

AMPLIFICATOR LINIAR CONTROLAT SOFTWARE

YO2BOF *prof. Aliodor Drăgan*

Introducere

Era amplificatoarelor de putere pentru unde scurte cu tuburi construite de radioamatori a apus. Azi radioamatorii construiesc amplificatoare de putere cu tranzistoare special concepute pentru aceste aplicații. Tranzistoarele utilizate sunt de tip bipolar, mosfet și LDMOS. Puterea obținută poate depăși lejer 1KW în cazul tranzistoarelor LDMOS.

Astfel de amplificatoare de firmă au prețuri foarte mari pentru bugetul unui radioamator. Mulți radioamatori și nu numai, împărtășesc din experiența lor, ba chiar construiesc module care să ajute radioamatorul de rând să construiască un astfel de amplificator. Pe internet găsim numeroase oferte. Am abordat construcția unui astfel de amplificator în 2019. Rezultatul a fost excelent. Prețul se încadrează între 40% și 50% din prețul unuia de firmă

Construcție liniar

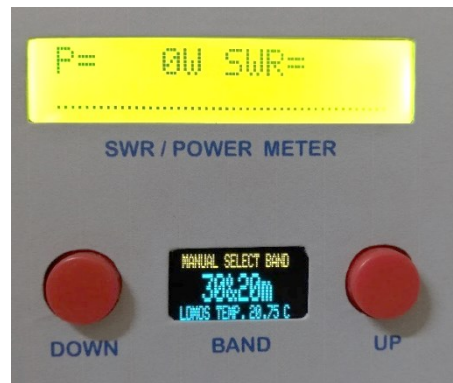
Am achiziționat de pe eBay un kit complet (FULL KIT AMPLIFIER 1200W 1.8-54MHz LDMOS LPF BLF188XR WITH PROTECTOR).

Kit-ul conține cinci module: 1. Modul intrare și protecție, 2. Modul Rx/Tx cu Tandem match, 3. Modul LPF -filtre de bandă 160m – 6m, 4. Modul SWR și Power-meter, 5. Modulul amplificator de putere împreună cu tranzistorul BLF188XR și placa de cupru pentru radiator (150x100x10mm).

După studiul schemelor și înțelegerea modului de conexiune a modulelor am trecut la proiectarea șasiului. Am decis să îl realizez din cornier de aluminiu 20x20mm. După găsirea unei soluții convenabile de amplasare a modulelor a urmat găsirea unei soluții de răcire eficientă și silențioasă. Pentru un gabarit cât mai mic soluția unui tunel de răcire cu un ventilator care împinge aerul în tunel și unul care absoarbe aerul din tunel mi s-a părut cea mai eficientă. Am utilizat ventilatoare speciale cu rulmenți pe baza de fluid magnetic și control termic al turatiei. În fotografiile de aici puteți vedea mai multe detalii. <http://yo2bof.ro/Liniar/Construcție/index.html>



Un dezavantaj al schemei era comutarea manuală a filtrelor de bandă. În cazul în care uitai să comuți filtrul de bandă liniarul intra în protecție iar timpul de revenire de circa 90s era supărător. Pentru a înlătura acest neajuns am realizat un montaj de selecție a filtrelor de bandă automat pe baza tensiunilor furnizate de Icom 7300 la conectorul ACC. În final montajul bazat pe Arduino uno putea sesiza controlul manual sau automat, afișa banda de lucru manual sau automat în funcție de modul de lucru, indica temperatura radiatorului de cupru. Am utilizat un afișaj oled de dimensiuni mici.



Un demo din faza de test se poate urmări aici: <http://yo2bof.ro/Liniar/Decoder/index.html>

Un scurt album foto se poate vedea aici: http://yo2bof.ro/Liniar/Decoder_foto/index.html

Aplificatorul este alimentat de la o sursă externă de 50V capabilă să debiteze 35-40A. Restul electronicii este alimentat de la o sursă stabilizată de 12V / 3A plasată în cutia amplificatorului.

Finalizat, amplificatorul a fost așezat la locul convenit oferindu-mi multe satisfacții. Randamentul amplificatorului este cuprins între 65% și 75% , puterea de ieșire între 925W și 1200W în funcție de banda. La adresa: http://yo2bof.ro/Liniar/Power_1/index.html puteți urmări un scurt demo.

Scheme, software decoder, cablaje pentru decoder și sfaturi puteți obține de la autor scriind un email la profdragan@yahoo.com

Această realizare este un exemplu de control software minimalist (doar schimbarea automată a filtrelor de bandă). În anii care au urmat am găsit pe Internet descrieri mai mult sau mai puțin complete a implementării software în cadrul amplificatoarelor cu LDMOS. Deși la început am avut intenția de a modifica amplificatorul pe care îl aveam atunci când lucrurile mi-au fost mai clare am ales să construiesc unul nou. Câteva montaje de controler pentru amplificatoare liniare cu LDMOS mi-au atras atenția. O documentație interesantă este cea a lui DJOABR. Este foarte completă dar puțin cam scumpă. O găsiți aici: https://projects.dj0abr.de/doku.php?id=en:dsp7:dsp7_overview O altă documentație interesantă este pe sit-ul lui VK3AMP <https://www.vk-amps.com/collections/home-page> Montaje executate impecabil, bănuiesc că și funcționează perfect. Prețul uni kit nu mai justifică achiziția la nivel de radioamator. Găsiți decodere de bandă pentru Yaesu, Elecraft etc. O documentație interesantă dar puțin cam stufoasă este cea a lui S21RC pe care o găsiți aici: <https://github.com/s21rc/Arduino-LDMOS-SSPA-Controller> A publicat numeroase videoclipuri pe Youtube.

La solicitarea lui YO8CYN de al ajuta la finalizarea unui amplificator liniar am descoperit controlerul realizat de RZ1ZR. Pe situl său găsiți o serie de oferte www.rz1zr.ru După circa două săptămâni am reușit testarea în întregime a controlerului pentru liniarul de 600W al lui Mihai. Rezultatul a fost unul excelent, lucru care m-a mobilizat la realizarea unui nou amplificator.



Calitatea modulelor RF, precum și funcționarea impecabilă, ma îndemnat să cercetez mai amănunțit oferta de la <https://www.dxworld-e.com/>

Am ales un modul amplificator de 1200W HF/6m <https://www.dxworld-e.com/product-page/4x-mrf300-ldmos-1200w-hf-6m-linear-amplifier-160-6m-board>, un modul LPF cu 5 poli <https://www.dxworld-e.com/product-page/hf-lpf-filters-160-6m-1500w>, un modul TX-RX switch <https://www.dxworld-e.com/product-page/auto-rx-tx-switch-1-80mhz-1200w> și un modul SWR PWR Tandem match <https://www.dxworld-e.com/product-page/swr-pwr-tandem-match1-5-54mhz-2500w> Tranzistoarele MHT1803 testate pe amplificatorul de 600W se comportă excelent fiind în opinia mea mai bune ca MRF300 care sunt dublu ca preț. Modulul amplificator utilizează 2xMHT1803A și 2xMHT1803B prețul tranzistoarelor fiind foarte convenabil (vezi <https://ro.mouser.com/c/?series=MHT1803>)

Așa cum m-am așteptat coletul a ajuns în o săptămână, neavând ce reproșa construcției modulelor.

Am contactat pe Alexander RZ1ZR și am solicitat software-ul pentru liniar de 1200W.

Display-ul de 7 inch l-am achiziționat de la Emag

<https://www.emag.ro/ecran-nextion-intelligent-nx8048p070-011r-iteadstudio-7-inch-800x480-compatibil-cu-raspberry-pi-arduino-rosu-im190402003/pd/DYL8PQMBM/>

Pe baza experienței acumulate am decis realizarea fizică a controlerului cu tot ce este necesar pentru buna funcționare a amplificatorului. Pentru proiectare am utilizat software-ul Sprint-Layout6.0

Inspirat de VK3AMP am conceput un PCB care să poată fi fixat pe spatele monitorului. La elementele de bază a schemelor de la RZ1ZR, am adăugat trei surse DC-DC (50V la 12V, 12V la 9V, 9V la 5V necesare în montaj precum și circuitul de protecție cu BTS50085-1TMB (https://www.tme.eu/ro/details/bts50080-1tmb/power-switches-circuite-integrate/infineon-technologies/?gclid=Cj0KCQjw0vWnBhC6ARIsAJpJM6cn5HvzXsHXy_QrccA7wcRH7buLhSqxxXuzKVK-xiPTYd7M7bBvP30aAkAeEALw_wcB))

Alexander a fost foarte prompt și după relizarea foto a PCB-ului am început primele teste ale controlerului. Modulele Arduino Nano (compatibile) pe care le-am găsit în YO s-au dovedit a fi doar compatibile nu și performante. Am decis achiziționarea unui modul Arduino Nano de la producător (<https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>). Acum când scriu aceste rânduri consider ca alegerea a fost foarte bună chiar dacă modulul este de 5 ori mai scump.

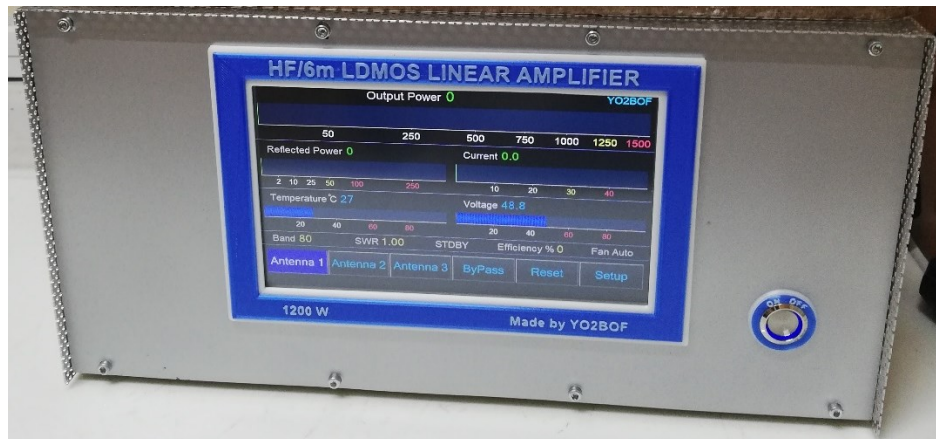
leșirile de la controlerul lui RZ1ZR pun la masă linia când sunt active (așa funcționează LPF-urile rusești). Modulele de la dxworld-e sunt active la +12V. Pentru a inversa comenzile am utilizat releu reed miniatură pe care le găsiți aici: <https://www.tme.eu/ro/details/3570.1331.121/relee-electromagnetice-reed/comus/>

Controlerul livrează o tensiune de 5V la emisie pentru Bias. Modulul de putere necesită +12V la Bias. Chiar dacă tensiunea reală de Bias este +5V, stabilizatorul 12V la 5V realizează o protecție termică a tranzistoarelor printr-o diodă conectată termic la tranzistoare. În această situație am adăugat controlerului un circuit suplimentar care prin optocuplor deschide sau închide tranzistorul BD54B și alimentează finalul cu tensiunea de Bias de 12V.

MHT1803 necesită un curent de repaus de 250mA (spre deosebire de MRF300 care lucrează cu 200mA). Controlerul are în meniul de service un buton care trece Bias-ul pe on și puteți regla curentul de repaus al tranzistoarelor. Manevra este simplă. Puneți în prealabil toate semireglabilele pe zero și ajustați curentul din 250mA în 250mA pe rând pentru fiecare tranzistor până la 1A curent de repaus total.

Sistemul de răcire la acest amplificator s-a realizat pe un radiator de 240x200x60mm suflat de 3 ventilatoare fixate elastic (pe pernă de burete - pentru micșorarea transmisiei vibrațiilor). Electric ele sunt alimentate la 6V, prin comanda controlerului la depășirea temperaturii de 45 grade sunt alimentate la tensiunea normală de 12V. Pentru micșorarea zgomotului ventilatoarele se montează la minim 2cm de radiator, adică într-un mini tunel. Între montaj și radiatorul de aluminiu am montat o placă de Cu cu grosimea de 2mm pentru o dispersie mai bună a căldurii.

Pentru fixarea display-ului am utilizat o mască realizată la imprimanta 3D pe care s-au înscris parametri amplificatorului. În final amplificatorul arată așa:



Șasiul amplificatorului a fost realizat din țevă pătrată de aluminiu cu dimensiunea 10x10mm și grosimea peretelui de 1mm. Montarea s-a făcut pe tripizi de 8mm. Tripizi au fost realizați la imprimanta 3D. Pentru întărirea ansamblului și fixarea diferitelor module s-a utilizat cablaj de sticlotexolit de 1,5mm grosime (frontal, baza, suport conectică etc.) Capacul aparatului a fost realizat din tablă de aluminiu găurită, asigurându-se astfel o ventilație suficientă.

Amplificatorul a fost realizat în două luni, iulie și august 2023. Aspecte din interiorul aparatului precum și din timpul construcției aici: <http://yo2bof.ro/Liniar/Amplificator/index.html>

Controlul software

Controlul software al amplificatorului s-a dovedit foarte eficace. În cele de mai jos voi prezenta o listă a capacităților software-ului lui Alexander RZ1ZR.

- ❖ Protecție la suprasarcină.
- ❖ Limitarea curentului.
- ❖ Protecție la scurtcircuit.
- ❖ Protecție împotriva temperaturii excesive a radiatorului. Dacă temperatura radiatorului depășește un prag stabilit din setări ventilatoarele cresc automat debitul aerului prin radiator.
- ❖ Protecție de supravoltaj.
- ❖ Feedback de diagnosticare cu sens de curent de sarcină.
- ❖ Tensiune de lucru 5 – 58 VDC.
- ❖ Curent de lucru 44 A max.
- ❖ Rezistență directă 7,2 mΩ.
- ❖ Protecție SWR pentru a deconecta amplificatorul de la sursa de alimentare dacă SWR crește mai mult decât este prestabilit. Nivelul poate fi variat de utilizator din setări.
- ❖ Citirea tensiunii de undă directă și reflectată furnizate de un tandem mach pentru a determina SWR-ul independent de nivelul de putere.
- ❖ Protecția nivelului de putere de ieșire pentru a deconecta amplificatorul dacă puterea de ieșire este mai mare decât nivelul prestabilit. Acest nivel poate fi reglat de la 150W până la 1500 W.
- ❖ Protecție de curent DC pentru a deconecta amplificatorul dacă consumul de curent este mai mare decât nivelul prestabilit. Reglare fină a pragului de la 20 până la 40 A.
- ❖ Timp de oprire de până la 30 de microsecunde, pentru a proteja amplificatorul în caz de urgență.

- ❖ Protecție la alegerea greșită a LPF-ului. Corelează puterea de ieșire cu curentul consumat. Dacă la un curent mai mare de 5A puterea de ieșire este mai mică de 50W amplificatorul este deconectat.

Această funcție de protecție la alegerea greșită a LPF-ului este foarte importantă. La prima variantă de amplificator prin pătrunderea radiofrecvenței în circuitul de selecție a benzii, acesta nu a comutat corect LPF-ul, cumulat cu faptul că protecția prin tandem match nu a funcționat corect, *indestructibilul* BLF188XR a cedat. Paguba a fost semnificativă având în vedere prețul tranzistorului. Neajunsul a fost înlăturat prin decuplarea și ecranarea corespunzătoare a circuitului de selecție a benzii, respectiv prin reglarea atentă a celui de al doi-lea tandem match destinat acestei protecții.

Asigurarea funcțiilor prezentate mai sus este posibilă prin măsurarea unor parametrii electrici cu ajutorul porturilor analog-digitale ale microcontrolerului Atmega 328 cu care este înzestrat Arduino uno. Măsurarea acestor parametri s-a dovedit foarte precisă. Frecvența de 16MHz la care lucrează microcontrolerul este suficientă pentru un timp de răspuns rapid din partea programului. Aici este meritul lui Alexander RZ1ZR, care a elaborat un firmware excellent.

Softul permite funcția Bypass, foarte utilă atunci când dorești scoaterea temporară din funcție. De exemplu pentru acordul antenei. Există ieșiri de comutare pentru trei antene, fie la nivel de linear fie extern. În ecranul de setări, oricărei benzi i se poate asocia una din cele trei antene.

Tot în ecranul de setări se pot stabili: luminozitatea ecranului, activarea funcției sound a display-ului (intrând astfel în funcțiune avertizarea acustică – la eroare), unitatea de măsură a temperaturii Celsius / Fahrenheit, regimul de lucru manual / automat (decodare Icom).

Un al treilea ecran de setări *expert* denumit Settings windows, vă permite setarea parametrilor în care doriți să funcționeze interfața software. Corelarea acestor parametrii cu hardware-ul pe care îl aveți este foarte importantă de aceea sunteți atenționați printr-un mesaj de avertizare.

În cazul unui avarii sunteți avertizați de un mesaj de eroare (și sonor dacă este cazul) , amplificatorul fiind deconectat. Ieșirea din această stare se face instant cu butonul RESET.

Proiectarea cablajului PCB s-a realizat cu softul Sprint-Layout 6.0. Realizarea practică s-a făcut prin metoda foto. A rezultat un montaj home made care funcționează foarte bine. O parte din cele explicate mai sus se pot vedea aici : <http://yo2bof.ro/Liniar/Controler/index.html>



Rezultate

Funcționare excelentă. Randamentul este cuprins între 70% și 90%. Protecțiile reacționează foarte rapid și prompt. Liniaritatea este mai bună ca la primul amplificator. Puterea de ieșire depășește lejer 1000W în toate benzile (inclusiv în 6m - aici nu am testat decât pe sarcina artificială, nemaivând în prezent instalată antenă pentru 6m).

La adresa: http://yo2bof.ro/Liniar/Power_2/index.html puteți urmări un scurt demo.

Evident noul amplificator și-a câștigat locul bine meritat, înlocuindu-l pe cel din 2019

