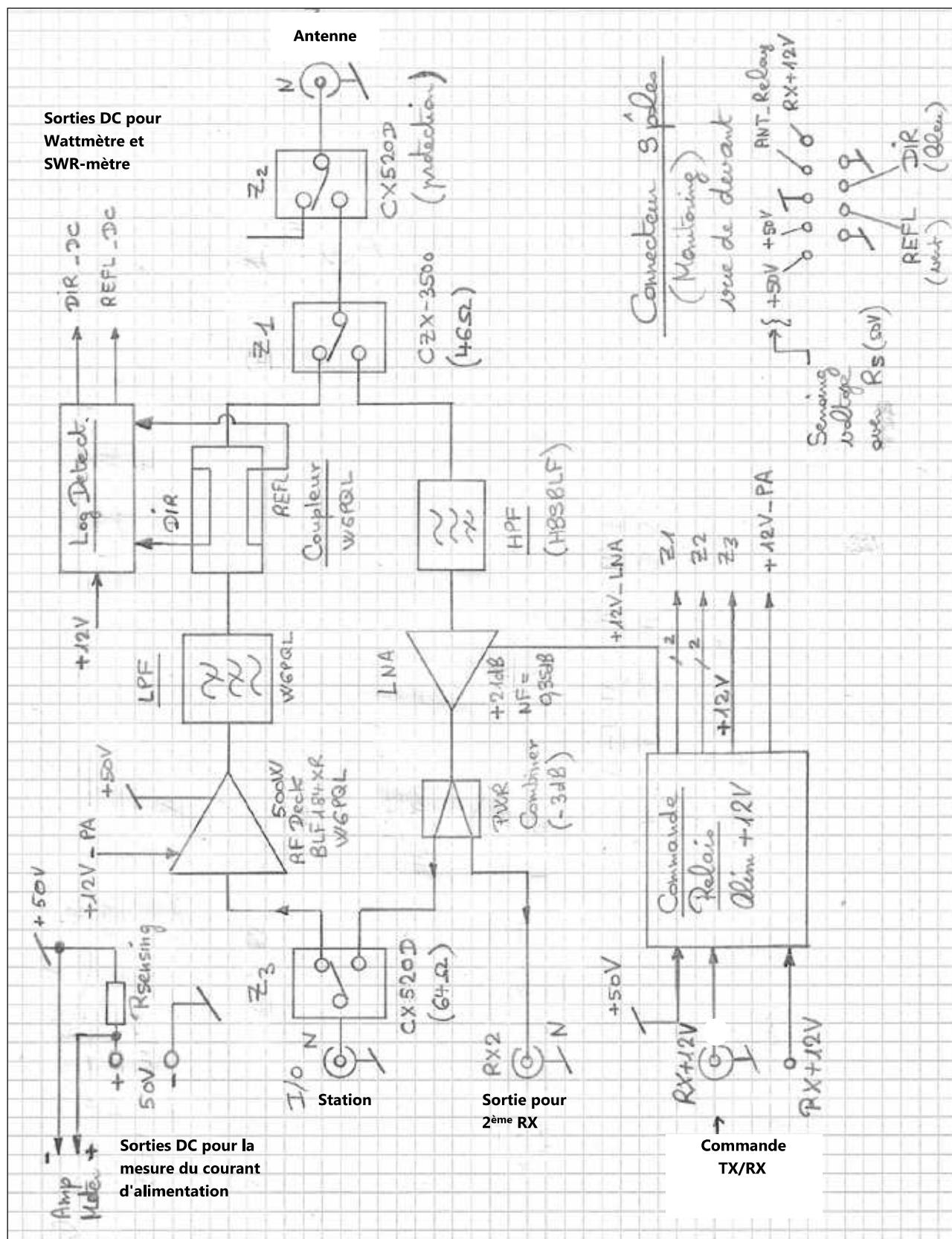


Fig. 8: Boîte PA-LNA 432MHz, schéma bloc

Le principe de la commande TX/RX est identique à celui de la fig. 1 (LNA seul). Si la tension de commande «RX+12V» est à zéro, les relais Z1 et Z3 sont au repos et le système est en mode émission (le PA est connecté à l'antenne). En réception, le séquenceur de la station envoie une tension de +12V, les relais Z1 et Z3 tirent et l'antenne est connectée au LNA.

La sortie du LNA va sur un «power-splitter» qui partage son signal de sortie entre le relais Z3 (station) et une prise pour un 2^{ème} récepteur.



Fig. 9: Boîte de contrôle, câble pour le 50V (blanc), alimentation 50V et câble de liaison (gris) entre le PA-LNA et la boîte de contrôle

Un câble à 8 fils connecte la boîte de contrôle (ampèremètre, PWR- et SWR-mètres) au «PA-LNA». La commande «RX+12V» venant du séquenceur de la station passe aussi à travers ce câble via la boîte de contrôle.

L'alimentation 50V est un modèle «pour systèmes de télécommunication» déniché par Florian HB9HLH. Elle peut sortir 22 ampères, ce qui est suffisant pour le PA de 500W (max. 18A). Le câble de liaison a 2 brins de 6mm² de longueurs 10m. L'alimentation est placée au pied du mât d'antenne.

Dimensions de la boîte:

H x L x P = 42cm x 35cm x 20cm (Boîte = 12cm + épaisseur du radiateur = 8cm. Poids de la boîte: 11Kg).

PA und LNA 432MHz am Antennenmast

François Callias HB9BLF (francois.callias@net2000.ch) - [trad. HB9ASB]



PA und LNA 432MHz am Antennen-Mast

Seit ein paar Jahren mache ich mit dem Team HB9XC (Sektion Pierre-Pertuis) am Oktober UHF/SHF Contest mit. Wir arbeiten vom Chasseral aus. Dieses QTH ist frei von Hindernissen und von dort ist es möglich, sehr schöne DX Verbindungen zu tätigen. Die Ausbreitungsbedingungen im Oktober sind sehr variabel da das Wetter oft schon auf winterliche Kälte und Regen umgeschaltet hat. Trotzdem erlebt man manchmal schöne Überraschungen. Auf 432MHz benutzen wir üblicherweise eine 4x 12EL DJ9BV-Antennengruppe (durch Patrick Egglé HB9OMZ gebaut) mit einem Empfangs-Vorverstärker oben am Antennenmast und einer 80-100W Transistor-Endstufe. Die PA befindet sich am Fuss des Mastes. Damit vermeiden wir 1-2dB Kabelverluste. Doch manchmal fehlt uns schon mehr "Saft", denn eine höhere Leistung würde unser Resultat sicher verbessern.

Eine Röhren-Endstufe benötigt verschiedene Spannungen, unter anderem eine gefährlich hohe Spannung von 2'500V für die Anode; andere Spannungen für die Heizung der Kathode, die Polarisation von Gitter 1 und 2. Auch muss ein kräftiger Ventilator den Luftfluss durch die Kühlfinnen der Anode sicherstellen. Eine komplizierte Angelegenheit. Zudem kann eine solche PA nicht gut abgesetzt betrieben werden und muss deswegen auf dem Stationstisch neben dem Transceiver platziert werden.

Doch heutzutage sind transistorisierte Leistungsverstärker verfügbar, die mit LDMOS ausgerüstet sind. Das sind robuste Halbleiter, die 500W oder sogar 1kW auf 432MHz erzeugen können. Sie arbeiten mit einer einzigen 50V Speisespannung mit 20 beziehungsweise 40 Ampere. Wird ein grosser Kühlkörper verwendet, genügt eine kleine und entsprechend geräuscharme Lüftung. Der Aufbau ist auch weniger kompliziert als bei einer Röhren-Endstufe.

Auf den UHF-SHF Bändern ist es vorteilhaft, den Empfangs-Vorverstärker direkt am Mast bei den Antennen anzubringen, um die Verluste durch das Koaxialkabel zu minimieren. Das ist wichtig weil die vom Kabel verursachten Verluste nicht nur das Nutzsignal dämpfen sondern zusätzlich auch das Rauschen im Empfangssystem erhöhen.

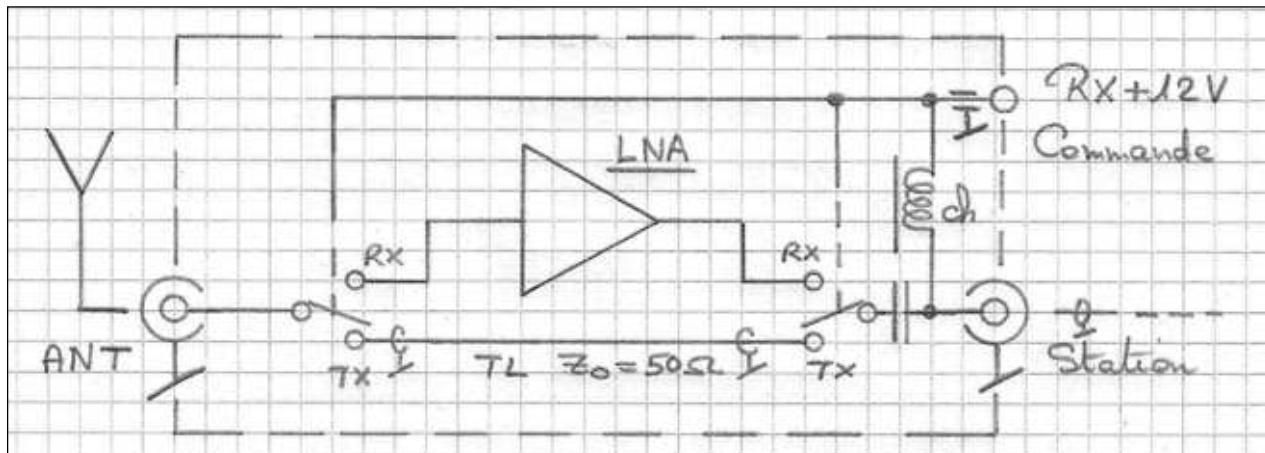


Bild 1: Schema eines UHF-Mastvorverstärkers



Bild 2: LDMOS PA von W6PQL in der Abschirmbox mit HF-Steckverbindern

Im Empfangsmodus schickt die Basisstation durch eine Sequenzschaltung eine +12V Spannung. Diese Spannung zieht die Relais auf die Stellung „RX“ und speist den Empfangsvorverstärker (LNA, Low Noise Amplifier). Im Sendemodus ist die Steuerspannung 0V, dann befinden sich die Relais im Ruhezustand und das HF-Signal des Senders gelangt durch die beiden Relais zur Antenne. Wenn die Station ausgeschaltet ist befinden sich die Relais ebenfalls in Ruhe. Dies schützt den LNA-Vorverstärker vor statischen Entladungen.

Nach einigem Suchen und Diskussionen mit HB9TLN habe ich mich entschieden eine LDMOS-PA von W6PQL zu erwerben. Diese Schaltung ist auf einer 12mm dicken Kupferplatte montiert, die als Wärmebrücke bzw. als Wärmeverteiler dient (Heat-spreader). Die Abmessungen der Kupferplatte betragen 13 x 8cm. Sie muss auf einem grossen Kühlkörper montiert werden, um die vom LDMOS erzeugte Wärme effektiv abzuleiten.

Die PA liefert bei 432MHz 400 Watt und hat einen Gewinn von 16dB. In der Mitte von **Bild 2** sieht man den LDMOS. Er wird direkt auf die Kupferplatte gelötet. Links und rechts davon sind die Push-Pull-Schaltungen für den Ein- und den Ausgang zu sehen. Das Koaxialkabel links im Bild sorgt für die Symmetrierung des 50Ω Eingangs. Die Erdungsfläche des Print auf seiner Unterseite wird durch die Befestigungsschrauben gegen die Kupferplatte gepresst. Diese dient auch als Masseanschluss für den LDMOS. Auf der rechten Printseite befindet sich die Impedanz-Wandlung für den Ausgang. Ein Stück Koaxialkabel bewirkt dabei die Umwandlung von der symmetrischen Impedanz auf die asymmetrische des 50Ω Ausgangs. Die Kapazität Tc12 wird durch ein Stück Koaxialkabel realisiert. Seine Länge beträgt ein Viertel der Wellenlänge der dritten Harmonischen (1296MHz) und bildet so einen Kurzschluss für diese Frequenz. Damit erreicht man eine starke Dämpfung der dritten Harmonischen auf 1296MHz.

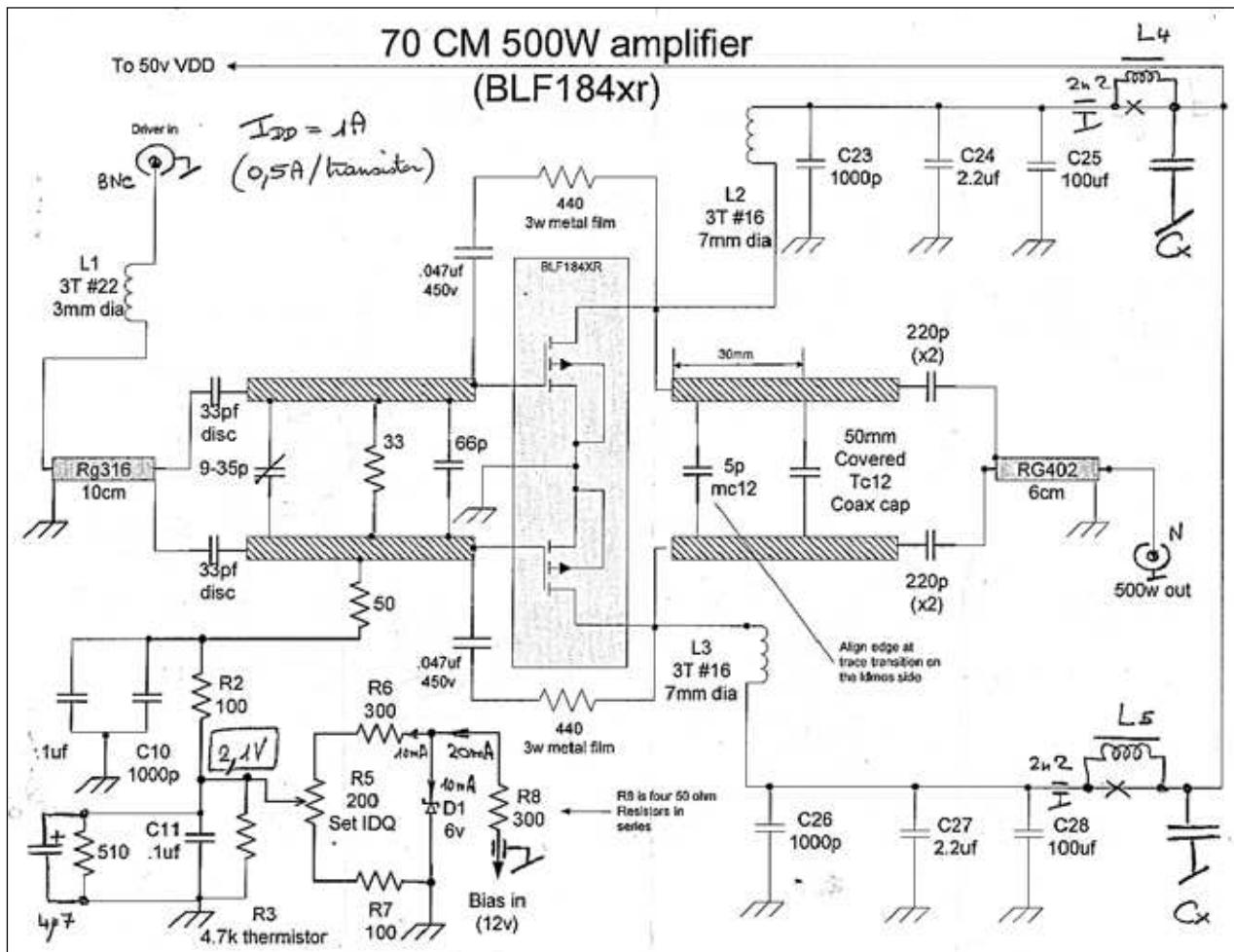


Bild 3: Schaltbild der 70cm PA von W6PQL

Ich habe diese Platine in einer massgeschneiderten Aluminiumbox montiert. Diese Box ist mit der Kupferplatte durch Schrauben verbunden. Oben in der Box sitzt ein Gitter, durch das die Wärme aus dem Innern entweichen kann.

Bild 4 zeigt die Tiefpass-Schaltung mit Richtkoppler von W6PQL. Das TP-Filter dämpft die Oberwellen am PA Ausgang. Die Tiefpass-Schaltung, links im Bild, besteht aus 4 Spulen und 3 Kondensatoren. Letztere werden alleine durch Kupferflächen gegen die Platinenmasse auf der Rückseite realisiert. Der gleiche Print kann übrigens auch für tiefere Frequenzen (hinunter bis 50MHz) verwendet werden. Dabei werden dann SMD-Kondensatoren parallel zu den Kupferflächen gelötet und die Spulen haben natürlich grössere Werte. Siehe Schema und Tabelle mit den Werten in **Bild 5**.



Bild 4: Tiefpass-Filter von W6PQL mit Richtkoppler

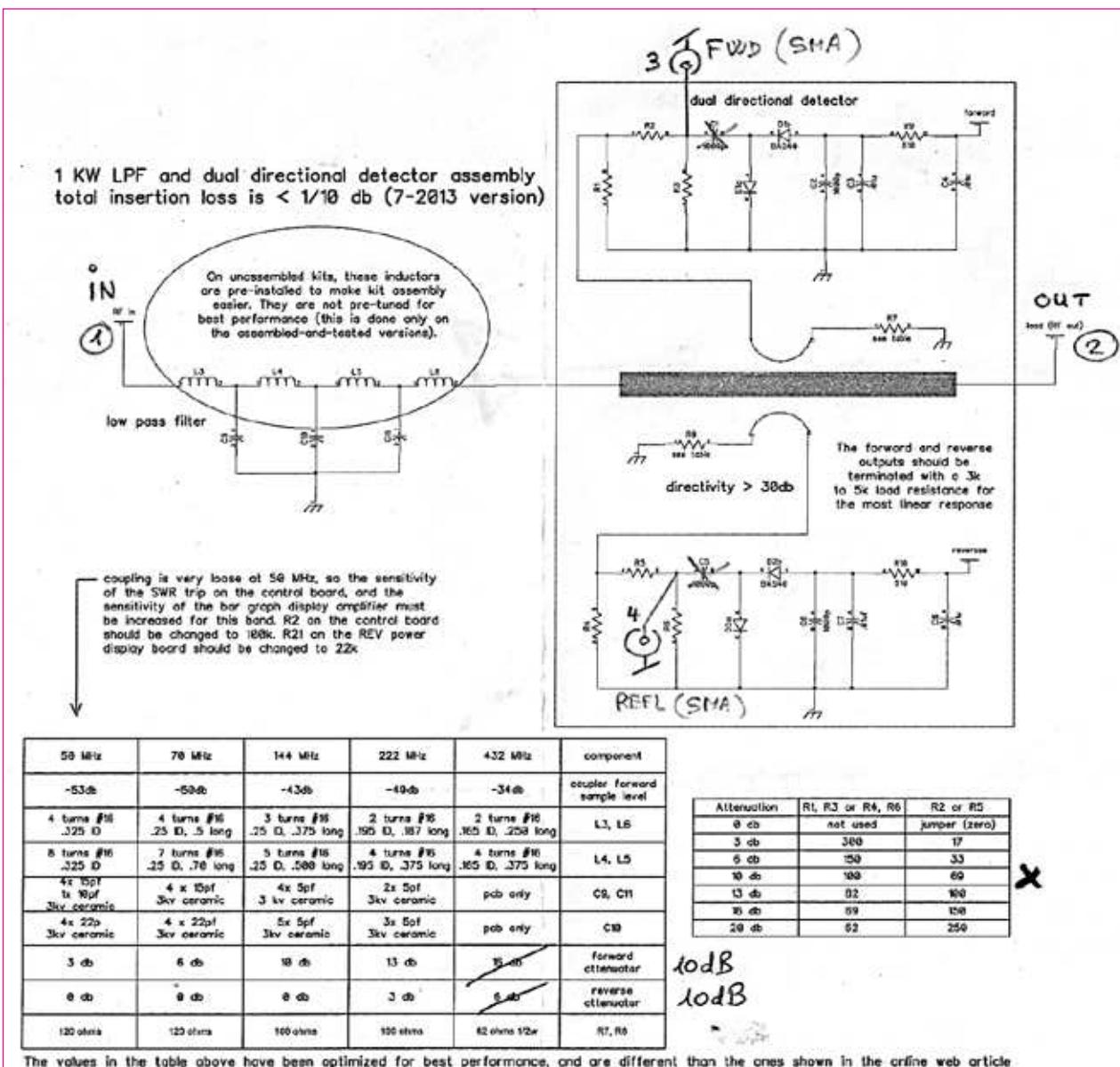


Bild 5: Schema des Tiefpassfilters mit Richtkoppler

Der Print wird mit vorgelöteten Spulen geliefert. Man muss nur noch die SMD Komponenten für den Richtkoppler (SWR-Meter) selbst löten. Diese SMD-Komponenten sind gross genug, um sie ohne Schwierigkeiten mit Hilfe einer Lupe, einem kleinen Lötkolben und einer sicheren Hand zu platzieren. Eine Feinabstimmung des TP-Filters auf bestes SWR kann gegebenenfalls durch Auseinanderziehen oder Drücken der Spulen erfolgen. Dazu braucht man ein zweites SWR-Meter und einen 50Ω HF-Lastwiderstand. Ohne Feinabstimmung zeigte mein TP-Filter ein SWR von 1:1.2. Ich habe die Windungen der mittleren Spulen etwa ausgezogen und die der anderen Spulen (L3, L6) ein bisschen zusammengedrückt, um das SWR des Filters weiter zu minimieren. Auf der rechten Seite der Platine sieht man den Richtkoppler mit seinen Gleichrichter-Dioden. Zuerst hatte ich an den „Forward“ und „Reverse“ Ausgängen ein 1mA Amperemeter mit einem Seriewiderstand von 1.5KΩ angeschlossen. Der Richtkoppler hat übrigens eine mittlere Richtdifferenzierung von nur -24dB bei 432MHz (nicht die an Bild 5 angezeigten 30dB...).



Bild 6a: Logarithmischer Verstärker (2x)

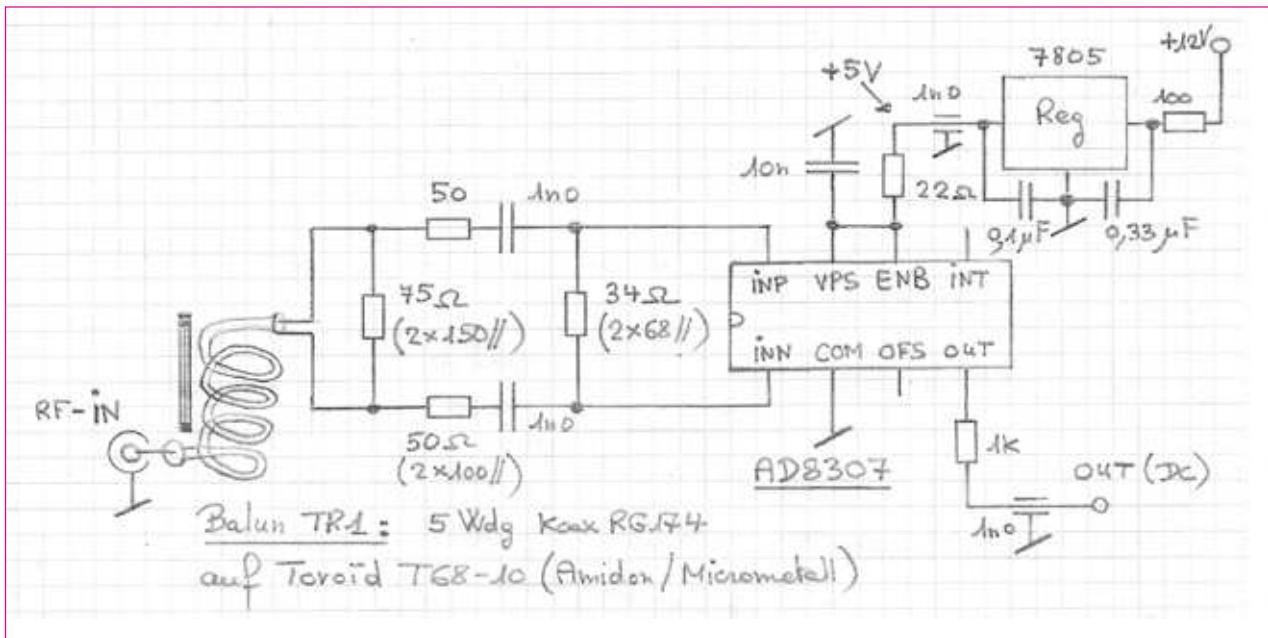


Bild 6b: Schema des logarithmischen Verstärkers (Log Detektor)

Jetzt habe ich den Gleichrichter ausgeschaltet und an den Ausgängen des Richtkopplers „DIR“ und „REFL“ SMA-Buchsen installiert. Diese Ausgänge führen zu einem logarithmischen Verstärker, der mit dem AD8307 von Analog Devices arbeitet (siehe Foto in **Bild 6a** und Schema in **Bild 6b**). Dieser IC liefert eine DC-Spannung, die dem Logarithmus der RF-Eingangsleistung entspricht (Verhältnis: 26mV/dB). Dies erlaubt die Realisation eines Wattmeters und eines SWR-Meters mit Anzeigen. In einer Control-Box im Shack werden die PWR- und SWR-Anzeigen durch Differential-Verstärker gesteuert (Schema auf Anfrage: francois.callias@net2000.ch).

Das SWR-Meter zeigt dabei nicht das übliche SWR sondern das Verhältnis zwischen Vorwärts- und Rückwärts-Leistung $S_{11} = 10 \log(P_{DIR}/P_{REFL})$ in [dB] mit maximaler Anzeige von 20dB: Zeiger auf 0 → $S_{11} = 0\text{dB}$, $\text{SWR} = \infty$; Zeiger in der Mitte → $S_{11} = -10\text{dB}$ $\text{SWR} = 2$; Zeiger auf Maximum → $S_{11} = -20\text{dB}$ $\text{SWR} = 1,2$. Diese unkonventionelle Anzeige hat einige Operateure erstaunt...



Bild 7: Das Innenleben der PA-LNA-Box

Bild 7 zeigt das Innenleben der PA-LNA-Box. Die PA-Schaltung befindet sich oben hinter dem Gitter. Darunter sieht man das RX Hoch-Pass Filter (HPF) mit dem LNA verbunden und darunter das TX Tief-Pass Filter (LPF). Die Steuerschaltung ist auf der linken Seite zu erkennen. Die Log-Verstärker stecken unter dem LNA. Das HP-Filter vor dem LNA schützt dessen Eingang vor starken Signalen benachbarter Stationen wie dem Signal der 144MHz Station bei Multi-Band Contestbetrieb.

Bild 8 zeigt das Blockschaltbild der PA-LNA Box. Das Verbindungskabel zur Station wird am I/O Anschluss angeschlossen; Relais „Z3“ schaltet den Transceiver zwischen PA-Eingang und LNA Ausgang um. Auf der anderen Seite schaltet Relais „Z1“ die Antenne zwischen PA-Ausgang (durch das TP-Filter) und LNA-Eingang (durch das HP-Filter). Relais „Z2“ ist ein Schutzrelais. Es schaltet die Antenne auf „Z1“ nur wenn die 50V Speisung eingeschaltet ist. Ohne Speisespannung werden weder der LNA noch die PA mit der Antenne verbunden. Damit wird vermieden, dass mit dem System im OFF-Zustand statische Entladungen durch die Antenne den PA-Ausgang beschädigen.

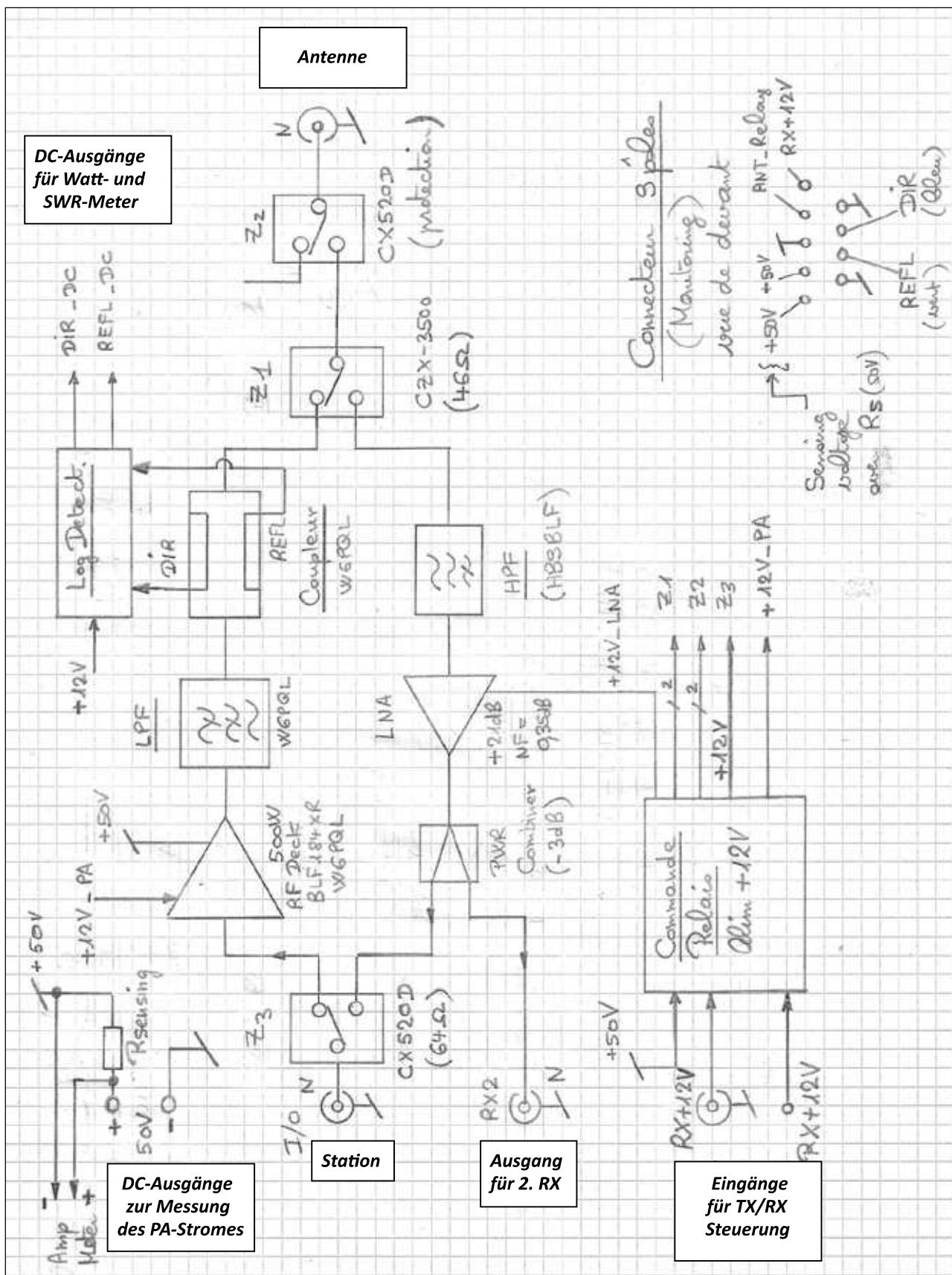


Bild 8: Blockschaltbild der 432MHz PA-LNA-Box

Das Prinzip der TX/RX Umschaltung ist das gleiche wie in **Bild 1**. Falls die Steuerspannung „RX+12V“ 0V liefert befinden sich Z1 und Z3 im Ruhezustand und das System ist im TX Modus (PA mit der Antenne verbunden). Falls „RX+12V“ = +12V dann ziehen die Relais Z1 und Z3 und die Antenne wird mit dem LNA verbunden (System im RX Modus).

Am LNA-Ausgang befindet sich noch ein „Power-Splitter“ für einen 2. Empfänger.



Bild 9: Control-Box (Strom, Power, SWR), Kabel für 50V Speisung (weiss), 50V DC Speisegerät und Verbindungskabel (grau) zwischen PA-LNA und Control-Box

Ein 8-adriges Kabel verbindet die PA-LNA-Box mit der Control-Box. Die TX/RX-Steuerung (Signal „RX+12V“ vom Stations-Sequenzer) geht durch dieses Kabel via Control-Box.

Das 50V Speisegerät stammt aus der Telekommunikation und wurde von HB9HLH aufgestöbert. Es kann 22A liefern. Das 50V Kabel zur PA-LNA hat 2 Drähte mit 6mm² und ist 10m lang.

Abmessungen der PA-LNA-Box: H x B x T = 42cm x 35cm x 20cm (T: Box = 12cm + 8cm für den Kühlkörper).

Gewicht: 11kg

Dank

Ganz herzlichen Dank an Anton Bärtschi HB9ASB für die Korrekturen meiner deutschen Übersetzung! ■