

# Svetilniki za 1.3GHz, 2.3GHz, 3.4GHz in 10GHz

Matjaž Vidmar - S53MV

## 1. Načrtovanje svetilnikov

Zahteve za svetilnik so nekoliko drugačne od zahtev za SSB govorno radijsko postajo oziroma PSK radijsko postajo za packet-radio. Kljub podobni tehniki gradnje je zato smiselno izdelati posebna vezja povsod tam, kjer se svetilnik razlikuje od sprejemno/oddajnih radijskih postaj. Svetilnik je po svoje enostavnejši, saj potrebuje le modulacijo vrste vklop/izklop. Ker ni sprejemnika, tudi preklop antene ni potreben. Pri svetilniku moramo seveda upoštevati, da deluje neprekinjeno, kar pomeni dosti večje segrevanje izhodne stopnje oddajnika.

Ker so svetilniki namenjeni sprejemu s SSB radijskimi postajami, moramo posvetiti posebno pozornost stabilnosti frekvence. V ta namen je smiselno nekoliko predelati kristalni oscilator. TCXO ali celo termostat za kristal pa sta za radioamaterske svetilnike prezahtevna. Termostat pomeni tudi višjo temperaturo delovanja vseh vezij, kar pomeni hitrejše staranje kristala. Pri uporabi običajnih kristalov (takšnih, kot pridejo nam radioamaterjem v roke) je pri uporabi termostata nad 40C stabilnost celo slabša, saj nad kratkotrajnimi spremembami prevlada zelo hitro staranje kristala, ki se kaže kot počasno, a stalno drsenje frekvence. Zelo visoko stabilnost frekvence bi seveda lahko dosegli z vklemitvijo frekvence svetilnika na oddajnik točne frekvence, na primer na znano dolgovalovno uro DCF77 ali pa na signale GPS navigacijskih satelitov. Signali obojih izhajajo iz zelo točnih atomskih ur. Razen relativne stabilnosti bi tako dosegli tudi absolutno točnost frekvence. Konstrukcija takšnega svetilnika je seveda bistveno bolj komplicirana in je nima smisla uporabiti v prvi fazi gradnje svetilnikov. Ohišja, ožičenje in delno tudi elektroniko je seveda smiselno načrtovati tako, da bo takšna nadgradnja možna v bodočnosti. V cilju stabilnosti frekvence mora kristalni oscilator enostavnega svetilnika delovati neprekinjeno. Kristalnemu oscilatorju morajo slediti ločilne stopnje, da izhod oddajnika ne vleče frekvence oscilatorja. V slučaju mikrovalovnih svetilnikov so odlične ločilne stopnje kar množilniki frekvence, ki nujno sledijo kristalnemu oscilatorju. Pri modulaciji oddajnika vklop/izklop moramo seveda poskrbeti, da ostanejo kristalni oscilator in zadostno število ločilnih stopenj vedno priključeno na napajanje. Po drugi strani pa moramo paziti, da ne pustimo vključenih preveč stopenj oddajnika, saj modulacija same izhodne stopnje še ne zagotavlja dovolj velikega razmerja vklop/izklop. Bližnje postaje bi vsekakor slišale pisk tudi takrat, ko je izhodna stopnja brez napajanja in jakost izhodnega signala upade komaj za 20dB ali 30dB v pavzah med tipkanjem. Smiselna rešitev je stalno napajanje kristalnega oscilatorja in polovice verige množilnih stopenj. Drugo polovico množilnih stopenj in celotno verigo močnostnih ojačevalnih stopenj na izhodni frekvenci pa napajamo prekinjeno v ritmu tipkanja klicnega znaka in lokatorja svetilnika. Pri vsem skupaj ne smemo pozabiti na pravilno načrtovanje prve stopnje v verigi, ki se ji izklaplja napajanje. Ta stopnja mora zdržati polno moč krmiljenja tudi brez napajanja, kar za množilnike z bipolarnimi Si tranzistorji običajno ne velja.

Za vse štiri svetilnike za 1.3GHz, 2.3GHz, 3.4GHz in 10GHz sem se odločil za podobno rešitev. Kot oscilator in prvi del verige množilcev sem uporabil preizkušeni modul iz SSB radijskih postaj, ki se stalno napaja. Temu modulu sledi namenski modul za svetilnik v mikrotrakasti tehniki, ki se mu napajanje preklaplja v skladu s tipkanjem klicnega znaka. Svetilniki za 1.3GHz, 2.3GHz in 3.4GHz imajo en sam dodatni namenski modul, svetilnik za 10GHz in bodoča svetilnika za 5.7GHz in 24GHz, ki sta še v razvoju, pa imajo dva namenska modula, saj je množilnih in ojačevalnih stopenj tu bistveno več.

## 2. Svetilnik za 1296MHz

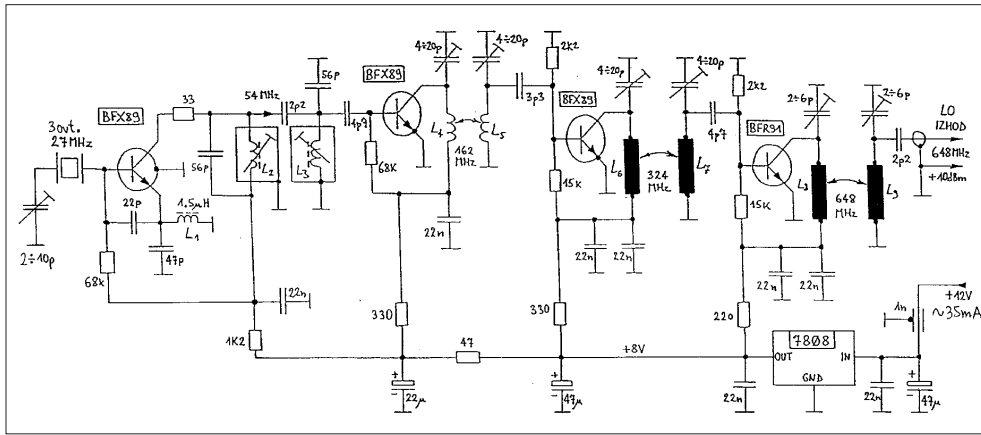
Svetilnik za 1296MHz vsebuje modul oscilatorja za 648MHz, ki je prikazan na sliki 1, in dodatni modul svetilnika za 1296MHz, ki je prikazan na sliki 2. Modul oscilatorja se v nekaj podrobnostih razlikuje od podobnega modula v SSB radijski postaji. Predvsem modul nima varikap diode, saj svetilnik deluje na eni sami frekvenci.

V modulu oscilatorja svetilnika je smiselno izbrati takšen kristal in ustrezno vezje oscilatorja, da bo stabilnost frekvence čim boljše. Glede na tehniko izdelave sodobnih kremenčevih kristalov bo dal najboljšo stabilnost kristal, ki niha na tretjem overtonu v frekvenčnem pasu med 25MHz in 40MHz. V svetilniku za 1296MHz sem se zato odločil za kristal za 27MHz.

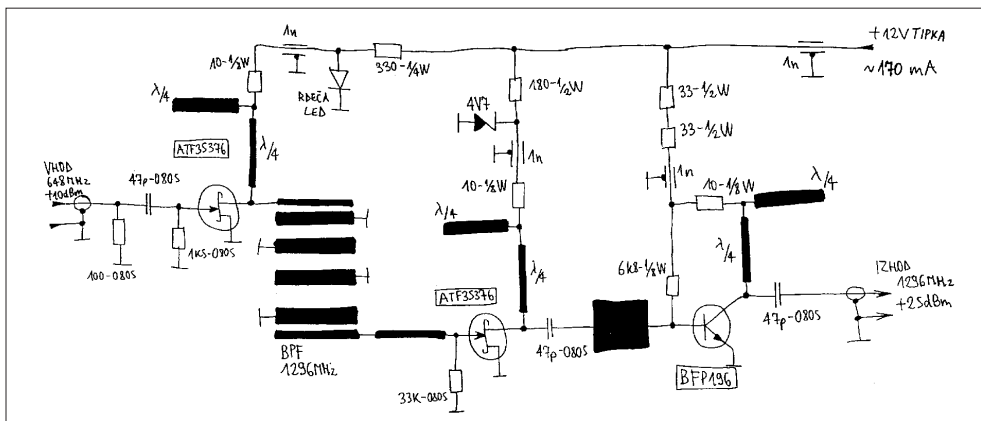
Zaporedno s kristalom je vezan še kapacitivni trimer za točno nastavitve frekvence, saj je stabilnost frekvence kristalnega oscilatorja v tem slučaju boljše kot pa pri uporabi zaporedne tuljave. Območje nastavljanja frekvence s kapacitivnim trimermom je seveda dosti bolj omejeno kot pa z zaporedno tuljavo. Zaporedni kondenzator lahko le zviša frekvenco kristala za kakšen kHz.

Kristalnemu oscilatorju sledi veriga množilnih stopenj, ki je povsem enaka podobni verigi v SSB radijski postaji za 10GHz. Izhodna moč +10 dBm na koncu verige povsem zadošča za krmiljenje naslednje množilne stopnje v namenskem modulu svetilnika za 1296MHz.

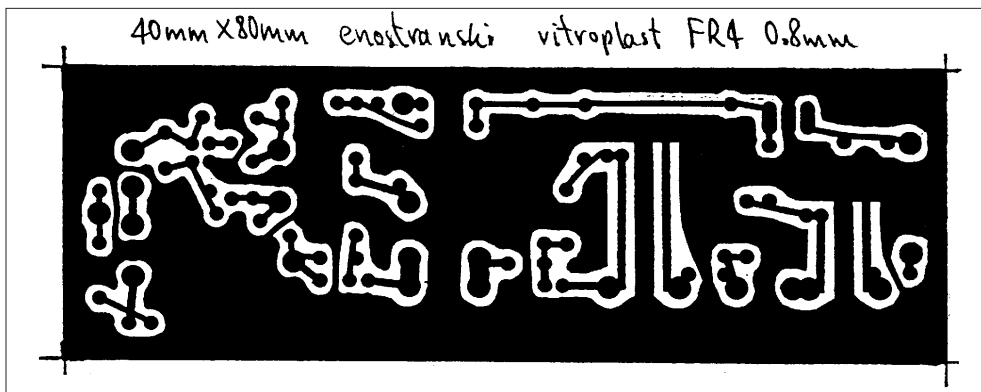
Namenski modul svetilnika za 1296 MHz vsebuje tri stopnje: zadnji podvojevalnik frekvence s HEMTom ATF35376 in dve ojačevalni stopnji s še enim ATF35376 in tranzistorjem BFP196. Podvojevalnik je izdelan tako, da se večji del moči modula oscilatorja potroši na uporu 100ohm. Na ta način ATF35376 zdrži brez škode polno krmilno moč tudi brez napajanja. Moč izhodne stopnje je omejena na +25dBm (okoli 300mW), kar je na frekvenčnem področju 1296 MHz povsem zadosti za lokalni svetilnik. Za moč 300mW zadošča že razmeroma majhen tranzistor BFP 196, hkrati pa je segrevanje celotnega modula zelo omejeno. Namenski modul svetilnika za 1296MHz se seveda napaja z napetostjo +12VTIPKA.



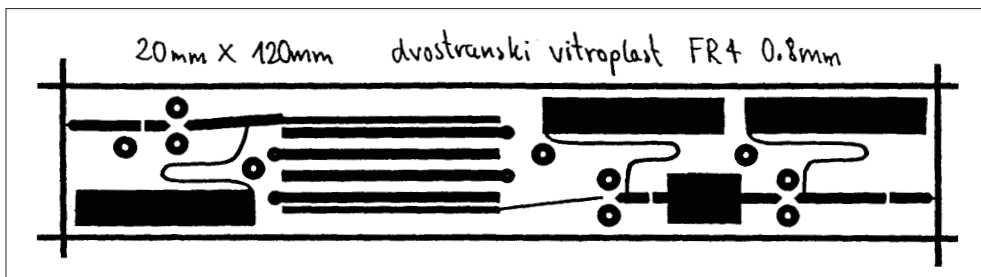
Sl. 1: oscilator za 648 MHz (1296)



Sl. 2: svetilnik za 1296 MHz



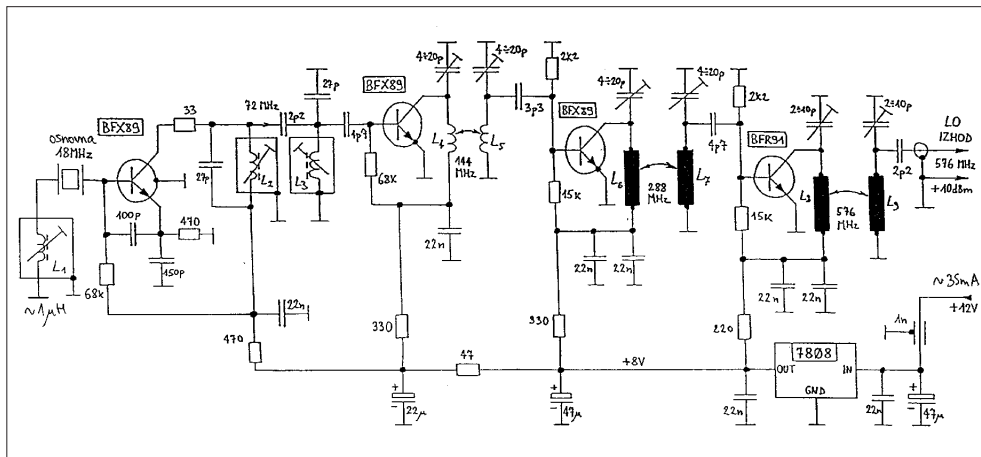
Tiskano vezje oscilatorja za 648 MHz



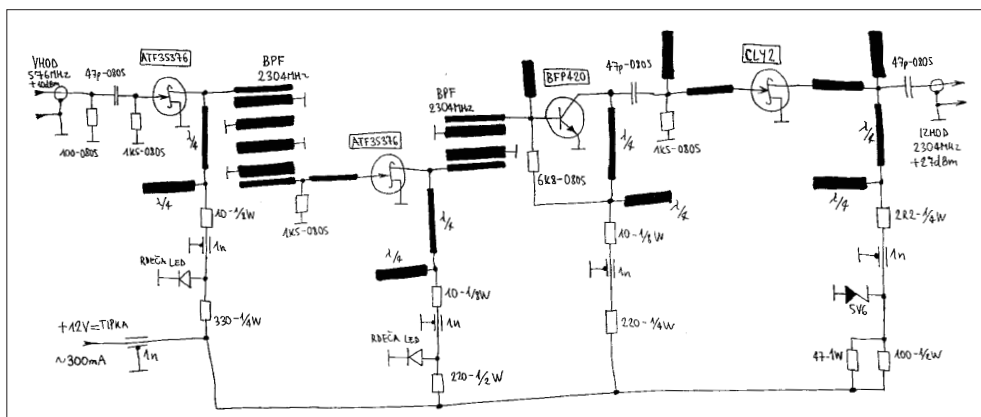
Tiskano vezje svetilnika za 1296 MHz

### 3. Svetilnik za 2304/2320MHz

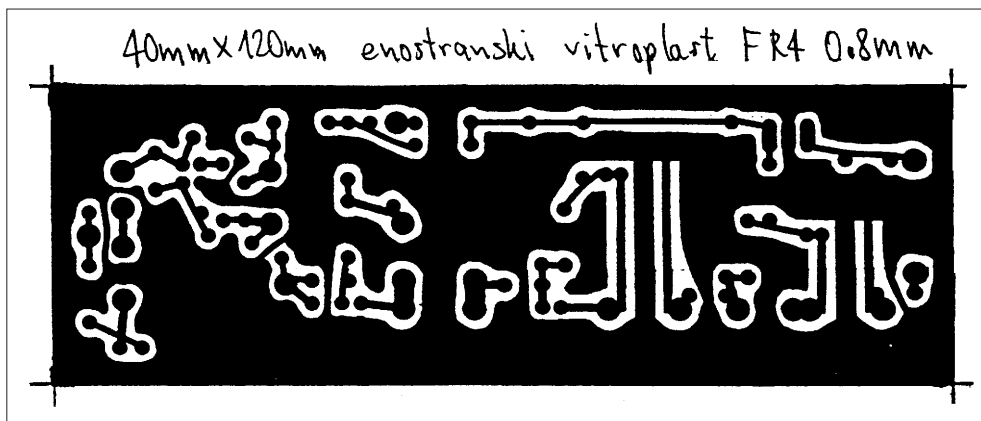
Svetilnik za 2304/2320MHz vsebuje modul oscilatorja za 576MHz, ki je prikazan na sliki 3, in namenski modul svetilnika za 2304MHz, ki je prikazan na sliki 4. Modul oscilatorja se razlikuje od podobnega modula v SSB radijski postaji le po odsotnosti varikap diode. Uporaba kristala na osnovni resonanci 18MHz ni najboljša tehnična rešitev. Dosti boljše rezultate stabilnosti frekvence bi dal overtonski kristal za 36MHz v podobnem vezju kot v svetilniku za 1296MHz. Namenski modul svetilnika za 2304/2320MHz vsebuje štiri stopnje: zadnji množilnik frekvence s HEMTom ATF35376 ter tri ojačevalne stopnje s še enim ATF35376, ki mu sledita BFP420 in CLY2. Ker množilnik množi s štiri, sledi prvi ojačevalni stopnji dodatno pasovno sito za izhodni signal, saj sta neželjena tretji in peti harmonik razmeroma blizu. Moč izhodne stopnje znaša dobrih +27dBm (skoraj 600 mW), kar je na frekvenčnem področju 2304MHz ali 2320 MHz povsem zadosti za lokalni svetilnik. Moč izhodne stopnje sicer enostavno znižamo tako, da znižamo napajalno napetost, se pravi povečamo upore in znižamo napetost zener diode. Namenski modul svetilnika za 2304/2320MHz se prav tako napaja z napetostjo +12VTIPKA, medtem ko dobi oscilator stalno napetost +12V. Da omejimo segrevanje izhodne stopnje, je pametno vgraditi oba upora v napajanju izhodne stopnje (47ohm-1W in 100ohm-1/2W) izven oklopljenega ohišja tako, da dodamo še en kondenzator skoznik.



Sl. 3: oscilator za 576 MHz (2304 MHz)



Sl. 4: svetilnik za 2304 MHz



Tiskano vezje oscilatorja za 576 MHz (2304 MHz)



Tiskano vezje svetilnika za 2304 MHz

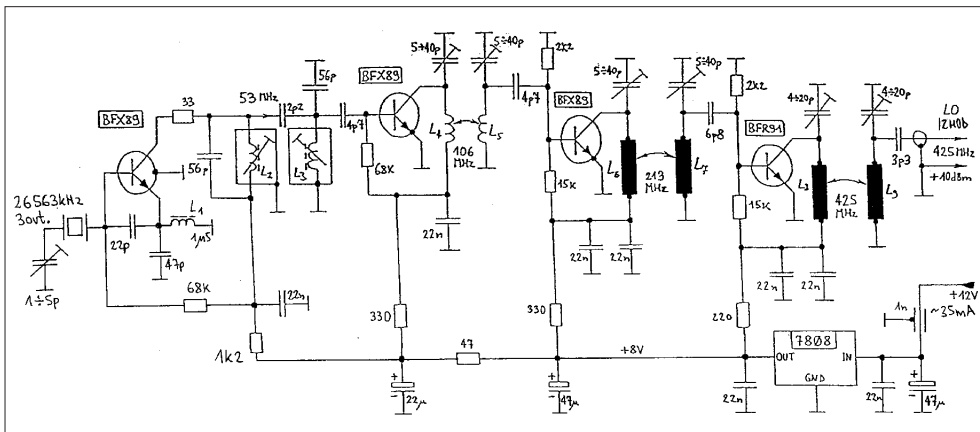
**4. Svetilnik za 3400MHz**

Svetilnik za 3400MHz vsebuje modul oscilatorja za 425MHz, ki je prikazan na sliki 5, in namenski modul svetilnika za 3400MHz, ki je prikazan na sliki 6. Modul oscilatorja se od podobnega modula v SSB radijski postaji razlikuje le v kristalnem oscilatorju. V svetilniku je uporabljen overtonski kristal za 26.563MHz zaradi boljše stabilnosti frekvence. Zaporečno s kristalom je vezan kapacitivni trimer zelo nizke vrednosti, da lahko uporabimo v oscilatorju kar CB kristal za nazivno frekvenco 26.560MHz.

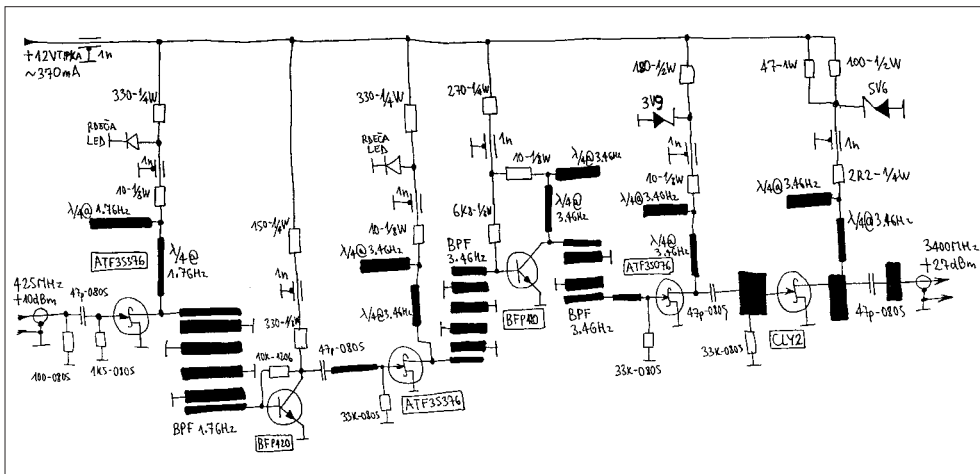
Namenski modul svetilnika za 3400MHz vsebuje dve množilni stopnji in štiri ojačevalne stopnje. Signal iz modula oscilatorja na 425MHz se najprej množi s štiri na 1700MHz (prvi ATF35376) in ojača s tranzistorjem BFP420. Drugi množilnik vsebuje prav tako ATF35376, ki frekvenco podvojuje na 3400MHz. Končno sledijo tri ojačevalne stopnje: BFP420, ATF35076 in CLY2, ki izhodni signal ojačijo na približno +27dBm (okoli 500mW).

Vezje vsebuje tudi tri pasovna sita: eno sito na 1700MHz in dve siti na 3400MHz, pred in za ojačevalno stopnjo s tranzistorjem BFP420. Veliko število stopenj zahteva tudi večjo površino tiskanega vezja oziroma širšo tiskanino, ki se jo komaj še da zadržati na takšni meji (30mm), da rezonance oklopljene škatlice ne motijo delovanja vezja.

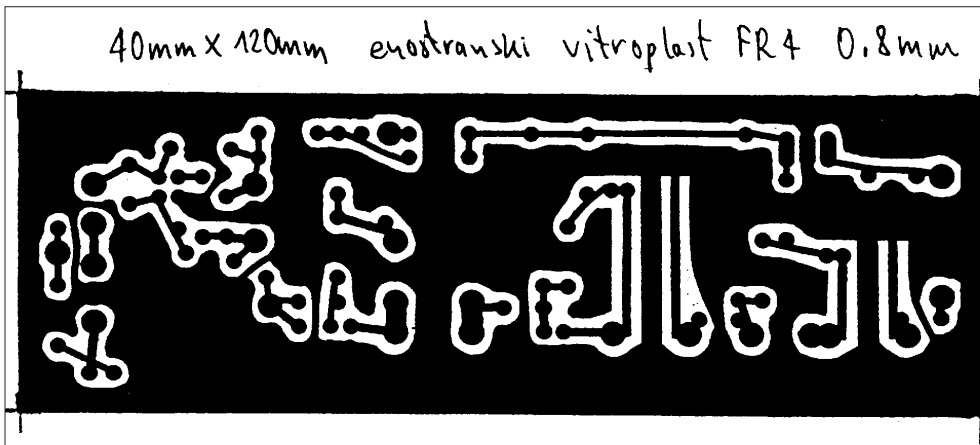
Celotni namenski modul svetilnika za 3400MHz se napaja z napetostjo +12VTIPKA, medtem ko dobi modul oscilatorja stalno napetost +12V. Ker je poraba moči svetilnika za 3400MHz še večja, je smiselno vgraditi upora v napajanje izhodne stopnje (47ohm-1W in 100ohm-1/2W) kot tudi napajalni upor krmilne stopnje (180ohm-1/2W) izven oklopljenega ohišja zaradi boljšega hlajenja.



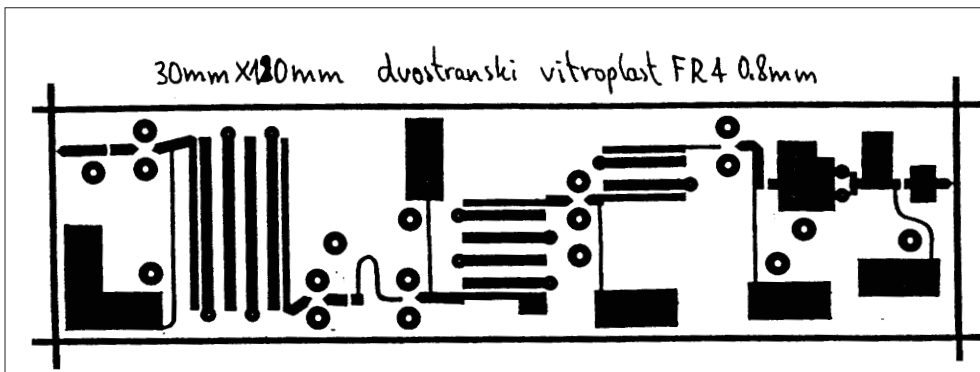
Sl. 5: oscilator za 425 MHz (3400 MHz)



Sl. 6. svetilnik za 3400 MHz



Tiskano vezje oscilatorja za 425 MHz (3400 MHz)



Tiskano vezje svetilnika za 3400 MHz



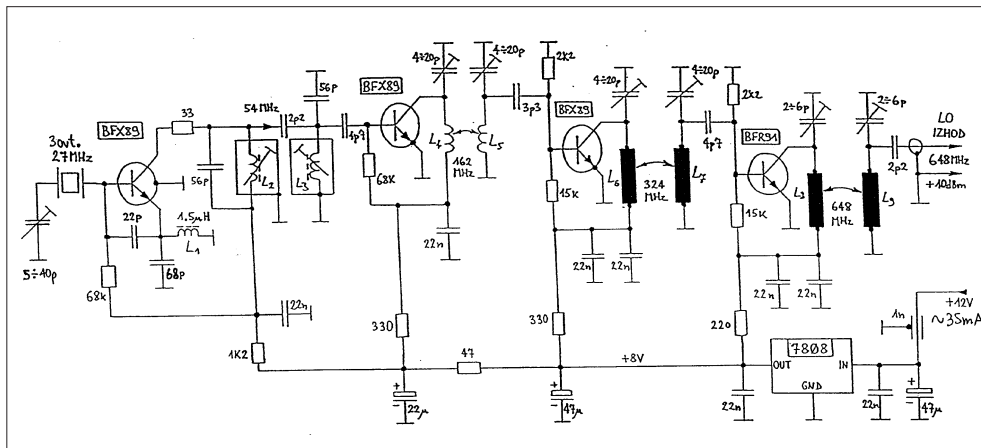
### 5. Svetilnik za 10GHz

Svetilnik za 10GHz sestavljajo tri enote: modul oscilatorja za 648MHz, ki je prikazan na sliki 7, množilnik svetilnika za 10GHz, ki je prikazan na sliki 8 in močnostni ojačevalnik, ki je prikazan na sliki 9. Modul oscilatorja je popolnoma enak oscilatorju v svetilniku za 1296MHz z izjemo vrednosti kondenzatorjev okoli kristala, ki ga je potrebno povleči na nekoliko drugačno frekvenco.

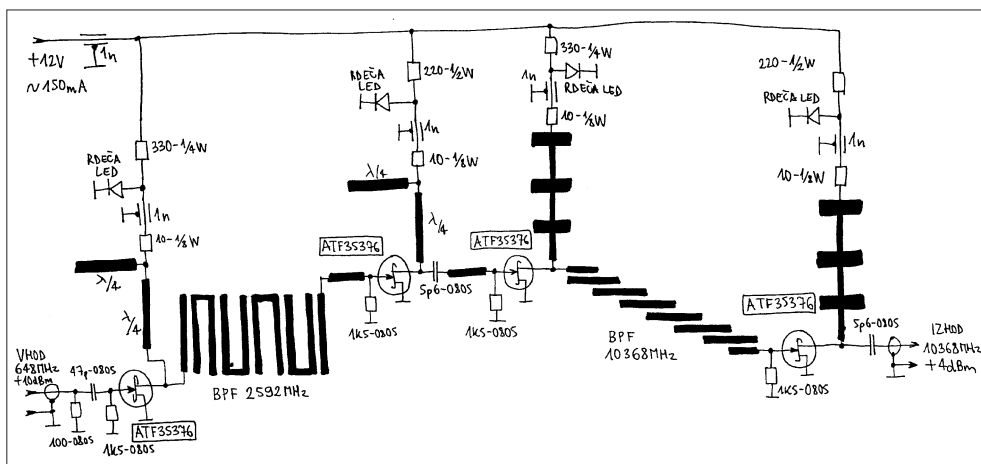
Množilnik svetilnika za 10GHz vsebuje dve množilni in dve ojačevalni stopnji. Vse stopnje so izdelane s HEMTi ATF35376. Prva množilna stopnja početrvi vhodno frekvenco na 2592MHz. Signal na 2592MHz je treba seveda ojačati, da lahko krmili drugo množilno stopnjo. Tudi ta početrvi frekvenco na 10386 MHz, ki jo spet ojača izhodna ojačevalna stopnja.

Ker uporabljata oba množinika razmeroma visoka faktorja množenja (štirikrat), sledita obema množilnikoma komplicirani pasovni siti. Pasovno sito na 2592MHz ima štiri polvalovne rezonatorje, pasovno sito na 10368MHz pa kar šest polvalovnih rezonatorjev. Jakost izhodnega signala lahko precej odstopa od nazivne vrednosti +4dBm (okoli 2.5mW) glede na tolerance polprevodnikov, laminata FR4 za ter jedkanja tiskanine. Močnostni ojačevalnik za 10GHz vsebuje dve ojačevalni stopnji s skupno s petimi HEMTi ATF35076. V krmilni stopnji je uporabljen en sam tranzistor, v izhodni stopnji pa vzporedna vezava štirih tranzistorjev. Vzporedna vezava tranzistorjev je izvedena z Wilkinson-ovimi hibridi, ki imajo zaključene razlike le na vhodih štirih ATF35076, izhodni hibridi pa imajo razliko nezaključeno.

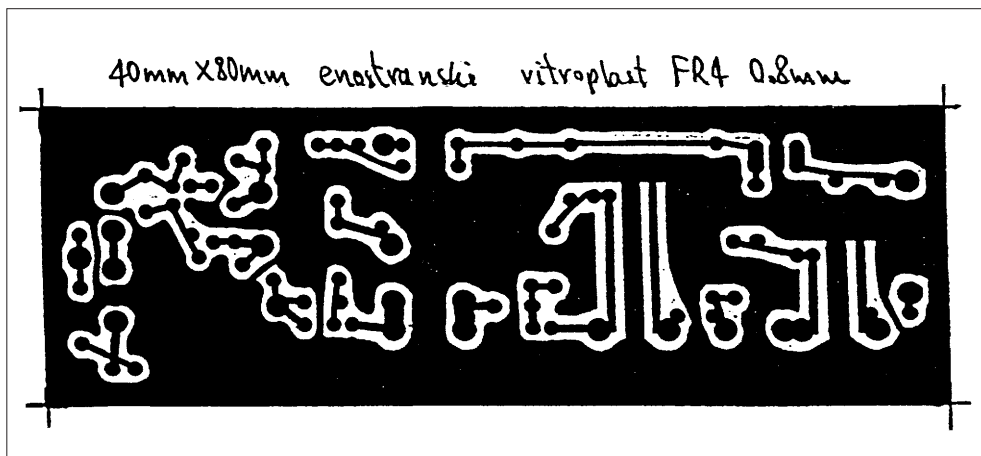
Celoten ojačevalnik je bil sicer načrtovan za delovanje v širokem frekvenčnem pasu 4...14GHz. Na nazivni frekvenci 10GHz lahko proizvede tudi +24dBm (okoli 250mW) s krmiljenjem 10mW. Pri krmiljenju z opisano verigo mno-



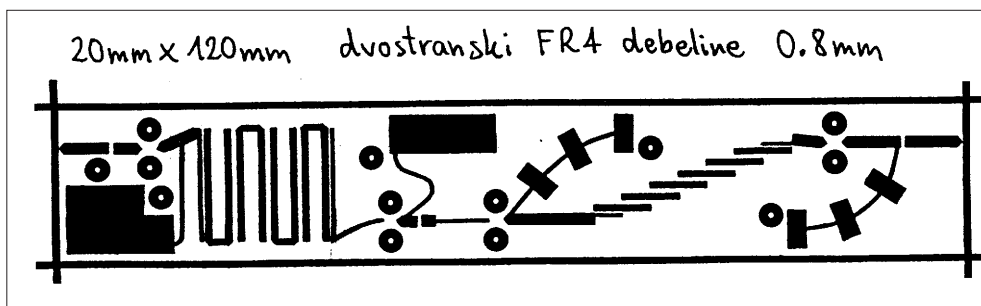
Sl. 7: oscilator za 648 MHz (10368 MHz)



Sl. 8: množilnik svetilnika za 10 GHz

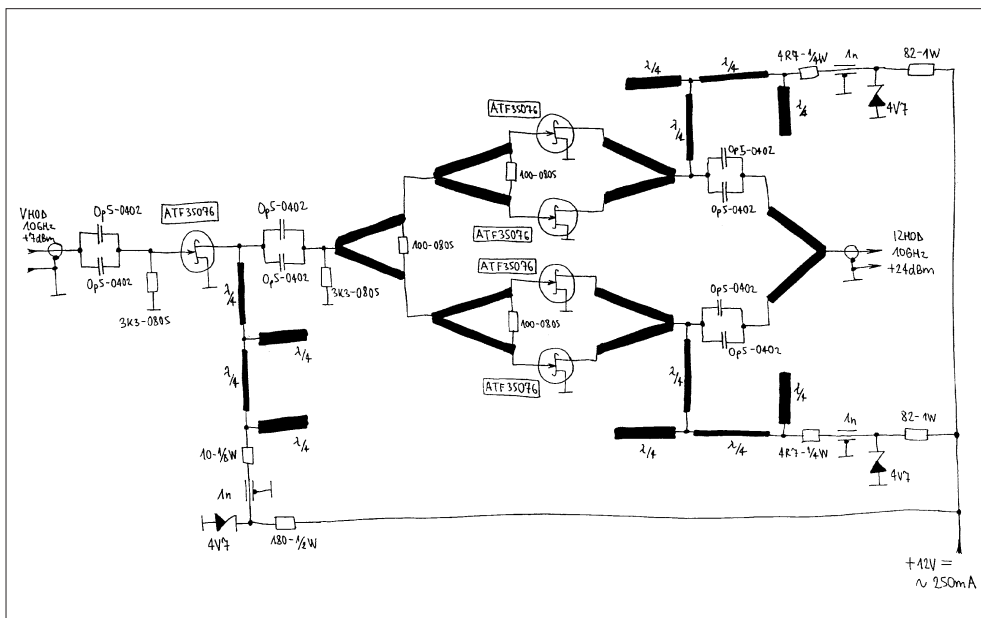


Tiskano vezje oscilatorja za 648 MHz



Tiskano vezje množilnika za 10 GHz

žilnih stopenj (2.5mW) dosega izhodna moč le 150mW. Ojačevalnik je zaradi čimmanjših izgub izdelan na 0.5mm debelem teflonskem laminatu. Napajanje je izvedeno podobno kot pri ostalih svetilnikih. Modul oscilatorja za 648MHz dobi stalno napajanje +12V. Množilniki svetilnika za 10GHz in močnostni ojačevalnik pa dobijo napajanje +12VTIPKA. Oba mikrotrakasta modula seveda potrebujeta absorber, črno antistatično peno, za dušenje rezonanc ohišij. Močnostni ojačevalnik ne proizvaja ravno dosti toplote, zato vgradnja uporov izven škatlice ni tako nujna kot pri svetilnikih za 2.3GHz ali 3.4GHz.

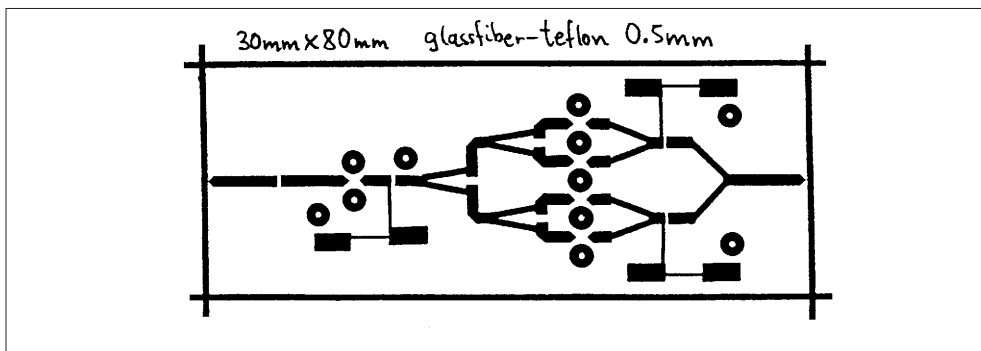


Sl. 9: močnostni ojačevalnik 4...14 GHz/+20dBm

## 6. Bodoči ostali svetilniki

Od pomembnih mikrovalovnih amaterskih področij manjkata še svetilnika za 5760MHz in 24192MHz. Svetilnik za 5.7GHz bi lahko izdelali podobno kot svetilnik za 10GHz, saj močnostni ojačevalnik sploh ne potrebuje večjih predelav. Oscilator pa bi bilo pametno postaviti na 40MHz ali celo 60MHz z uporabo kristala na tretjem overtonu, zaradi boljše stabilnosti frekvence. Izhodno frekvenco modula oscilatorja 720MHz bi potem množili s štiri na 2880MHz in končno podvojili na 2880MHz.

Svetilniki za 24GHz in višje frekvence so seveda bolj zahtevni. Razen dolge verige množilnih stopenj predstavljajo težave še razpoložljivi polprevodniki, ki na omenjenih frekvencah nimajo kdove kako visokega ojačenja. Končno predstavlja težavo tudi izbira primerne antene in njena zaščita pred vremenskimi nepravilnostmi s pokrovom, ki je še vedno prozoren za 24GHz ali višje frekvence.



Tiskano vezje močnostnega ojačevalnika

