Mastverstärkerbaugruppe für 1296 MHz (Teil 1)

Wolf-Henning Rech, DF9IC, Eisinger Str. 36/2, 75245 Neulingen,
mailto: whrech@web.de

1 Konzept

Diese Baugruppe wird zur Zeit entwickelt zum Einsatz im Fieldday-Kontestbetrieb bei DR9A. Wir verfügen über eine exponierten Standort im Nordschwarzwald, der durch seine Lage erfolgreichen Kontestbetrieb ermöglicht, allerdings bei 1000 m ü. NN. noch unterhalb der Baumgrenze liegt. Die Nadelbäume im Umkreis wurden zwar 1997 von Orkan „Lothar" stark gelichtet, aber im Süden unseres Standorts sind sie stehengeblieben, und auch auf den anderen Seiten ist in 13 Jahren schon wieder viel nachgewachsen.

Da wir alle Antennen wie auch die gesamte Station vor dem Wettbewerb aufbauen und nach dem Wettbewerb wieder abbauen, müssen die verwendeten Baugruppen robust und zuverlässig konzpiert sein. Während des Wettbewerbs ist ein Zugang zur Reparatur mastmontierter Baugruppen nahezu unmöglich. Alle Antennen für alle Frequenzbereiche müssen an einem einzigen, 35 m hohen mobilen Mast aufgebaut werden. Die Antennen für 1296 MHz finden dabei in einer Höhe von ca. 22-28 m Platz, so daß bis zum Shack Kabellängen von fast 30 m anfallen. Bisher wurde ein Sendeverstärker mit einer TH308-Röhre und 7/8"-Cellflex-Kabel zum Sender zusammen mit einer Vorverstärker- und Umschaltbaugruppe am Mast verwendet. Die Vielzahl der erforderlichen dicken Kabel erhöht den Aufwand beim Auf- und Abbau. Daher liegt es nahe, auch den Sendeverstärker für das 23-cm-Band in Antennennähe zu plazieren, so daß am Mast eine Sende- und Empfangsverstärkerbaugruppe mit integrierter Stromversorgung hängt und nur der Transverter mit Steuerung und Anzeigen im Shack verbleibt.

Für die Baugruppe steht eine ausgemusterte UMTS-Außeneinheit[1], die ursprünglich genau dem gleichen Zweck gedient hat, zur Verfügung. Es handelt sich um ein Kühlkörpergehäuse mit den Außenabmessungen 900 mm x 300 mm x 140 mm (H x B x T) und knapp 25 kg Leergewicht. Es ist auf der ganzen Fläche mit 70 mm hohen Kühlrippen belegt, die zudem zu einem Kamin ergänzt sind und von zwei Axiallüftern leicht zwangsgekühlt werden. Der Innenraum hat die Abmessungen 830 mm x 300 mm x 50 mm (H x B x T) und kann durch einen U-förmigen Deckel und eine Gummilippe wasserdicht verschlossen werden (Bild 1).

Auf den ersten Blick erscheint dies ein reichliches Platzangebot, allerdings ist auch eine Menge darin unterzubringen. Die Baugruppe soll zwei Antennensysteme ansteuern können; sie hat daher zwei Antennenbuchsen, eine weitere für die Ableitung zum Transverter, die gleichzeitig die Aufgaben einer Steuerleitung übernimmt, und den Stromversorgungsanschluß, der zwecks gleichmäßiger Lastverteilung bei Aggregatbetrieb als Drehstromanschluß ausgeführt ist. Alle Koaxanschlüsse sind 7/16-DIN-Verbinder wegen der besseren Handhabung im rauher Umgebung.

---

1. Für die Beschaffung dieses Gehäuses sei Torleif SM7EYW herzlich gedankt.

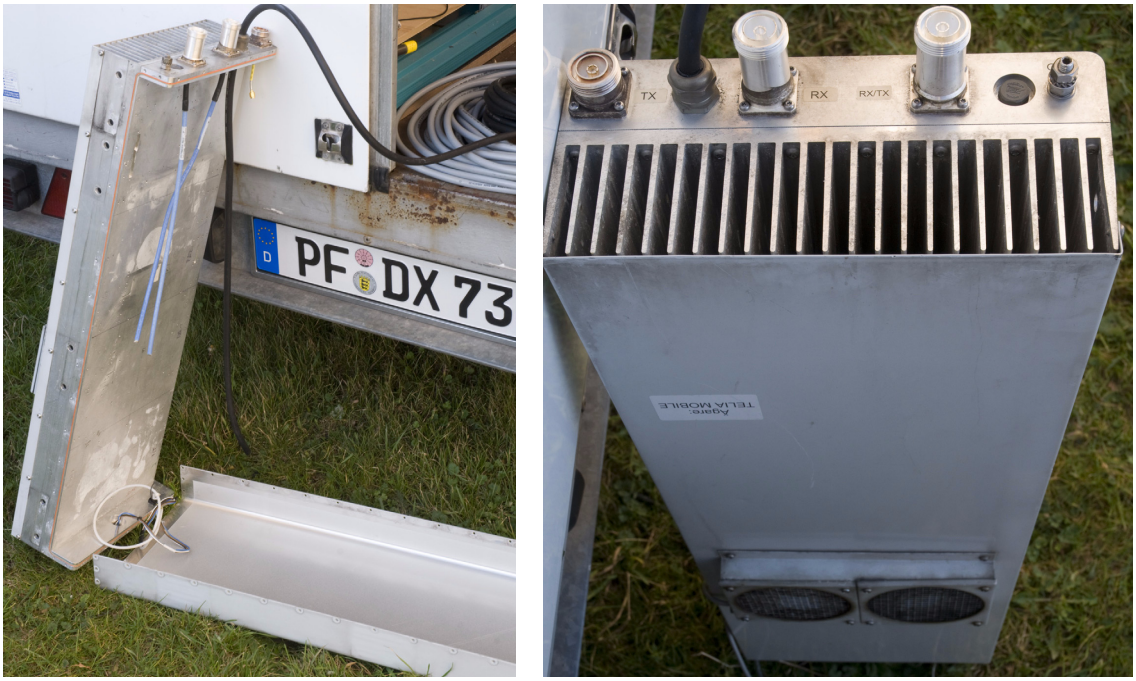


Bild 1 Verstärkergehäuse im Leerzustand.

Im einzelnen umfaßt die Baugruppe:

- 2 S/E-Umschaltrelais,
- 2 Vorverstärker mit hoher Verstärkung,
- 2 PAs mit 400 W Sendeleistung und einem gemeinsamen Treiber bei 10 mW Steuerleistung,
- 2 Richtkoppler,
- 2 Zweikanal-Leistungsmesser,
- Telemetrie- und Fernwirkbaugruppe [5] zum Betrieb über Koaxkabel,
- Transverter-Interface mit S/E-Umschaltung und Antennenumschaltung für Empfangsbetrieb,
- Stromversorgung für 26 V bei 80 A sowie Hilfsspannungen (9 V, 12 V und 24 V).

Einige der Baugruppen konnten aus anderen Projekten übernommen bzw. angepaßt werden, andere aus Surplus verwendet, und einiges muß neu entwickelt werden. Da diese Entwicklungen noch nicht abgeschlossen sind, kann nur über den aktuellen Stand berichtet werden.

Es zeigt sich, daß der verfügbare Platz sehr knapp ist. Kompakte Bauweise ist daher bei allen Modulen wichtig.

Die Gesamtbaugruppe ist wegen der Verwendung von nur individuell verfügbarem Material nicht direkt nachbaubar, sondern soll eher als Anregung für eigene Projekte dienen bzw. einzelne, auch anderswo nutzbare Module vorstellen.

2 Koaxrelais und Richtkoppler

Bei beiden handelt es sich um Surplus-Bauteile.

Die Koaxrelais sind vom „Latching”-Typ (Stoßstromrelais) und daher bei Funkamateuren oft weniger beliebt, aber günstiger zu bekommen. Sie werden mit 28 V geschaltet und erreichen eine Übersprechdämpfung von >80 dB. Hilfskontakte ermöglichen eine direkte Überwachung des Schaltzustands. Es handelt sich um Transferschalter mit 4 N-Buchsen und einen Flansch mit 50 mm x 50 mm, der in der Höhe gerade noch in das Gehäuse paßt, wenn man zwei der vier Befestigungsschrauben der Abdeckhaube entfernt. Genutzt werden die Relais als einfache Umschalter, der vierte Anschluß wird nicht benutzt.

Die Richtkoppler sind 900-MHz-Typen von Narda, die als OEM-Produkt oft auch mit Motorola bezeichnet sind, in einer Version mit je einem N-Stecker und einer N-Buchse. Sie müssen am Boden etwas abgefräst werden, um direkt in einer Ebene mit den Koaxrelais verbunden werden zu können und dann zwecks kompaktem Aufbau bündig abzuschließen. Die Koppeldämpfung beträgt ca. 31,5 dB, und die Leistungsverträglichkeit hat sich bei bis zu 600 W Durchgangsleistung in anderen Einsätzen bewiesen. Da sie zwei Nebenleitungen - jeweils mit einer SMA-Buchse - besitzen, ist eine Messung auch der rücklaufenden Leistung möglich. Die Richtdämpfung liegt in der Größenordnung von 30 dB.

Bild 2 zeigt eine solche Relais-/Richtkoppler-Einheit.

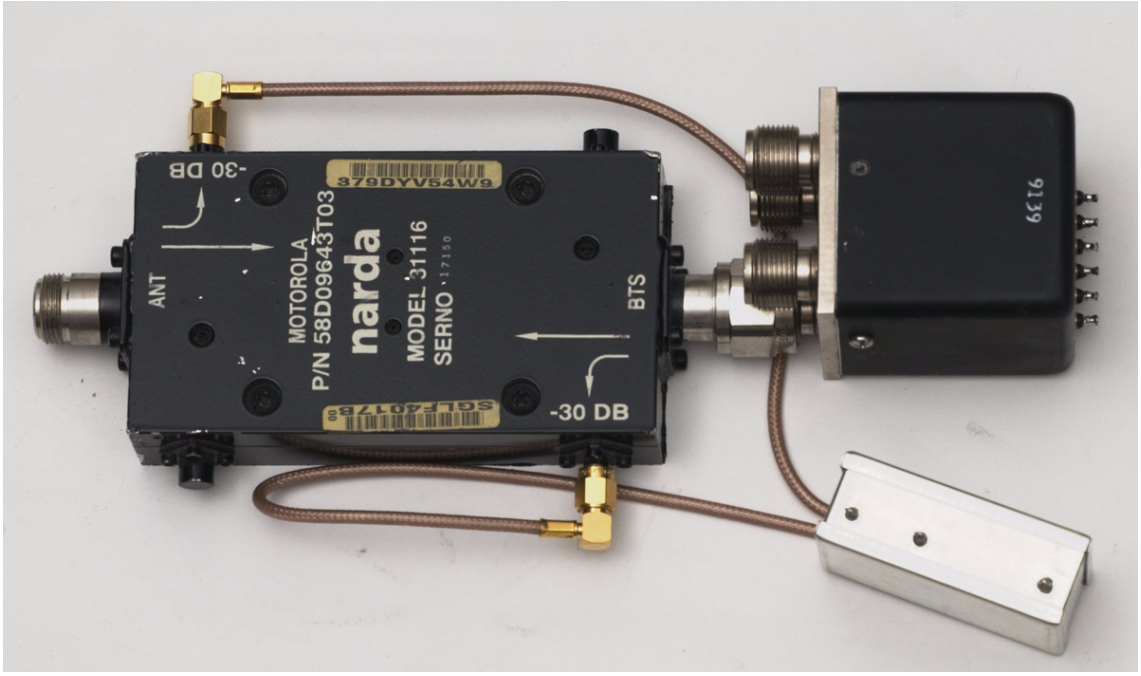


Bild 2 Umschaltrelais und Richtkoppler mit der Leistungsmeßbaugruppe.

3 Vorverstärker

Das Modul ist abgeleitet von diversen Vorgängern, die sich untereinander nur in der zweiten und ggf. dritten Stufe unterscheiden und zum Teil seit vielen Jahren genutzt werden. Die hier vorgestellte Version hat eine sehr hohe Verstärkung, um auch bei hoher Dämpfung des

Kabels zum Transverter und mit einem Transverter ohne rauscharme Eingangsstufe niedrige Gesamtrauschzahlen zu ermöglichen.

Es werden nur Transistoren und MMICs mit hoher Ausgangsdynamik eingesetzt; die Eingangsstufe ist ein pHEMT ATF33143, darauf folgt ein MMIC AG-102 und in der dritten Stufe ein MMIC AH-102. Letzteres erreicht einen Ausgangs-IP^3 von +45 dBm.

Der ATF33143 (auch aus Surplus) hat sich auch in Verstärkern für 144 und 432 MHz bewährt; mit einem Drainwiderstand von 15-22 Ohm und Sourceabblockung ist er unbedingt stabil, und selbst bei direktem 50-Ohm-Anschluß am Eingang ohne jedes Anpaßnetzwerk werden Rauschzahlen von 1 dB erreicht, die bei deutlich abweichender Quellenimpedanz kaum ansteigen. Sicherlich gibt es - etwa für EME - wesentlich rauschärmere Transistoren, für den Einsatzzweck im terrestrischen Kontestbetrieb sind die letzten Zehntel dB von geringer Bedeutung; ein typisches DX-Signal via Flugzeugreflexion hat leicht 5-10 dB Fading.

In der vorgesehenen Multiband-Umgebung ist ausreichende Selektion gegen selbst erzeugte Störsignale wichtig - genannt sei insbesondere das 70-cm-Band. Deshalb ist der ersten Stufe ein allerdings recht fest angekoppelter Eingangskreis vorgeschaltet, die Kopplung zur zweiten Stufe hat leichten Hochpaßcharakter, und zwischen der zweiten und dritten Stufe ist ein dreikreisiges Helixfilter angeordnet, das auch bei leichten RADAR-Störungen hilft. Diese Maßnahmen werden ergänzt durch ein Ein-/Ausgangsfilter im Transverter.

Bild 3 zeigt Verstärkung und Eingangsanpassung des Vorverstärkers.

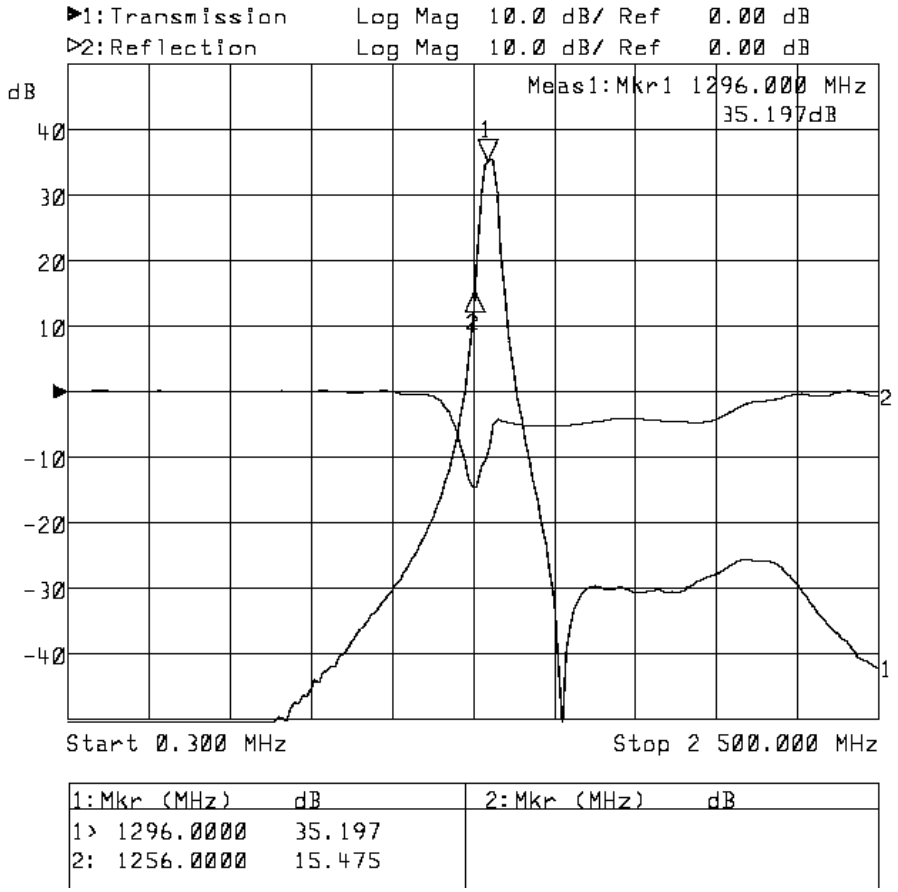


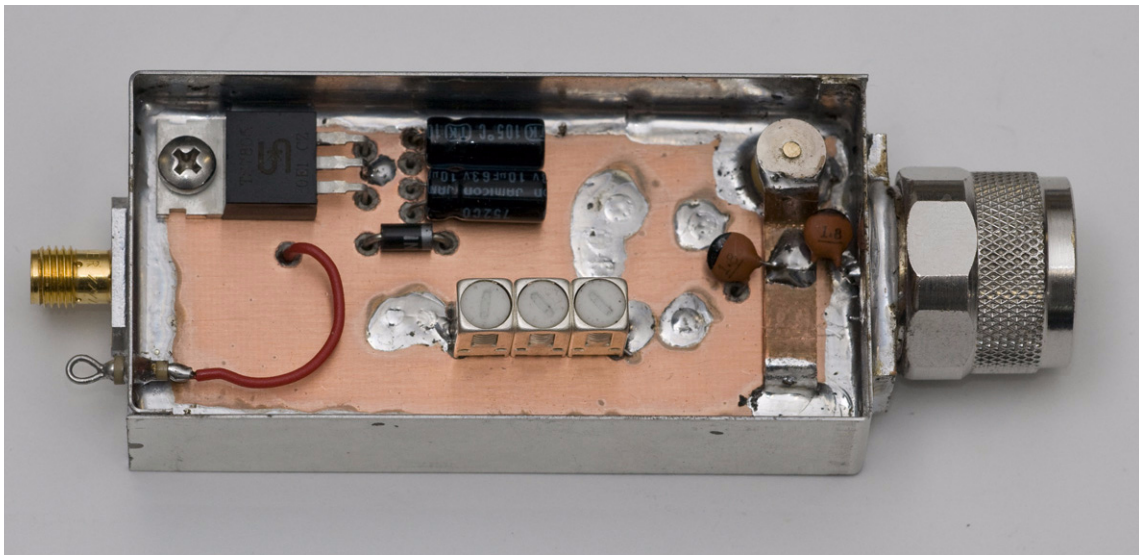
Bild 3 Verstärkung und Eingangsanpassung des Vorverstärkers.

Die Verstärkung beträgt 35 dB, die Rauschzahl typ. 0,8 dB. die 1-dB-Kompressionsausgangsleistung +25 dBm (300 mW).

Das Modul ist eigentlich zum Einbau in ein WB-Gehäuse 74 mm x 37 mm x 30 mm vorgesehen. Da der Vorverstärker aber oberhalb des auch abgefräst noch 26 mm dicken Richtkopplers montiert werden muß, wird in diesem Fall ein nur 20 mm hohes Gehäuse verwendet und die Leiterplatte etwas schräg eingebaut, um die Anschlußbuchsen mittig montieren zu können. Am Eingang ist der Verstärker mit einem stark abgefrästen N-Vierkantflanschstecker zur Direktmontage am Koaxrelais ausgerüstet, am Ausgang mit einer SMA-Buchse.

Die Spannungsversorgung erfolgt direkt aus 9 V, die extern linear stabilisert werden müssen, um die Verlustleistung in der Baugruppe bei einer Stromaufnahme von 330 mA zu begrenzen. Die Versorgungsspannung der ersten und zweiten Stufe wird intern auf 5 V stabilisiert. Die Eingangsstufe arbeitet mit 60 mA Drainstrom.

Bild 4 zeigt die Ansicht, Bild 5 das Schaltbild, Leiterplattenlayout (FR4 1,5 mm) und den Bestückungsplan der Baugruppe.



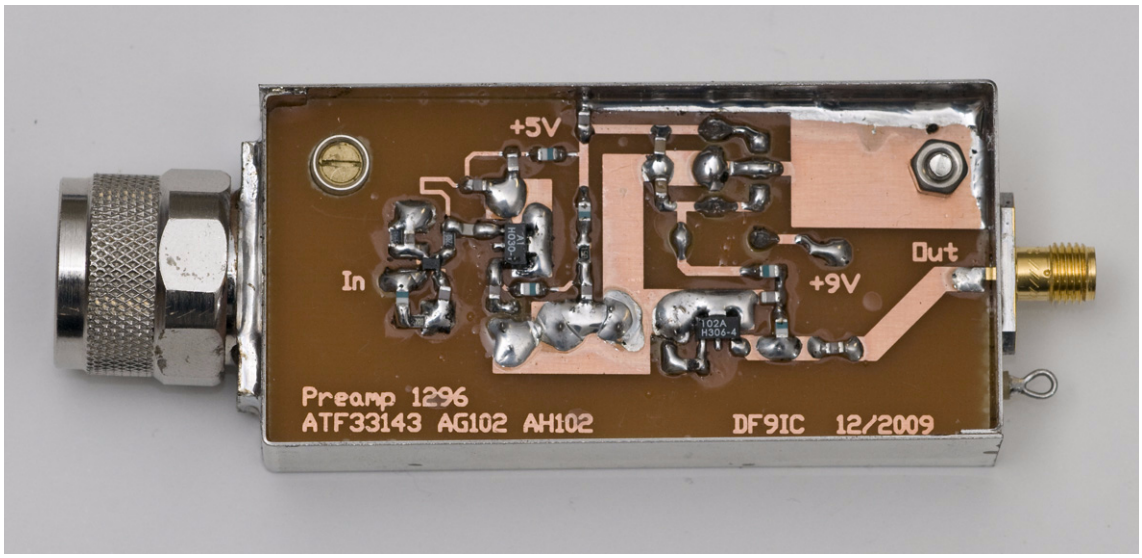
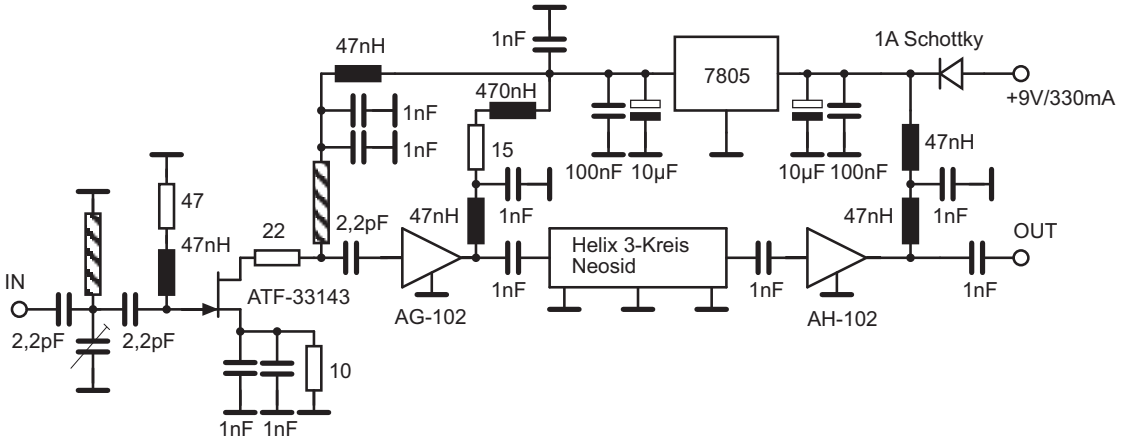
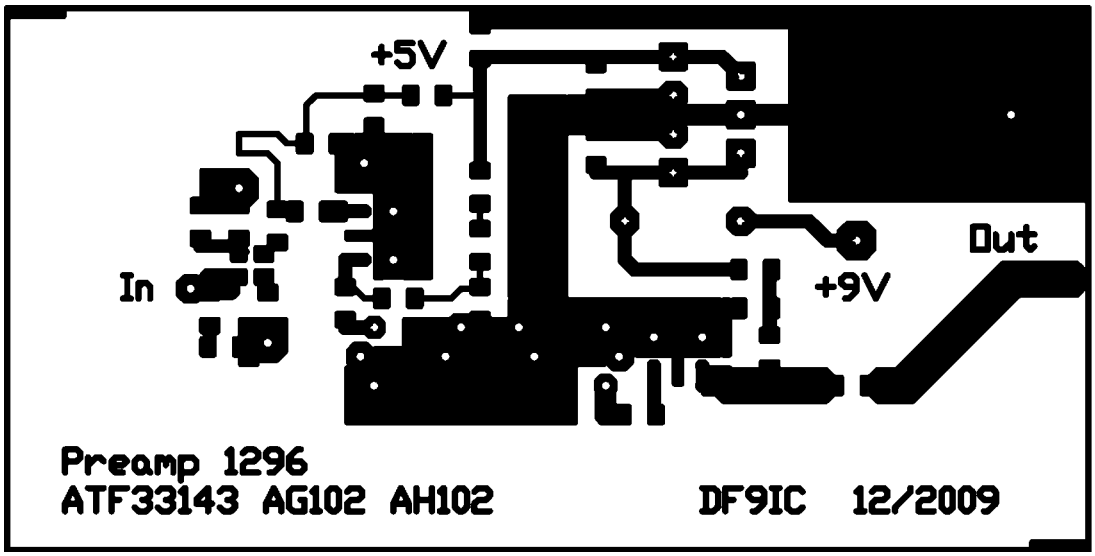


Bild 4 Photos des Vorverstärkers.





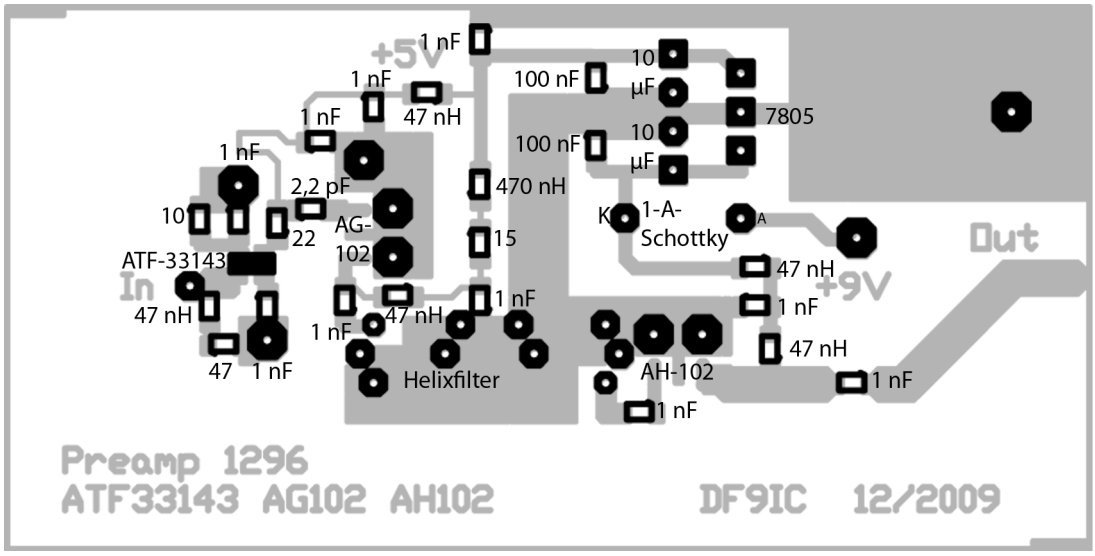


Bild 5 Schaltbild, Layout (M2:1) und Bestückungsplan des Vorverstärkers.

4 Leistungsmesser

Auch diese Baugruppe wird nicht nur in dem Mastverstärker eingesetzt, sondern in allen Leistungsverstärkern bei DR9A. Für den Mastverstärker wurde aber wieder ein etwas kompakterer Aufbau aus dem schon vorhandenen Modul abgeleitet.

Bei Verwendung von Richtkopplern mit HF-Ausgang der Nebenleitung zur Betriebsüberwachung des Leistungsverstärkers braucht es zur Leistungsmessung zusätzlich einen Gleichrichter. Oft werden hierfür einfache Schottkydioden mit analogen Meßinstrumenten mit speziell gezeichneten Skalen verwendet oder es wird auf eine Kalibrierung ganz verzichtet. Analoge Instrumente sind bei SSB-Betrieb ein bewährtes Anzeigemittel, wobei die übliche Charakteristik eines näherungsweise HF-spannungsproportionalen Ausschlags vertraut und daher auch bei einer anderen Lösung anzustreben ist.

In der hier beschriebenen Anwendung werden letztlich ebenfalls analoge Meßinstrumente eingesetzt, allerdings mit einer für alle Frequenzen und Leistungen einheitlichen Skalenteilung, so daß der Aufwand bei der Anfertigung von Skalen bei einer größeren Zahl von Leistungsmessern geringer ausfällt und sich insbesondere die Kalibrierung auf einen einzigen Punkt beschränkt.

Dazu wird die HF-Leistung der Nebenleitungen über ein zusätzliches Dämpfungsglied einem RMS-Detektorbaustein AD8361 zugeführt. Dessen spannungslineare Kennlinie erreicht zwar nur 30 dB Dynamik, was für eine Betriebsanzeige völlig ausreichend ist, besitzt aber die gewünschte Kennlinie. Er benötigt an sich nur eine minimale äußere Beschaltung, wird in der Baugruppe jedoch durch einen Ausgangspuffer mit OPV ergänzt. Dessen Beschaltung dient der Stabilität bei stark kapazitiver Last durch den Durchführungskondensator. Die Baugruppe beinhaltet einen Doppeldetektor und ist einschließlich 5-V-Spannungsregler in einem WB-Gehäuse der Abmessungen 55,5 mm x 37 mm x 20 mm untergebracht, wobei die HF-Eingänge mit fest angelöteten Koaxkabeln ausgeführt sind. Wiederum würde ein 30 mm hohes Gehäuse den Einbau der Baugruppe und die Verwendung von SMA-Buchsen erleichtern, dafür fehlt aber der Platz.

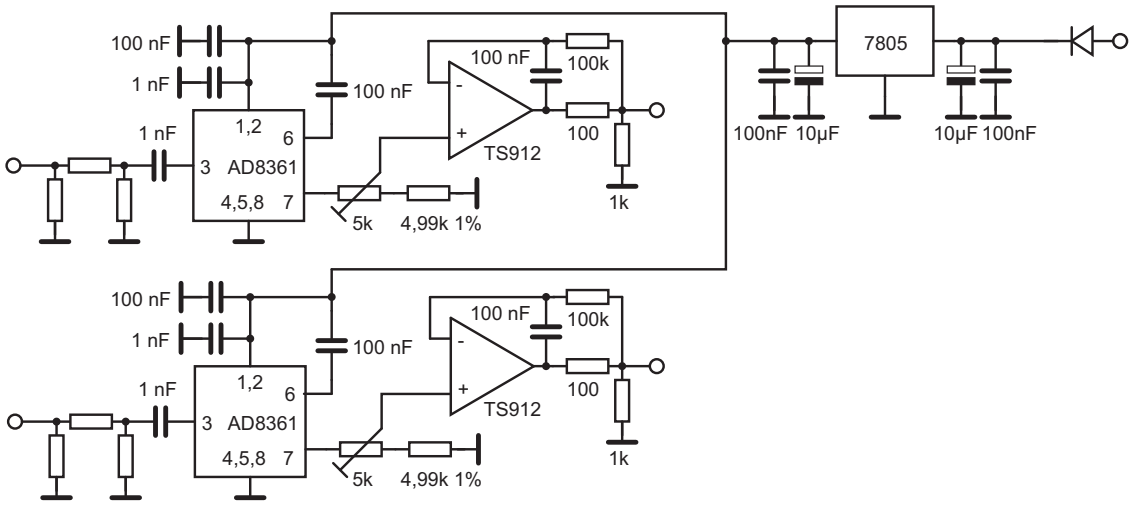


Bild 6 Schaltbild des Leistungsmessers.

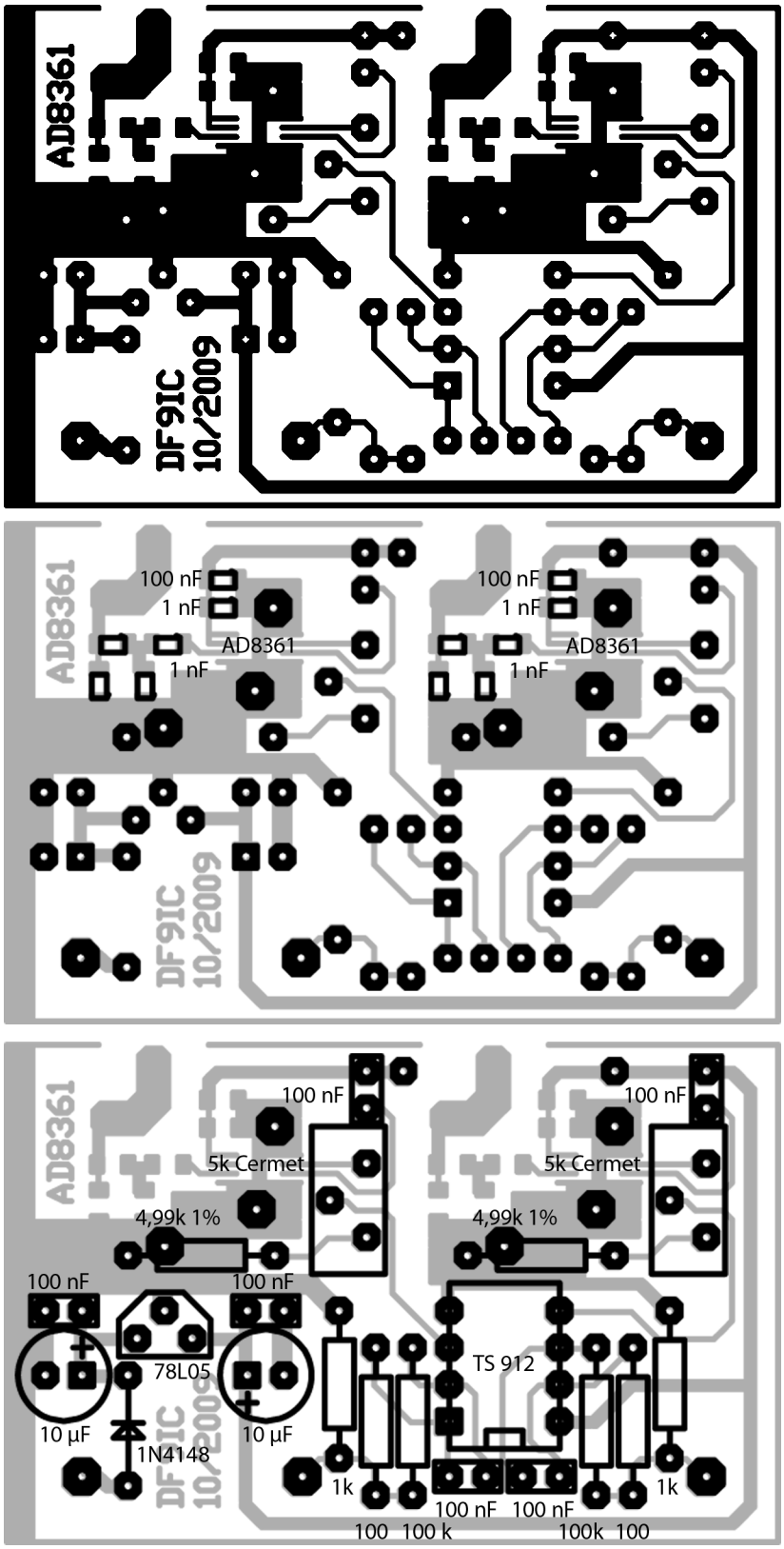


Bild 7 Layout (M2:1) und Bestückungsplan des Leistungsmessers.

Die maximale Eingangsleistung ohne Dämpfungsglied beträgt etwa 6 mW, so daß sich mit einer Gesamtdämpfung von Richtkoppler und Dämpfungsglied von 50 dB der Vollausschlag

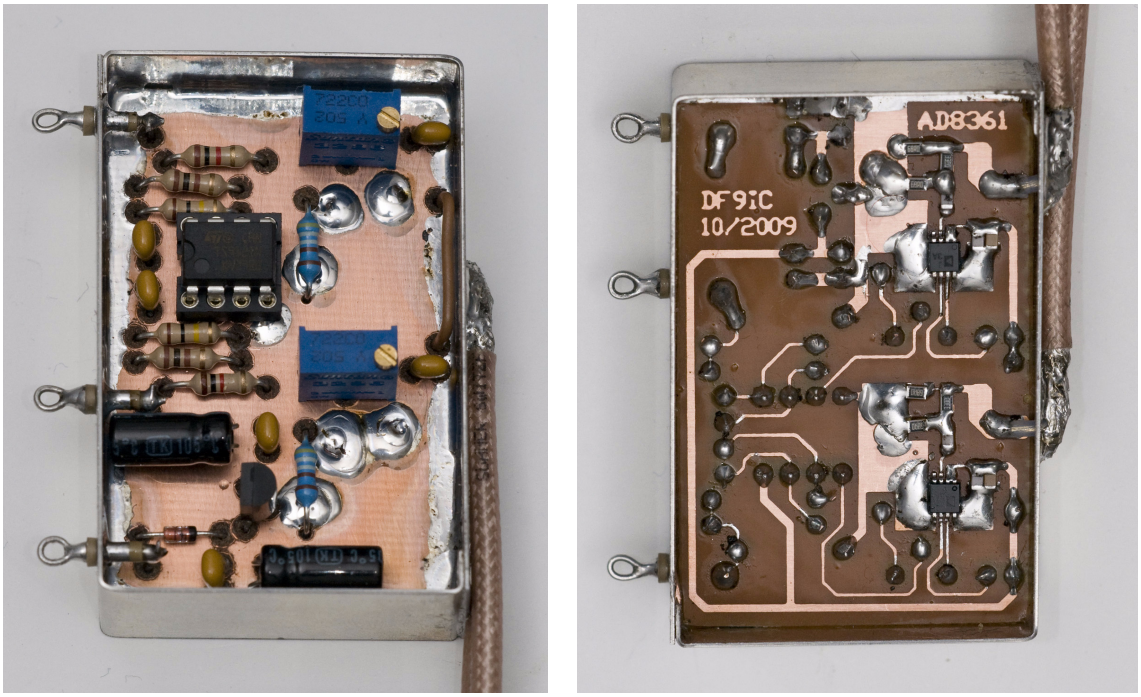


Bild 8 Photos des Leistungsmessers.

des Leistungsmessers bei 600 W einstellt. Kalibriert wird auf 1 V Ausgangsspannung bei 100 W Sendeleistung. Die Offsetspannung ohne Eingangsleistung liegt bei typisch 20-30 mV, also äquivalent zu weniger als 0,1 W, das kann sicherlich akzeptiert werden. Wenn eine Bereichsumschaltung am Meßgerät erwünscht ist, so kann diese einfach durch Umschaltung des Spannungsendwerts des Anzeigeinstruments um $1/\sqrt{10}$ vorgenommen werden und liefert dann einen Bereich mit (im Beispiel) 60 W Vollausschlag mit der gleichen Skala.

Bild 6 zeigt die Ansicht, Bild 7 das Schaltbild und Bild 8 das Leiterplattenlayout (FR4 1,5 mm) und den Bestückungsplan der Baugruppe.

Die Baugruppe ist bis 2,5 Ghz nutzbar; das selbe Prinzip funktioniert mit einem ADL5501 (funktions-, aber nicht pinkompatibel) auch bis 6 GHz.

5 Leistungsverstärker

Der Leistungsverstärker selbst war zum Zeitpunkt der Abfassung des Manuskripts noch in Entwicklung.

Verwendet werden MRF286 - nicht, weil es keine Alternativen gäbe, aber sie sind mittlerweile relativ gut zu akzeptabeln Preisen beschaffbar. Um Reserven zu haben, werden für die geplante Sendeleistung von 400 W insgesamt 8 Stück vorgesehen, die aus einem gleichartigen Treiber angesteuert werden. Die beiden Treiber werden schließlich von einem modifizierten MHW1815[1] getrieben, der den Großteil der Verstärkung liefert. So kann der komplette Verstärker mit 24/26 V versorgt werden.

Im Gegensatz zu den bekannten Konzepten [1][2][3][4] muß auch hier dem Platzbedaf besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Pro Verstärker steht nur eine Breite von

1. Vielen Dank an Heino DJ6JJ für Beschaffung und Umbau.

35 mm zur Verfügung, wenig mehr als die Breite des Transistorflansches. Die Verstärker sollen außerdem auf RO4003-Substrat mit 0,81 mm Dicke erstellt werden, damit 50- und 70-Ohm-Leitungen nicht zu dünn werden, so daß auch die Leistungskombinierer auf dem gleichen Substrat realisierbar sind. Letztere sind in der ersten Stufe mit 100-W-Hybridkopplern Typ 1E1305-3 von Anaren und im weiteren als Streifenleitungskoppler ausgelegt.

Daher ist eine Anpaßschaltung alleine mit Streifenleitungen nicht realisierbar, sondern es werden ATC-Chipkondensatoren eingesetzt. Die Transistoren sind auf einem 6 mm dicken Kupferflachstück montiert, um die Wärme großflächiger an den großen Kühlkörper abgeben zu können.

Details werden im Vortrag vorgestellt.

6 Steuerung und Überwachung

Ein großer Teil der Steuerung des Mastverstärkers erfolgt vom Transverter aus über die in [5] beschriebene Telemetrie- und Fernwirkbaugruppe.

7 Stromversorgung

Zur Stromversorgung werden fertige Module VI-260-CU von Vicor eingesetzt. Diese benötigen eine Eingangsgleichspannung vom 200-400 V DC, die sich durch Brückengleichrichtung der Sternspannung gewinnen läßt, und liefern am Ausgang 5 V DC (feinjustierbar) bei 40 A Belastbarkeit. Je 5 Module in Serienschaltung erzeugen die benötigte Versorgungsspannung für einen der beiden Verstärker. Zur Versorgung der Treiber und sonstigen Baugruppen sind noch zwei Module VI-261-CU (12 V bei 16,7 A) ergänzt; je 4 der insgesamt 12 Module werden aus einer Phase des Drehstromanschlusses versorgt. Die Baugruppe kann aber auch einphasig betrieben werden.

Das Modul hat die Abmessungen 117 mm x 61 mm x 20 mm (Bild 9).

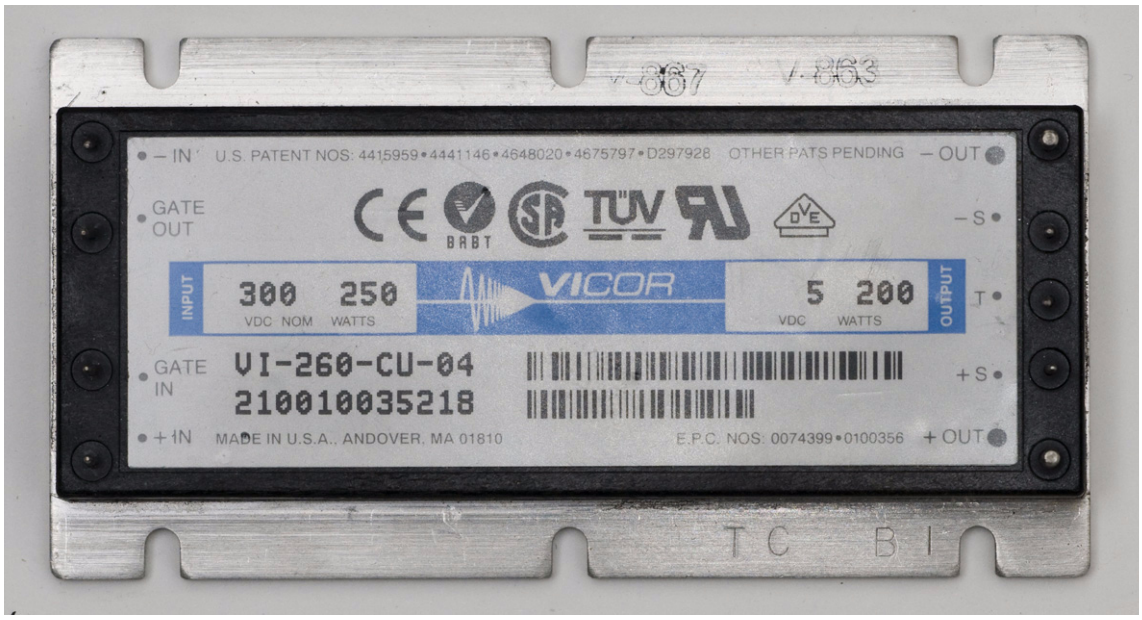


Bild 9 Stromversorgungsmodul.

8 Zusammenfassung

Der im Aufbau befindliche Mastverstärker wurde in einigen Aspekten beschrieben, aber die Entwicklung ist noch nicht abgeschlossen. Leiterplattenlayouts des Vorverstärkers und des Leistungsmessers stehen bei [6] zum Download bereit.

Wir hoffen, im Laufe des Kontestjahrs 2011 damit unsere Möglichkeiten im 23-cm-Band verbessern zu können, und freuen uns auf viele schöne Kontest-QSOs.

9 Referenzen

[1] F5EFD: Amplificateur 70 W sur 1296 MHz. Hyper N° 65 (Nov. 2001), 15-18.

[2] Schübbe, Heino, DJ6JJ: Modifikation einer kommerziellen 13-cm-PA (mit MRF 286). GHz-Tagung Dorsten 2007, 59-64.

[3] *http://www.w6pql.com/600w_23cm_LDMOS_amplifier.htm*

[4] *http://f1chf.free.fr/MRF286/ImprovePAMRF286_alq.PDF*

[5] Kurpiers, Alexander, DL8AAU: Universelle Telemetrie- und Fernwirkbaugruppe: Steuerung und Überwachung mastmontierter PA-/VV-TVTR-Baugruppen. GHz-Tagung Dorsten 2011.

[6] *http://www.df9ic.de*