

## Poprawa wydajności wzmacniacza EB104 z linią transmisyjną Transformator

**Don Solberg, K9AQ**

**dsolberg@wi.rr.com**

Po powrocie do krótkofalarstwa z dziesięcioletniej przerwy, jednym z moich pierwszych kontaktów był krótkofalowiec w Kolorado, który obsługiwał zdalne sterowanie przez Internet. To było dla mnie nowe doświadczenie i otworzyło mi oczy na to, jak mogę o wiele bardziej cieszyć się krótkofalówką. Często podróżuję w ramach mojej pracy i w rezultacie muszę spędzać dużo czasu w pokojach hotelowych. Moja żona i ja posiadamy również domek na wakacje/połowanie/wędkowanie w północnych lasach Wisconsin i staram się tam spędzać jak najwięcej czasu. Możliwość korzystania z mojej stacji z odległej lokalizacji była spełnieniem marzeń.

Następny rok spędziłem na wypróbowywaniu różnych metod zdalnego sterowania przez Internet, co ostatecznie zaowocowało nowym sprzętem! Skończyłem z Kenwood TS480HX, automatycznym tunerem LDG 600pro, 40-metrowym Carolina Windom i miernikiem WaveNode SWR/PWR. Wszystko działało dobrze, ale chciałem trochę więcej „uderzenia”. Mieszkam w domu z bali na małej działce nad jeziorem i nie mam miejsca na wiele anten, a wieża nie wchodziła w rachubę. Moją jedyną alternatywą było zwiększenie mocy wyjściowej.

Choć jestem szynką od ponad 51 lat, zawsze działałem „na bosaka”, więc niewiele wiedziałem o wzmacniaczach liniowych. Wiedziałem, że jeśli chodzi o obsługę zdalną przez Internet, będę miał wzmacniacz, który nie wymaga strojenia przy zmianie pasma, może być automatycznie przełączany za pomocą Kenwooda lub Ham Radio Deluxe. Nie chciałem też wymieniać mojego auto-tunera ani mojego Carolina Windom, które miały moc tylko 600 watów. Mając na uwadze te cele, zacząłem badać, jakie były moje alternatywy. Szybko okazało się, że potrzebuję wzmacniacza półprzewodnikowego i takiego, który wspierałby automatyczne przełączanie pasm.

Oceniając moje komercyjne wybory i próbując znaleźć fundusze na jeden, przeczytałem artykuł w QST z czerwca 2006 r. „Homebrew Solid-State 600 W HF Amplifier”, autorstwa Toma Sowdena, K0GKD. Znalazłem to, co uważałem wówczas za „idealne” rozwiązanie.

Rozpoczęło się to, co okazało się rocznym projektem i świetną edukacją w zakresie wzmacniaczy tranzystorowych MOSFET. Mam wykształcenie w dziedzinie elektroniki i wiele lat temu miałem licencję radiotelefoniczną pierwszej klasy i pracowałem jako technik elektronik. Co może być tak trudnego w zbudowaniu wzmacniacza moich marzeń? Gdybym wtedy wiedział, jakie będą prawdziwe koszty budowy tego wzmacniacza, lepiej kupiłbym Ameritron ALS600! Z drugiej strony nie mógłbym zdobyć tak dobrej edukacji w zakresie wzmacniaczy MOSFET w żaden inny sposób i spotkałem wielu pomocnych eksperymentatorów z amatorskim radiem.

Celem tego artykułu jest podzielenie się niektórymi moimi doświadczeniami i pomoc innym krótkofalówkom, którzy chcą podjąć wyzwanie zbudowania własnego tranzystorowego wzmacniacza liniowego.

Wzmacniacz, o którym pisał Tom Sowden w swoim artykule, oparty był na projekcie niezującego już Helge Granberga, K7ES/OH2ZE, który będąc inżynierem RF w Motoroli napisał Engineering Bulletin EB104<sup>vi</sup>. Granberg przedstawił projekt wzmacniacza półprzewodnikowego o dużej mocy, wykorzystując (4) Motorola MRF-150 w konfiguracji równoległej/push-pull, aby osiągnąć 600 watów mocy wyjściowej. EB104 został napisany w 1983 roku, a zasady projektowania Granberga są nadal używane przez wielu komercyjnych producentów wzmacniaczy radiowych Ham, w tym Ameritron i Tokyo HyPower.

Projekt Granberga był punktem wyjścia do eksperymentów dla amatorów, a także dla komercyjnych producentów wzmacniaczy radiowych Ham. Płytką drukowaną dla EB104 została wyprodukowana przez Communication Concepts, Inc.<sup>iii</sup> wiele szynków zbudowało ten wzmacniacz, w tym ten autor. Wiele zostało napisanych przez krótkofalowców, którzy zbudowali ten wzmacniacz i wprowadzili do niego wiele ulepszeń. Jeśli „wygooglujesz” EB104, znajdziesz wiele artykułów/dyskusji o tym, jak zbudować wzmacniacz EB104 oraz ulepszenia, które zostały wprowadzone przez innych krótkofalowców.

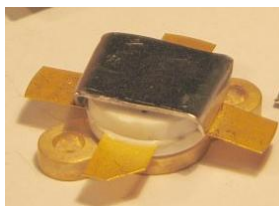
Udało mi się pomyślnie ukończyć mój wzmacniacz EB104, korzystając z wielu zaleceń, które znalazłem w Internecie. Użyłem go na antenie; przez większość czasu za pośrednictwem pilota internetowego i sprawdza się bardzo dobrze, zwłaszcza na 40 i 20 metrach. Jednak, jak wielu innych krótkofalowców, którzy zbudowali ten wzmacniacz, nie byłem w pełni zadowolony z jego wydajności na wyższych pasmach

Do dziś toczy się wiele dyskusji na temat negatywów projektu Granberga. Jego projekt nie miał być gotowym projektem, a raczej punktem wyjścia dla eksperymentatorów. Osoby, które powinny wiedzieć, skomentowały na forach internetowych, że projekt płytki drukowanej EB104 jest wadliwy i że na drenach MOSFET mogą występować skoki wysokiego napięcia, które mogą powodować rezonans harmoniczny, który w pewnych warunkach może zniszczyć tranzystory MOSFET.

Inni doświadczeni eksperymentatorzy szynki wskazali, że transformator wyjściowy, T3, jest również przyczyną słabej wydajności na wyższych częstotliwościach. Chociaż „eksperci” wskazali na wady, nikt, o ile mi wiadomo, nie zaoferował żadnych ulepszeń, które można by wprowadzić, ani nie zaoferował społeczności szynkowców alternatywnej płytki drukowanej.

Granberg w EB104 wskazuje, że płyta miała słabe uziemienie RF na wysokich częstotliwościach z powodu bliskiej odległości równoległych tranzystorów MOSFET. Jeśli dokładnie przyjrzesz się płytce drukowanej, zobaczysz również, że nie ma bezpośredniej płaszczyzny uziemienia po obu stronach płytki na wewnętrznych źródłach dwóch wewnętrznych tranzystorów MOSFET. Granberg sugeruje, że uziemienie RF zostałoby ulepszone przez użycie metalowych nakładek na tranzystorach MOSFET lub przez użycie końcówki lutowniczej od śruby mocującej do przewodów źródłowych. Spowoduje to użycie miedzianego rozpraszacza ciepła jako części uziemienia RF.

W poszukiwaniu sposobów na ulepszenie EB104 spotkałem wielu bardzo doświadczonych krótkofalowców, którzy zbudowali EB104 i byli gotowi podzielić się ze mną swoimi doświadczeniami. Jedną z tych szynki jest Andreas Duessler, DL6EAT. Andreas zbudował wzmacniacz 1,5KW, łącząc razem (4) płytki EB104.<sup>iv</sup> Wymieniłem wiele e-maili z Andreasem, aby uzyskać jego zalecenia dotyczące ulepszenia EB104. Andreas dostarczył mi listę około 30 modyfikacji, które wprowadził. Poprawił uziemienie RF PCB, konstruuując metalowe nakładki, które przechodziły na górę każdego MOSFET-u i były przylutowane do źródeł.

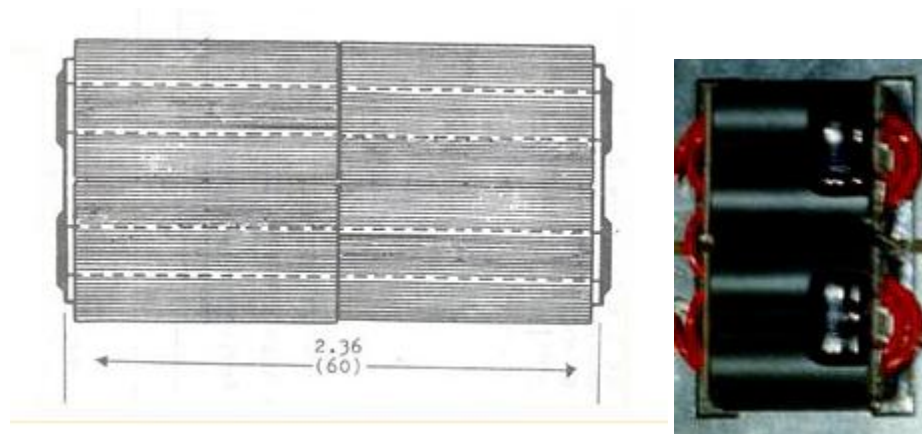


To jest zdjęcie wzmacniacza EB104 Andreasa.

Podczas gdy Andreas był w stanie ukończyć wzmacniacz, nadal napotykał problemy z niezawodnością i zrezygnował z projektu. Następnie zbudował nowy wzmacniacz, korzystając z innego projektu Granberga, AR347, który wykorzystuje (2) MRF 154. Andreas wypowiada się bardzo wysoko o tym projekcie i nie miał problemów ze stabilnością, które miał z EB104.

Wygląda więc na to, że samo poprawienie uziemienia RF nie rozwiązuje całkowicie problemu z konstrukcją EB104. Inną kluczową wadą konstrukcji jest transformator wyjściowy/impedancja dopasowująca. Przyjrzyjmy się konstrukcji transformatora wyjściowego T3.

Granberg miał problemy z ciepłem w rdzeniu transformatora wyjściowego, więc połączył szeregowo dwa transformatory. Rezultatem jest transformator, który jest tak naprawdę dwoma mniejszymi transformatorami połączonymi szeregowo, a także znacznie krótszym transformatorem niż transformator wyjściowy, którego użył w AR347. Oba transformatory są produkowane przez RFPowerSystems i sprzedawane przez CCI. Porównaj stosunek długości do szerokości transformatora RF2000 po lewej stronie, który jest używany w AR347, z transformatorem T3 po prawej stronie, który jest używany w EB104.



Dye/Granberg w swojej książce *Radio Frequency Transistors* (Tranzystory częstotliwości radiowej) zauważają, że ważny jest współczynnik kształtu, stosunek długości do szerokości. Przy krótkim transformatorze, takim jak T3 w EB104, sprzężenie między uzwojeniami jest mniejsze, a indukcyjność rozproszenia zwiększona. To może być powód, dla którego wzmacniacze, które wykorzystują transformator RF2000, mają wyższą skuteczność dopasowania niż EB104. Obwody FAR stworzyły płytkę drukowaną (PCB), „rozszerzoną HOG (Helge O Granberg)”, która zwiększa długość płytki pod transformatorem wyjściowym, aby umożliwić korzystanie z transformatora RF2000. Nie udało mi się znaleźć żadnych informacji zwrotnych w Internecie na temat sukcesu tej konstrukcji płytki/transformatora.

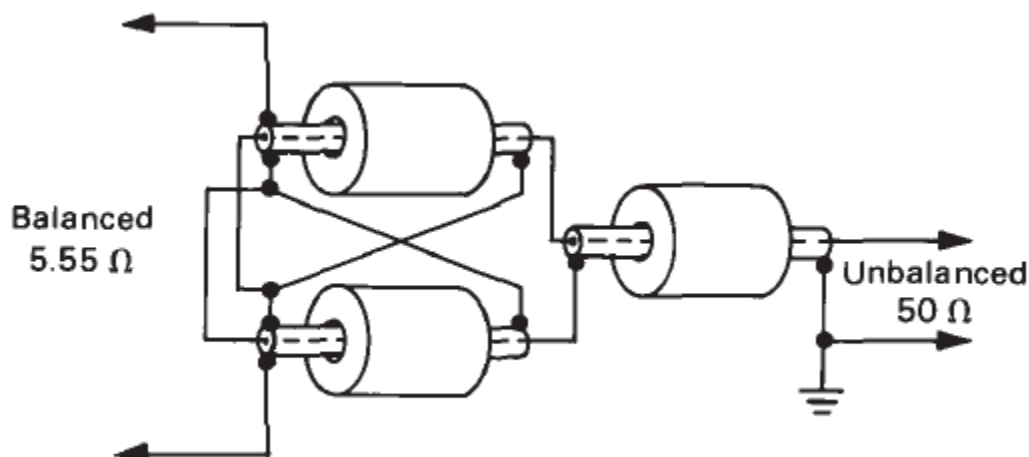
Inną szynką, która bardzo mi pomogła, jest Baruch Zilbershatz, 4Z4RB. Baruch na zamówienie buduje wzmacniacze półprzewodnikowe, które sprzedaje na całym świecie w swoim sklepie eBay.myBaruch zbudował kilka wzmacniaczy „EB104”, wykorzystując płytki CCI i oryginalny transformator wyjściowy EB104. Później przeszedł na płytkę drukowaną własnego projektu. Płytkę drukowaną Barucha ma większe odstępy między tranzystorami MOSFET i znacznie większe ścieżki odpływowe. Dolna strona deski Barucha to solidna płaszczyzna podłoża. Baruch poprawił również uziemienie RF poprzez zastosowanie końcówek lutowniczych ze śrub mocujących MOSFET do źródeł.

Baruch oszczędził również od stosowania konwencjonalnych transformatorów wyjściowych o konstrukcji lampowej i tulejowej, które są używane w EB104, a później w AR347, ALS600, ALS1300 i Tokyo HyPower, na rzecz transformatora linii transmisyjnej (TLT). Jego doświadczenie było bardzo pozytywne; zapewniając lepszą wydajność i moc wyjściową na wyższych częstotliwościach, a także sprawiając, że konstrukcja wzmacniacza równoległego/push-pull jest znacznie bardziej stabilna. Baruch powiedział mi, że od czasu przejścia na TLT nie zniszczył ani jednego MOSFET-u, podczas gdy wcześniej wiele stracił.

Baruch ciągle naciskał, żebym użył TLT we wzmacniaczu EB104. Kiedy po raz pierwszy spotkałem Barucha, nie miałem pojęcia, czym jest TLT i nie byłem przekonany, że jest to odpowiedź na ulepszenie projektu. Dyskusja Barucha bardzo mnie zainteresowała i zacząłem badać wszystko, co mogłem znaleźć w Internecie na temat TLT, a także zamówiłem kilka książek na ten temat i projekt wzmacniacza RF.

Granberg krótko omawia alternatywę użycia TLT w EB104, ale następnie przechodzi do dalszego omówienia transformatora lampowego i tulejowego, którego użył w EB104 i który CCI nadal dostarcza w swoich zestawach. Granberg w innych pismach <sup>idziesz</sup>zwrócił uwagę na nieodłączną nieefektywność transformatora rurowego i tulejowego oraz na to, o ile bardziej wydajny jest TLT. Ponieważ Granberg zmarł w młodym wieku, w 1996 roku, będziemy:

nigdy nie wiem, dlaczego nie używał TLT w EB104. Oto projekt TLT, o którym mówił Granberg w EB104:



To transformator 1:9, z balunem 1:1 po prawej stronie. 1:9 TLT ma zbalansowane wyjście, więc balun 1:1 jest używany do dopasowania sygnału wyjściowego do niezbalansowanej anteny 50 omów. Inni autorzy wskazali, że jeśli dwie połówki TLT są nawinięte na oddzielnych rdzeniach, balun nie jest potrzebny.

Podczas gdy Granberg nie używał TLT w EB104, użył go w AN758. Ten biuletyn inżynierski zawiera bardzo dobrą dyskusję na temat budowy TLT. Granberg napisał również notę aplikacyjną Motorola, AN749, „Transformatory szerokopasmowe i techniki łączenia mocy dla RF”.<sup>viii</sup>W tej notce aplikacyjnej omówiono różne szerokopasmowe transformatory wyjściowe. Granberg w tej notce aplikacyjnej stwierdza, że transformator linii transmisyjnej jest lepszy pod względem przepustowości i możliwości obsługi mocy.

Doug DeMaw, W1FB, w swojej książce „Practical RF Design Manual” również szczegółowo omawia konstrukcję TLT. DeMaw zwraca uwagę na znaczenie stosowania kondensatorów trymera do kompensacji indukcyjności rozproszenia. Wskazuje również, że ekran kabla koncentrycznego przenosi duży prąd, co przyczynia się do wysokiej wydajności TLT.

ix

Larry Sevick, W2FMI, w swojej książce Stany transformatorów linii przesyłowych „Dokładne pomiary strat wykazały, że tylko ograniczona liczba materiałów ferrytowych jest przydatna w zastosowaniach energetycznych, w których ważna jest wysoka wydajność”. Dalej mówi, że „rdzenie ferrytowe niklowo-cynkowe o przepuszczalności w umiarkowanie niskim zakresie od około 50 do 300, uzyskują wydajność przekraczającą 98%. Żaden konwencjonalny transformator nie może zbliżyć się do tej wydajności.”<sup>x</sup>

Rdzenie ferrytowe z materiału 43 mają przepuszczalność 850, a rdzenie z materiału 61 mają przepuszczalność 125.

Sevick pisze również, że ludzie źle rozumieją działanie TLT i próbują myśleć o nich jak o konwencjonalnych transformatorach. „Ze względu na znoszący efekt prądów linii transmisyjnej w rdzeniu generowany jest niewielki strumień. Ponieważ straty w przypadku niektórych ferrytów wynoszą tylko od 20 do 40 milidecybeli, bardzo małe transformatory linii przesyłowej mogą poradzić sobie z zaskakująco wysokimi poziomami mocy”. Ponadto

moc zależy bardziej od rozmiaru przewodników niż od rozmiaru rdzeni. Bardzo małe konstrukcje radzą sobie z niesamowicie wysokimi poziomami mocy. Sevick poinformował, że „torroid z 1” OD i 14 zwojami nr. 18- przewodowy z powrotem obsłużył 1 kW mocy szczytowej w trybie jednostronnej pracy wstęgowej przez dłuższy czas. Stało się ciepłe w dotyku, ale nie przegrzewało się”.

Sevick napisał, że przy odpowiednich szerokościach pasma materiału rdzenia około 100 MHz i wydajności dopasowania zbliżonej do 99% było to możliwe.<sup>xi</sup>

Matti Hohtola, OH7SV, projektant wzmacniacza LUMA 1 KW, napisał: „Myślę, że harmoniczne są związane z nieprawidłowo działającym transformatorem RF PA. Zapewne znasz problem związany z działaniem klasy AB. Podczas nieprzewodzącego półcyklu MOSFET jest w stanie wysokiej impedancji. W przypadku popularnego transformatora, ten koniec transformatora nie jest nigdzie podłączony, a napięcie odbija się, uwalniając energię wysokiej częstotliwości na wyjście. Spróbowałem też popularnego typu transformatora, co spowodowało awarię jednego kondensatora filtra dolnoprzepustowego (LPF). Potwierdza to, że w złym transformatorze było dużo harmonicznych, a pierwszy kondensator LPF nie mógł wytrzymać tak wysokiego prądu RF”. Z mojego założenia Hohtola mówi o konwencjonalnym transformatorze lampowo-tulejowym.

Wysoka zawartość harmonicznych może wyjaśniać skoki wysokiego napięcia, które zniszczyły MRF150 na EB104, a nie projekt PCB EB104, który jest prawdziwą przyczyną.

Po wielu lekturach i kilku rozmowach z Baruchem przekonałem się, że „problemem” z projektem EB104 może nie być płytka drukowana, a raczej konstrukcja transformatora wyjściowego T3.

Ken Holland, K9FV i ja spotkaliśmy się w Internecie i rozpoczęliśmy „rozmowę” e-mailową na temat wzmacniaczy MOSFET i TLT. Ken buduje projektowy wzmacniacz EB104, używając SD2933 zamiast MRF150 i projektuje własną płytkę drukowaną. Ken i ja zaczęliśmy testować różne TLT przy użyciu naszych analizatorów SWR. Oboje stwierdziliśmy, że dzięki TLT możemy uzyskać zaskakująco wysoką wydajność dopasowania. Zanim wymieniłem konwencjonalny transformator EB104 T3 na TLT, chciałem przeprowadzić test porównawczy, więc zamówiłem nowy transformator T3 w CCI. Z transformatorem lampowym i tulejowym odkryłem, że stosując zmienne kondensatory ARCO zamiast kondensatorów 1200 pf, które są pokazane w EB104, udało mi się dostroić część reaktancji upływu transformatora na wyższych pasmach i uzyskać lepszą wydajność. Nie byłem jednak w stanie zbliżyć się do wydajności zapewnianej przez TLT. Przeprowadziłem również kilka testów na transformatorze wejściowym T1 i stwierdziłem, że ten transformator zapewnia bardzo wydajne dopasowanie. Podejrzewam, że problem z transformatorem wyjściowym T3 jest związany z zastosowaniem dwóch transformatorów szeregowo.

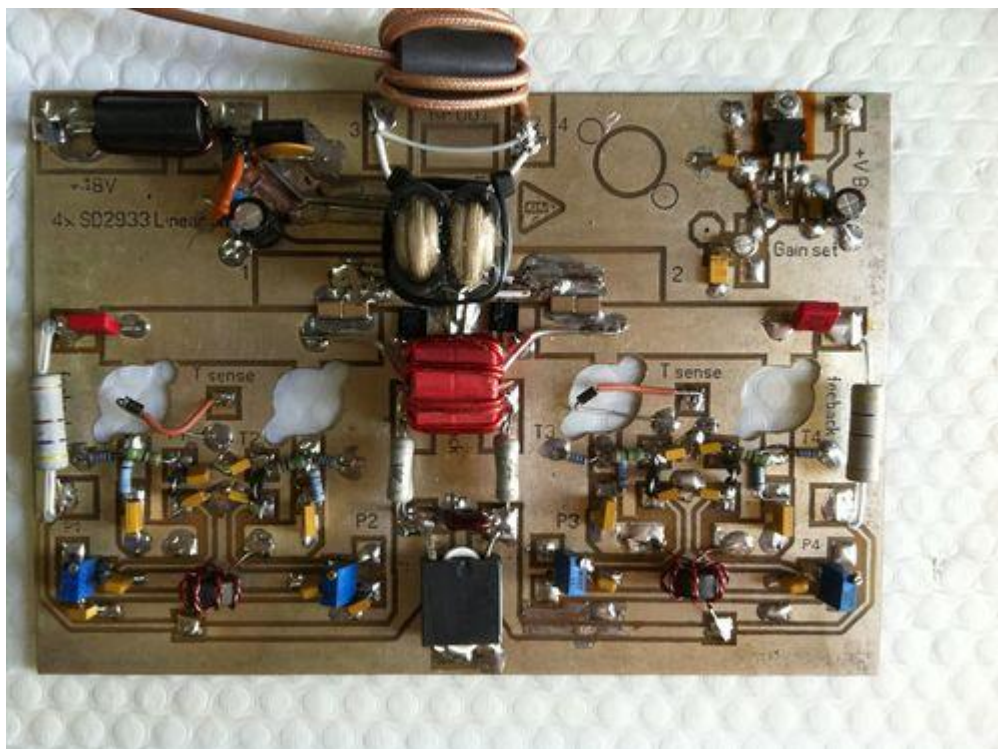
Budowanie 9:1 TLT nie jest skomplikowane. Zbudowałem je przy użyciu różnych rdzeni i kabli koncentrycznych. Ponieważ nie planowałem pracować na 160 metrach, a chciałem sprawdzić, czy uda mi się zmusić EB104 do pracy na 6 metrach, zdecydowałem się na rdzenie materiałowe #61. Optymalna impedancja kabla koncentrycznego dla 600-watowego wzmacniacza z zasilaniem 50 V DC wynosi 16,5 Ω. Udało mi się uzyskać kabel koncentryczny 18 omów z CCI, jest drogi 5,50 USD za stopę, ale potrzebujesz tylko kilku stóp. Baruch polecił kabel koncentryczny 25 omów, który jest dostępny po niższych kosztach. Utrata wydajności jest minimalna. Buduje również TLT przy użyciu skręconych par emaliowanego drutu magnetycznego, co jest bardzo tanie.

Długość linii przesyłowej nie jest krytyczna. Baruch polecił 10 ½", ale kiedy wyjaśniłem, że nie operuję 160 i chciałbym spróbować dostać się na 6 metrów, polecił 9". Baruch zalecał rdzenie #43 lub #61.

Odkryłem również, że potrzebuję kondensatora na porcie wejściowym (o niskiej impedancji), aby zlikwidować reaktancję upływu na wyższych pasmach. Używając rdzeni #61 z 18-omowym koncentrykiem i zmiennym kondensatorem ARCO 469 na wejściu, udało mi się uzyskać praktycznie idealne dopasowanie z odległości 160-6 metrów!

Najlepiej dopasowaną wydajność uzyskałem używając lamp ferrytowych, ponieważ skutkowało to najkrótszą odległością między interkonektami. 9:1 TLT ma dwa interkonekty, połączone krzyżowo z jednej wyjściowej linii transmisyjnej z powrotem do wejścia drugiej linii, co zmienia go z transformatora 4:1 na 9:1. Ta odległość jest znacznie krótsza, gdy używa się ferrytów rurowych. Moim pierwotnym planem było użycie tego transformatora w EB104, ale napotkałem problemy z montażem, gdy próbowałem go zainstalować. Musiałbym poprowadzić dwa nowe pady wyjściowe na płycie i nie chciałem tego robić z płytą, która była już wypełniona, z obawy, że wibracje mogą powodować problemy. (Jeżeli zaczynasz z nową, niezaludnioną płytą, to jest to droga, którą bym szedł. Z rurowym ferrytem TLT udało mi się uzyskać znacznie lepsze dopasowanie na 6 metrach,

To zdjęcie jednego ze wzmacniaczy Barucha wykorzystującego tego typu lampę ferrytową TLT. Kupiłem te rdzenie TLT od Barucha, więc nie znam ich źródła. To zdjęcie pokazuje również wysoką jakość płytek drukowanych, które Baruch zaprojektował jako zamiennik płytki EB104. Płyta Barucha może pomieścić zarówno MRF150, jak i SD2933. Baruch sprzedaje zaludnioną płytkę bez tranzystorów MOSFET w swoim sklepie w serwisie eBay <http://stores.ebay.com/4z4rb? trksid=p4340.l2563>

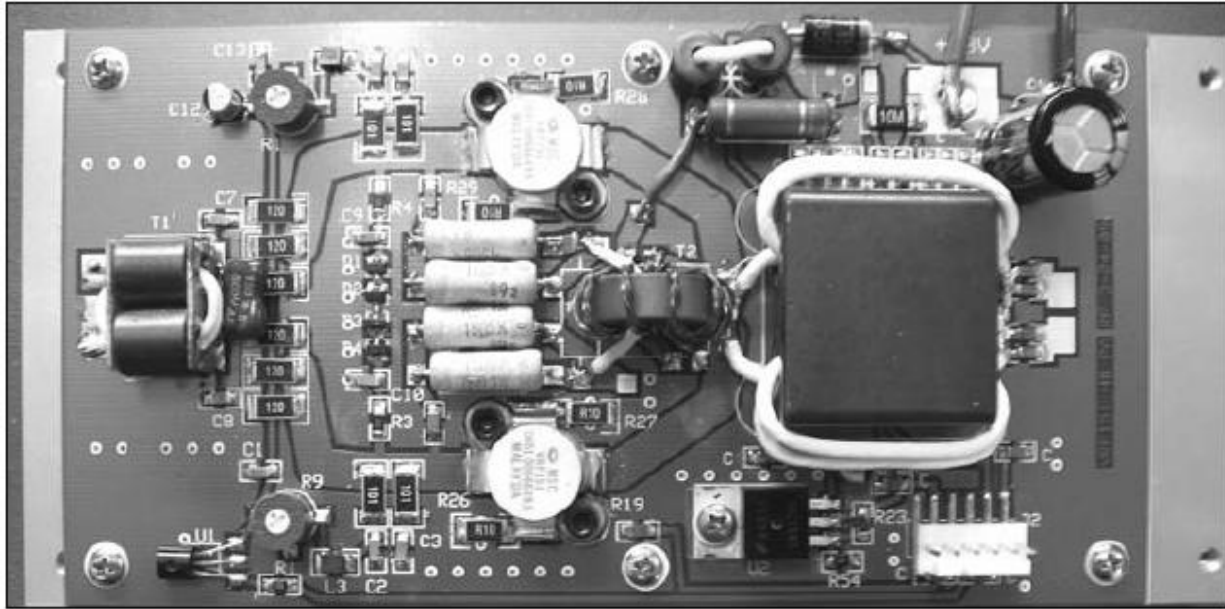


Następnie zbadałem zastosowanie rdzenia wielotemperaturowego Fair-Rite #61, numer części 2861010002. Rdzeń ten jest dostępny w firmie Mouser.<http://www.mouser.com/ProductDetail/Fair-Rite/2861010002/?qs=TibuvmyplOfyocW6Cak6iFs0ERjbVW9g>

Ten rdzeń był używany w 250-watowym wzmacniaczu półprzewodnikowym w rozdziale 17 z 2011 r. Podręcznik ARRL, Nowy szerokopasmowy wzmacniacz liniowy 250 W.<sup>xi</sup>Wzmacniacz używał TLT 4:1, więc nie było potrzeby wykonywania połączeń krzyżowych. Projekt mojego baluna 1:1 i mojego obwodu sterującego wzmacniaczem pochodzi z tego artykułu.

To jest zdjęcie z Podręcznik ARRL który pokazuje TLT 4:1:



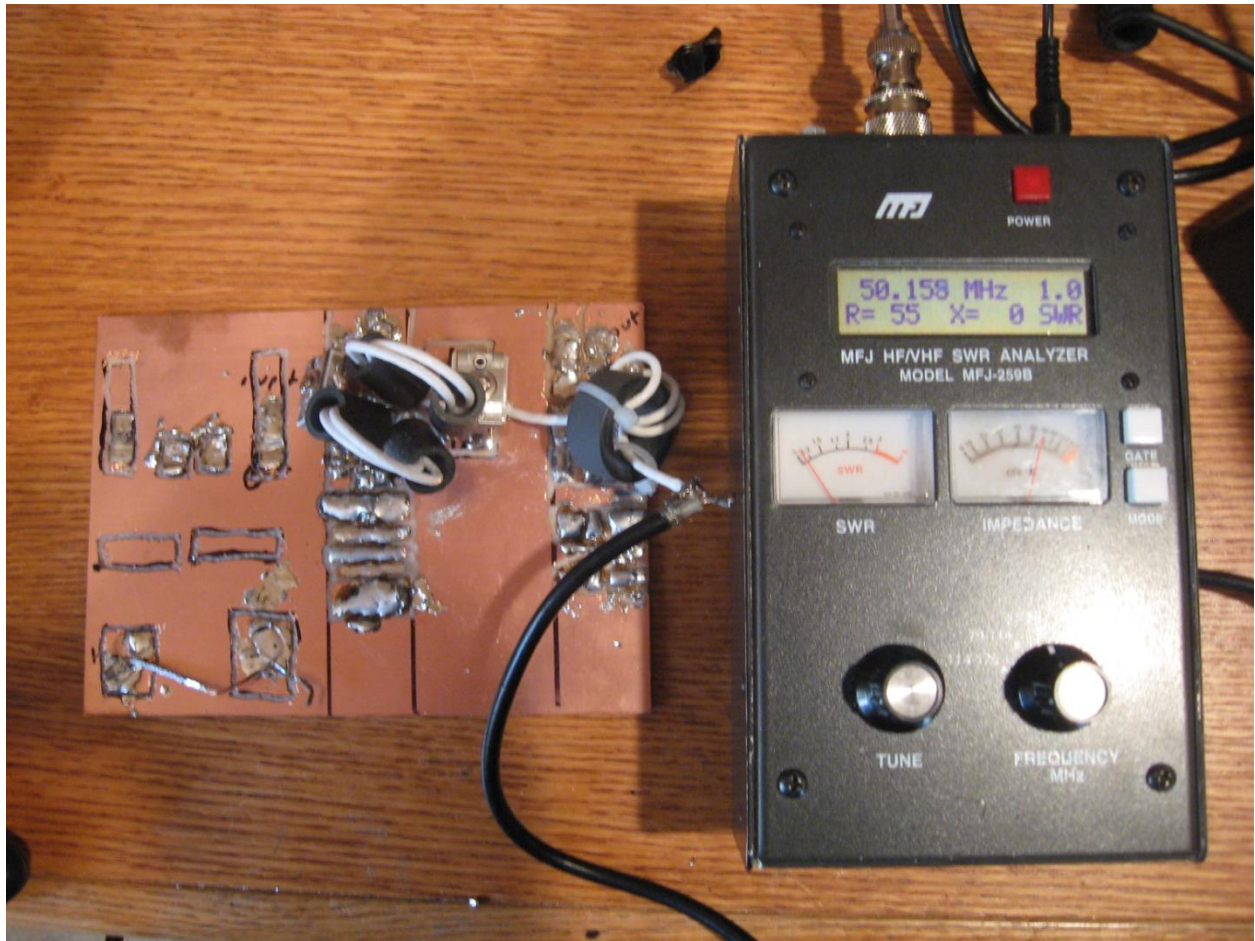


**Fig 17.47 — The power amplifier module PC board assembly mounted on the heat sink.**

Ten obwód jest bardzo podobny do nowego wzmacniacza Elecraft KPA500, który również wykorzystuje TLT.

Przeprowadziłem test przy użyciu tego rdzenia, skonfigurowanego jako TLT 9:1 i chociaż długości połączeń krzyżowych były dłuższe, wydajność dopasowania była prawie tak dobra, jak TLT, który zbudowałem z rurkami ferrytowymi.

Oto zdjęcie przyrządu testowego, którego użyłem do testowania różnych TLT oraz transformatora lampowego i tulejowego EB104 T3. Na wejściu TLT znajduje się rezystor 5,5 omów, a wyjście zasilam moim analizatorem SWR MFJ-259B. Jak widać na poniższym zdjęciu, przeprowadziłem test aż do 50 MHz i uzyskałem prawie idealne dopasowanie!



Oto wyniki testów TLT z wielotemperaturowym rdzeniem Fair-Rite i koncentrykiem 18 omów, z ARCO 469 dostosowanym do najniższego SWR i najwyższej wydajności dopasowania na 80-10 metrach. Jak widzieliście na poprzednim zdjęciu, udało mi się uzyskać bardzo dobre dopasowanie aż do 6 metrów, gdy użyłem rurek ferrytowych Barucha, ale wyniki nie były tak dobre z rdzeniem wielotemperaturowym. Jestem pewien, że to zasługa znacznie dłuższego interkonektu z tym rdzeniem.

### Test z ARCO 469 (215-790Pf)

MHZ	Z	x	SWR	Mecz	Efektywność
	1.8 89		0	1.1	99.00%
	3.5 83		0	1.1	99.00%
	7.15 83		0	1.1	99.00%
	14.15 89		0	1.2	98.00%
	18.12 85		0	1.2	98.00%
	21.2 80		0	1.2	99.00%
	24.93 74		0	1.1	99.00%
	28.3 49 21			1.1	99.00%
	50.11 26 20			2	87.00%

Porównaj te wyniki z wynikami testu transformatora lampowego T3 i tulejowego zastosowanego w EB104:

Wyjście 9:1 "T3" z 820 pf równoległe z ARCO 469

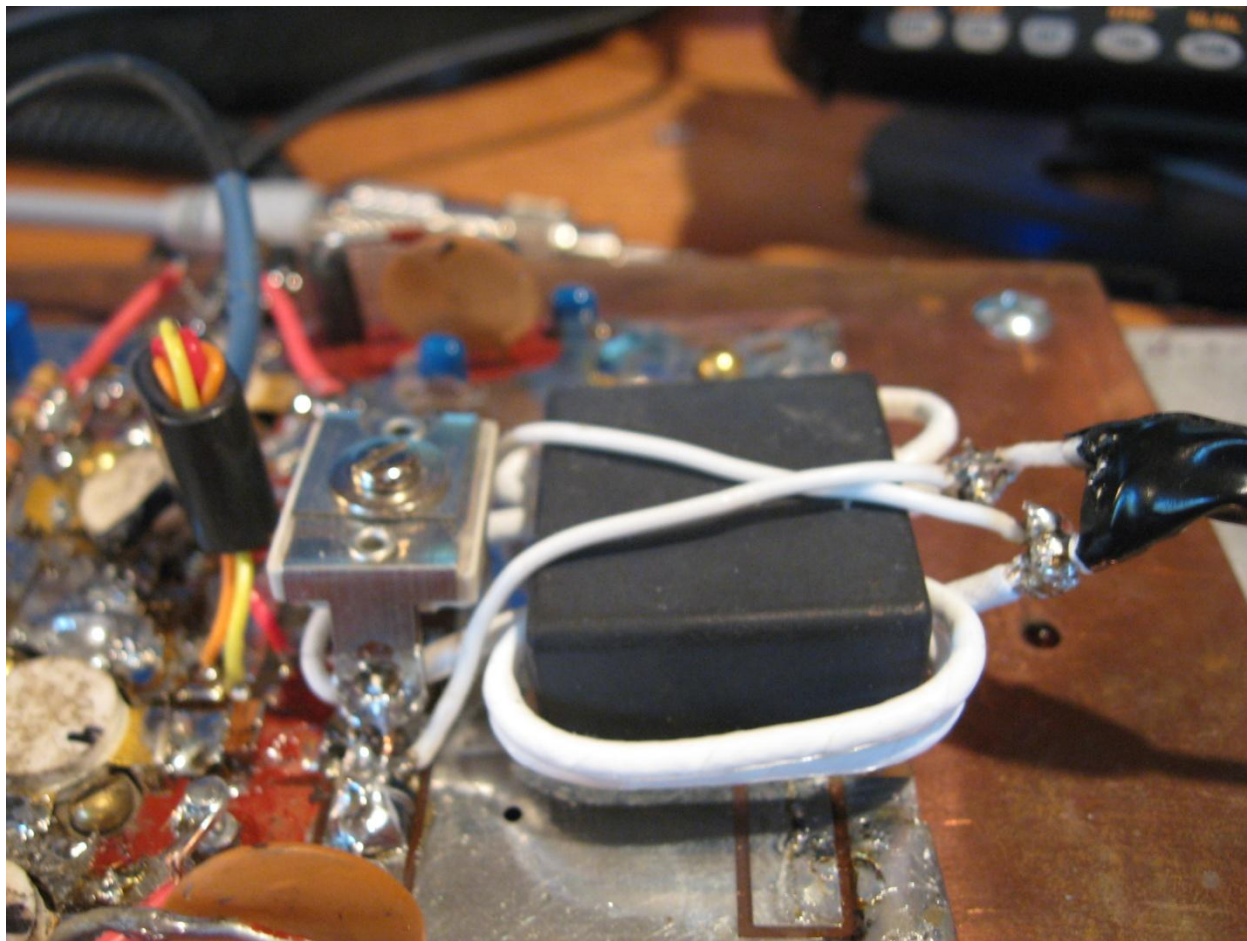
MHZ	R	x	SWR	Skuteczność dopasowania
1.8	53	2	1	99.00%
3.5	59	7	1.2	98.00%
7.15	89	0	1.5	95.00%
14.15	126	0	2.5	81.00%
18.12	68	49	3.2	72.00%
21.2	37	44	3.8	65.00%
24.93	23	27	4.2	61.00%
28.3	17	15	5	55.00%
50.11	42	67	6.1	47.00%

Te wyniki testów są zgodne z wydajnością na antenie, której doświadczyłem ze swoim wzmacniaczem EB104. Opierając się na tych wynikach testów i za namową Barucha i Kena, zdecydowałem się rozebrać mój wzmacniacz i zastąpić transformator wyjściowy tym TLT.

Na pierwszy rzut oka ten transformator wyjściowy wygląda jak konwencjonalny transformator i bardzo łatwo go było zamontować na płycie EB104. Użyłem niewielkiej ilości krzemu, aby fizycznie zamontować rdzeń na płycie drukowanej. Przylutowałem wyjście TLT bezpośrednio do kabla koncentrycznego wchodzącego do baluna, a następnie zaizolowałem wszystkie połączenia płynną taśmą elektryczną.

Nawinałem 3 zwoje 18-omowego kabla koncentrycznego po każdej stronie rdzenia z wieloma aperturami. To około 10 cali kabla koncentrycznego z każdej strony. Użyłem 3 zwojów kabla koncentrycznego RG-188 na rdzeniu Fair-Rite 2643665802 dla baluna 1:1. (Otrzymałem informację zwrotną od wczesnych recenzentów tego artykułu, że liczba rdzeni Fair-Rite może już nie być

ważny. Do balunu 1:1 można zastosować dowolne rdzenie ferrytowe z materiału #61, takie jak Amidon FT-114)

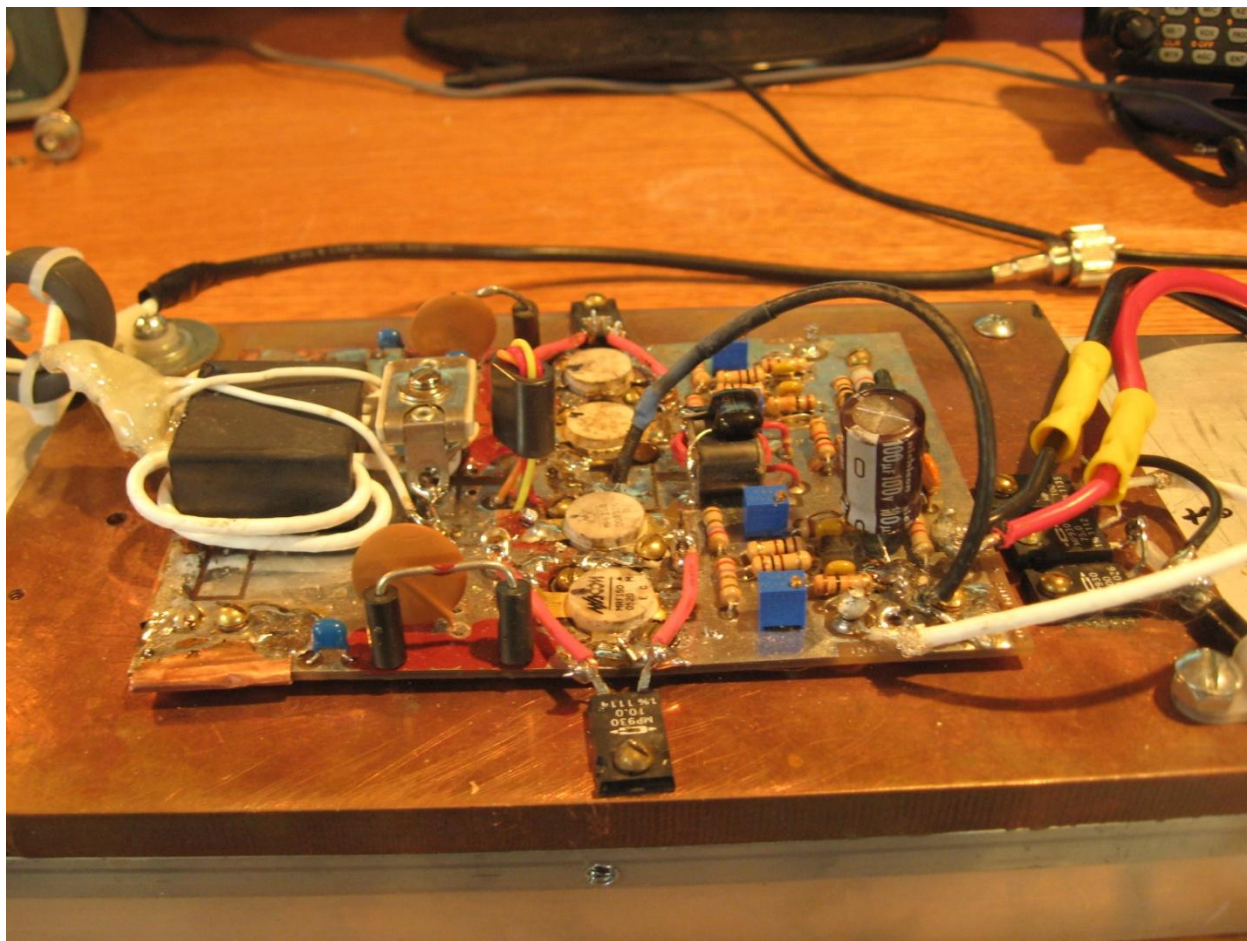


Na tym zdjęciu widać ARCO 469 po stronie wejściowej TLT, połączenia krzyżowe znajdują się na górze TLT, a balun 1:1 jest poza zdjęciem po prawej stronie. To zdjęcie zostało zrobione przed zaizolowaniem połączeń wyjściowych taśmą w płynie.

Kiedy wymieniłem transformator wyjściowy T3 na TLT, skorzystałem również z usunięcia płyty z radiatora, aby dokonać innych ulepszeń wzmacniacza. Obejmowało to zastąpienie jednoobrotowych potencjometrów odchylenia na 12 potencjometrów. (Jest to bezwzględnie obowiązkowa zmiana, która znacznie ułatwia i zwiększa bezpieczeństwo nastawienia na biegu jałowym). Wymieniłem dwa kondensatory odsprzęgające C13 i C14 na cztery kondensatory .047  $\mu\text{f}$  i dwa kondensatory .001  $\mu\text{f}$ . Wymieniłem również C15 na kondensator 100  $\mu\text{f}$ , 100 woltów.

Helge Granberg w EB104 przedstawił zalecenia dotyczące poprawy uziemienia RF płyty. Próbowałem metalowych nakładek przy dwóch różnych okazjach i za każdym razem miałem błysk pod nakrętką i niszczyłem parę MOSFET-ów! Nie mam pojęcia, co zrobiłem źle, ale po drugim razem i konieczności wymiany sześciu MOSFET-ów zrezygnowałem z tego pomysłu. Wypróbowałem inne zalecenie Granberga, aby umieścić końcówkę lutowniczą na śrubach montażowych MOSFET i przylutować je do źródeł. Brzmi to łatwo, ale ze względu na bardzo ograniczoną przestrzeń wokół MOSFET-ów nie byłem w stanie zrobić tego na wszystkich z nich. Część z nich udało mi się uziemić. Zgodnie z sugestią Kena owinąłem część płytki drukowanej pod transformatorem wyjściowym cienką folią miedzianą. Spoilo to ze sobą podstawy po obu stronach planszy.

Oto zdjęcie tablicy po wszystkich zmianach:

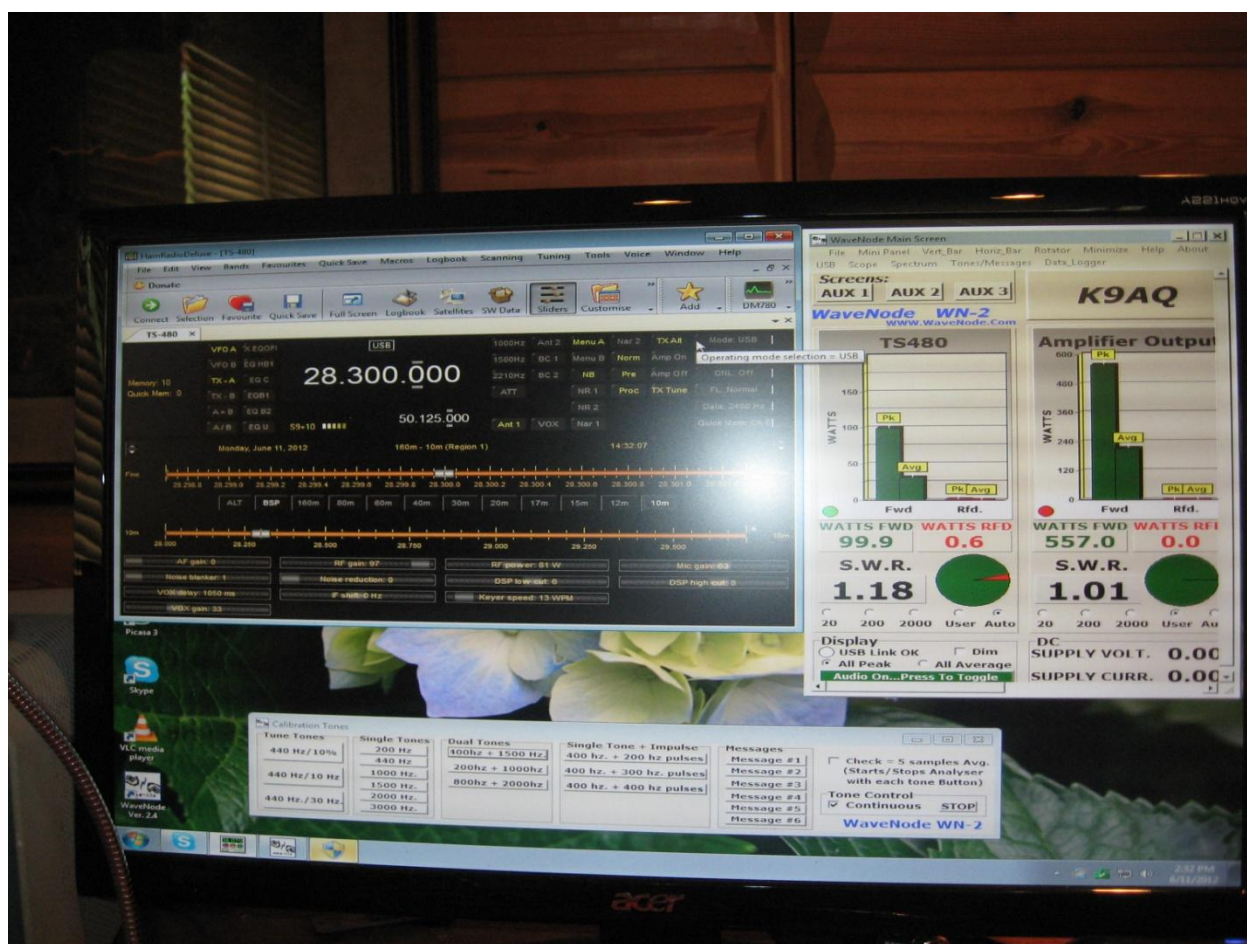


Od lewej strony zdjęcia widać balun 1:1, 9:1 TLT, folię miedzianą łączącą obie strony płytki dla lepszego uziemienia RF, zapasowe kondensatory odsprężające, zmienny kondensator ARCO 469 w TLT wejście, lakier izolacyjny pod rezystorami L1/L2, Caddock 10 omów, 10 W na radiatorach dla R19/R20, kondensator 470 pf na T1 zastępujący C2 (kondensator ceramiczny 820 pf), 12-obrotowe potencjometry polaryzacji, 100  $\mu$ f/100 V kondensator dla C15 i tłumik 10 dB sekcji Pi na wejściu.

To, czego nie widać na zdjęciu, ale jest również bardzo ważne, to praca, którą wykonałem z narzędziem Dremel i wiertłem szlifierskim, aby zwiększyć prześwit wokół każdego z MOSFET-ów. Odkryłem, że bez tego dodatkowego prześwitu można bardzo łatwo zwierać odpływy MOSFET do ziemi. (Gdybym zaczynał od nowej płytki, zwiększyłbym prześwity, aby łatwiej było umieścić końcówki uziemiające pod śrubami MOSFET.) Przed pierwszym włączeniem wzmacniacza MUSISZ sprawdzić, czy nie ma zwarców. Rozpocznij również test od bezpiecznika 3 A. Użyj bezpiecznika o niskiej wartości, aż uzyskasz wszystkie ustawienia biasu MOSFET. Z oryginalnymi jednoobrotowymi potencjometrami odchylenia, BARDZO trudno jest wyregulować odchylenie

i bardzo łatwo jest doprowadzić MOSFET do punktu oscylacji. Rozwiązaniem są potencjometry wieloobrotowe.

Więc to działa? Absolutnie! Otrzymuję teraz prawdziwe 600 watów z 80-12 metrów i 557 watów na 10 metrach. (Nie operuję na 160, więc nie robiłem żadnych testów na tym paśmie. Moje testy poza płytą TLT wykazały, że było bardzo dobre dopasowanie na 160. Jeśli to pasmo jest dla Ciebie ważne, możesz również rozważyć zmianę miks rdzeniowego na #43). Oto zdjęcie dokumentujące test na 10 m:



Steruję wzmacniaczem dwutonowym sygnałem testowym z WaveNode<sup>xiii</sup> oraz pomiar mocy wejściowej i wyjściowej oraz SWR. Widać, że jeżdżę z 99,9 watów. Mój tłumik prawdopodobnie zapewnia nieco ponad 10 dB tłumienia. Odkryłem, że mój Kenwood TS480, podobnie jak większość transceiverów, ma znaczny skok mocy, gdy zmniejszysz moc wyjściową; praca z „pełną” mocą eliminuje ten skok, jednocześnie eliminując możliwość przesterowania wzmacniacza. Tłumik wejściowy 10 dB zapewnia również bardzo niski SWR dla transceivera.

To jest konfiguracja, której używam do zdalnej obsługi przez Internet. Całe moje przełączanie pasm i monitorowanie odbywa się za pomocą komputera. Mój wzmacniacz nie ma ręcznego przełącznika pasma ani pomiaru. Ham Radio Deluxe (HRD) kontroluje przełączanie pasm. We wzmacniaczu mam płytkę z dekodery pasma firmy Unified Microsystems <http://www.unifiedmicro.com/decoder.html>, podłączony do portu równoległego na moim hoście

komputer. Dopóki HRD działa, jego monitor pasma będzie dostarczać prawidłowe informacje o paśmie do płyty Unified Microsystems, nawet jeśli zmienisz pasmo w TS480. Używam WaveNode również do monitorowania temperatury PA, napięcia PA i prądu PA. Prowadzę linię PTT przez przełącznik na WaveNode, który otwiera się, gdy SWR przekroczy konfigurowalny próg. Jestem w trakcie implementacji dodatkowych elementów sterujących za pomocą WaveNode. Zapewnia możliwość sterowania wyjściami analogowymi, które można wykorzystać do sterowania przełącznikami. Zamierzam użyć pary krzemowych przełączników sterujących, aby włączyć/wyłączyć 220 V AC do zasilania, a drugi przełącznik do odłączenia i uziemienia mojej anteny, gdy występują warunki burzowe.

Jeśli TLT oferuje tak wiele zalet, dlaczego niektóre komercyjne wzmacniacze nadal używają transformatora lampowego i tulejowego? Wydanie QEX z września/października 2006 zawiera artykuł „Zdobądź 1,5 kW z nowego MOSFET RF: A Legal Limit HF Linear, Tokyo Style”<sup>xiv</sup>. Według projektantów wzmacniaczy Tokyo Hy Power najlepszą wydajność i wydajność szerokopasmową uzyskuje się przy użyciu TLT. Stwierdzają, że jedynym powodem stosowania konwencjonalnych transformatorów „paciorek i lampowych” jest niższy koszt. Dye/Granberg napisał, że konwencjonalny transformator jest gorszy pod względem wydajności od transformatora linii przesyłowej, jeśli chodzi o obsługę mocy, współczynnik strat i przepustowość. Według nich jedynym czynnikiem przemawiającym za transformatorem lampowo-tulejowym jest jego prosta konstrukcja, która sprawia, że jest on niedrogi i łatwy do masowej produkcji.<sup>xv</sup>

Elecraft używa TLT w KPA500 i zgodnie z powyższym artykułem wydaje się, że Tokyo HyPower używa go w swoim nowym wzmacniaczu HL-2.5Kfx. Patrząc na zdjęcia Yaesu Quadra i Icom PW-1, obaj wydają się używać TLT, ale nie znalazłem schematu, który by to potwierdził.

Różnica w kosztach jest naprawdę bardzo minimalna, ale gdy komercyjny sprzedawca masowo buduje sprzęt, każdy zaoszczędzony dolar trafia bezpośrednio na wynik finansowy. Jedynym „drogim” elementem TLT jest kabel koncentryczny. Aby uzyskać optymalne wyniki przy 9:1 TLT, impedancja kabla koncentrycznego powinna wynosić 16,5 oma. Najbliżej tego, co udało mi się znaleźć, to 18 omów, a koszt wyniósł około 5,50 USD za stopę. Ponieważ potrzebujesz tylko dwóch stóp kabla koncentrycznego, całkowity koszt kabla koncentrycznego i rdzenia Fair-Rite wynosi około 15 USD. Dla szynka budującego własny wzmacniacz różnica w kosztach jest znikoma.

Dlaczego więc nadal używamy ich w budownictwie domowym? Jediną odpowiedzią jest to, że idziemy na łatwiznę i kopiujemy to, co zrobili inni rok po roku, i nie nadążamy za najlepszymi praktykami w branży. Na początku TLT wydaje się magią i trudno zrozumieć, dlaczego to działa. Działa i jest bardzo łatwy do zbudowania i zainstalowania w EB104.

**Filtry dolnoprzepustowe.** Kiedy po raz pierwszy zbudowałem swój wzmacniacz EB104, zamówiłem w CCI cztery płytki filtrów. Buduję filtry na 40-10, zastępując kondensatory 500 V dostarczone przez CCI kondensatorami 1KV, i zamontowałem parę tych płytek na płytce perf, gdzie dodałem przełączniki do przełączania filtrów. Dwie z tych „płyt głównych” zostały ułożone jedna na drugiej w celu zamontowania w szafce. Jak wspomniałem wcześniej, użyłem płyty dekodera pasma, BCD-10, firmy Unified Microsystems i HRD, aby zapewnić automatyczne przełączanie pasma. Ponieważ miałem długofalowe plany zbudowania wzmacniacza półprzewodnikowego o mocy 1 kW, pomyślałem, że byłby to również idealny czas na przerobienie mojej płytki filtra/przełącznika i ulepszenie jej w celu uzyskania większej mocy.

W artykule EB104 Toma Sowdena wspomniał, że kazał FAR Circuits zaprojektować płytkę drukowaną dla swoich filtrów. Zadzwoniłem do Freda z FAR Circuits i dowiedziałem się, że na płycie Toma mieścił się tylko filtr

komponenty i że nie ma przełączników do przełączania pasm. Fred i ja pracowaliśmy razem, aby przerobić tę planszę. Komponenty zostały zmodernizowane, aby były w stanie obsłużyć wzmacniacz klasy 1KW, a płytkę przeprojektowano pod kątem przełączników Zettler do przełączania pasm. Fred wykonał naprawdę dobrą robotę, myśląc o przyszłości. Płytkę można zmienić na przełączanie przełącznika po stronie wysokiej lub niskiej. Może używać kondensatorów przewlekanych lub do montażu powierzchniowego. Płyta jest teraz dostępna na stronie internetowej FAR jako „Tom Sowden High Power Harmonic Filter Board”, a koszt wynosi 35 USD.

Niestety dla mnie moja szafka została zaprojektowana wokół ułożonych w stos płyt CCI, więc musiałem przенosić wiele rzeczy, aby uzyskać znacznie większą płytkę FAR, aby zmieściła się w mojej szafce. Teraz mam tak skonfigurowaną szafę, że w przyszłości będę mógł wymienić moduł PA EB104/MRF150 na cztery płytki SD2923 wzmacniacza mocy (PA). Znalazłem naprawdę tanie źródło dla SD2933, więc teraz mam ochotę zbudować nowy wzmacniacz!

**Sterowanie wzmacniaczem.** Kiedy zaczynałem projekt wzmacniacza, jedną z pierwszych rzeczy, które zbudowałem, był obwód monitorujący i sterujący wzmacniacza z 2011 roku [Podręcznik ARRL](#) , „Szerokopasmowy wzmacniacz liniowy 250 W”. Ta płyta sterująca monitoruje prąd PA, temperaturę, SWR i niewłaściwy wybór filtra pasma. Tę tablicę kontrolną buduję za pomocą uniwersalnej tablicy Radio Shack. Prawie udało mi się go ukończyć, ale potem zostałem śledzony z bardziej zabawnym projektem budowy płyty wzmacniacza. Ponieważ używam WaveNode do ochrony SWR i monitorowania, po prostu nigdy nie zabrałem się za dokończenie płyty kontrolnej. Słowo do mądrych: najpierw zbuduj tablicę kontrolną i ZAWSZE jej używaj. Zwłaszcza, gdy masz na stole moduł PA do testów. Nie zrobiłem tego iz czasem musiałem wymienić sześć MRF150. To jedyna naprawdę dobra rzecz w MRF150; dostajesz je za bardzo rozsądną cenę w serwisie eBay. Zostałem ekspertem w testowaniu i wymianie MOSFET-ów. Znalazłem te bardzo pomocne informacje o teście MOSFET w Internecie <http://www.4qdtc.com/mostest.html#simple> Odkryłem, że opłaca się przetestować MOSFET przed jego zainstalowaniem. Osiągnąłem dobre wyniki w tym teście.

Nie wiem, czy obwód sterujący zapobiegłby utracie tych tranzystorów MOSFET, ale może tak. W przyszłości zawsze będę korzystał z tablicy kontrolnej.

Płytką ARRL była dostępna za pośrednictwem ExpressPCB, ale musisz zamówić płytki dla całego wzmacniacza, a koszt był wyższy niż uważałem za rozsądny dla obwodu sterującego.

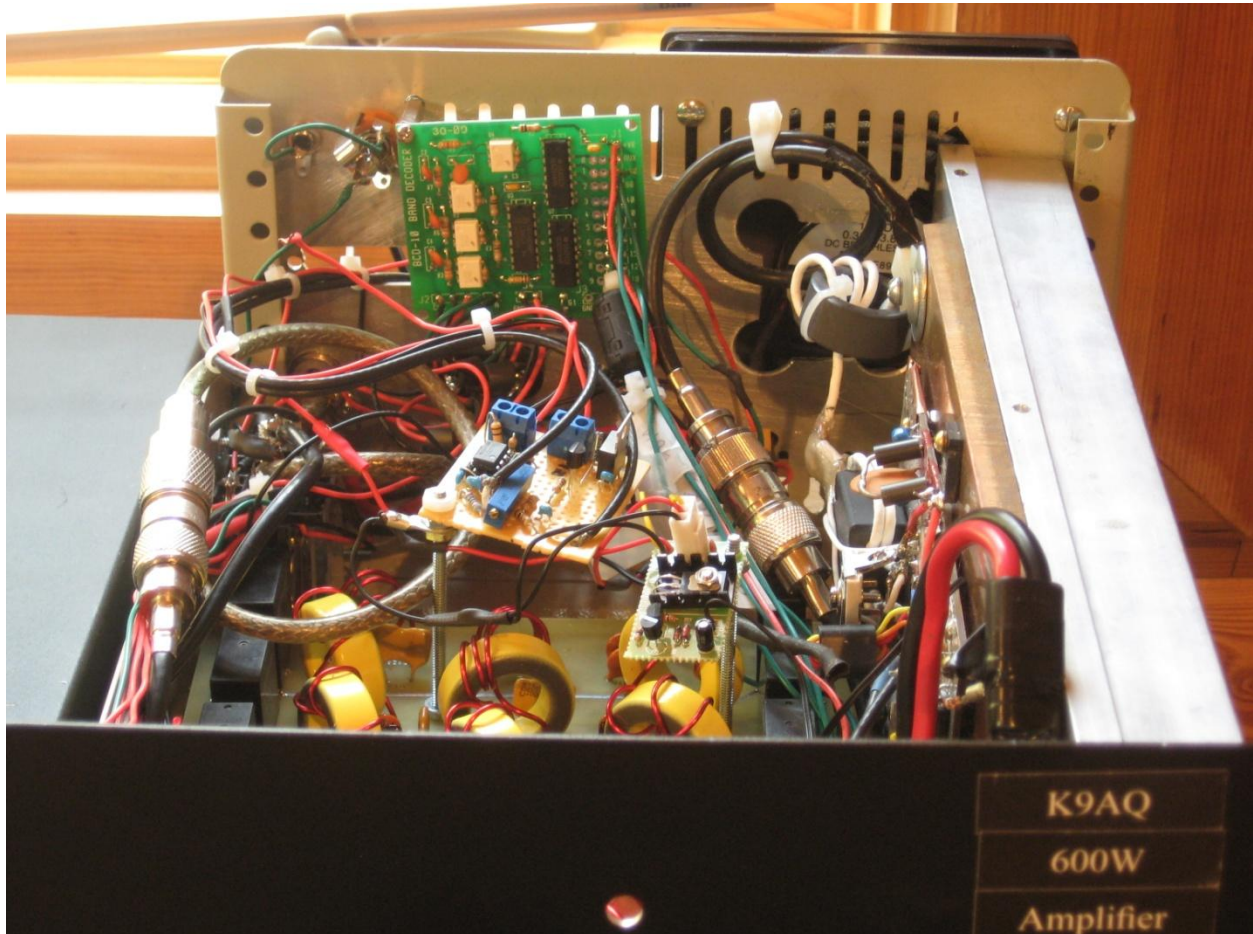
**(11.12.12 - Zmieniłem kierunek sterowania wzmacniaczem. Zamiast używać kontrolera analogowego, zbudowałem go za pomocą mikrokontrolera Arduino. Mam go w pracy "na chleb" i wprowadzam ostatnie zmiany. Kiedy gotowe, zaktualizuję artykuł o informacje o kontrolerze.)**

Po wszystkich zmianach w końcu zmontowałem wzmacniacz w szafce. Okazało się to większym wyzwaniem, niż się spodziewałem. Rozplanowałem wewnątrz mojej szafki w oparciu o obszar, który zajmowały ułożone w stos płyty z filtrami CCI. Nowa płytka filtra/przełącznika firmy FAR Circuits zajmuje dużo więcej miejsca. Nie byłby to problem, gdybym ustawił obudowę tak, aby moduł PA znajdował się na podłodze, z płytą filtra/przełącznika ułożoną na niej, a następnie z płytami kontrolnymi na wierzchu. Ponowne rozplanowanie mojej obudowy oznaczałoby przeniesienie przełączników i wentylatora, a także wiercenie i gwintowanie otworów w module PA, czego nie chciałem robić. Udało mi się włożyć wszystko z powrotem do szafki, ale było ciasno. Jest tu lekcja do nauczenia,



usunąć podkomponenty do naprawy lub modyfikacji. Łatwiej jest mieć trochę więcej miejsca niż potrzebujesz, niż używać łyżki do butów, aby wszystko dopasować!

To jest zdjęcie wnętrza mojego wzmacniacza:



Płytką na tylnej ścianie to moduł dekodera pasma BCD-10. Istnieją dwie mniejsze płytki sterujące, które są tymczasowo montowane na śrubach mocujących płytkę filtra/przełącznika. Jednym z nich jest inteligentny regulator prędkości wentylatora z czujnikiem temperatury, który znalazłem na eBayu.<sup>vi</sup> Druga mała płytka eksperymentatora zawiera obwody umożliwiające WaveNode monitorowanie temperatury i napięcia mojego wzmacniacza. Płytki te zostaną połączone na płycie głównej z obwodem sterującym wzmacniacza po jego zakończeniu. Będzie to ułożone na górze płytki filtra/przełącznika.

To jest zdjęcie frontu wzmacniacza:



Jak widać, jest otwór na przełącznik pasm, ale nigdy tego nie zaimplementowałem. Cały mój zespół przełączam z komputera. Pozostałe puste otwory są zarezerwowane do wyświetlania „usterki” z płyty kontrolnej wzmacniacza, gdy jest on zainstalowany.

Jeśli nie używasz WaveNode lub czegoś podobnego do monitorowania krytycznych warunków wzmacniacza, będziesz musiał zainstalować mierniki napięcia PA, prądu, SWR i mocy wyjściowej.

**Zasilacz.** Pierwotnie zbudowałem ten sam liniowy zasilacz, który Tom Sowden opisał w swoim artykule, używając transformatora mocy z Ameritron ALS 600. Nigdy nie byłem w pełni usatysfakcjonowany brakiem regulacji napięcia i dużymi wahaniami napięcia od braku obciążenia do pełnego obciążenia. Te wahania napięcia generowały RFI, które dostały się do monitora mojego komputera. W serwisie eBay znalazłem przełączany zasilacz, który pierwotnie był używany w szafach serwerowych HP Proliant. Zasilanie ma wartość znamionową 51 V przy 57 amperach. Udało mi się to kupić za mniej niż 50 USD, łącznie z wysyłką, a moim planem było umieszczenie tego na półce i użycie go podczas budowy wzmacniacza 1 kW. Zamiast tego użyłem tego jako zasilacza do EB104 i działa świetnie.

Te zasilacze były używane w serwerach Proliant zarówno firm Compaq, jak i HP i mają numer modelu 226519-001. Zasilacz został zbudowany przez firmę Astec. Numer modelu Astec to HPS3KW. Właśnie poszukałem w serwisie eBay i znalazłem siedmiu dostawców tych zasilaczy.

Używam go od ponad sześciu miesięcy i nigdy nie znalazłem żadnego RFI generowanego przez zasilacz. Bez problemu poradzi sobie ze wzmacniaczem 1KW. Moim jedynym zastrzeżeniem jest to, że hałas wentylatora jest większy niż bym chciał, ale nauczyłem się z tym żyć.

Dokąd idziemy stąd? Nigdy nie było lepszego czasu dla szynka na zbudowanie liniowego wzmacniacza MOSFET. Zasilacze są niedrogie i łatwo dostępne. Wzmacniacz w stylu EB104 z kilkoma modyfikacjami i TLT jest świetnym punktem wyjścia dla wzmacniacza i zapewni lata bezproblemowej obsługi. MRF150 są niedrogie od wielu dostawców eBay. Niski koszt sprawia, że jest to najlepszy wybór dla początkujących konstruktorów wzmacniaczy półprzewodnikowych; nie boli tak bardzo, gdy zniszczysz swój pierwszy MOSFET! W FAR Circuits jest teraz dostępna dobra płyta filtra/przełącznika, a wkrótce pojawi się płyta kontrolna. Jeśli szukasz alternatywy dla komercyjnego liniowego tranzystora półprzewodnikowego, jest to świetny wybór.

Jeśli szukasz trochę większej mocy, SD2933 są znacznie nowszymi i lepszymi MOSFETami niż MRF150. Są droższe i kosztują około 100 USD za sztukę, ale dostępne są teraz źródła o niższych kosztach dla używanych/testowanych SD2933. Udało mi się kupić osiem z nich za 250 USD, w tym koszt wysyłki, a ostatnio znalazłem je w jeszcze niższej cenie w serwisie eBay. SD2933 są teraz tranzystorami MOSFET wybieranymi przez wielu konstruktorów, w tym Barucha (4Z4RB), Tokyo Hy Power i Elecraft. Hams w Rosji zbudowali wzmacniacze EB104 przy użyciu większych SD2933, powiększając otwory na MOSFET. Jest ciasno dopasowany, ale działa.<sup>17</sup> FAR Circuits ma płytkę Extended HOG, która powinna działać bardzo dobrze z SD2933 i TLT, których użyłem w moim wzmacniaczu EB104. Możesz zbudować wzmacniacz równie dobry jak Tokyo HyPower przy znacznie niższych kosztach.

EB104 istnieje od bardzo dawna i naprawdę nadszedł czas na nowy projekt płytki drukowanej. Baruch ma bardzo ładną płytkę, która będzie współpracować z MRF150 lub SD2933. Może dostarczyć ci wstępnie zapełnioną płytkę, pomniejszoną o tranzystory MOSFET, które musisz dostarczyć, za mniejsze koszty niż uzyskanie tych samych komponentów od CCI. Dla wielu szynek byłaby to lepsza alternatywa niż zaczynanie od zera.

Baruch zaoferował również łaskawie udostępnienie swojego projektu wzmacniacza i płytki drukowanej w domenie publicznej. Mam w planach zbudowanie tego wzmacniacza z SD2933, ale minie trochę czasu, zanim będę miał czas na ten projekt. Mój EB104 działa ponad oczekiwania i korzystam ze wzmacniacza 1KW; Będę musiał wymienić antenę. Moim kolejnym priorytetem jest modernizacja moich anten i sprzedaż mojej żonie na „potrzebę” wieży i Hexbeam. Może uda mi się przenieść stację do mojej chatki w North Woods, gdzie mam o wiele więcej miejsca, i przez cały czas korzystać z pilota internetowego. Potem będę pracować nad nowym wzmacniaczem.

Chciałbym jeszcze raz podziękować Baruchowi 4Z4RB za jego pomoc. Spędził ze mną godziny na rozmowach telefonicznych przez Skype z Izraela do Wisconsin i wielu e-mailach tam i z powrotem. Naprawdę jest liderem w eksperymentowaniu z TLT w równoległych/push-pull MOSFET-ach i z przyjemnością podzielił się swoim

doświadczenie z innymi. Bez niego pcha mnie w tym kierunku, nigdy nie rozważałbym użycia TLT w EB104. To było wspaniałe doświadczenie edukacyjne. Chciałbym również podziękować Kenowi, K9FV za jego pomoc. Spędziliśmy z Kenem godziny na e-mailach, porównując notatki i dzieląc się doświadczeniami. Na koniec chciałbym podziękować Fredowi Reimersowi, KF9GX, z FAR Circuits za całą jego pomoc z płytą filtra/przekaźnika i jego zachętę.

73 autorstwa K9AQ, Don Solberg

---

i Wzmacniacz HF Homebrew Solid State 600 W, Tom Sowden, K0GKD, czerwiec 2006 QST Strona 39

ii Biuletyn Inżynierii Motoroli EB104, 1993, Helge Granberg,

iii <http://www.communication-concepts.com/>

iv <http://www.duessler.de/MosFet-Title.htm>

v <http://www.rfpowersystems.com/>

vi [http://stores.ebay.com/4z4rb?\\_trksid=p4340.l2563](http://stores.ebay.com/4z4rb?_trksid=p4340.l2563)

vii idziesz Tranzystory częstotliwości radiowej, zasady i praktyczne zastosowania, 2<sup>znaleź</sup>wydanie, Norman Dye i Helge Granberg (2001 Butterworth-Heinemann) str. 182, 184, 190 i 192

viii Transformatory szerokopasmowe i techniki łączenia mocy dla RF, 1993, Helge Granberg, Motorola, strona 4

ix Praktyczny podręcznik projektowania RF, 1997, Doug DeMaw W1FB 1997 (wydawnictwo MFJ) Strony 129 i 130

x Transformator linii transmisyjnej, 3<sup>r</sup> & 2<sup>o</sup> wydanie, 1996, Jerry Sevick W2FMI 1996 (Noble Publishing) Strony 11-12, 11-13 i 11-14

xi Uproszczona analiza transformatora szerokopasmowej linii transmisyjnej, Jerry Sevick

xii Nowy szerokopasmowy wzmacniacz liniowy 250 W, rozdział 17, Podręcznik ARRL 2011, strona 17.33

xiii <http://wavenode.com/>

xiv Uzyskaj 1,5 kW z nowego MOSFET RF: A Legal Limit HF Linear, Tokyo Style, QEX wrzesień/październik 2006, Toshiaki Ohsawa, JE1BLI i Nobuki Wakabayashi, JA1DJW

xv Tranzystory częstotliwości radiowej, zasady i praktyczne zastosowania, 2<sup>znaleź</sup>wydanie, Norman Dye i Helge Granberg

xvi [http://stores.ebay.com/customizechn?\\_trksid=p4340.l2563](http://stores.ebay.com/customizechn?_trksid=p4340.l2563)

17 <http://eb104.unoforum.ru/?1-16-0-00000002-000-15-0>

<http://www.youtube.com/watch?v=jOxBFcX-fmw>

Inne odczyty:

Projekt i wykonanie transformatorów dopasowujących szerokopasmowe linie transmisyjne, Jerry Sevick, 1993 Instytut Inżynierów Elektryków i Elektroników

Uproszczona analiza transformatora szerokopasmowej linii transmisyjnej, Jerry Sevick, 2004, Elektronika wysokiej częstotliwości, (Media techniczne szczytu)

A Tutorial on Transmission Line Transformers, Chris Traszak/N7ZWY, 2005 Sonoran Radio Research Design of HF Wideband Power Transformer, Phillips Semiconductors Application Note ECO6907, 23 marca 1998 [http://www.radio-kits.co.uk/radio-related/Linear\\_PA/ECO6907.pdf](http://www.radio-kits.co.uk/radio-related/Linear_PA/ECO6907.pdf)