

Transmițător FM 80 Watt

80 Watt FM Stereo Transmitter: O Capodoperde de Inginerie Radio

Înainte de a începe:

Sunt perfect conștient de scena radio pirat care există în numeroase țări. Deși sunt sută la sută în favoarea libertății de exprimare, sunt și sută la sută convins că spectrul radio trebuie organizat și controlat, pentru a evita interferențele și a permite acces echitabil tuturor celor interesați. Din acest motiv, îi rog pe cititorii mei să se abțină de la a folosi munca mea pentru a configura orice fel de stație radio clandestină, pirat, neautorizată. Pe de altă parte, oricine joacă corect și face lucrurile conform legii, este binevenit să folosească designul meu.

Istoricul acestui proiect

În Chile, o proporție semnificativă a stațiilor de difuzare folosesc transmițătoare făcute manual. Calitatea variază. Unele transmițătoare sunt bine făcute, altele sunt foarte slabe, iar altele sunt bine proiectate dar construite slab, ceea ce este rezultatul tipic al unui tehnician slab care a încercat să copieze un design făcut de altcineva.

În 2002, am fost rugat să repar un transmițător care era un exemplu deosebit de slab al genului. Proprietarul mi-a spus că această chestie foarte proastă era cel mai bun pe care și-l putea permite. I-am spus că un transmițător mult mai bun putea fi construit cu mai puțini bani. Un lucru a dus la altul, și m-am angajat să dezvolt un transmițător de înaltă calitate, ieftin pentru stațiile FM mici.

În lunile următoare, am proiectat, construit și depanat cele trei module principale ale transmițătorului meu: Placa procesorului audio și codorului stereo, excitatorul sintetizat, și amplificatorul de putere. Dar când eram în acel punct, dragul meu prieten cu transmițătorul slab a dat faliment, și astfel nu mai exista nicio utilizare reală pentru transmițătorul pe care îl construiam! Acest lucru a dus la abandonarea proiectului, în ciuda faptului că mai lipsea doar circuitul de control, destul de simplu.

Cele trei module completate au zăcut în atelierul meu timp de patru ani. În orașul meu, dialul este plin de stații care transmit în mare parte muzică de foarte slabă calitate, și toată lumea pare să fie de acord că pur și simplu nu mai există loc, nici spectral, nici în număr de ascultători, pentru o stație suplimentară care ar transmite muzică bună... Și oricum, nu am timp să rulez o stație de difuzare, nici măcar una semi-automată! Așa că nu mai există nicio motivație reală pentru mine acum pentru a finaliza proiectul transmițătorului.

În loc să arunc totul și să uit (ceva ce oricum nu pot face!), am decis acum să pun designul în domeniul public, astfel încât cel puțin cineva acolo să poată beneficia de timpul pe care l-am investit.

Conceptul:

Acest transmițător a fost proiectat de la zero pentru a oferi o calitate foarte bună a sunetului, cuplată cu stabilitate excelentă a frecvenței, fiabilitate, etc. Poate fi folosit ca transmițător autonom pentru a servi un oraș de mărime medie, sau ca excitator pentru a conduce un amplificator de putere de clasă kilowatt pentru a servi un oraș mare. Este proiectat să funcționeze de la tensiune nominală de 13.8V, astfel încât să poată rula de la o sursă de alimentare comună de comunicații în paralel cu o baterie de rezervă. În cazul unei întreruperi a curentului, transmițătorul poate continua să funcționeze de la baterie, la o putere ușor redusă pe măsură ce tensiunea scade.

Consistă din patru module, dintre care cele trei mai importante sunt gata, testate, și descrise mai jos. Al patrulea modul nu a fost încă construit, și s-ar putea să nu fie niciodată construit, dar voi descrie funcțiile sale de bază astfel încât să îl puteți proiecta, dacă doriți.

Așa că, să începem!

Procesorul audio și codorul stereo

Cipul multiplicator analogic RC4200 folosit în acest codor stereo pare să fi ieșit din producție. Înainte de a considera construirea acestui circuit, asigurați-vă că puteți găsi de fapt acest CI, sau altfel fiți siguri că știți cum să modificați circuitul pentru a folosi un multiplicator analogic diferit, cum ar fi AD633 sau altul pe care l-ați putea găsi.

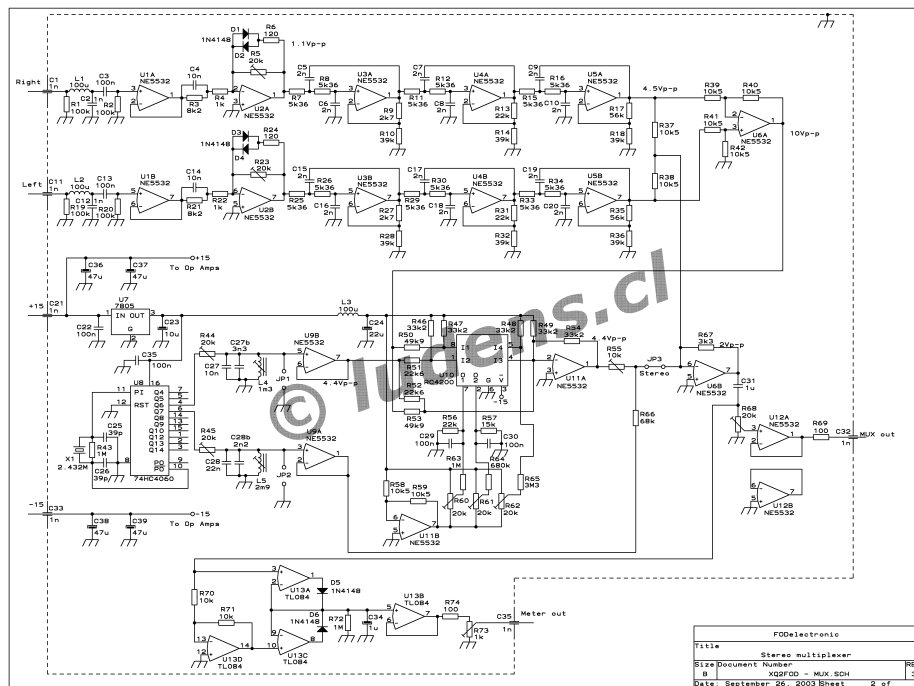
Modul clasic de procesare și codare a unui semnal stereo pentru transmisia FM arată astfel:

1. Luați ambele canale și filtrați-le trece-jos la 15kHz, cu rolare abruptă;
2. Aplicați pre-emfază. În funcție de partea lumii, ar trebui să aibă o constantă de timp de 75μs sau 50μs;
3. Limitați strict nivelul audio pentru a vă asigura că suprad deviația nu poate avea loc;
4. Creați o undă sinusoidală stabilă, curată de 38kHz;
5. Scădeți canalul drept din canalul stâng, și multiplicați rezultatul cu purtătorul de 38kHz;
6. Creați o undă sinusoidală curată de 19kHz, blocată în fază cu cea de 38kHz;

7. Adăugați canalul stâng, canalul drept, semnalul (L-R)*38kHz, și semnalul de 19kHz, cu amplitudini specifice.

Există mai multe moduri de a implementa acest algoritm. Transmițătoarele moderne fabricate în uzină fac adesea totul digital, într-un DSP. Dar este încă mai ieftin și mai simplu de făcut în domeniul analog. Acest lucru poate fi făcut și în diverse alte moduri, și prea multe transmițătoare în zilele noastre folosesc metode ultra-ieftine, mediocre precum multiplicatoare comutate tare bazate pe comutatoare CMOS. Funcționează, dar sunt foarte zgomotoase! Designul meu folosește în schimb un multiplicator analogic adevărat, de înaltă calitate pentru această sarcină. Ca rezultat, semnalul de la transmițătorul meu este la fel de bun ca cele mai bune semnale pe care le pot recepționa local, și MULT mai bun decât majoritatea lor!

Iată diagrama schematică. Probabil nu veți putea citi-o la această rezoluție, așa că mai bine dați click pe ea, salvați-o în rezoluție completă, imprimați-o, și referiți-vă la ea pentru explicațiile următoare.



Schematică procesor audio și codor stereo

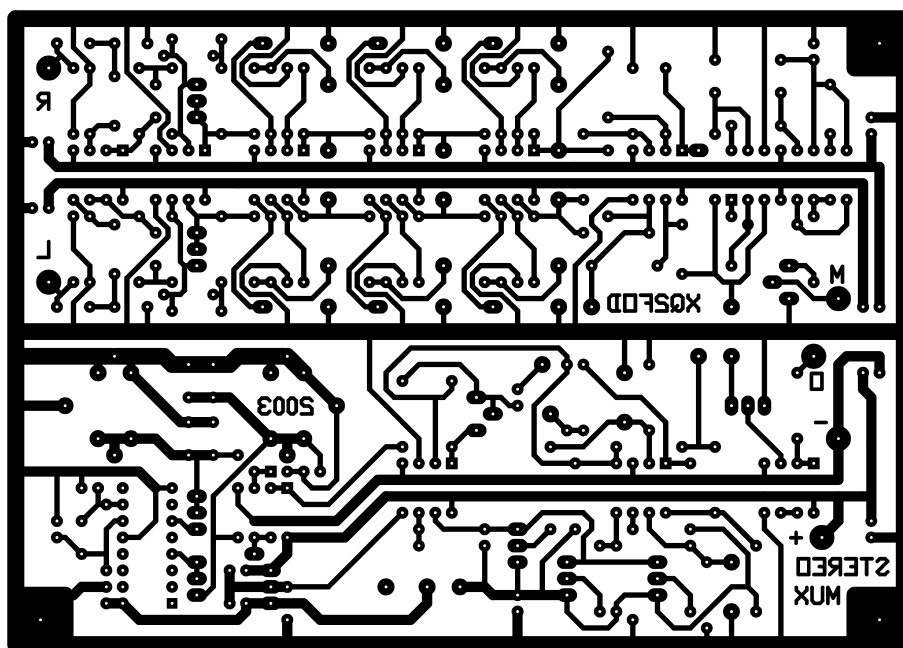
Cele două semnale audio de nivel linie single-ended intră prin condensatoare de feedthrough, și sunt întâmpinate de un filtru LC trece-jos pentru a scăpa de orice RF care ar putea fi pe ele. În fiecare canal există o etapă de buffer, și apoi o etapă combinată de pre-emfază și limitator soft. Avantajul de a face limitarea și pre-emfaza într-un singur pas este că evită supradeviația de la sunete ascuțite de puternice, sau aplatizarea sunetelor grave de puternice, fără nevoie de un limitator multiband. Câștigul porțiunii nelimitate a semnalelor audio este reglabil prin intermediul trimpoturilor. Apoi vine un filtru trece-jos cu șase poli care elimină semnalele deasupra a 15kHz.

Un cip 74HC4060 derivă semnalele de 38kHz și 19kHz, ca unde pătrate, de la un cristal de cuarț personalizat. Două circuite rezonante folosind nuclee de oală de ferită transformă aceste unde pătrate în unde sinusoidale foarte curate, cu zgomot redus. Trimpoturile permit setarea nivelurilor, în timp ce nucleele reglabile ale inductoarelor permit reglaj fin. Jumper-ele permit dezactivarea fiecărui semnal pentru testare și ajustare.

Un multiplicator analogic cu cip destul de vechi, dar cu zgomot redus și distorsiune redusă modulează semnalul L-R, produs de un amplificator diferențial cu op-amp, pe purtătorul de 38kHz. Acest circuit are trei ajustări pentru echilibru. Nivelul său de ieșire este, de asemenea, reglabil. Semnalele necesare doar pentru stereo pot fi deconectate pentru testare prin intermediul unui jumper.

Adătorul de ieșire combină semnalul L, semnalul R, semnalul (L-R)38kHz, și tonul pilot. Primele două semnale sunt fixe în această etapă, în timp ce (L-R)38kHz poate fi ajustat de propriul său trimpot, iar tonul pilot de trimpotul dinaintea circuitului său LC. Apoi există o ajustare finală a nivelului, folosită pentru a seta deviația transmițătorului, și apoi o etapă de buffer cu impedanță de ieșire redusă, care conduce ieșirea printr-o rezistență pentru a evita instabilitatea de la sarcini capacitive.

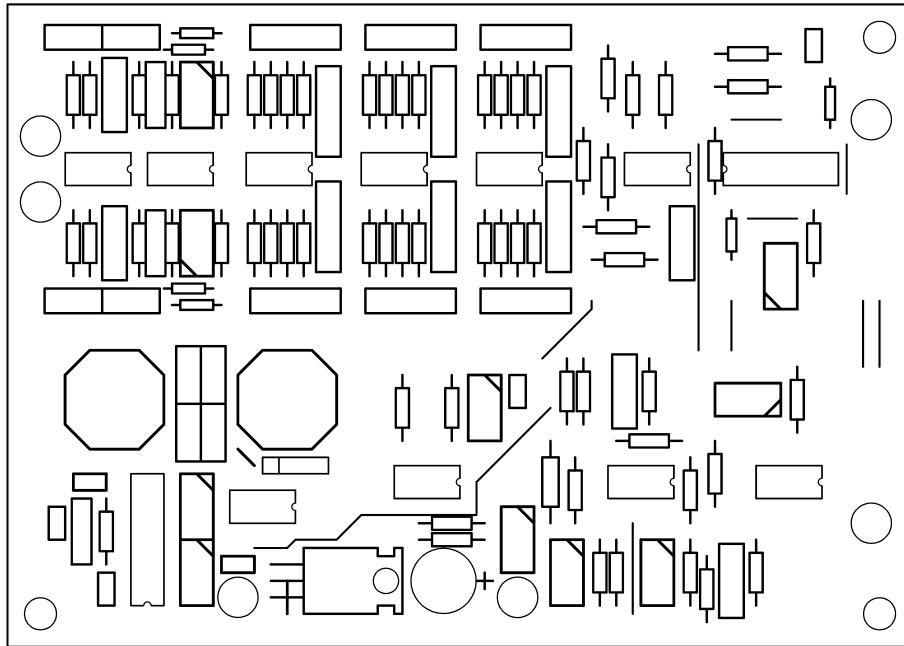
Există un circuit suplimentar care constă în principal dintr-un detector dublu superdiod cu o constantă de timp și driver cu ieșire reglabilă. Acest circuit preia semnalul multiplex complet chiar înainte de controlul final al nivelului, și produce un semnal DC pentru a conduce direct un mic metru, pentru indicația deviației. Acesta este un instrument extrem de important pentru operatorul transmițătorului pentru a seta nivelul audio corespunzător în timpul funcționării de rutină!



Placă de circuit imprimat procesor audio

Iată placa de circuit imprimat. Dați click pe ea pentru a o obține în rezoluție înaltă... Este văzută “prin placă”, astfel încât să o puteți imprima direct și așeza cerneala în contact cu cuprul pentru a obține un model de cupru corect.

Întregul circuit este construit pe această placă cu o singură față. Doar câteva fire de jumper sunt necesare, astfel încât nu merită să faci o placă cu două fețe pentru acest lucru.



Suprafață componente procesor audio

Și aceasta este o suprafață brută de componente, doar pentru a vedea unde merge o componentă. Exact *care* componentă merge unde, este ceva ce va trebui să lucrați cu schematică! Nu fiți leneș!



Procesor audio complet

Și așa arată codorul stereo complet. Aici am lipit temporar o placă de conectori phono vechi la intrări. Mai târziu, placa PCB ar trebui să fie încapsulată într-o cutie blindată, cu toate intrările și ieșirile mergând prin condensatoare de feedthrough.

Despre componente: Toate rezistențele critice sunt cu film metalic, cu toleranță de 1%, atât pentru stabilitate cât și pentru zgomot redus. Amplificatoarele operaționale sunt de tip cu distorsiune redusă, zgomot redus, cu excepția op-amp-ului circuitului de măsurare, care este de tip simplu BiFET. Toate trimpoturile sunt unități multum de înaltă calitate. Condensatoarele sunt în mare parte polyester, dar în filtrul trece-

jos am folosit unele cu mica de argint de 5%, pur și simplu pentru că aveam o lot mare și puteam potrivi foarte bine valorile! Potrivirea condensatoarelor este o idee bună, deoarece toleranța lor de 5% este puțin cam largă pentru a obține răspunsul de filtru optim plat. În locuri necritice veți găsi condensatoare ceramice și electrolitice. Cipurile sunt de tip imersat, îndepărtate de un VCR vechi, dar altele similare pot fi cumpărate noi. Nucleele de oală de ferită au venit de la decodorul stereo al unui radio vechi (în cutie de lemn!), pe care l-am primit într-o condiție prea incompletă pentru a fi restaurat. Nu am informații despre ele, astfel încât va trebui să vă selectați propriile nuclee și să calculați numărul de spire pentru a obține inductanța menționată pe schematică. Doar fiți sfătuiți că nucleele de oală TREBUIE să aibă un decalaj de aer semnificativ, pentru a fi suficient de stabile. Cristalul poate fi comandat de la JAN Crystals, specificând o frecvență de 2.432 MHz, mod fundamental, rezonant paralel, capacitancă de încărcare de 30pF, suport HC-49, cu rating-uri standard de temperatură, stabilitate și toleranță.

Trebuie să înțelegeți acest circuit pentru a putea calibra corespunzător. Și aveți nevoie de un osciloscop, desigur! Procesul începe prin presetarea tuturor ajustărilor la punctele lor medii, aplicând o sursă de alimentare de +/-15V, și o undă sinusoidală audio de 1kHz la ambele canale, la un nivel de 1V peak-to-peak. Setati R5 și R23 pentru exact 4.5V p-p la ieșirile filtrelor trece-jos, după cum este notat în diagramă. Apoi ajustați L4 și R44 repetitiv în timp ce priviți ieșirea U9A, acordând bobina pentru semnal maxim și trimpotul pentru exact 4.4V p-p. Apoi aplicați semnalul de 1kHz doar la o intrare a plăcii, și scurtați cealaltă intrare la masă. Cu osciloscopul la ieșirea U11A, ar trebui să vedeți un semnal clasic cu două tonuri. Acum ajustați R60, R61 și R62 repetitiv pentru cel mai bun centru de masă, simetrie și liniaritate. Acest lucru este cel mai ușor de făcut folosind un osciloscop cu două canale și punând celălalt canal pe semnalul de intrare la multiplicatorul analogic (ieșirea U6A), suprapunând cele două urme. După ajustarea câștigului canalelor osciloscopului, semnalul modulat cu două tonuri ar trebui să umple precis unda sinusoidală de 1kHz.

Acum instalați un jumper pe JP2 și puneți osciloscopul pe ieșirea U6B. Acolo veți vedea suma semnalului de 1kHz și a semnalului cu două tonuri venind de la multiplicator. Ajustați nivelul semnalului (L-R)*38kHz cu R55, astfel încât să fie **exact** egal cu nivelul semnalului de 1kHz. Acest lucru este foarte ușor, deoarece când setarea este corectă, semnalul de 38kHz se mișcă mereu între zero volt și nivelul instantaneu al unde sinusoidale de 1kHz. Așa că, trebuie doar să ajustați trimpotul pentru a obține această linie de zero volt frumoasă și dreaptă! Dacă nu ați construit niciodată un circuit ca acesta, s-ar putea să nu înțelegeți acum ce vreau să spun, dar va deveni clar imediat când jucați cu ajustarea! Fiți sigur că faceți această ajustare cu cea mai bună precizie posibilă, deoarece buna separare stereo a acestui codor depinde de ea!

Acum eliminați jumperul de pe JP2 și instalați-l pe JP1. Aplicați semnalul de 1kHz 1V la ambele canale. Acordați L5 pentru semnal maxim de 19kHz, și setați R45 astfel încât semnalul pilot pe osciloscop să fie de aproximativ 10% din amplitudinea semnalului de 1kHz. Acum plasați cele două sonde de osciloscop pe ieșirile U9A și U9B, eliminați jumperul de pe JP1, și reajustați L5 pentru a alinia fazele celor două unde sinusoidale, astfel încât trecerea prin zero să aibă loc în același timp. Creșterea câștigului osciloscopului pe semnalul de 19kHz ajută la obținerea undelor mai paralele pentru o precizie mai bună.

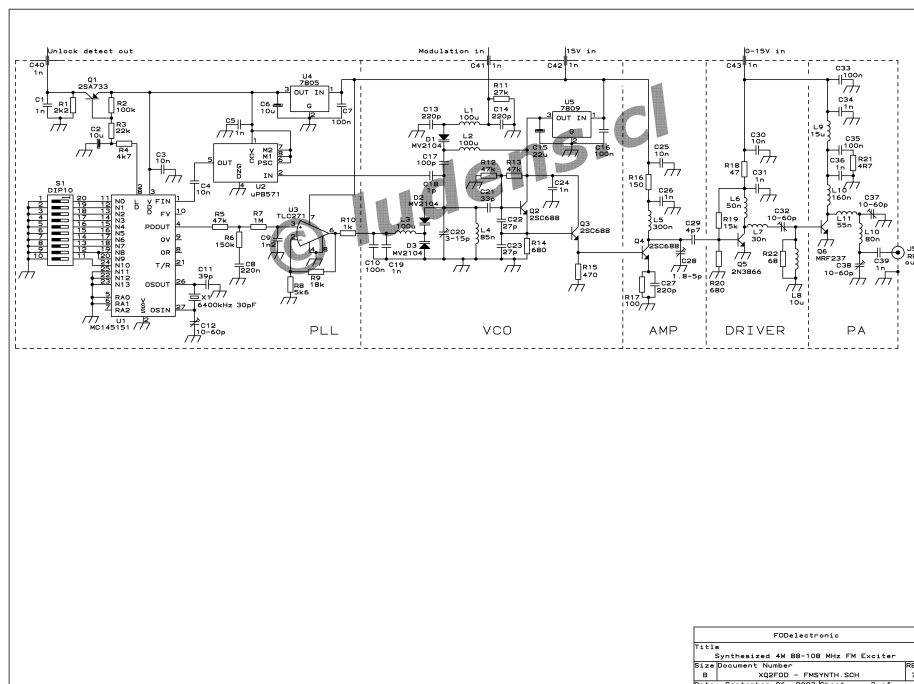
R68 va fi ajustat odată ce excitatorul este complet. Pentru moment, setați-l la aproximativ jumătatea gamei, care va oferi aproximativ 1V la ieșire. Dacă aveți deja metru pentru măsurarea deviației (orice metru de panou de la 10μA la 1mA ar trebui

să funcționeze), puteți desena o scară pentru el și ajusta R73 astfel încât să citească 100% deviație (sau 75kHz, orice preferați). Faceți acest lucru cu un semnal de mai mult de 1V aplicat la intrări, astfel încât semnalul să fie limitat. Apropo, citirea ar trebui să fie aceeași indiferent dacă aplicați semnalul audio doar la o intrare, sau la ambele. Când nu există intrare audio, metrul ar trebui să citească aproximativ 10% din valoarea de deviație completă. Acesta este tonul pilot, și s-ar putea să doriți să marcați nivelul său pe metru.

Excitatorul sintetizat

Errata: Tranzistoarele identificate ca 2SC688 în schematică sunt de fapt 2SC668!
Mulțumesc că ați raportat inconsecvența, Fausto!

Excitatorul are funcțiile de a furniza un semnal RF stabil, cu zgomot redus, selectabil în frecvență, de a-l modula cu semnalul multiplex furnizat de placa audio, și de a-l amplifica la o putere de ieșire controlabilă suficientă pentru a conduce amplificatorul de putere. Excitatorul meu folosește un sintetizator de frecvență PLL, care acoperă banda FM în pași de 100kHz. VCO-ul acoperă doar câțiva MHz fără readjustare, rezultând zgomot redus. Modulația este efectuată independent de controlul frecvenței, și cu considerații speciale pentru zgomot redus. Puterea de ieșire este controlabilă de la zero la 4 wați. Un detector de deblocare PLL este inclus, pentru a opri transmițătorul în cazul unei defecțiuni.



Schematică excitator

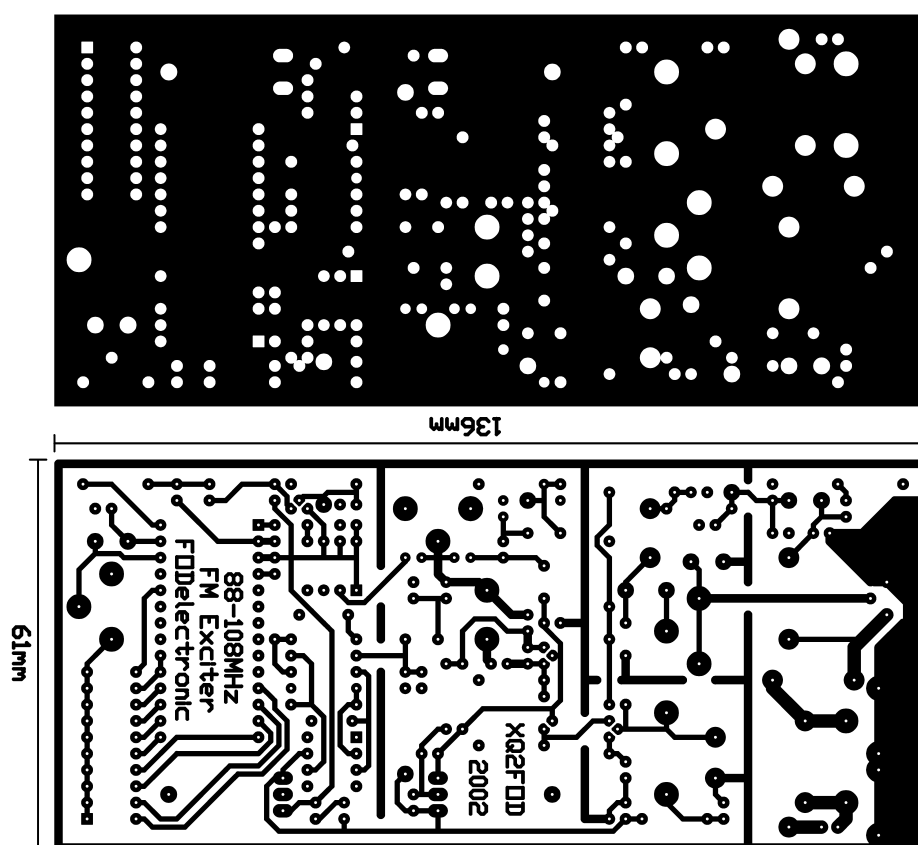
Inima excitatorului este un VCO Colpitts. Este alimentat de la un regulator local de 9V, și are frecvența controlată de doi varactori spate în spate, rezultând o încărcare minimă și astfel zgomot de fază ultra redus. O mostră a semnalului VCO este împărțită în jos de un cip prescaler și aplicată unui cip PLL, care își primește referința de la un cristal de cuarț personalizat și o împarte în jos la 6250 Hz. Frecvența este setată în mod binar de un comutator dip cu zece căi, care controlează divizorul programabil principal. Dacă PLL este deblocat, Q1 comută o ieșire care ar

trebuie folosită pentru a dezactiva amplificatorul de putere. Ieșirea detectorului de fază a cipului PLL este filtrată și translatată în nivel de un op-amp, pentru a fi injectată în varactorii de control al frecvenței ai VCO-ului.

Semnalul de modulație este aplicat unui varactor separat, care este polarizat să funcționeze într-un interval rezonabil de liniar, și fiind separat de circuitul de control al frecvenței, nu este afectat de tensiunea PLL. Toate cuplajele de semnal și tensiune de control sunt făcute prin cipuri, în loc de inductoare, pentru a obține zgomot mai redus. Lățimea de bandă a intrării de modulație este suficient de largă nu doar pentru stereo, ci și pentru a permite adăugarea ulterioară a unui semnal de subcarieră utilitar (SCA).

Ieșirea VCO-ului trece printr-o etapă de buffer emitter follower, apoi printr-un amplificator de clasă A acordat larg, urmat de un driver de clasă B și un amplificator de putere de clasă C, care folosesc rețele de potrivire a impedanței cu Q mediu. Aceste ultimele două etaje sunt alimentate de la o intrare separată, astfel încât puterea de ieșire poate fi controlată de la zero la 4 W prin ajustarea acestei tensiuni de la zero la 15V. Intenția este folosirea acestei caracteristici pentru controlul automat al drive-ului pentru etajele finale, și protecția transmițătorului.

Rețineți că ieșirea acestui modul nu are suficientă filtrare armonică pentru a o conecta direct la o antenă. Dacă doriți să folosiți acest excitator ca transmițător de putere redusă autonom, ar trebui să adăugați un filtru trece-jos.

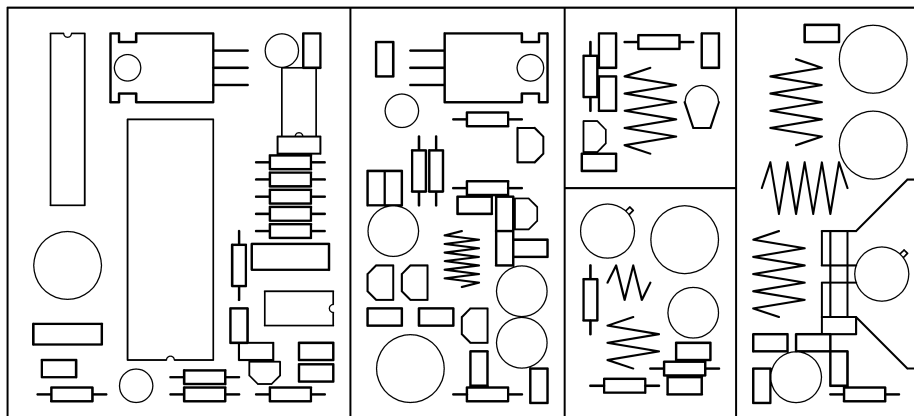


Placă de circuit imprimat excitator

Excitatorul este construit pe o placă PCB cu două fețe, care are cuprul de pe fața superioară lăsat în mare parte neatins ca plan de masă. Cuprul este îndepărtat doar în jurul pinilor neconectați la masă. Conexiunile la masă sunt lipite pe fața superioară, astfel încât nu este necesar să aveți găuri placate.

Acest desen arată cele două fețe ale plăcii PCB, astfel încât să o puteți imprima și o pliați în mijloc pentru a vedea cum se aliază cele două părți. Va trebui să inversați imaginea pentru a o imprima pentru a face placa, astfel încât cerneala să intre în contact cu cuprul.

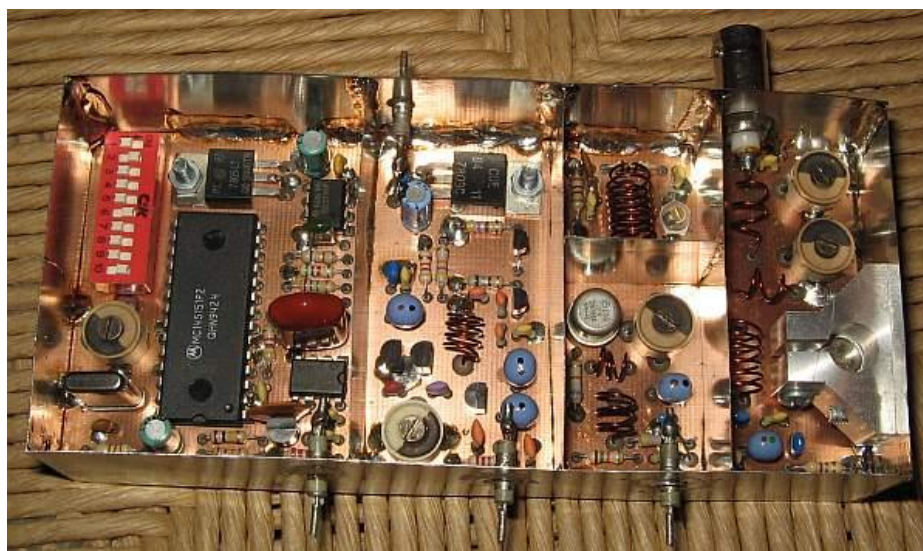
Această placă PCB este echipată cu scuturi lipite în jurul și între etaje, pe ambele fețe ale plăcii. Acestea sunt cel mai bine instalate înainte de a popula placa.



Suprafață componente excitator

Această imagine arată aranjamentul componentelor. Din nou, va trebui să aflați care componentă este care, folosind schematică. Ar trebui să fie destul de ușor. Fiți atenți, deoarece există o componentă pe schematică care NU este inclusă în designul plăcii! A fost adăugată mai târziu, în timpul depanării, și lipită sub placă! Pentru a face lucrurile mai interesante și a vă provoca puțin, NU vă voi spune care componentă este aceea! Veți afla când veți ajunge să aveți o componentă rămasă după asamblarea plăcii! :-)

Desenele bobinelor sunt o potrivire destul de apropiată cu dimensiunile lor reale.



Excitator complet

Și așa arată excitatorul asamblat! S-ar putea să observați piesa de aluminiu frezat care închide tranzistorul de ieșire. Am făcut-o pe strungă mea de hobby. Este o modalitate destul de sofisticată de a conecta tranzistorul în carcasă TO-5 la un radiator de căldură extern! Un suport mai simplu va funcționa, de asemenea. Ideea mea originală era să stau acest modul în margine pe un șasiu sau împotriva unui

perete de dulap, pentru a folosi acela ca radiator de căldură. Oricum, circuitul este atât de eficient încât tranzistorul abia are nevoie de un radiator de căldură suplimentar! Am făcut toate testele fără a adăuga mai mult decât ceea ce este arătat aici.

Multe dintre componentele au venit de la echipamente vechi. Aceasta include trimpoturile și cipurile imersate. Dar componente compatibile sunt disponibile noi. Cristalul a fost făcut de JAN Crystals. Pentru a-l comanda, specificați o frecvență de 6.4000 MHz, mod fundamental, rezonant paralel, capacitancă de încărcare de 30pF, suport HC-49, cu rating-uri standard de temperatură, stabilitate și toleranță.

Ieșirea este conectată printr-un soclu BNC. Toate celelalte conexiuni trec prin condensatoare de feedthrough. Scutul este finalizat prin capace de împingere, făcute din același material folosit pentru pereții de scut arătați aici. Nu este altceva decât doze de conserve de cafea, tăiate deschise și aplatizate! Unele ciocolate și biscuiți vin, de asemenea, în doze potrivite!

Alinierea acestui circuit nu este dificilă. Mai întâi setați toate trimpoturile la gamă medie și programați frecvența. Pentru această sarcină, pur și simplu adăugați ponderile comutatorului: Comutatorul cel mai puțin semnificativ produce 100kHz, al doilea adaugă 200kHz, următorul 400kHz, și așa mai departe, până la al optulea, care adaugă 12.8 MHz. Al nouălea se conectează de fapt la două intrări ale cipului PLL, astfel încât adaugă 76.8 MHz, cu al zecelea comutator adăugând 102.4MHz. Pentru a calcula setările comutatorului pentru o frecvență dată, pur și simplu descompuneți-o în componentele sale binare, și setați comutatoarele corespunzătoare. Rețineți că un comutator care este ON NU adaugă contribuția sa de frecvență! De exemplu, dacă doriți să transmiteți pe 96.5 MHz, ați seta comutatoarele 9, 8, 7, 3, și 1 la OFF, celelalte la ON. Gama completă de frecvențe pe care le puteți seta în sintetizator acoperă întreaga bandă de difuzare FM și ceva mai mult, dar restul circuitului a fost proiectat doar pentru banda de difuzare.

Acum ar trebui să conectați o sursă de alimentare de 15V doar la intrarea principală de alimentare, cu un voltmetru la ieșirea U3, și un contor de frecvență la colectorul Q4. Dacă obțineți frecvența corectă, aveți noroc chilipir și ar trebui să mergeți să jucați la loterie! De obicei, VCO-ul va fi în afara gamei de capturare. Dacă voltmetrul citește în jur de 14V, înseamnă că frecvența este prea mică. Dacă citește aproape de zero, înseamnă că frecvența este prea mare. Contorul de frecvență ar trebui să fie de acord cu acest lucru. Trebuie să ajustați frecvența centrală a VCO-ului pentru a o aduce în interval. Pentru această sarcină aveți două puncte de ajustare: Unul este C20, celălalt este îndoirea L4! De obicei, trimpotul singur nu oferă suficient interval, așa că nu ezitați să îndoiiți bobina. Când ați ajustat VCO-ul aproximativ corect, PLL-ul se va bloca, și veți obține o frecvență de ieșire stabilă, foarte apropiată de cea pe care o doriți. Ajustați L4 și C20 astfel încât voltmetrul să citească aproximativ 9V. O astfel de tensiune de varactor relativ mare este convenabilă pentru cea mai bună performanță a zgomotului, deoarece menține varactorii de la intrarea în conducție la vârfurile RF. Ideal ar trebui să ajustați bobina astfel încât trimpotul să fie aproape de gamă centrală cu tensiunea la 9V. Acest lucru vă oferă cea mai ușoară corecție mai târziu.

Acum puteți seta cristalul de referință la frecvența precisă, ajustând C12 astfel încât frecvența de pe contor să fie exact cea corectă.

Să trecem la etajele de putere: Conectați un metru de putere RF și o sarcină fictivă de 50 ohmi la ieșire, și aplicați câteva volți la intrarea de tensiune variabilă. Ajustați C28, C32, C37 și C38 pentru putere maximă. Dacă rămâneți fără interval în orice

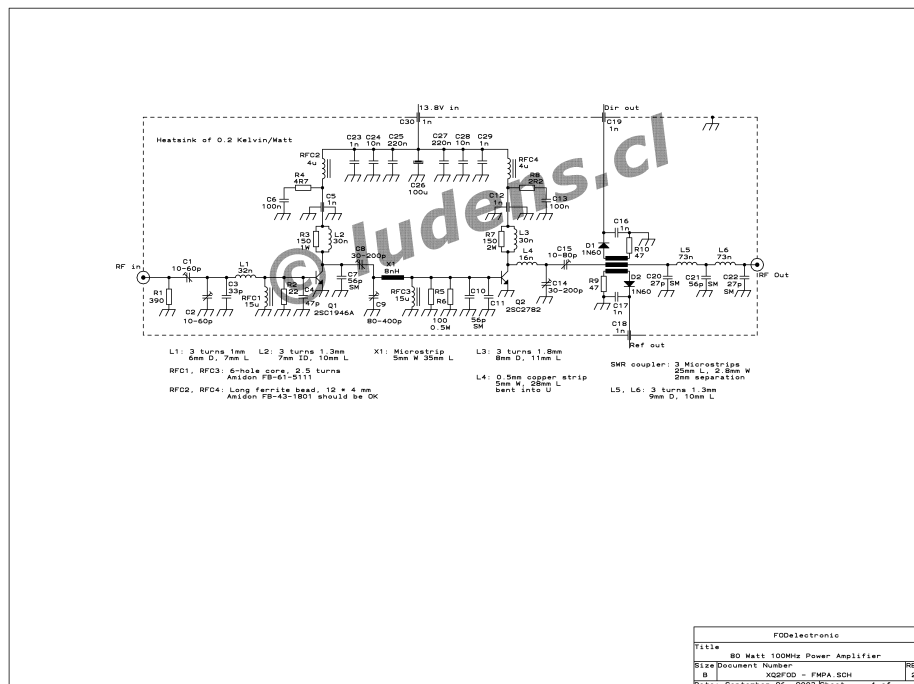
trimpot, corecți acest lucru prin îndoirea bobinelor conectate la el: L5, L7, L11, L10. Acum creșteți tensiunea și reajustați aceste trimpoturi. Ar trebui să obțineți 4 la 5 wați ieșire la 15V de tensiune de alimentare.

Pentru a evita zgomotele microfonice, după finalizarea ajustării ar trebui să sigilați bobina oscilatorului, și poate și celelalte bobine cu aer înfășurate, cu ceară de albine sau alt material potrivit. Reajustări ușoare ale trimpoturilor ar putea fi necesare după aceea.

Acum puteți conecta placa audio la excitator. Aplicați un semnal de 1kHz la placa audio (ambele canale este cel mai bine), suficient de puternic pentru a conduce placa în limitare moderată, și ajustați R68 pe portul audio pentru a obține deviație de +/- 75kHz. Dacă nu aveți un metru de deviație, vă puteți apropia conectând un osciloscop la ieșirea audio a unui receptor FM, acordându-l la mai multe stații locale, notând nivelurile audio produse de ele, și apoi acordându-vă la transmițătorul dumneavoastră și setându-i deviația pentru a se potrivi cu acel nivel. Dar acest sistem este foarte imprecis. Este cel mai bine să obțineți sau să faceți un metru de deviație real.

Dacă vreodată doriți să schimbați frecvența, trebuie să reprogramați comutatoarele dip și apoi să reajustați toate trimpoturile, și posibil bobinele, cu excepția C12, care ar trebui să necesite doar reajustare după câțiva ani, când cristalul a îmbătrânit.

Amplificatorul de putere de 80 Watt



Schematică amplificator de putere

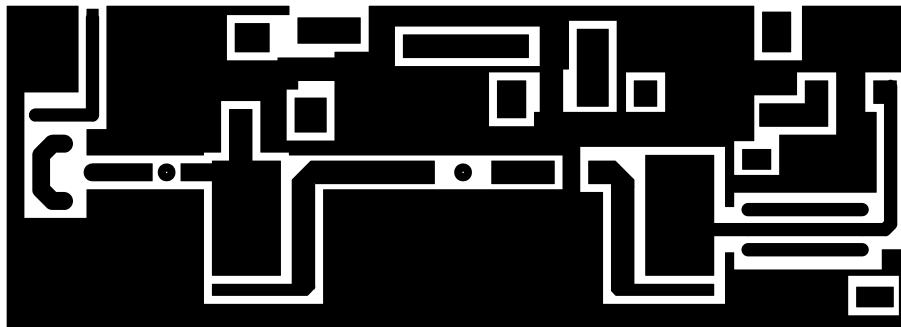
Acesta este un design destul de convențional, folosind tranzistoare bipolare într-un circuit acordat de clasă C. Datorită utilizării a două etaje, amplificatorul poate fi condus la putere maximă cu mai puțin de 1 watt putere de comandă, astfel încât o marjă de câștig mare rezultă în acest transmițător.

Tranzistoarele de putere VHF bipolare au o afinitate severă pentru auto-oscilație la frecvență joasă. Pentru a obține stabilitate în acest amplificator, am angajat mai multe tehnici, cum ar fi plasarea rezonanțelor cipurilor de bază și colector departe una de alta, amortizarea cipurilor cu rezistențe, folosirea combinațiilor RC pentru absorbția frecvențelor nedorite, folosirea condensatorilor de feedthrough pentru bypass pe plăcă, etc. A necesitat ceva ajustare, dar amplificatorul s-a dovedit a fi necondiționat stabil.

Rețeaua de potrivire a impedanței dintre cele două tranzistoare necesită o inductanță atât de mică, încât ar fi impracticabil să o faci cu sârmă reală. Așa că am folosit o micro-linie de bandă gravată pe placa PCB. De asemenea, senzorul de putere și SWR de la ieșire a fost făcut cu micro-linii de bandă.

Dați click pe schematică pentru a obține o versiune în rezoluție completă care include, de asemenea, detalii despre micro-liniile de bandă și alte părți.

Acest amplificator are un filtru trece-jos la ieșire, rezultând un semnal suficient de curat pentru a fi conectat direct la o antenă. Metrul SWR a fost plasat înainte de filtru, pentru a curăța armonicile produse de diodele sale. În orice caz, deși semnalul este suficient de curat pentru a satisface cu ușurință cerințele legale și tehnice obișnuite, acest transmițător nu ar trebui folosit într-un sit cu mai multe transmițătoare fără filtrare îngustă suplimentară! Acest lucru este astfel încât orice alte semnale puternice pe frecvențe din apropiere ar fi preluate de antenă și cuplate la tranzistorul de putere, care le-ar amesteca cu semnalul propriu, creând o gamă largă de produse de intermodulație, dintre care unele ar fi radiate din nou! Acesta este o problemă comună și foarte mare în multe situri cu mai multe transmițătoare. În astfel de locuri, NICIUN transmițător nu ar trebui să fie permis să emită fără filtrare îngustă! O astfel de filtrare este realizată cu ușurință prin intermediul unei singure cavități acordate, care poate fi construită din țevi de cupru sau foi.



Placă de circuit imprimat amplificator de putere

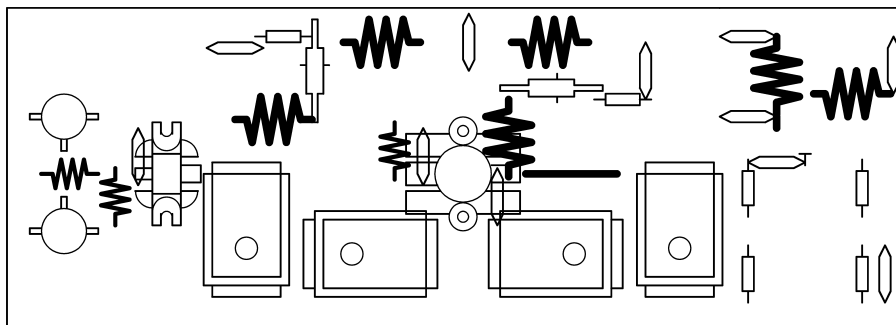
Iată placa PCB, inclusiv micro-liniile. Placa are 20cm lungime și este cu două fețe, cu fața din spate fiind un plan de masă continuu cu excepția a două mici pad-uri la baza și colectorul tranzistorului driver. Am tăiat aceste pad-uri cu un cuțit, în loc să fac un desen întreg de computer pentru asta!



Spatele plăcii amplificator

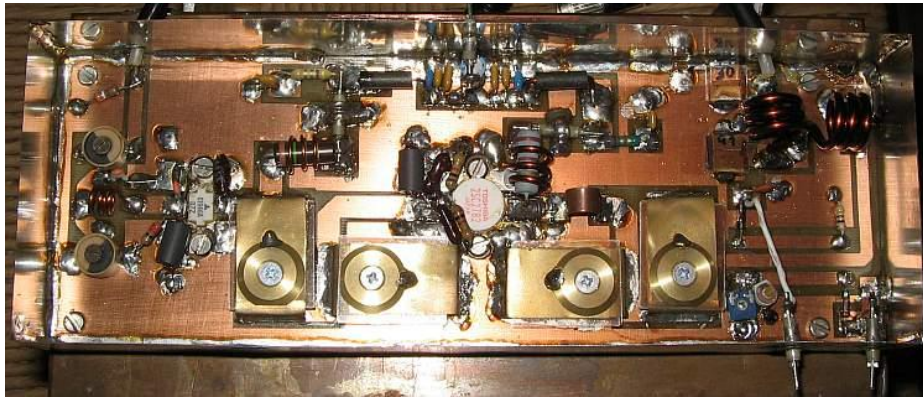
Va trebui să găuriți și să tăiați deschiderile pentru tranzistoare. Tranzistorul de putere este montat de deasupra, în timp ce tranzistorul driver, datorită înălțimii sale mici, este montat sub placă. Ambele tranzistoare sunt montate după lipirea foilor de cupru în deschiderile PCB, pentru a uni planurile de masă superioare și inferioare, iar tranzistorul driver are, de asemenea, astfel de benzi de cupru care conectează pad-urile de bază și colector la fața superioară a plăcii. Aici puteți vedea cum sunt lipite tranzistoarele la placă, și distanțierea pe care am folosit-o pentru a-i oferi înălțimea corectă. Mai întâi am montat placa și tranzistoarele pe radiator, apoi am lipit tranzistorul de ieșire în loc, apoi am lipit temporar firele de emitor ale tranzistorului driver de deasupra, prin deschidere, apoi am eliminat din nou placa și am lipit complet tranzistorul driver. În acest mod, potrivirea mecanică corespunzătoare este asigurată. Asigurați-vă că suprafețele de montare ale tranzistoarelor sunt plate! Tranzistorul meu de putere a venit cu o suprafață ușor rotunjită, așa că mai întâi trebuia să o șlefuiu plat! Acest lucru este critic pentru un transfer termic bun. Desigur, folosiți grosime termică bună la montarea finală a amplificatorului pe radiator.

Puteți vedea că există, de asemenea, câteva locuri unde lucrurile se conectează prin placă pentru cea mai bună legare la masă. Desigur, scutul din jurul plăcii se alătură, de asemenea, celor două planuri de masă.



Suprafață componente amplificator

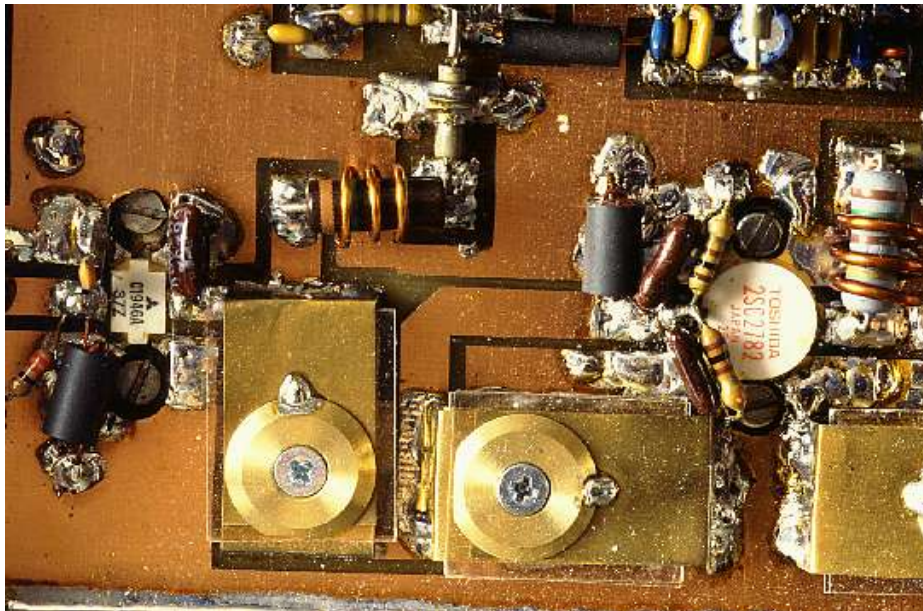
Și aici este suprafața componentelor, ca de obicei fără identificarea componentelor!



Amplificator de putere complet

Așa arată amplificatorul de putere complet văzut de deasupra. Puteți vedea liniile de bandă, cum sunt instalate condensatoarele de feedthrough (folosite ca condensatoare de decuplare de colector), etc. Rețineți condensatoarele cu mica placate cu cupru în filtrul trece-jos din colțul din dreapta sus.

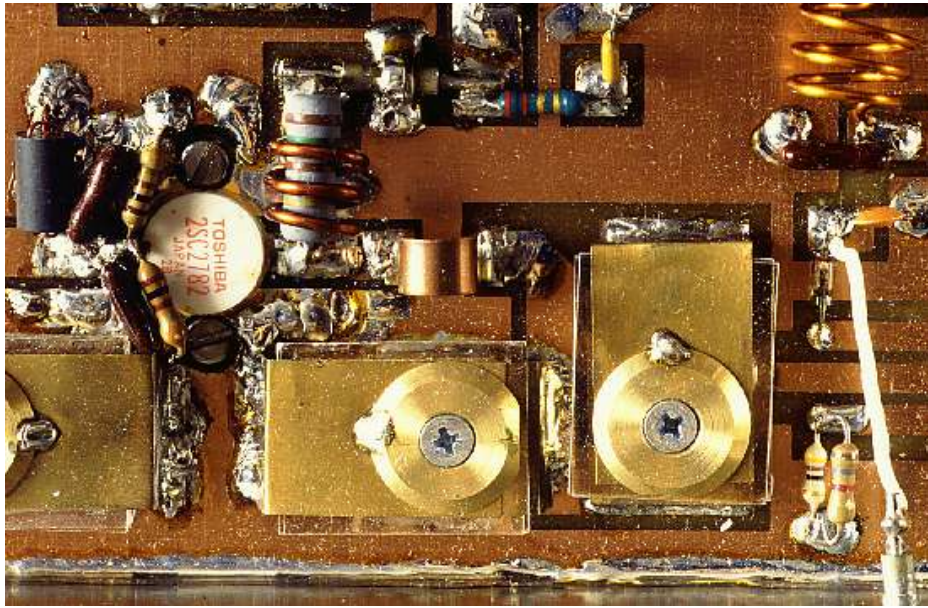
Dar să ne uităm mai în detaliu la câteva zone interesante:



Capacitoare driver

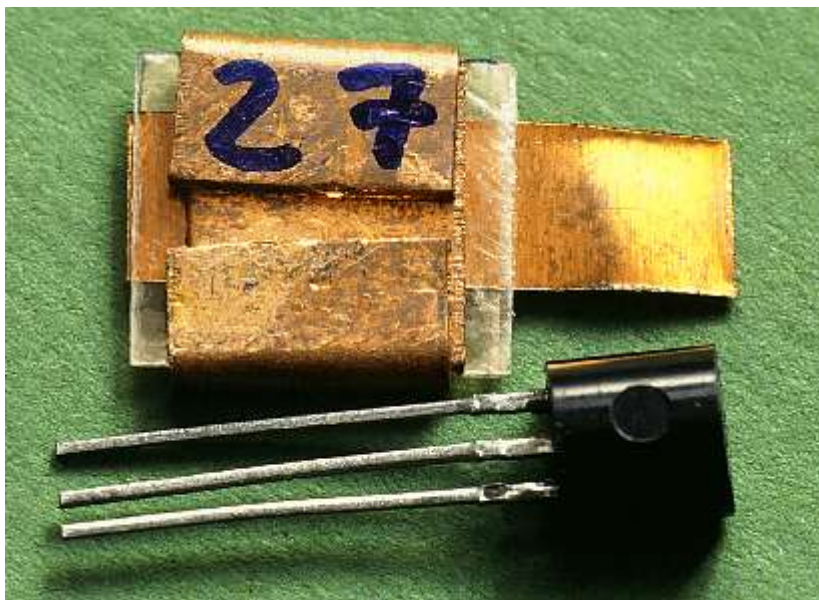
Aici puteți vedea ambele tranzistoare și rețeaua de potrivire dintre ele. Nu am putut găsi trimpoturi care să reziste cantității de curent RF prezentă în acest circuit! Fiecare trimpot fabricat pe care l-am găsit s-ar topi! Așa că mi-am făcut proprii trimpoturi de compresie cu mica, folosind foi de alamă și cupru, placă de bază de alamă, spălător de compresie de alamă, și foi de mica destinate inițial montării capsulei TO-247. Toate conexiunile din trimpoturi sunt lipite, nu doar nituite ca în multe trimpoturi fabricate. Acest lucru a rezolvat problema, dar chiar și aceste trimpoturi se încălzesc în timpul utilizării!

Rețineți cum trimpoturile atât la intrarea cât și la ieșirea tranzistorului de putere au conexiunile la masă foarte aproape de firele de emitor.



Capacitoare colector

Rețeaua de potrivire a ieșirii folosește același tip de trimpoturi. Cel care apare în mijlocul inferior al imaginii este cel care primește cel mai mult curent, mai mult de 15 amperi de RF! În serviciu continuu, și la VHF unde adâncimea pielii este foarte mică, acesta este un curent mare. Același lucru este valabil și pentru “bobina” de rezervor, care este făcută dintr-o bandă de foaie de cupru de 0.5mm îndoită în formă de “U”. În ciuda conexiunii sale termice bune la placă, se încălzește suficient de mult pentru a deveni imposibil de atins! Desigur, oricum nu ar trebui să-l atingeți în timp ce transmițătorul este pornit, deoarece pe lângă o arsură termică veți primi o arsură RF și mai neplăcută!



Capacitor personalizat

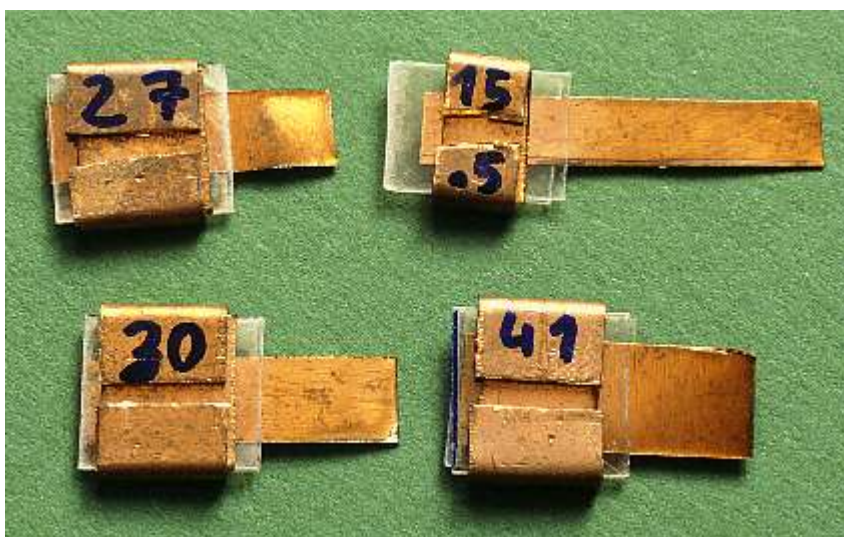
O problemă similară a apărut cu condensatoarele pentru filtrul trece-jos de ieșire. Am încercat să folosesc condensatoare cu mica de argint imersate RF, așa cum se arată în fotografia de mai sus în colțul din dreapta sus, dar s-au încălzit atât de mult încât au început să miroasă! Sigur, electrozii lor de argint sunt prea subțiri. Nu ar fi durat mult în acest serviciu.

Nu aveam condensatoare RF mai bune la îndemână, și în loc să comand condensatoare cu mica metalizate de grea la câțiva dolari fiecare, am decis să-mi fac propriile. Iată un exemplu, arătat alături de un tranzistor TO-92 pentru comparația mărimii. Am folosit foaie de cupru de 0.5mm pentru electrodul extern, foaie de cupru de 0.1mm pentru cel interior, și mica tăiată din izolatoare TO-247.



Detaliu capacitor personalizat

Iată o privire detaliată de margine a unuia dintre condensatoarele mele cu mica placat cu cupru, ținut în ghearele unui clește de haine din lemn pentru fotografie!



Stoc de condensatoare personalizate

Deoarece grosimea acelor izolatoare de mica pentru montarea semiconductoarelor variază foarte mult, realizarea acestor condensatoare este un proces de tăiat și încercat. Am măsurat grosimea mici-ii cât mai bine am putut, am calculat suprafața necesară pentru condensatoare, le-am construit, și apoi le-am măsurat, folosind o bobină de test și un metru de dip în grilă. Am scris valoarea pe fiecare, și am continuat să fac condensatoare până am avut unele cu valori suficient de apropiate pentru filtrul meu trece-jos. Restul le-am păstrat în stoc pentru alte proiecte!

Este amuzant de observat că condensatoarele cu mica placat cu cupru construite în acest mod funcționează la fel de bine ca cele fabricate, că puteți face orice valoare de care aveți nevoie, și că costă aproximativ 1% din cât costă cele frumoase și strălucitoare cu brand!

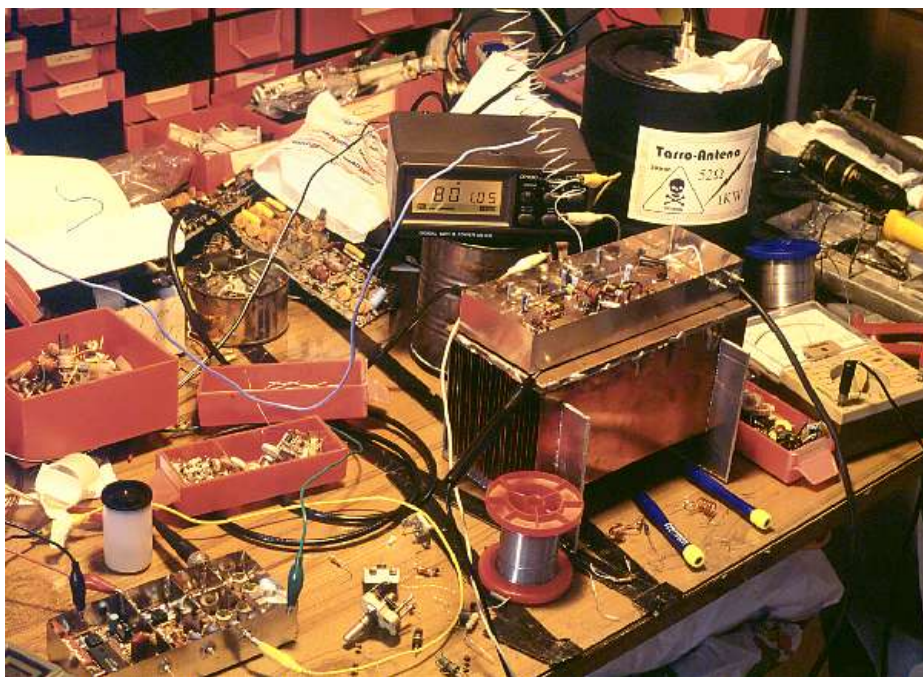
În filtrul trece-jos, aceste condensatoare cu mica placat cu cupru se încălzesc abia. Deoarece sunt bine lipite plat pe placă, nu știu dacă își conduc căldura de pierdere în placă, sau dacă sunt doar încălzite de bobinele filtrului! Pentru că aceste bobine sigur se încălzesc în timpul utilizării, în ciuda faptului că sunt înfășurate din sârmă foarte groasă.



Radiator

Pentru teste am montat placa amplificatorului pe un radiator destul de mare. Consistă dintr-o placă de cupru de 10 * 20 cm cu grosimea de 6mm, la care am lipit 20 aripioare, făcute din foaie de cupru de 0.5mm, măsurând, de asemenea, 10 * 20cm fiecare, având margini de lipire în formă de L. Am făcut acest radiator cu câteva luni înainte pentru scopuri de investigare (vezi pagina mea de proiectare termică), și deoarece zăcea, l-am folosit. Dar cu disiparea totală de putere a acestui amplificator fiind ceva de 50 wați, un radiator mult mai mic ar fi suficient de bun, dacă este folosit un ventilator mic. Totuși, un radiator de cupru este o idee bună, deoarece tranzistorul de putere este folosit la rating-ul său maxim.

Rezultatele



Testare transmițător

Această fotografie arată transmițătorul fiind testat pe banca mea de lucru, recunoscând, nu foarte ordonată! Puteți vedea excitatorul în stânga jos, și amplificatorul cu radiatorul său excesiv de mare stând pe suporturi de pieptene de aluminiu pentru a evita îndoirea aripioarelor subțiri. Aici este metru de putere și SWR Aiwa, și o sarcină fictivă cu doză de ulei mare pentru a înghiți în siguranță cei 80 wați (de fapt, acea sarcină fictivă poate lua un kilowatt pentru câteva minute). Un multimetru analog arată curentul, iar restul sunt cutii de piese, unelte, etc. Placa audio a rămas în afara fotografiei, împreună cu multimetrul digital, contorul de frecvență, osciloscopul, etc. A fost destul de o mizerie, dar a funcționat foarte bine!

Am efectuat mai multe teste pe transmițător. Un test de duranță a constatat în rulare la 80 wați ieșire timp de o săptămână neîntrerupt. Nu au fost observate probleme. Alte teste au inclus schimbarea temperaturii, vibrația (pentru a verifica microfonia), variarea tensiunilor de alimentare, etc. Transmițătorul pare să se comporte foarte bine în toate privințele.

Apoi au fost făcute testele calitative. Separarea stereo, măsurată prin receptorul meu FM făcut casă, a ieșit 52dB. Asta este mai bun decât majoritatea. Raportul semnal/zgomot a fost dincolo de capacitățile mele de măsurare, care se opresc la 82dB! Asta este mai bun decât aproape orice se poate auzi de la stațiile comerciale! Distorsiunea a fost, de asemenea, prea mică pentru a fi măsurată, un rezultat al echilibrării atente a neliniarității varactorului rezidual cu efectul capacității serie.

Apoi a venit testul la ureche! Am conectat playerul meu CD, transmițătorul, receptorul FM, amplificatorul și boxe, astfel încât să pot comuta sunetul înainte și înapoi între semnalul original de pe CD, și semnalul care trece prin transmițător, câțiva metri de aer (radiația de la cipurile de filtru trece-jos este mult mai mult decât suficient pentru această distanță), și receptor. Am redat un CD de Roby Lakatos, Regele violoniștilor țigănești, care îmi place mult și care este grozav pentru testare datorită sunetului său crocant, curat și plin. Am fost destul de impresionat de faptul că puteam comuta înainte și înapoi între semnalul original și cel transmis, fără a

detecta o diferență la ureche! Așa că sunt fericit să vă spun că acest transmițător păstrează calitatea auditivă completă a unui semnal CD de primă clasă! Separarea stereo mai puțin perfectă nu este deloc o problemă, deoarece niciun ascultător, chiar și în mod critic, nu poate discerne între separare de 50dB, și separare perfectă!

Al patrulea modul: De făcut!

Ce lipsește pentru a finaliza acest transmițător este un al patrulea modul, destul de simplu, care ar trebui să implementeze următoarele funcții:

1. Un convertitor DC-DC pentru a accepta intrarea nominală de 13.8V și a produce +/- 15V pentru plăcile audio și excitator. Acesta ar putea fi o unitate standard de 12V intrare, fabricată, sau un circuit făcut casă.
2. Un circuit de control al puterii. Ar trebui să citească semnalul de putere de ieșire livrat de senzorul SWR/putere de pe placa amplificatorului, să-l compare cu setarea unui potențiomtru din panoul frontal, și să ajusteze un regulator de trecere care alimentează ultimele două etaje ale excitatorului astfel încât să seteze puterea de ieșire la valoarea dorită. În plus, acest circuit ar trebui să implementeze funcții de protecție: ar trebui să reducă puterea dacă semnalul SWR depășește o anumită valoare, dacă temperatura radiatorului este prea mare (ar fi nevoie de un termistor sau alt senzor de temperatură), și ar trebui să taie complet puterea dacă PLL devine deblocat, așa cum este indicat de semnalul relevant venind de la excitator. Puterea ar trebui ajustată în jos rapid, și înapoi sus lent, pentru a avea cea mai bună protecție.
3. Opțional, deviația ar putea fi monitorizată, sunând un semnal de alarmă audibilă sau chiar tăind puterea dacă deviația permisă este depășită.

Poate că într-o zi voi avea motivația de a construi acest al patrulea modul, și de a le pune pe toate într-o cutie. Dacă/când o voi face, voi finaliza această pagină web cu informații despre acel modul, și o fotografie a transmițătorului finalizat!

Concluzii

Acest proiect de transmițător FM de 80 wați reprezintă un exemplu remarcabil de inginerie radio, combinând designul analogic de înaltă calitate cu tehnici moderne de sintetizare a frecvenței. Rezultatele obținute - separare stereo de 52dB, raport semnal/zgomot de peste 82dB, și distorsiuni neglijabile - plasează acest transmițător în clasa superioară a echipamentelor de difuzare.

Deși proiectul nu a fost finalizat complet, modulele existente demonstrează că este posibil să se construiască un transmițător de înaltă calitate la un cost rezonabil, folosind componente disponibile și tehnici de construcție accesibile. Documentarea detaliată a autorului oferă o resursă valoroasă pentru oricine este interesat de înțelegerea și construirea echipamentelor RF de înaltă performanță.

Acest proiect rămâne un testament al ingineriei dedicate și al pasiunii pentru calitatea audio în domeniul radiodifuziunii FM.