

Eigenbau: Portable HF-PA 160 m - 6 m

Hans-Peter Blättler HB9BXE (hb9bx@uska.ch)

In Ausgabe 6/2022 des HBradio wurde der «Redaktionspreis für 1 kW am NMD 2023» ausgeschrieben. Dabei ging es darum, am National Mountain Day (NMD) Contest mit einer Ausgangsleistung von 1 kW zu senden. Da das Regelwerk des NMD eine Gewichtslimite von 6 kg für die gesamte Stationseinrichtung vorgibt und das Elektrizitätsnetz nicht benutzt werden darf, also eine echte Herausforderung. Dennoch ist es möglich, wie Göpf HB9TI und Hans-Peter HB9BXE bewiesen haben. Siehe HBradio 5/23, Seite 7-19, oder als Rohfassung unter Link [1]. Im Prinzip wollte ich meine am NMD benutzte 1 kW-Endstufe (PA) für einen Nachbau im Detail und Schritt für Schritt vorstellen. Bei einem Duplikat ging die Rechnung leider nicht auf, denn schon früh beim Hochfahren der Leistung verabschiedete sich der LDMOS-Endstufentransistor mit einem Blitzlicht. Den interessierten Nachbauer möchte ich vor dieser Erfahrung vorschonen und schlage dazu einen anderen Weg vor, den ich in diesem Beitrag beschreibe.

Portable HF-PA

Um Erfahrung zu gewinnen, bauen wir als erstes eine HF-Endstufe (PA) mit 500/600 W Ausgangsleistung, bevor wir uns an eine 1 kW PA wagen. Mit 500 W ist man in den meisten Fällen auf dem Band sehr gut bedient, so meine Erfahrung. Dies schont den Verbrauch der portablen Stromversorgung und den finanziellen Aufwand für die LDMOS-Transistoren.

Für das Konzept habe ich einen modularen Aufbau gewählt, denn das erleichtert den Selbstbau und dessen spätere Modifikationen enorm. Vor allem können wir mit einem modularen Aufbau unterschiedliche Transistoren einsetzen. Viele Nachbauer unterschätzen oft, dass der Austausch eines Halbleiters durch einen anderen Typ in einer publizierten Schaltung komplett andere HF-Verhältnisse nach sich zieht. Manch ein Selbstbauer scheitert an diesem Punkt und ist frustriert. Hier ist noch anzufügen, dass auch die Wahl der Betriebsspannung der PA einen grossen Einfluss auf Eigenschaft, Wirkungsgrad und Ausgangsleistung der PA hat!

Block-Schema Portable HF-PA

Die nachfolgende Baubeschreibung mache ich anhand des Blockschemas gemäss **Bild 1**.

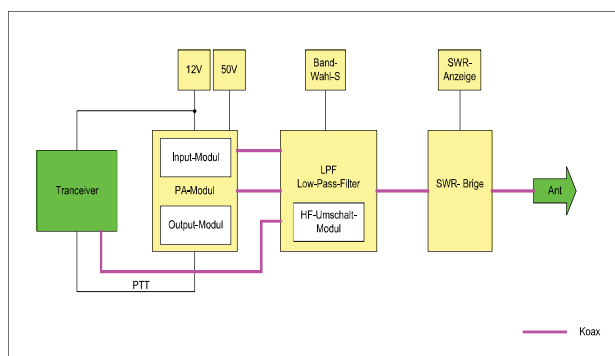


Bild 1: Blockschema der PA

Womit fangen wir an? Das ist oft die Frage: Soll ich mir erst ein Gehäuse kaufen, dann alle Module fertigstellen und ins Gehäuse einbauen? Mit dieser Strategie laufe ich Gefahr, dass bei der Erst-Inbetriebnahme das teuerste Element, der LDMOS-Transistor, schon in den «Himmel»

geschickt wird. Daher bauen wir als erstes das PA-Modul, das wiederum aus Input-Modul und Output-Modul besteht (**Bild 1**). Das Input-Modul sorgt für die Einspeisung des Signals in die Endstufen-Transistoren und für die Einstellung des Arbeitspunktes, das Output-Modul versorgt die Transistoren mit der Betriebsspannung und speist das verstärkte Signal in das darauf folgende Tiefpassfilter ein. Diese zwei Module sind üblicherweise auf einer Platine vereint. Ich habe diese beiden Module hingegen auf zwei Platinen verteilt. Das erlaubt uns, verschiedene Transistoren bzw. LDMOS-Typen zu verbauen und damit zu experimentieren. Der Vorteil des modularen Ansatzes ist, dass das Output-Modul jeweils immer das gleiche ist, man muss also nicht für jeden Typ eine ganze Platine bestücken. Da verschiedene Transistortypen Gehäuse unterschiedlicher Grösse haben, kann man ganz einfach den Spalt zwischen den beiden Modulen variieren und muss nicht eine jedes Mal neue Platine entwerfen.

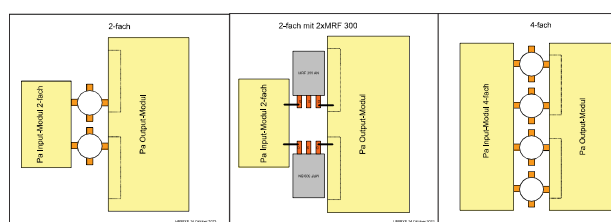


Bild 2: Blockschema mit PA-Input- und PA-Output-Modul. Verwendung von zwei parallel geschalteten Transistoren, z.B. SD2933 à 300 W (a), MRF300 à 300 W (b) oder vier parallel geschalteten Transistoren (c, MRF150 à 150 W, SD2933 à 300 W, VRF2944 à 300 W, usw.)

Zuerst müssen wir uns entscheiden, welchen Transistortyp und wie viele davon wir einsetzen möchten (**Bild 2**). Bei der Schaltung von zwei Transistoren gemäss Bild 2b (z.B. MRF300 à 300 W) gibt es jeweils einen AN- und einen BN-Typ mit unterschiedlicher Belegung der Anschlüsse. So kommen in beiden Orientierungen Gate und Drain links bzw. rechts nahe am Board zu liegen. Beim Einsatz von vier Transistoren kommen eine grosse Anzahl und Typen in Frage, z.B. 4x MRF150 à 150 W, 4x SD2933 à 300 W, 4x VRF2944 à 300 W, und später auch 1 x BLF188XR

à 1200 W. In allen Fällen kann das Output-Board wieder verwendet und zusammen mit einem passenden Input-Board für zwei bzw. vier Transistoren kombiniert werden. Ich beschreibe im Folgenden die Variante mit 2 Transistoren, habe aber auch ein Input-Board für die Variante mit 4 Transistoren.

Aufbau Portable HF-PA

Meiner Empfehlung folgend bauen wir als erstes eine PA mit Output bis 600 W, die von 160 m bis 6 m betrieben werden kann. Damit stellen wir frühzeitig sicher, dass der Aufbau auch wirklich von 160 m - 6 m funktioniert.

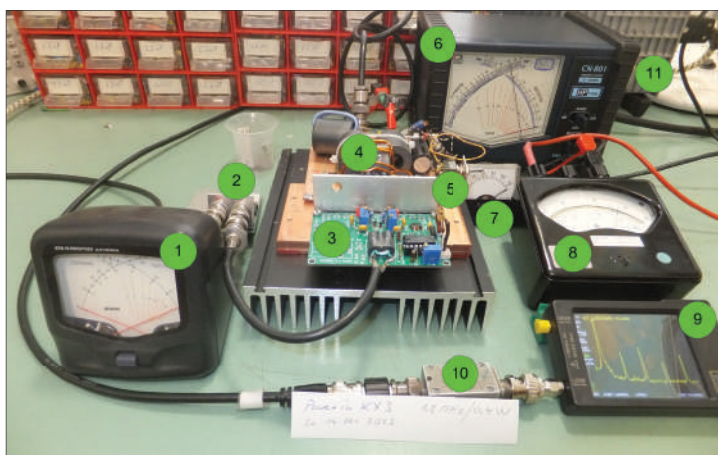


Bild 3: Beispiel Testaufbau der ersten PA, erster Test auf 160 m.

Legende:

- 1 Powermeter für die Eingangsleistung (als Quelle kann z.B. ein KX3 mit 0.5 W Output benutzt werden)
- 2 ATT, ein 7-dB-Leistungsabschwächer. Unbedingt erforderlich (siehe Text)!
- 3 Input-Modul 2-fach
- 4 Output-Modul, hier mit 2x MRF300
- 5 Bias-Schalter, quasi die PTT von Hand geschaltet
- 6 Powermeter, hier auf 200 W End-Ausschlag eingestellt
- 7 Voltmeter zur Überwachung der PA-Eingangsspannung
- 8 Ampère-Meter zur Überwachung der Stromaufnahme
- 9 Spektrumanalysator zur Überprüfung der Oberwellen-Unterdrückung.
- 10 Dämpfungsglied zwischen Dummyload-Auskopplung und Spektrumanalysator
- 11 50-V-Power-Supply

Der Aufbau gemäss **Bild 3** verstärkt die 0.5 W aus einem KX3 von Elecraft auf 165 W bei einer Strom-Aufnahme von 7.5 A. Da wir ja noch keine Tiefpassfilter verwenden, sind die Oberwellen noch erheblich gross. Wie schon oben erwähnt ist der Abschwächer Nr. 2 zwischen Quelle und Eingang der PA zwingend wichtig. Ohne einen solchen Abschwächer befördert ihr die Transistoren schon

beim ersten Test in den Himmel, denn die Gates der LDMOS ertragen hier nur maximal -6 V bis +10 V! Viele Transceiver haben die Eigenschaft, dass die Power-Regelung beim ersten Peak überschwingt, die Leistungsregelung kommt nicht nach und die Spannung an den Gates der LDMOS ist anfangs höher als erwartet. Zwischen dem 50-V-Power Supply und dem DC-PA-Eingang kommt eine Schmelz-Sicherung für alle Fälle.

Vor einer Erst-Inbetriebnahme müssen wir den Bias-Strom (Ruhestrom) richtig einstellen. Dieser kann für jeden der beiden Transistoren mit einem Spindel-Trimмер (blau auf meinem Input-Modul 3) justiert werden. Um dies für jeden Transistor einzeln zu machen, habe ich je einen Jumper vorgesehen. Das genaue Verfahren dafür ist auf Seite 49 erklärt.

Mit dieser Erst-Inbetriebnahme wollen wir feststellen, ob die Bestückung und Verdrahtung HF-technisch ok ist. Eine korrekte Aussage über die Ausgangsleistung erhalten wir noch nicht, da die Oberwellen mitgemessen werden und vor allem eine optimale Anpassung des PA-Ausgangs zur Last (50 Ω Dummyload) fehlt. Also macht euch noch kein Kopfzerbrechen, wenn es den Anschein macht, dass die erwartete Leistung zu gering ist. Im anderen Fall, wenn der Wirkungsgrad 100 % und mehr ist, habt ihr keine Neu-Erfindung gemacht, sondern es entsteht vermutlich ein Messartefakt aufgrund der Oberwellen. Um die tatsächliche Leistung zu messen, gehört ein Tiefpassfilter zwischen PA-Ausgang und Dummyload.

Mit dieser Erst-Inbetriebnahme wollen wir feststellen, ob das Layout von 160 bis 6 m tauglich ist. Deshalb testen wir im nächsten Schritt, ob die PA auch für obere Bänder grundsätzlich funktioniert. Haben wir diesen Test erfolgreich abgeschlossen, können wir nun getrost mit dem Rest der PA weiterfahren.

Aufsteckbare Tiefpassfilter pro Band

Mit der HF-Portable PA wollen wir Erfahrungen sammeln und uns eine kleine, möglichst einfache PA bauen, welche auch portabel betrieben werden kann. Diese soll deshalb leicht im Gewicht sein und kleine Aussenabmessungen haben (**Bild 4**). Als Schlüssel-Eigenschaft sollte sie einen möglichst guten Wirkungsgrad aufweisen. Hat die PA einen schlechten Wirkungsgrad, entsteht ja viel Abwärme, welche nur mit einem grossen, schweren Kühlkörper zu bändigen ist. Bei einem guten Wirkungsgrad entsteht weniger Verlustleistung, somit bleibt die PA kühl und benötigt nur einen kleinen, leichten Kühlkörper. Auch für die Stromversorgung ist ein guter Wirkungsgrad nur von Vorteil, denn der Akku kann für eine bestimmte Leistung kleiner gewählt werden.

Um einen guten Wirkungsgrad zu erzielen, bedarf es aber viel HF-Knowhow in der Konstruktion wie auch im Layouten. Um alle diese Schwierigkeiten zu umgehen und auf Anhieb erfolgreich eine PA mit gutem Wirkungsgrad zu bauen, liegt mein Konzept darin, dass ich ein auswechselbares Low Pass Filter (LPF) baue/benutze.

Der Grund dafür ist der folgende: Bei unserer PA-Modul beträgt die Ausgangsimpedanz der beiden Transistoren in etwa $5\ \Omega$. Üblicherweise würde man nun einen Ausgangs-Trafo einsetzen, der die Aufgabe hat, von $5\ \Omega$ auf $50\ \Omega$ zu transformieren. Damit erreicht man eine gute Leistungsanpassung, die zum Erreichen unserer Ziele wichtig ist. Der Transformator muss diese Impedanztransformation aber im gesamten Frequenzbereich von 160 m bis 6 m leisten - diese Breitbandigkeit ohne Blindanteile stellt für den Entwickler / PA-Bauer eine sehr grosse Herausforderung dar. Das ist genau der Schlüsselpunkt, an dem viele Nachbauer von PAs infolge Misserfolgs und defekten Transistoren resignieren müssen. Mit unserer hier angewandten Strategie können wir dieses Problem einfach umschiffen, indem wir nur ein LPF pro Band vorsehen, womit wir die unerwünschten bandspezifischen Blindanteile kompensieren, damit möglichst die gesamte Leistung vom Transistor-Ausgang zum Antennen-Anschluss gelangt. Bei Bandwechsel stecken wir einfach das vorgesehene LPF mittels BNC-Stecker um (**Bild 4**). Im Falle eines Tiefpassfilters für mehrere Bänder wäre das schon sehr viel schwieriger: Man kann wohl für ein einziges Band optimieren, aber für alle anderen Bänder lässt sich nur ein Kompromiss herbeiführen. Oft werden für LPF-Module zwei Bänder, z.B. 40 m und 30 m oder 12 m und 10 m, zusammengefasst, wobei man sich dann für einen guten Wirkungsgrad für das eine oder andere Band entscheiden muss - hier sind nur Kompromisse möglich.



Bild 4: Rückseite der PA mit aufsteckbaren LPF.
Masse: Breite = 20 cm, Höhe = 9 cm, Tiefe = 20 cm

Diese Tabelle zeigt erste Testresultate mit nachfolgen-

Band	Input	Output	Strom	Wirkungsgrad	Harmonische
160 m	2 W	590 W	15 A	79 %	$\geq 40\ \text{dB}$
10 m	4 W	500 W	17 A	60 %	$\geq 40\ \text{dB}$
6 m	5 W	500 W	14 A	71 %	$\geq 45\ \text{dB}$

dem LPF. Der Wirkungsgrad (mit einer kommerziellen PA erhalten wir nie einen so guten Wirkungsgrad) und auch die Unterdrückung der Oberwellen ist sehr zufriedenstellend, so dass auch für die übrigen Bänder LPFs gebaut werden können. Genau dieses Konzept wählte ich für die NMD-1-kW Station.

Details zu den vier Modulen

Input- und Output-Modul der PA

Das Input-Modul (**Bild 5b, nächste Seite**) funktioniert folgendermassen: K7 ist der HF-Input ($50\ \Omega$). D2, D3, D4 und D5 gehören zur Schutzschaltung für eine zu grosse Ansteuerleistung. Ab 5 W sollten diese Dioden die Eingangsspannung abklemmen. Für einen ersten Test bestücken wir diese noch nicht, um sicherzustellen, dass diese den Wirkungsgrad der PA nicht beeinträchtigen. Erst am Schluss, wenn die PA befriedigend läuft, bestücken wir diese Schutzdioden. Dann kommt der Input-Trafo 4:1, abgeschlossen mit R12, um ein breitbandiges Input-SWR zu erreichen. Auch diesen lassen wir für die ersten Tests noch weg und bestücken diesen erst am Schluss, wenn die PA wunschgemäss funktioniert. Das HF-Signal wird über C12/C13, R22 und R23 an die Gates der Transistoren geleitet.

Im Weiteren beinhaltet das Input Board die Vorspannungen für beide Transistoren, welche nebst der Spannungs-Stabilisierung auch temperaturkompensiert ist. Die PA-Spannungsversorgung von 50 V wird bei K5 eingespiesen. Mit der Zenerdiode D1 und dem Vorwiderstand R5 ($470\ \Omega/2\ \text{W}$) wird die Eingangs-Spannung für den Spannungsregler IC1 (LM327) auf 24 V herabgesetzt. An Pin 3 des LM327 steht uns die stabilisierte Spannung zur Verfügung, welche wir mit dem Poti R6 ($10\ \text{k}\Omega$) auf 6 V einstellen. Mit den Spindel-Trimmern R1 und R2 (je $10\ \text{k}\Omega$) wird schlussendlich der jeweilige Bias-Strom genau eingestellt. K1 und K2 stellen eine Besonderheit in diesem Schaltungs-Konzept dar, und sind im Normalfall offen. Werden sie geschlossen, dann wird das Gate des jeweiligen Transistors auf GND gelegt und der Transistor ist deaktiviert. So lassen sich die beiden Bias-Ströme wie folgt einstellen: Sind beide Jumper gesetzt, fliesst ein Ruhestrom von 55 mA, verursacht vor allem von D1 und R5. Für einen Drain-Strom von 500 mA öffnen wir nun den Jumper 1 und stellen mit R1 einen Ruhestrom von genau 555 mA ein. Danach stecken wir den Jumper 1, öffnen den Jumper 2 und stellen mit R2 denselben Ruhestrom für den zweiten Transistor ein. Diese Prozedur wiederholen wir zwei bis drei Mal, damit sind wir sicher, dass beide Transistoren im späteren Betrieb gleichmässig belastet werden. Für den regulären Betrieb sind natürlich beide Jumper offen. Somit hat jeder MOSFET einen Ruhestrom von 500 mA, also insgesamt 1 A. Für Lötarbeiten an der PA jedoch schliesse ich immer beide Jumper, so liegen die beiden Gates stets auf GND und sind vor einer möglichen Zerstörung geschützt. R14 und R15 schützen ebenfalls die beiden Gates. Das vom Trafo kommende HF-Signal wird über RC-Netzwerk C12/C13, R22/R23, den jeweiligen Gates zugeführt. An K3 steht uns die Spannung des oberen Gates für eine etwaige Schutzschaltung zur Verfügung. Meine Universal-PA verfügt über eine solche Schutzschaltung: Wenn die Bias-Spannung einen einstellbaren Wert überschreitet, wird die PA auf Standby geschaltet und eine Warnmeldung erscheint im Display. In der vorliegenden Schaltung



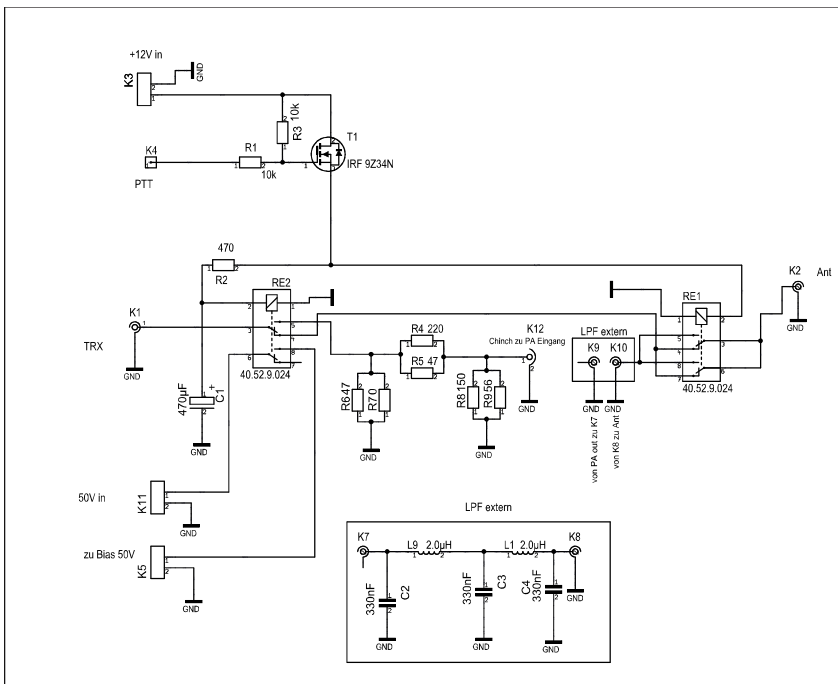


Bild 6: Schema für HF-Umschaltung

übernehmen folgende Bauteile diesen Schutz für eine Gate-Überspannung: D8, D17, D7, D16, C8, R18 und D10, D19, D9, D18, C9 und R19. Alle diese letztgenannten Bauelemente bestücken wir für die ersten Tests vorerst noch nicht, sondern erst, wenn die PA wunschgemäss funktioniert. Sollte nämlich z.B. die HF-Ansteuerung zu gross erscheinen, oder der Wirkungsgrad noch nicht zufriedenstellend sein, dann fällt die Vermutung schon einmal weg, dass unsere Schutzschaltung daran schuld sein könnte.

Bild 5a zeigt das Schema des Output-Moduls. Beide Module sind im Aufbau in **Bild 3** (Seite 48) und **Bild 9** erkennbar. Bei Bedarf bietet der Autor solche fertigen Prints zum Verkauf an, bitte einfach eine E-Mail an den Autor senden.

Board für HF-Umschaltung

Eine Besonderheit in diesem Projekt ist ja, dass das LPF extern aufsteckbar ist. Dieser HF-Umschaltung kommt eine grosse Bedeutung in Sachen Timing zu. Bei den kommerziellen PAs übernimmt meist eine Sequenzer Schaltung diese Aufgabe. Denn es muss zuerst das antennenseitige Relais, hier RE1, geschlossen sein, bevor das PA-Modul Leistung abgibt, ansonsten die Kontakte schnell verbrannt werden.

In dieser Schaltung (**Bild 6**) ist der Ablauf folgendermassen: An K4 erscheint das PTT-Signal vom Transceiver, T1 schaltet nun das Relais RE1 sofort und RE2 etwas verzögert durch R2 und C1. Damit wird auch die Bias-Spannung verzögert, einmal durch die Verzögerung von RE2 und dann noch durch die Umschaltzeit von RE2, welches die PA über K5 speist.

Wir sehen im Diagramm in **Bild 5b**, dass die PA erst 5.6 ms

nach dem Schliessen des antennenseitigen Relais die Bias-Spannung erhält. Auch wird die Bias-Spannung frühzeitig mit 0.2 ms weggenommen. In der Mitte des Schemas oben sehen wir ein Pi-Dämpfungsglied bestehend aus den Widerständen R4, R5, R6, R7, R8 und R9. Die gezeigte Kombination ergibt etwa 7 dB, schlussendlich wählte ich eine Kombination mit 12 dB. Dieses Dämpfungsglied ist nötig, damit die Gates der MOSFET nicht durch zu hohe Ansteuerung zerstört werden (siehe oben). Zudem wird die Eingangs-Impedanz nahezu 50 Ω transformiert, was gut für ein gutes Input-SWR sorgt. Für einen Nachbau empfehle ich den Typ Relais G2RL-24, 12 V von Reichelt, dann

stimmt das Timing schon recht gut mit den angegebenen Bauteile-Werten. Bei Anfrage für einen fertigen Print, ist der Autor gerne bereit solche zu fertigen: einfach per ein E-Mail bestellen.

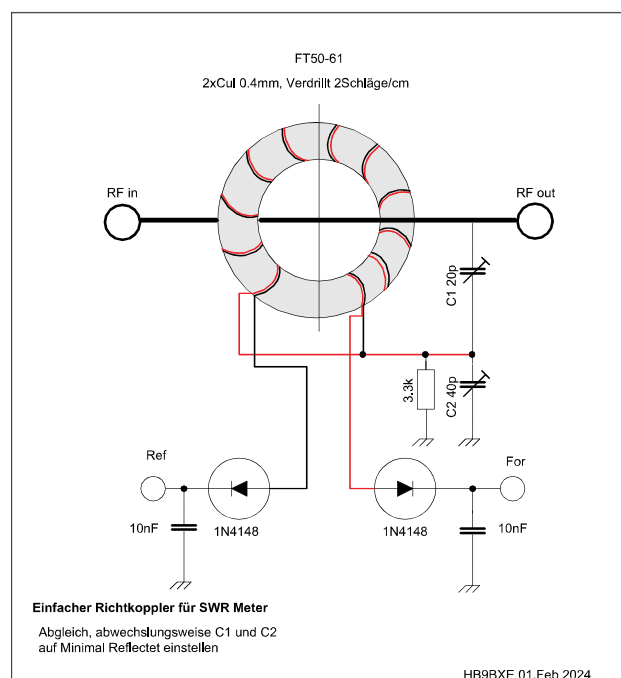


Bild 7a: Schema einer bewährten SWR-Schaltung

Das SWR-Modul (Richtkoppler)

Das Besondere an der Schaltung aus **Bild 7a** ist, dass mit den beiden Trimmern C1 und C2 praktisch alle unerwünschten Reaktanzen im mechanischen Aufbau kompensiert werden können, so dass ein sehr gutes Vorwärts-Rückwärts-Verhältnis erreicht wird. Die beiden Trimmer können am Schluss durch feste Kapazitäten ersetzt werden.

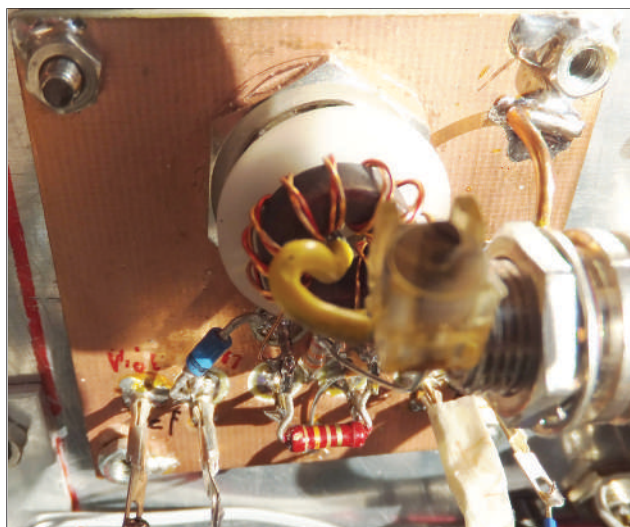


Bild 7b: SWR-Modul ins Gehäuse eingebaut

Der Richtkoppler lässt sich einfach auf einem doppelt beschichteten Leiterplattenstück aufbauen (**Bild 7b**). Hinter dem Ringkern versteckt ist Antennen-Buchse angebracht. So lässt sich das SWR Modul schon frühzeitig und ausserhalb des Gehäuses testen und abglichen. Für den Ausbau sind lediglich 4 M3-Schrauben an der Rückwand zu lösen.

HF-Portable PA im Gehäuse



Bild 8a: Kühlung mit Pfanne



Bild 8b: PA mit Kühlkörper

Um die Kühlung zu forcieren, kann eine Pfanne oder ein Caffé-Kocher auf den Kupfer-Kühlkörper werden (**Bild 8a**), oder aber man kann einen Kühlkörper anschrauben (**Bild 8b**). Im Weiteren kann man etwas Wasser in ein Kuchenblech geben und die PA mit dem Kühlkörper hineinstellen. So gibt es sicher noch viele Möglichkeiten, die Wärme abzuleiten. Sicher ist eine gute Kühlung für die PA überlebenswichtig, obschon diese PA hier einen sehr guten Wirkungsgrad hat und wenig Verlustwärme erzeugt.

Bild 9 zeigt das Innenleben der PA: Rechts oben ist die HF-Umschaltung, links oben die PL-Antennenbuchse mit vorgeschaltetem Richtkoppler für die SWR/Power Anzeige, in der Mitte links das Input-Board, in der Mitte rechts das PA Modul und vorne sind die beiden Instrumente für Power und SWR.

Die Endstufe wiegt insgesamt nur 2.1 kg (ohne Kühlkörper) und hat eine Breite von 20 cm, eine Höhe von 9 cm und eine Tiefe von 16 cm.

Die Stromversorgung

Für die Steuerung der PA wird ein 12-V-Spannung benötigt, welche üblicherweise schon für den Betrieb des Transceivers bereitsteht. Die Versorgung für die PA selbst ist eine Spannungsquelle von 50 V. Für den Portabelbetrieb ist ein 50-V-Akku vorgesehen, für den Betrieb zu Hause bedient man sich eines 50 V Servernetzteils, welche günstig bei Ebay etc. erhältlich sind. Bei letzterem ist zu beachten, dass viele dieser Netzteile Empfangsstörungen verursachen. Bei meinem 1-kW-NMD-Projekt benutzte ich 19 Stück LiFePo4 Zellen in Serie geschaltet. Es sind auch herkömmliche LiPo Akkus in Serie geschaltet möglich. Die Spannung sollte in den Bereich von 45-60 V fallen. Wichtig ist, dass die Wahl des Akkus mit Anzahl Zellen vor dem Baubeginn festgelegt werden muss, denn die Spannung hat wie oben schon erwähnt einen grossen Einfluss auf einen optimalen Wirkungsgrad.

Zusammenfassung

Es wird hier eine einfache «portable HF-PA» für den Nachbau beschrieben. Die Ausgangsleistung beträgt 500 W bis 600 W und die PA kann auf den Bändern von 160 m bis 6 m betrieben werden. Der Bandwechsel erfolgt durch Austauschen des einzelnen LPF an der Rückwand. Diese PA besteht aus nur 4 einzelnen Modulen, was einen Bau und einen Abgleich erlaubt, ohne dass diese in ein Gehäuse eingebaut werden müssen. Die Kosten, vor allem bei Verwendung der vorgeschlagenen zwei 2 MRF300, sind verhältnismässig gering. Es können, wie oben beschrieben, aber auch andere Endstufen-Transistoren zum Einsatz kommen. Dieses Bauprojekt eignet sich sehr für das Erlangen von Knowhow im Bau von HF-Leistungsverstärkern. Durch die Einfachheit im Aufbau (nur 4 Module) ist ein Erfolg schon praktisch programmiert.

Als Fortsetzung ist eine Weiterentwicklung der PA in Planung. Ich werde diese einfach «Portable HF-PA» benennen.

nen. Dabei wird die Bandwahl mit einem Bandschalter getätigt oder aber auch per CAT-Schnittstelle automatisch vom Transceiver gesteuert. Auch wird diese gewisse Schutzschaltungen aufweisen. Details zum Nachbau aller Module habe ich auf meiner Webseite als zip-Datei [2] bereitgestellt. 

[1] <https://hb9bx.ch/PA%20HB9BXE/1kW%20HF%20PA/1kW%20PA%20am%20NMD%20ist%20das%20m%C3%B6glich.pdf>

[2] <https://hb9bx.ch/hamradio/downloads-hf-portable-pa-minmal/>

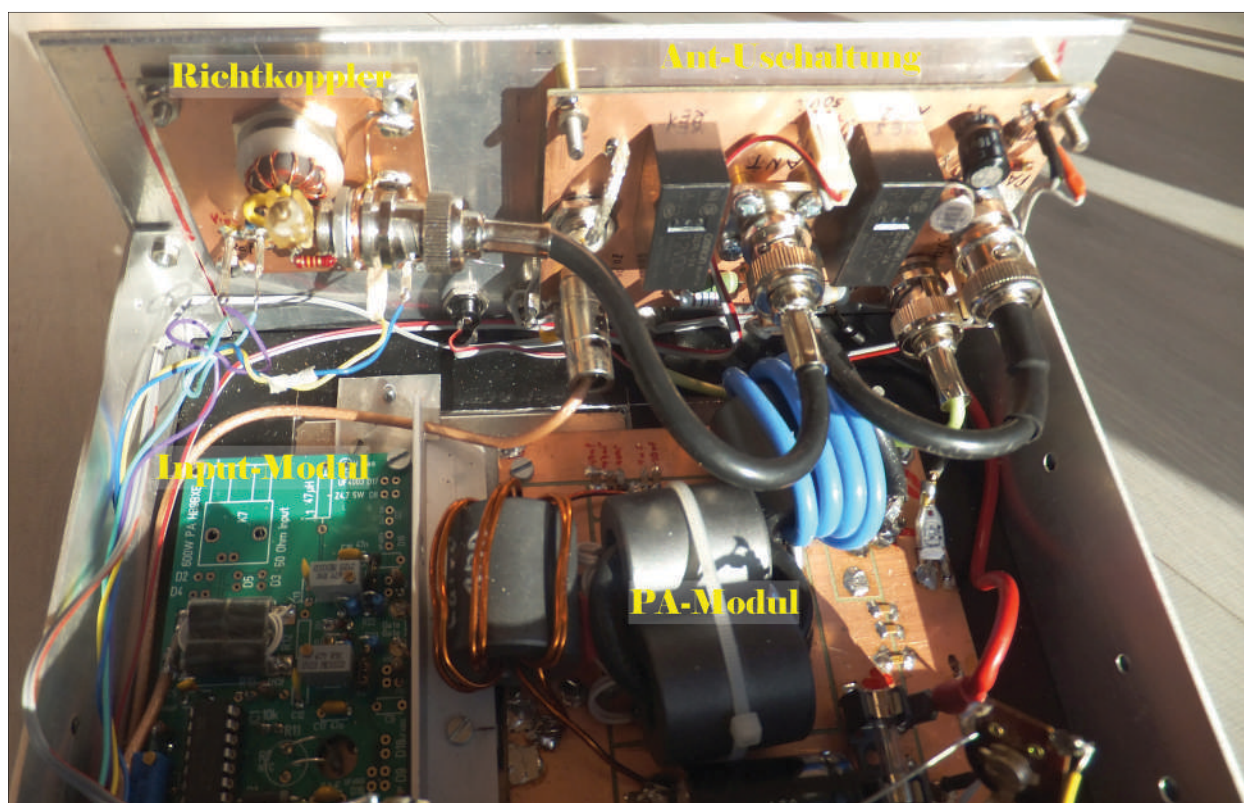


Bild 9: Das Innenleben der PA



Die fertige Portabel-PA liefert bei 2,1 kg und 20x16x9 cm stolze 500 Watt von 160 m - 6 m