

Entwicklung einer modernen LDMOS KW-Endstufe.

Die Entwicklung einer modernen KW-Endstufe in LDMOS Technik zusammen mit einem Standalone SDR-TRX zeigen, dass es durchaus möglich ist eine moderne und leistungsstarke Funkstation selber zu bauen. Das Projekt ist nachbausicher und somit können auch Einsteiger in diesen Techniken sicher zur selbstgebauten Highend Funkstation gelangen.

Die Entwicklung beziehungsweise der Selbstbau einer eigenen Station ist schon etwas Besonderes. Ist es nicht der eigentliche Gedanke des Amateurfunks, welcher als Experimentalfunkdienst ausgewiesen wird, zu forschen, testen und zu entwickeln? Zwar ist dies nicht zwingend für alle Funkamateure zutreffend aber es gibt doch noch eine Vielzahl von Funkamateuren die sehr gerne etwas selbst errichten würden. Die Hürden sind meist nicht das eigene handwerkliche Geschick, sondern in der heutigen Zeit auch der Aufwand für die Entwicklung, finanzielle Belastung durch den Prototypenbau und die knappe Zeit.

Um den Einstieg in eine selbstgebaute Funkstation zu erleichtern möchte ich meine Erfahrungen der letzten Jahre gerne teilen und durch Bausätze und Konzeptbeschreibungen hoffentlich den ein oder anderen Funkamateurer dazu anregen vielleicht mal wieder ein größeres Projekt anzugehen.



Shack Chris DG8DP

Autor: Christian Dindas

Alter: 45 Jahre

Rufzeichen: DG8DP

Lizenziert seit: 1988

Beruf: Entwickler und Technischer Projektleiter in der HF-Technik

Homepage: www.dg8dp.de

eMail: om.chris@dg8dp.de

DP-AMP HVF-1k2 LDMOS Kurzwellen Endstufe



Die HVF-1k2 LDMOS Endstufe ist die zweite Endstufe die ich entwickelt habe. Die erste Endstufe war die HF-1200 welche mit viermal VRF2933 im parallel Push-Pull Betrieb arbeitete und 1200W CW vom 1 MHz bis 30 MHz zur Verfügung stellte. Das Bedienkonzept wurde schon damals auf einen Touchscreen Bedienung ausgelegt und lediglich ein Schalter war an der Endstufe vorhanden, der Power Schalter. Das Messen, Steuern und Regeln übernahm ein Arduino Mega 2560R3 und das war 2012 schon fast eine kleine Sensation.

Durch die vorhandene Infrastruktur war es nun recht einfach möglich einen modernen LDMOS, den NXP BLF188XR, zu nutzen. Es wurde 2012 ein PA-Modul entwickelt welches mit dem BLF188XR arbeitete. Dieses PA-Modul liefert von 1 MHz bis 50 MHz gut 1200W.

Mit der Zeit folgte dann ein eigenes Lowpass-Filter Modul, Antennentuner Modul und ein Controller Modul. Diese Baugruppen plus ein Gehäuse, Netzteil und ein paar Kleinigkeiten werden dann zu einer modernen und soliden Kurzwellenendstufe.



Vorstellung der Baugruppen:

DP-AMP HVF-1k2

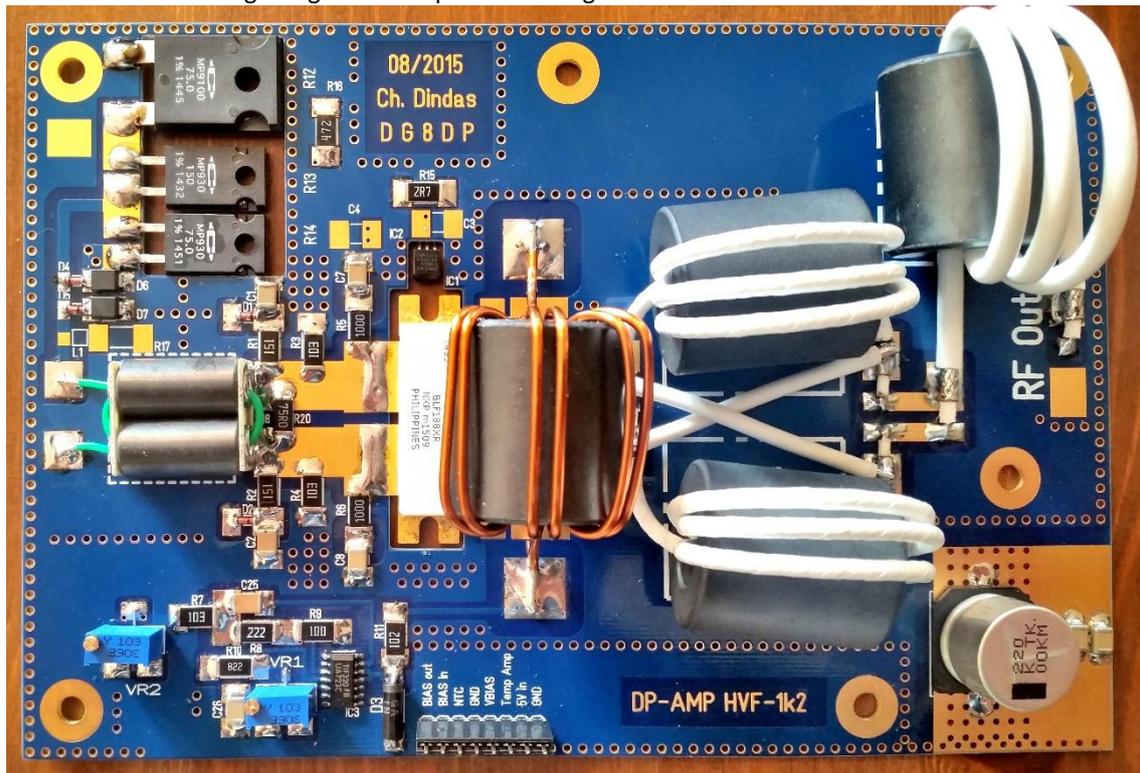
Das HVF-1k2 PA-Modul basiert auf einem modernen LDMOS wie dem NXP BLF188XR wobei auch ähnliche LDMOS wie MRFE6VP61K25HR6 oder dem neuen 65V / 1800W MRFX1K80H eingesetzt werden können. Da 2012 noch keine Application Note von NXP vorhanden war, musste das Layout und die Beschaltung selber entwickelt werden. Mit den Erfahrungen aus dem ersten Endstufenprojekt fiel schon einiges etwas leichter. Generell ist ein Endstufen Modul kein Hexenwerk, wenn man beim Layouten auf ein sauberes Layout achtet. Ich habe mich bei dem Layout dafür entschieden möglichst große SMD Bauteile zu nutzen um den Nachbau für weniger erfahrene Funkamateure zu vereinfachen.

Technische Beschreibung:

Das Eingangssignal kann durch ein optionales Dämpfungsglied gedämpft werden so dass auch Eingangsleistungen von bis zu 100W eingespeist werden können. Das Dämpfungsglied ist als Pi-Dämpfungsglied aufgebaut. Die drei Widerstände können auf jeden Dämpfungswert angepasst werden. Die Widerstände werden auf die Platine gelötet und zur Kühlung mit auf die Kupferkühlplatte geschraubt. Danach wird das Eingangssignal durch zwei TVS-Dioden begrenzt falls es zu Leistungsspitzen kommen sollte. Dies kann selbst bei sehr neuen Transceivern passieren und würde den sehr empfindlichen Eingang des LDMOS zerstören. Über einen 4:1 Übertrager gelangt das Eingangssignal dann an die Gates. Um die Gates zusätzlich zu schützen, damit zusammen mit der BIAS Spannung keinen Schaden entstehen kann, wurde der Gate-Schutz aus meiner ersten Endstufe verbaut. Es werden pro Gate zwei Zenerdioden eingesetzt welche die Spannung begrenzen. Der LDMOS braucht für einen stabilen Arbeitspunkt eine Arbeitspunktstabilisierung.

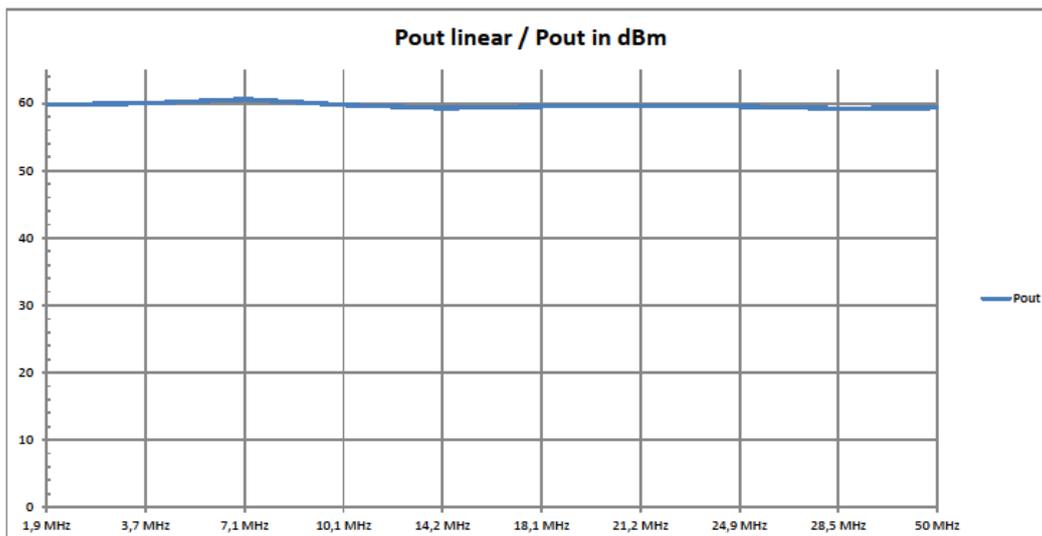
Die Arbeitspunktstabilisierung ist mit einem UA723 aufgebaut der die Spannung in Abhängigkeit der Temperatur am LDMOS regelt. Der NTC wird dabei direkt an dem Flansch des LDMOS befestigt und eine Regelung kann dort sicher und schnell erfolgen. Das PA-Modul arbeitet klassisch im AB-Betrieb welcher durch einen Ruhestrom von ca. 2,5A voraussetzt. Die nötige BIAS Spannung wurde zur Sicherheit auch begrenzt da eine zu hohe BIAS Spannung zu einem extremen Drain Strom führt welcher in kürzester Zeit den LDMOS zerstört. Ein LDMOS kann zwar sehr gut mit HF Strömen zurechtkommen, aber DC Strom ist an dieser Stelle kritisch. Das Ausgangssignal wird zunächst von dem DC Anteil entkoppelt welches durch hochwertige COG Keramik Kondensatoren geschieht. Danach wird vom niederohmigen Ausgang des LDMOS auf 50 Ohm mittels Transmissionline Transformer (TLT) transformiert und danach von 50 Ohm symmetrisch auf 50 Ohm

unsymmetrisch mit einem 1:1 Balun. Es ist bei allen Übertragern darauf zu achten, dass zum einen das richtige Kernmaterial gewählt wird und auch das passende Kabel verwendet wird. Nur wenn alle Komponenten aufeinander abgestimmt ist, kann man auch ein sauberes und solides Ausgangssignal erwarten. Über eine Stiftleiste kann dann die BIAS Spannung geschaltet und gemessen werden sowie die Temperatur digital ausgelesen werden welche direkt neben dem LDMOS gemessen wird und nicht wie oft gesehen weit entfernt an einer Kante. Die Verzögerung beim Temperaturanstieg ist hier nicht zu unterschätzen.

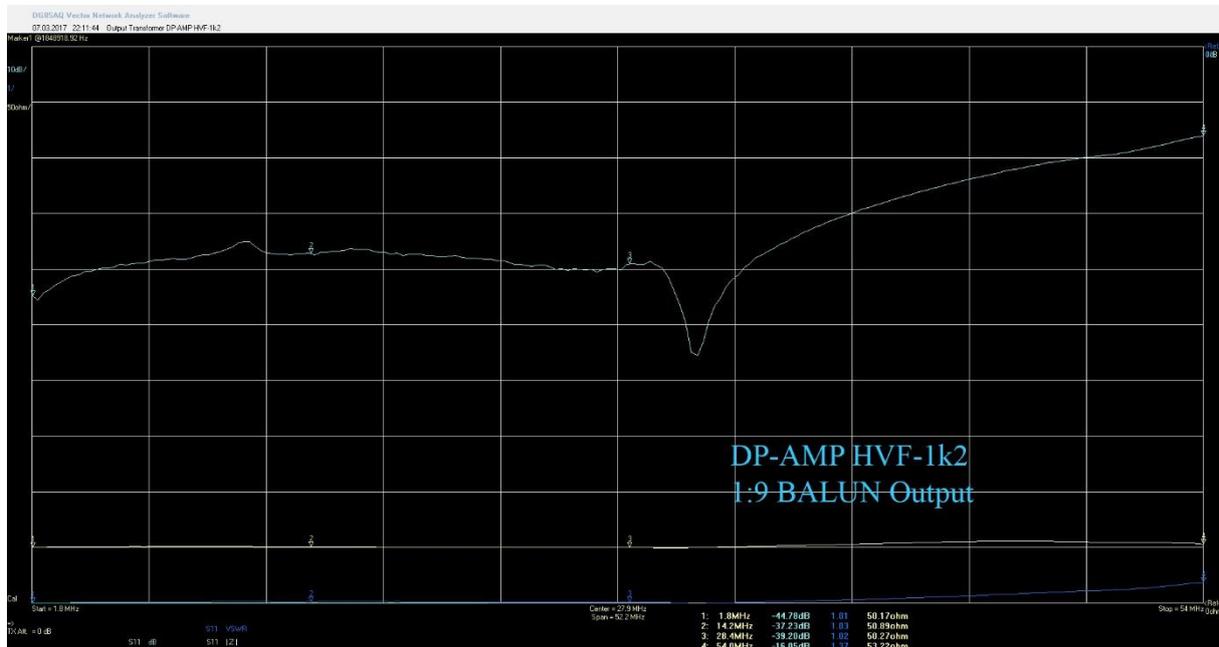


DP-AMP HVF-1k2

Project DP-AMP HVF-1k2 Final Edition
Subject HVF-1k2
S/N 17073 **DC Input** 53,7 VDC
Date 20.08.2017 **BIAS Current** 2,5A
Measurement Output max linear
Engineer Christian Dindas / DG8DP



Die Ausgangsleistung beträgt 60 dBm \pm 0,3dB über den gesamten Frequenzbereich.



Anpassung des Ausgangskreises.

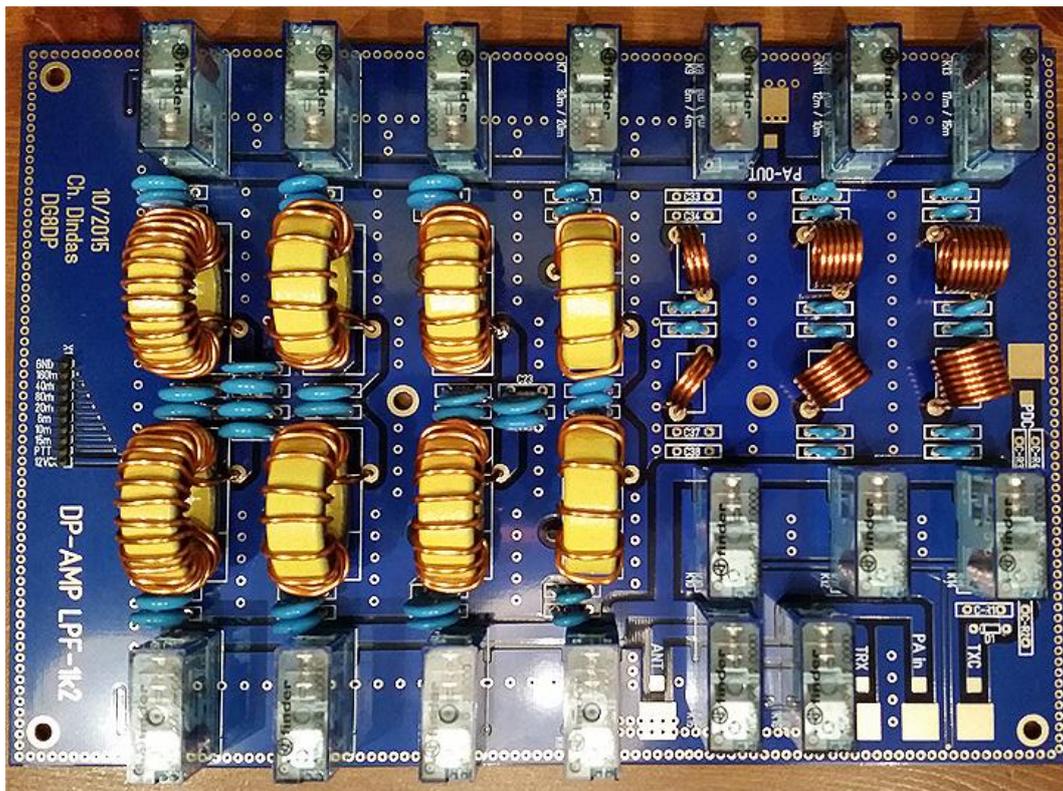
Diese Werte sprechen wohl für sich.

Keine Frage, dass mit einer so guten Anpassung auch ein sehr gutes und sauberes Ergebnis zu erzielen ist.

Frequenzbereich:	1,8 MHz - 52MHz
Leistung BLF188XR:	typ. 1 kW
Leistung MRFX1K80H:	typ. 1,7 kW
IMD3 @ 860W:	typ. 35dBc (41dB PEP)
Betriebsspannung:	40VDC - 65VDC
Strom:	max. 45A
Eingangsleistung	500mW - 100W
Dämpfungsglied:	3dB - 15dB optional
Eingangsschutz:	TVS-Dioden
Gate-Schutz:	Zenerdioden
Temperaturmessung:	digital One Wire

DP-AMP LPF-1k2

Das Lowpassfilter Modul wurde als Chebyshev Filter 5. Ordnung aufgebaut. Bei einem LDMOS ist die Oberwellenunterdrückung leider recht schlecht und mit ca. 10 dB bis 12 dB viel zu gering um damit auf Sendung gehen zu können. Die Herausforderung ist es ein möglichst steiles Filter zu entwickeln welches eine geringe Durchgangsdämpfung hat. Wenn man ein solches Filter berechnet, sind auch systembedingte Kapazitäten und Induktivitäten zu berücksichtigen. Auf dem LPF-1k2 gab es seit 2012 die Möglichkeit das Ausgangssignal mittels Kapazitivem Spannungsteiler auszukoppeln um das Signal an einem Spektrumanalyzer oder Oszilloskop betrachten zu können. Dieser Ausgang wurde dann zusätzlich mittels eines Spannungsteilers belastet so dass ein um ca. 60dB geringes Signal abgegriffen werden kann um zum Beispiel auch Predistortion für SDR Transceiver nutzen können. Dies erspart einem den Kauf eines 30dB Kopplers und Dämpfungsgliedern. Auf dem Modul ist auch eine RX-TX Umschaltung vorhanden was den Funktionsumfang abrundet. Von einer RX-TX Umschaltung auf dem Endstufen-Modul habe ich abgesehen da die Filter möglichst nicht in den Empfangspfad gehören. Dies ist für SDR Transceiver welche einen sehr breiten Eingangsbereich haben nicht von Vorteil da sonst nur noch ein Band zur Beobachtung und Empfang zur Verfügung steht. Ein Bypass Relais kann dies zwar ändern aber dann ist es sicherlich sinnvoller die RX-TX Umschaltung direkt auf das LPF Modul zu setzen.



DP-AMP LPF-1k2

DG8SAQ Vector Network Analyzer Software

27.10.2015 08:15:49 Christian Dindas DG8DP - DP-AMP LPF-1k2 - 160m



LPF @ 160m // Green = Transmission Loss S21 // Red = Return Loss S11

Durchgangsdämpfung 0,08 dB, Oberwellenunterdrückung -45,73 dB, Returnloss -41.06 dB

DG8SAQ Vector Network Analyzer Software

27.10.2015 08:31:31 Christian Dindas DG8DP - DP-AMP LPF-1k2 - 40m

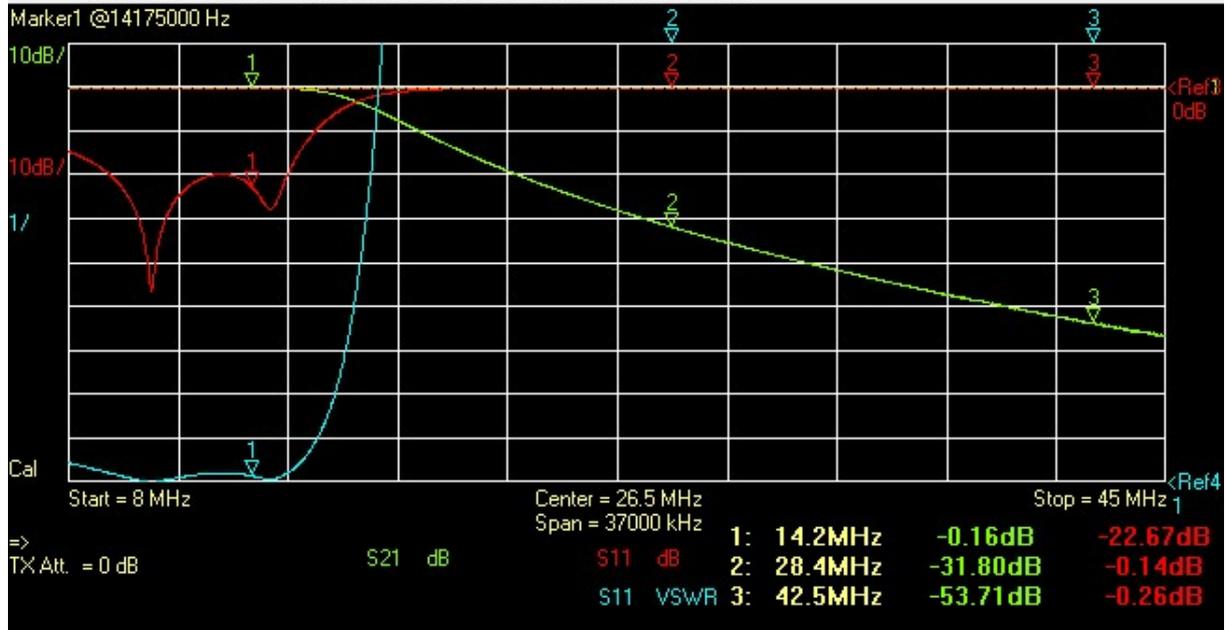


LPF @ 40m // Green = Transmission Loss S21 // Red = Return Loss S11

Durchgangsdämpfung 0,15 dB, Oberwellenunterdrückung -53,35 dB, Returnloss -39,91 dB

DG8SAQ Vector Network Analyzer Software

27.10.2015 08:40:23 Christian Dindas DG8DP - DP-AMP LPF-1k2 - 20m

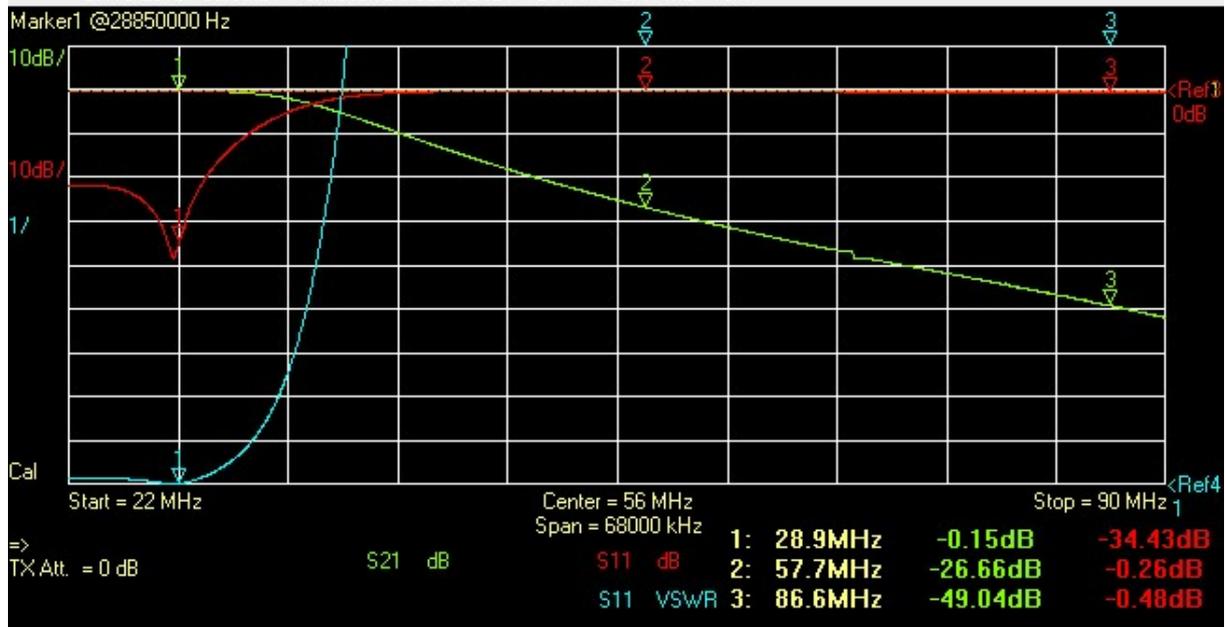


LPF @ 20m // Green = Transmission Loss S21 // Red = Return Loss S11

Durchgangsdämpfung 0,16dB, Oberwellenunterdrückung -53,71 dB, Returnloss -22,67 dB

DG8SAQ Vector Network Analyzer Software

27.10.2015 08:53:24 Christian Dindas DG8DP - DP-AMP LPF-1k2 - 10m



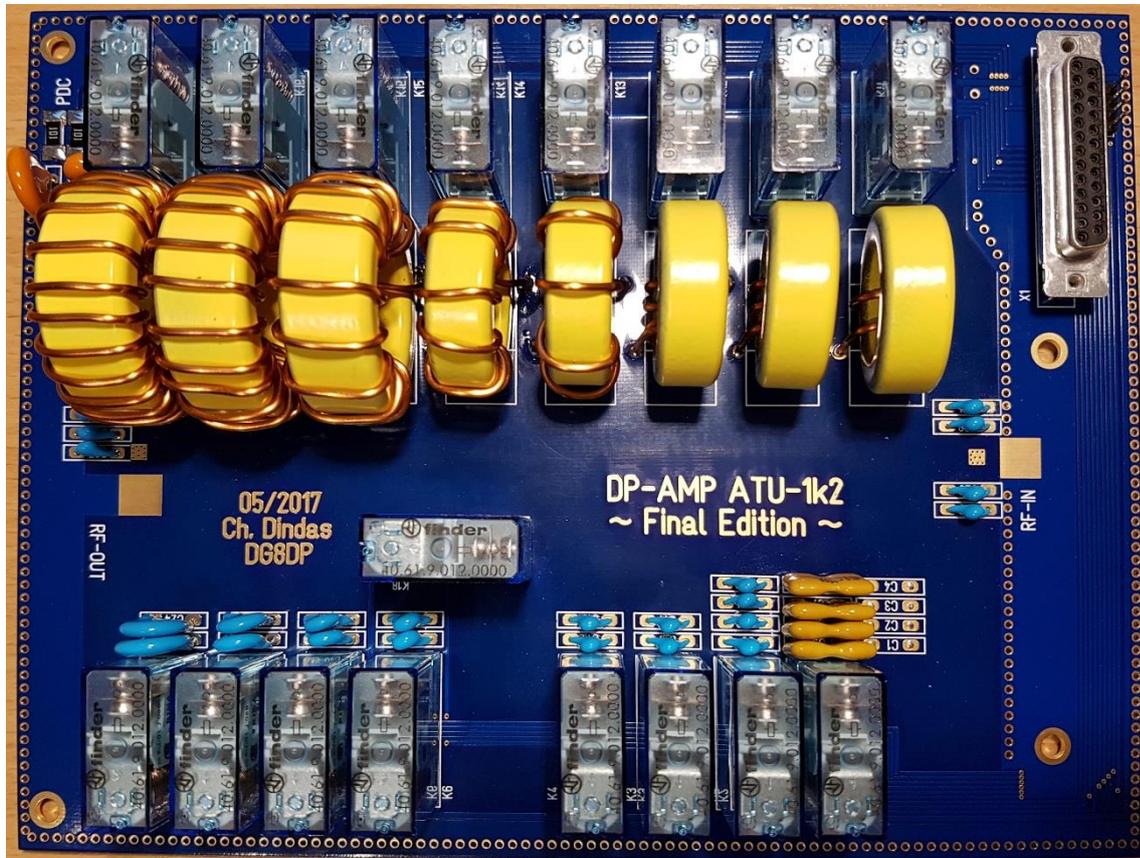
LPF @ 10m // Green = Transmission Loss S21 // Red = Return Loss S11

Durchgangsdämpfung 0,15dB, Oberwellenunterdrückung -49,04 dB, Returnloss -34,43 dB

DP-AMP ATU-1k2

Das Antennen Tuner Modul ist ein passives L-Tuner Modul welches auf einer Seite Induktivitäten schaltet und auf der anderen Seite Kapazitäten. Mit einem zusätzlichen Relais können die Kondensatoren zum Eingang oder zum Ausgang des Antennen Tuner Moduls geschaltet werden. Geschaltet werden die die Relais der einzelnen Spulen und Kondensatoren in dem die Relaispule über eine 25. Polige Buchse auf Masse gelegt werden. Diese Aufgabe übernimmt in diesem Projekt der DP-AMP Controller.

Das Antennen Tuner Modul kann im Bereich 12 Ohm bis 1000 Ohm anpassen bei einer maximalen Leistung bei Tunen von 60W. Die empfohlene Leistung im Betrieb liegt bei 1200W.

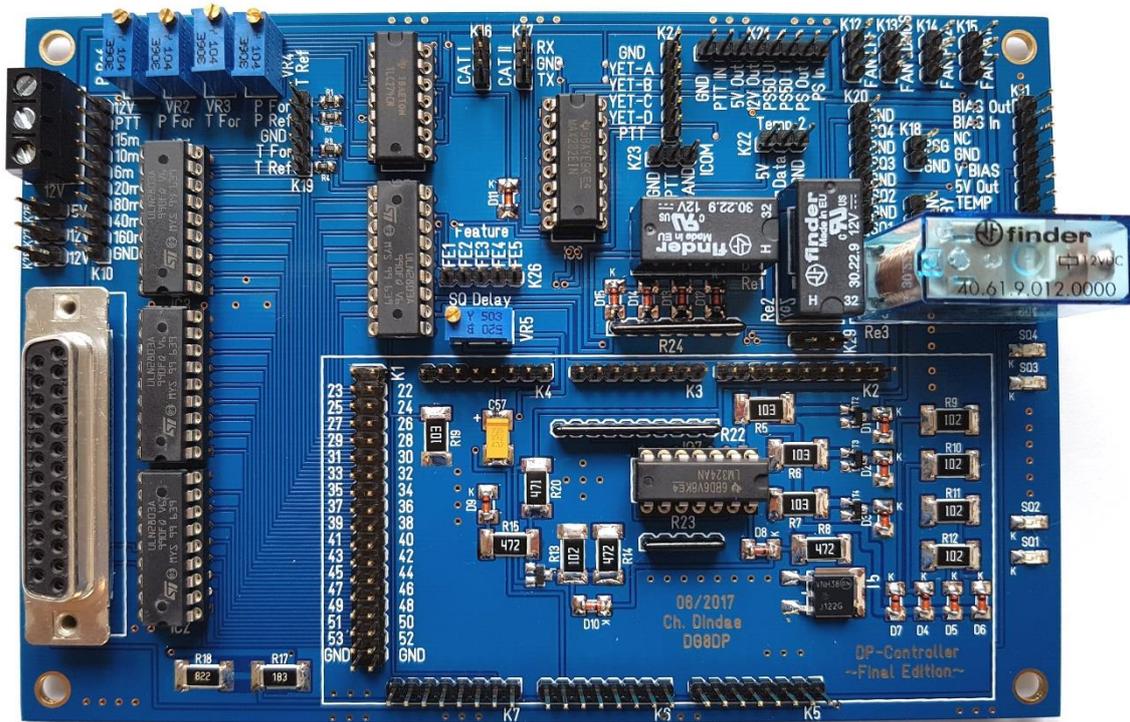


DP-AMP ATU-1k2 Final Edition

DP-Controller

Das Projekt ist als Weiterentwicklung des DP-AMP Arduino Controllers zu sehen welcher schon in der HF-1200 2012 zum Einsatz kommt und in der CQ-DL 09/2015 beschrieben wurde. Es wird grundsätzlich in 4 Baugruppen unterteilt, einem DP-AMP Controller Board, einem Arduino Mega 2560 R3, einem Raspberry Pi2/3 und einem 7" Touchscreen Display.

Der Unterschied zu anderen Konzepten ist die Flexibilität in der Wahl der Schutzschaltungen. Es werden auf dem DP-AMP Controller-Board über Steckverbinder dem Benutzer Ein- und Ausgänge zur Verfügung gestellt welche genau definiert sind.



DP-Controller Final Edition

Im Arduino werden dann die angelegten Spannungen & Signale weiterverarbeitet und an den Raspberry PI2/3 übertragen welcher über das Touchscreen-Panel die Anzeige der Daten und die Steuerung bestimmter Funktionen übernimmt wie zum Beispiel die Steuerung eines Antennentuners.

Beispiel:

Auf dem DP-AMP Controller Board befinden sich der Analog Eingang 1 & 2 welche wie folgt definiert sind:

Analog Eingang 1: 0 – 5V Input entsprechen 0W – 1500W Ausgangsleistung

Analog Eingang 2: 0 – 5V Input entsprechen 0W – 250W Reflektierte Leistung

Die Software kann nun die Ausgangsleistung anzeigen, die reflektierte Leistung anzeigen und das VSWR berechnen und falls gewünscht bei bestimmten Parametern einen digitalen Ausgang schalten. Alles was nötig ist, ist eine VSWR Messbrücke die es bereits in sehr guter Qualität auch günstig gibt. Ähnlich gilt dies dann auch zum messen und Anzeigen von Spannungen und Strom etc. Alle Werte können selbstverständlich direkt in der Oberfläche kalibriert werden um Toleranzen auszugleichen. Die Lüfter können sehr leise im Standby mit 5V mitlaufen und im Bedarfsfall automatisch bei 45°C eingeschaltet werden oder manuell zugeschaltet werden. Der Antennen Tuner ist zurzeit noch halbautomatisch. Hier wird die per CAT ermittelte Frequenz mit den passenden L & C Werten beim Tunen per Hand abgespeichert um dann später beim Frequenzwechsel zur Verfügung zu stehen. Somit steht bei jeder Frequenzänderung umgehend eine angepasste Antenne zur Verfügung. Ein komplett automatischer Betrieb sowie das „scannen“ der Anpassung und Speicherung in der Datenbank sollen im Winter 2017 umgesetzt werden.

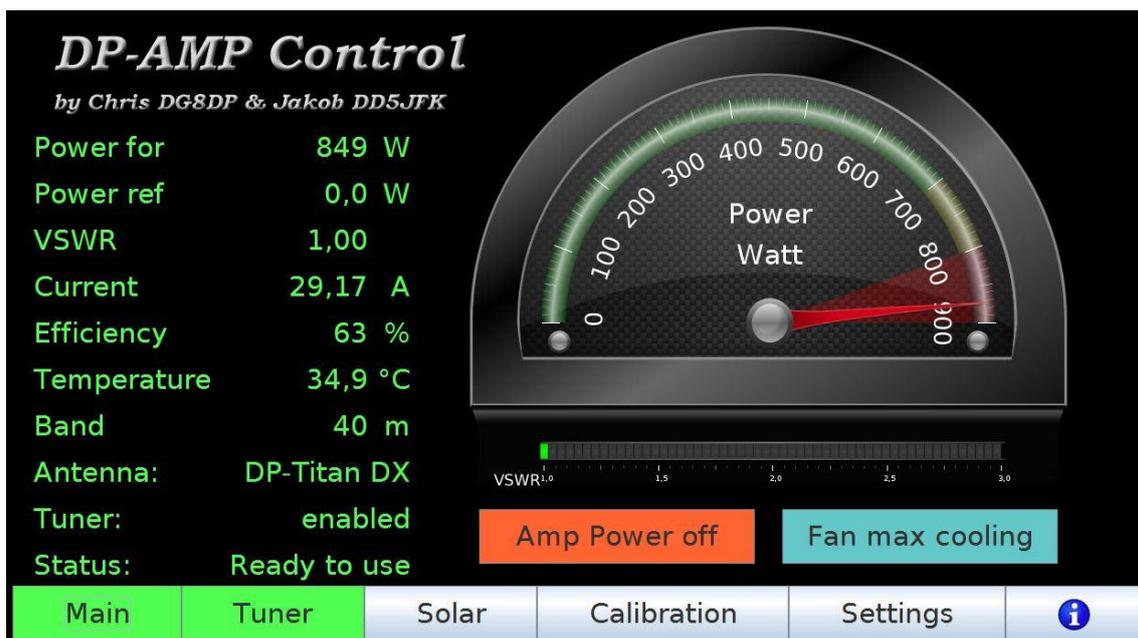
Wichtig war es ein offenes System zu entwickeln wo der Anwender auch in der Lage ist seinen Raspberry zu konfigurieren, Updates und Patches einzuspielen. Geschlossene Systeme sind dort im Nachteil und man weiß nicht genau was alles installiert wurde wenn ein komplettes Image genutzt wird. Sicherheit geht hier vor da der DP-AMP Controller schließlich auch Remote aus dem Internet zu bedienen ist. Durch die Verbindung in das Internet sind nicht nur remote Anwendungen einfach realisierbar, sondern auch Solardaten, VOACAP Tools, DX-Cluster usw.

Ab Dezember wird der Quellcode frei verfügbar sein, somit ist der Grundstein für ein lebendiges Controllersystem gelegt in dem jeder dazu beitragen kann die Software zu verbessern! Mit festgefahrenen Systemen, Images in dem keiner weiß was passiert und festen Hardware Software Bündeln kann man wie die Vergangenheit zeigt sehr viel Geld verdienen, das ist aber nicht mein Ziel!

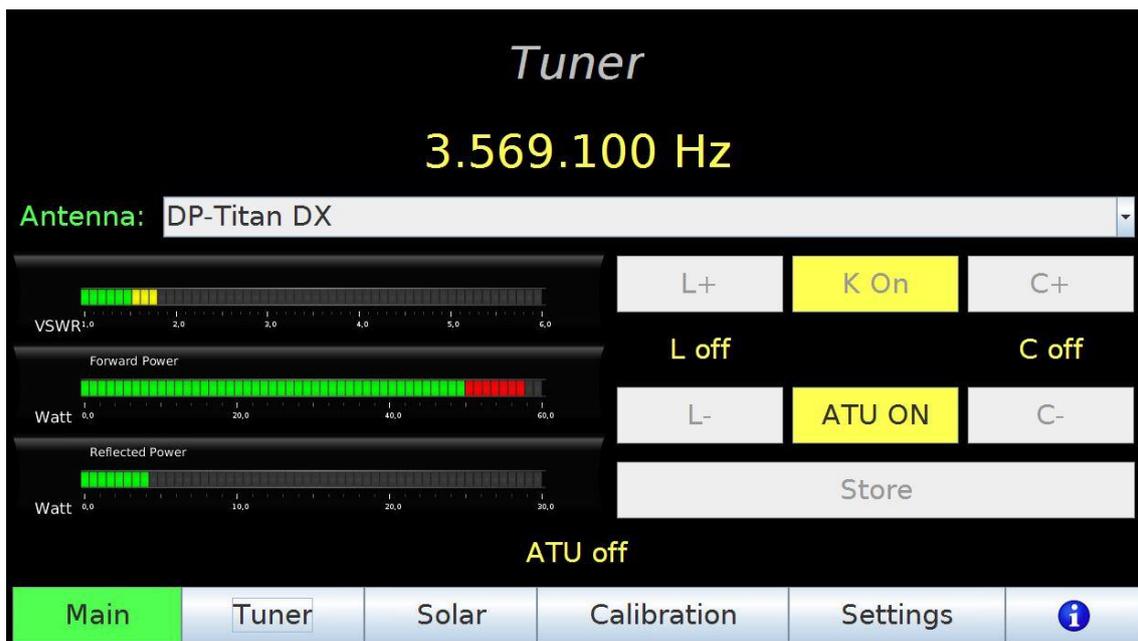
Ausstattung:

- 2x CAT Schnittstelle
- 1x BCD Band Data für Yaesu, Elecraft, TenTec
- 1x ICOM Band Voltage Eingang
- 2x VSWR / Power Sensor
- 3x Spannungsmessung 12V, 5V, VBIAS
- 1x Strommessung
- 1x Anschluss LPF Modul
- 1x Anschluss ATU Modul
- 1x Anschluss PA Modul
- 4x Lüfter
- 1x Netzteil Steuerung
- 4x Feature Ausgänge (Antennenschalter etc.)
- 4x Digitale Eingänge frei programmierbar
- Uvm...

GUI:



Main Screen



Tuner Screen / nicht abgestimmt

Tuner

3.569.100 Hz

Antenna: DP-Titan DX

VSWR

Forward Power

Reflected Power

L+
K Off
C+

620 nH
1120 pF

L-
ATU OFF
C-

Store

Automatic Config OK

Main
Tuner
Solar
Calibration
Settings
i

Tuner Screen / abgestimmt

Settings

CAT Modus Kenwood CAT

CAT Port CAT II

CAT Baud rate 19200

PEP delay (ms) 200

Tuner installed

Antenna 1 DP-Titan DX Tuner reset

Antenna 2 Antenna 2 Tuner reset

Antenna 3 Antenna 3 Tuner reset

Autostart enabled

Speichern
Speichern

Main
Tuner
Solar
Calibration
Settings
i

Settings Screen

Calibration & Status

Main Settings

PS 50V	54,86 V	<input style="width: 40px;" type="text"/>	Set
PS 12V	12,53 V	<input style="width: 40px;" type="text"/>	Set
PS 5V	5,21 V	<input style="width: 40px;" type="text"/>	Set
VBIAS	1,88 V	<input style="width: 40px;" type="text"/>	Set
VBIAS max	2,10 V	<input style="width: 40px;" type="text"/>	Set
Current offset	2,32 A	Set to zero	
Current max	32,00 A	<input style="width: 40px;" type="text"/>	Set
Temp PA max	65 °C	<input style="width: 40px;" type="text"/>	Set
Fan on Temp	45 °C	<input style="width: 40px;" type="text"/>	Set
Fan off Temp	35 °C	<input style="width: 40px;" type="text"/>	Set

Reset to defaults

Main
Tuner
Solar
Calibration
Settings
i

Calibration & Status Screen

Sonstige Baugruppen:

Um nun aus den vier Baugruppen eine komplette Endstufe zu bauen braucht es nicht mehr allzu viel. Ein Gehäuse, Kühlkörper, Lüfter, VSWR Sensor, Display, Netzteil etc. Da alle Baugruppen aufeinander abgestimmt sind, ist eine Inbetriebnahme nicht mit Hürden verbunden.

Darf es etwas mehr sein?

Ich möchte noch mal darauf Hinweisen, dass wir in Deutschland max. 750W in die Antenne schicken dürfen. Es bleibt natürlich jedem selbst überlassen wie er mit Auflagen und Gesetzen umgeht. Nur ein Punkt der mich oft wirklich stört, ist das Thema „Watt“. Oft werden Endstufen bis an den Anschlag gequält um das letzte Watt noch zu bekommen. Aber lohnt sich das? Nein! Denn 750W sind 58,75 dBm und um nun eine S-Stufe lauter zu sein benötigt man 6dB mehr, sprich 64,75 dBm und das sind stolze 2985W. Oder andersherum gerechnet ist der Unterschied von 750W auf 1000W beim Empfänger nur mit ca. 1/6 S-Stufe vorhanden. Und für 1/6 S-Stufe erzeugt man dann fast 400W mehr aufgenommene Leistung, erhöht die Temperatur am LDMOS und nimmt ein schlechteres Ausgangssignal in Kauf?

Von daher finde ich den Hype nach „Zweizylinder“ Endstufen etwas fraglich denn es braucht auch Drumherum noch die passenden Antennen, Filter, Kühlung, Stromversorgung etc. und doch erreicht man keine 6dB mehr gegenüber 750W. Ich würde ganz klar auch weiterhin auf Singleboard PA's setzen und diese wenn unbedingt notwendig mit den neuen 65V Typen laufen lassen. Damit hat man locker 3dB mehr und das bei gleichen Modulen.

Warum man aber Endstufen mit Zylindern und in Liter angibt weiß ich nicht, nur mein Motorrad hat zwei Zylinder und 1,7l Hubraum, hihi.

Schlusswort:

Mit den fertig entwickelten Modulen und einer sauberen Dokumentation ist es recht einfach diese Endstufe sicher nachzubauen. Technisch muss sich die Endstufe nicht verstecken und auch das Bedienkonzept ist einfach, kompatibel und übersichtlich gehalten. Für dieses Projekt gibt es ein Support Forum wo niemand mit seinen Fragen rund um dieses Projekt alleine gelassen wird.

Aufgrund der hohen Nachfrage nach meinen Bausätzen musste ich ein kleines Unternehmen mit einem Shop aufbauen um rechtlich auf der sicheren Seite zu sein. Die Preise sind so gestaltet worden, dass sich ein Selbstbau auch wirklich noch lohnt. Es wird auf eine sehr hohe Qualität Wert gelegt, richtige 18 Ohm Kabel für die 9:1 Übertrager, hochwertige Platinen aus deutscher Fertigung und Bauteile nur von seriösen Anbietern wie Mouser, Bürklin etc.

Ein weiter Vorteil gegenüber den Bausätzen aus dem Ausland ist natürlich nicht nur die hohe Qualität, sondern auch der deutschsprachige Support, geringe Versandkosten und keine Zoll Gebühren. Die mittlerweile große DP-AMP Community hilft sich im Forum, findet neue Wege und Ideen bei der Umsetzung und unterstützt sich gegenseitig. Oder einfach, Qualität aus Deutschland!

Bei diesem Projekt steht der Spaß am Selbstbau an erster Stelle!

Den Shop erreicht man unter www.dp-amp.de

Weitere Informationen und Bilder auf meiner privaten Webseite: www.dg8dp.de

Vy 73 de DG8DP

Chris

