

## QRP zesilovač pro 1,8 – 50 MHz

Ing. Tomáš Kavalír, Ph.D., OK1GTH, [kavalir.t@seznam.cz](mailto:kavalir.t@seznam.cz)

**Uvedený článek popisuje praktickou realizaci malého koncového stupně pro 1,8 – 50 MHz, který se hodí především pro radiostanice s výstupním výkonem 2,5 – 5W. Konstrukce v sobě obsahuje jak výstupní filtry pro jednotlivá pásma, tak i obvody pro přepínání RX-TX cesty, RF VOX, zdroj předpětí a jednoduchou indikaci výstupního výkonu ve formě pásku z LED diod. Napájecí napětí může být v rozsahu cca 10 – 15 V, kdy proudový odběr nepřekročí cca 5 A.**

Jedním z fenoménů dnešní radioamatérské doby je program SOTA, který je určen pro radioamatéry a posluchače, aby podpořil portable provoz z kopců a hor. Obrovskou devizou tohoto programu pro aktivátory je, že umožňuje spojit turistiku a pobyt v přírodě s radioamatérským vysíláním především v pásmech KV a VKV. V případě KV pásem je hlavním druhem provozu CW, kdy je umožněno díky doporučeným kmitočtům pro SOTA provoz relativně snadná aktivace daného vrcholu i při použití velmi malých výkonů 1- 5 W. Samotní lovci tak již „čekají na aktivátora“ na předem daných kmitočtových úsecích a zpravidla se potřebný počet spojení podaří navázat ve velmi krátké době i bez použití „selfspottingu“ v DX clusteru. Odlišná situace je při fonickém provozu, který díky výrazně vyšší zábranné šířce pásma má menší výkonovou hustotu a zároveň zde nelze zaručit, že doporučené kmitočty pro SOTA aktivaci budou volné a nebudou rušeny. Často je tak SOTA SSB aktivátor nucen si poslat spot do DX clusteru, aby o něm ostatní zájemci o spojení věděli, protože volání výzvy při použití malých výkonů, navíc s jednoduchými anténami, nebývá moc efektivní. Většina radiostanic, které se při SOTA aktivacích používají, bývají malé, lehké a skladné radiostanice (například oblíbená FT-817) jejichž výstupní výkon zpravidla bývá v rozmezí 1- 5 W, výjimečně 10 W.

V poslední době se začínají objevovat malé a lehké moderní akumulátory na bázi například LiFePO<sub>4</sub> (železo fosfát), kdy mechanické provedení připomíná robustní gelové olověné 12 V akumulátory, kdy hmotnost je ale výrazně nižší.

Například LiFePO<sub>4</sub> akumulátor GWL 12V / 7Ah [1] vykazuje tyto vlastnosti:

- rozsah provozního napětí 10V až 14.6V
- neobsahuje žádné toxické látky, jedy, žíraviny nebo kyseliny
- zcela bezpečný: nehoří, nevybuchuje, neobsahuje tekutý elektrolyt
- vysoký rozsah pracovních teplot (-30°C až +70°C)
- nízké samovybíjení (< 3% za měsíc)
- životnost nejméně 10 let, počet provozních cyklů vyšší než 1000
- vestavěný balanční a ochranný systém (PCM), možnost rychlo-nabíjení (až 1C)
- nízká hmotnost – cca 1,2kg pro 12 V/ 7Ah

Tyto akumulátory jsou tak pro svou bezpečnost a robustní provedení velmi vhodné právě pro portable provoz a díky vysoké jmenovité kapacitě je možné z něho napájet nejen radiostanici, ale i malý koncový stupeň o výkonu cca 20 W. Kombinovaná výdrž podle poměru RX-TX včetně napájení radiostanice i tak může být i více než 2h, což bohatě stačí na aktivaci 3-4 SOTA vrcholů. Z tohoto důvodu vznikl tento malý koncový stupeň o výstupním výkonu cca 20 - 30 W při 2,5W buzení, kdy umožňuje zesílit výstupní signál o 8- 10 dB, což může být v mnoha případech velmi znát.

Hlavním cílem zde popsané konstrukce byla realizace na stavbu nenáročného zesilovače pro radioamatérská pásma 1,8 – 50 MHz s budícím výkonem 2,5 W, případně maximálně 5W, kdy již ale přírůstek výstupního výkonu oproti 2,5 W buzení je minimální. Po mechanické stránce byl zesilovač optimalizován pro co nejmenší geometrické rozměry.

Při návrhu tohoto zesilovače byly zadány tyto podmínky:

- kmitočtová pásma 1,8 – 50 MHz, provoz při napájecím napětí 10 – 15 V
- jednoduchá robustní konstrukce s přepínatelnými filtry typu DP na výstupu
- indikace zvoleného pásma, indikace výstupního výkonu
- lineární režim pro CW-SSB, případně i FM, buzení 2,5 W (max. 5 W)
- ovládání PTT pomocí RF VOXu pro minimalizaci propojovacích kablíků
- nastavení klidového proudu, ucelená mechanická konstrukce, minimální rozměry

### Popis zapojení:

Zesilovač je založen na dvojčinném zapojení dvou výkonových MOS tranzistoru, kdy se použily osvědčené IRF510. Tyto tranzistory jsou dost předimenzované a při vyšším napájecím napětí je možné ze zesilovače získat podstatně vyšší výkon. Vzhledem k zapojení je nutné je umístit izolovaně na chladič. Na vstupu a výstupu je umístěn impedanční transformátor navinutý na dvouotvorovém jádře Amidon hmoty 43, kdy vstupní i výstupní transformátor je řešen s poměrem 1:4. Výstupní transformátor je složen ze dvou kusů BN-43-202 a vstupní jen z jednoho kusu. Na výstupu je možné osadit kompenzační kapacitu  $C_x$  pro vykompenzování rozptylové indukčnosti, ale v mém případě nebylo potřeba toto řešit. Na vstupu zesilovače je umístěn jednoduchý RF detektor, který umožňuje spínat zesilovač po přivedení malého výkonu na vstup (cca od 0,5 W). Změnou hodnoty kondenzátoru C3 je možné měnit časovou konstantu pro spínání a vypínání PA především při SSB. Zdroj předpětí je tvořen stabilizátorem 7805, kdy na výstupu je umístěn více-otáčkový trimr Po1, který umožňuje pohodlné nastavení klidového proudu cca 400 mA pro oba tranzistory. Zesilovač je možné ovládat i bez RF VOXu klasickým spínáním PTT „proti zemi“, kdy potřebný ovládací pin je vyveden na svorkovnici označenou jako PTT. Na výstupu zesilovače jsou umístěny přepínané dolní propusti pro potlačení vyšších harmonických produktů, kdy v základním provedení jsou zlomové kmitočty nastaveny tak, aby zesilovač fungoval v pásmech 160, 80, 40, 20, 15/10 a 6m. Vhodným zvolením výstupního filtru je možné zesilovač používat i pro WARC pásma. Filtry pro pásma 160, 80, 40 a 20 m jsou tvořeny indukčností navinutou na toroidním jádře Amidon T68/2 a filtry pro 10 a 6m jsou tvořeny vzduchovou cívkou. Jednotlivé počty závitů jsou uvedeny v následujícím přehledu. Banka filtrů je přepínána pomocí dvojitých signálových relátek.

Pro napájení zesilovače je před transformátorem impedance umístěna tlumivka TL tvořená 2-3 závitů opět na dvouotvorovém jádře Amidon BN-43-202, kdy vodič je tvořen „licnou“ o dostatečném průřezu pro proud do cca 5 A. Na výstupu zesilovače je umístěn jednoduchý detektor pro indikaci výstupního výkonu. Bohužel díky kmitočtové závislosti vazebního kondenzátoru C25 je mírně odlišný zobrazovaný výkon pro spodní a horní pásma, takže se jedná skutečně jen o indikátor. Pro přesnější zobrazení by bylo vhodné na výstupu umístit jednoduchý kompenzovaný měřicí můstek pro zobrazení výstupního případně i odraženého výkonu.

Plošný spoj zesilovače je tvořen oboustrannou deskou plošných spojů tloušťky 1,6 mm z materiálu FR4, kdy spodní strana je tvořena souvislou měděnou vrstvou. Horní a spodní

strana je na několika místech spojena pomocí prokovek tvořenými dutými měděnými nýtky o rozměru cca 2 mm a rozměr plošného spoje je cca 97x130 mm. Součástky pro povrchovou i vývodovou montáž jsou umístěny z jedné strany a celý plošný spoj je následně vsunut a mechanicky i elektricky na několika místech spojen s duralovou krabičkou.

Přední panel je tvořen subpanelem z jednostranného plošného spoje o rozměru cca 26 x 78 mm, kdy část součástek je opět vývodových a část SMD. Zde je již montáž klasická, tzn. SMD součástky ze strany měděné vrstvy. Je zde umístěn jednoduchý indikátor výstupního výkonu tvořený LM3914V a vlastní přepínač pro přepínání a indikaci zvoleného pásma. Dále zde nalezneme klasický lineární stabilizátor 7805 v pouzdře TO220, které upravíme tak, aby se nám v Svorkovnice jsou v miniaturním provedení, stejně tak LED diody jsou v provedení 3 mm. Na předním panelu se dále nachází kolébkový vypínač, který je opět v miniaturním provedení. Na DPS pro přední panel nezapomeneme umístit drátovou propojku mezi body A-B a stejně tak na DPS pro vlastní zesilovač je umístěna propojka mezi body C-D.

### **Navíjecí předpis cívek:**

- Tr1 – 1:4 (1závit s odbočkou pro předpětí a 2 závity skrz dvouotvorové jádro BN-43-202)
- Tr2 – 1:4 (1 závit s odbočkou pro napájení a 2 závity skrz dvouotvorové jádroBN-43-202)
- TL – 2-3 závitů na dvouotvorovém jádřeBN-43-202
- L1 – Amidon T68/2 jádro a 29 závitů CuL drátem 0,5 mm
- L2 – Amidon T68/2 jádro a 21 závitů CuL drátem 0,5 mm
- L3 – Amidon T68/2 jádro a 14 závitů CuL drátem 0,5 mm
- L4 – Amidon T68/2 jádro a 8 závitů CuL drátem 0,5 mm
- L5 – vzduchová cívka 8 závitů o vnitřním průměru 8 mm, délky 10mm
- L6 – vzduchová cívka 5 závitů o vnitřním průměru 8 mm, délky 6mm

### **Mechanická konstrukce:**

Z důvodu malých rozměrů a ucelené mechanické podoby, jsem při konstrukci zesilovače zvolil hliníkovou krabičku s hliníkovým předním a zadním panelem od firmy Hammond [2]. Samotná krabička s označením U-HA1455L1601 má vnější rozměry cca 30,5 x 100 x 165mm, uvnitř které je zasunuta deska plošných spojů. Přední panel s ovládáním a indikací je realizován jako subpanel a je pomocí distančních sloupků přichycen k přednímu panelu. Celkové mechanické provedení zesilovače je poměrně malé, ale při troše pečlivosti je možné vše do uvedené krabičky umístit.

### **Oživení zesilovače a naměřené parametry:**

Oživení zesilovače by nemělo činit velké problémy. Je vhodné ještě před začátkem ožívání nastavit výstupní dolní propusti na optimální přenosové parametry, tj především na minimální průchozí útlum. Toto se provede nejjednodušší pomocí VNA, kdy stlačováním nebo roztahováním závitů na cívkách nastavíme potřebnou indukčnost. Průchozí útlumy na pracovních kmitočtech by se mely pohybovat někde v rozmezí 0,2-0,4 dB. Pokud nemáme možnost měřit průchozí útlum dolních propustí, tak můžeme nastavovat na maximální výstupní výkon zesilovače. Následně vyzkoušíme klíčování zesilovače propojením na vývodu PTT a nastavíme vhodný klidový proud okolo 400 mA pro oba tranzistory. Připojíme malovýkonový generátor o výstupním výkonu cca 1 W a vyzkoušíme, jestli při přítomnosti nosné dojde k přepnutí zesilovače do režimu TX. Na výstupu je vhodné umístit spolehlivý W-

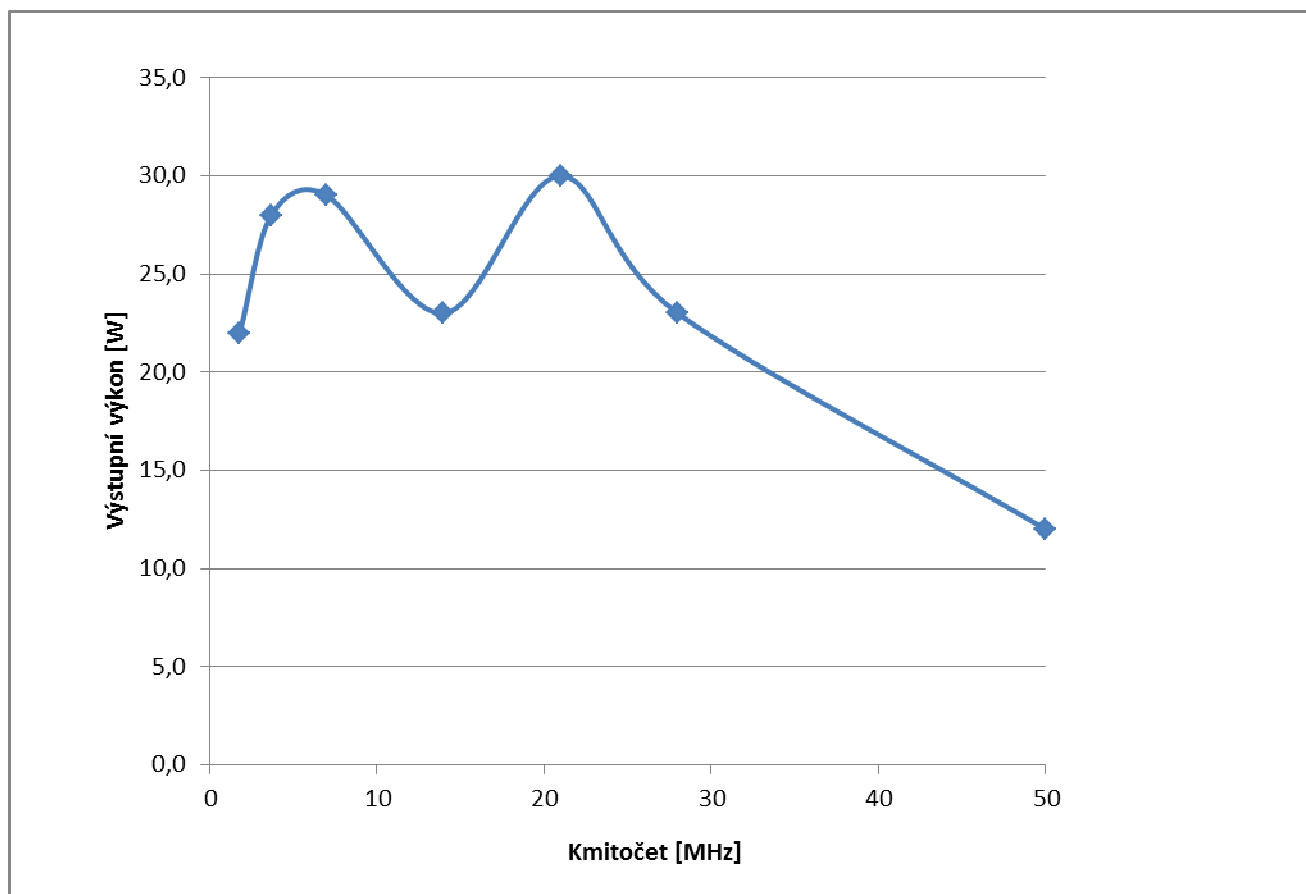
metr s umělou zátěží. Pokud zesilovač pracuje, zvýšíme budící výkon a kontrolujeme zároveň vstupní PSV, které by se pro všechny pásma pohybovat do cca hodnoty 2. Je to kompromisní přizpůsobení, ale i při použití FT817 by nemělo docházet k aktivaci interní ochrany indikující vysokou hodnotu výstupní PSV na všech pásmech. Při uvedeném budícím výkonu by se výstupní výkon měl pohybovat podle jednotlivých pásem od cca 20 do cca 30W, kdy na 50 MHz je potřeba počítat s mírně nižším výstupním výkonem okolo 12-15 W. Zároveň je vhodné kontrolovat napájecí proud, který by na žádném pásmu neměl překročit cca 5 A. Zesilovač byl podroben i základnímu měření pomocí spektrálního analyzátoru a kdy bylo měřeno potlačení vyšších harmonických produktů, které je pro uvedenou konstrukci a účel použití na dostatečné úrovni. Zároveň byla provedena i dvojtónová zkouška pro stanovení IMD zkreslení a bylo přibližně změřeno, že produkty IMD3 mají potlačení o více než 25 dB a IMD5 o více než 40 dB a zároveň ve vzdálenosti 15 kHz od pracovního kmitočtu je potlačení IMD produktů lepší než 60 dB. Tato měření byla provedena v pásmu 14 MHz. Opět se jedná o hodnoty, které pro daný účel vyhovují, ale určitě není vhodné takovýto zesilovač použít jako budící pro nějaký výkonnější koncový stupeň. V tomto ohledu moderní LDMOS tranzistorové koncové stupně s napájecím napětím 50 V vykazují výrazně lepší výsledky. V případě zájmu je možno dodat hotový a nastavený zesilovač podle uvedeného popisu. Všem, kdo se pustí do stavby, přeji radost z odvedené práce a hodně pěkných spojení.

## Odkazy:

[1]<https://www.i4wifi.cz/Baterie-a-nabijeni/LiFePO4-Battery-Pack-12V-7-5Ah-with-PCM.html>

[2]<http://www.gme.cz/hlinikova-krabicka-u-ha145511601-p622-979>

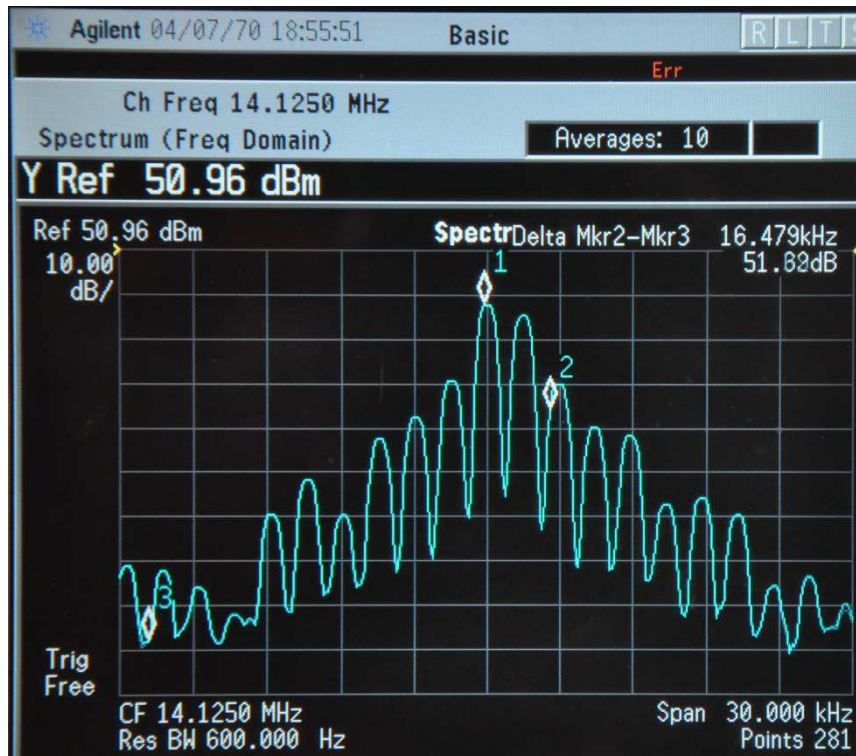
Pásmo (MHz)	Buzení (W)	Pout (W)	I(A)	U (V)	Příkon (W)	Účinnost (%)
1,8	2,5	22,0	4,3	13,0	55,9	39
3,7	2,5	28,0	3,7	13,0	48,1	58
7	2,5	29,0	3,8	13,0	49,4	59
14	2,5	23,0	3,9	13,0	50,7	45
21	2,5	30,0	4,6	13,0	59,8	50
28	2,5	23,0	3,3	13,0	42,9	54
50	2,5	12,0	2,5	13,0	32,5	37



Závislost výstupního výkonu na kmitočtu

### Seznam součástek:

R1, R3, R4, R5	5k6	C15, C16	1N MLCC 1kV
R2	470/1W	C17, C18	680pF MLCC 1kV
R6, R7	2k2	C19, C20	330pF MLCC 1kV
R8	3k3	C21, C22	100+10pF MLCC 1kV paralelně
R9-R16	1k5	C23, C24	56 pF MLCC 1kV
C1	2,2 pF	C25	22pF/100V
C2, C4, C7	10N	D1-D6	1N4148
C3	4uF	Po1	50k
C5, C6, C27, C28	1uF	Po2	25k
C8	100 pF/500V MICA	PO	7,5A/T
C9	10N MLCC/1kV	T1	BCP55-16
C10	100N MLCC/1kV	T2	BCP52-16
C11	470uF/25V	RE1, RE2	G5V-1 12V
C12	100uF/25V	RE3 - RE8	M4-12-H
C13, C14	2x1N MLCC 1kV paralelně	DPS	HF QRP PA by OK1GTH



Výstupní spektrum při dvojtónové zkoušce při maximálním výkonu.

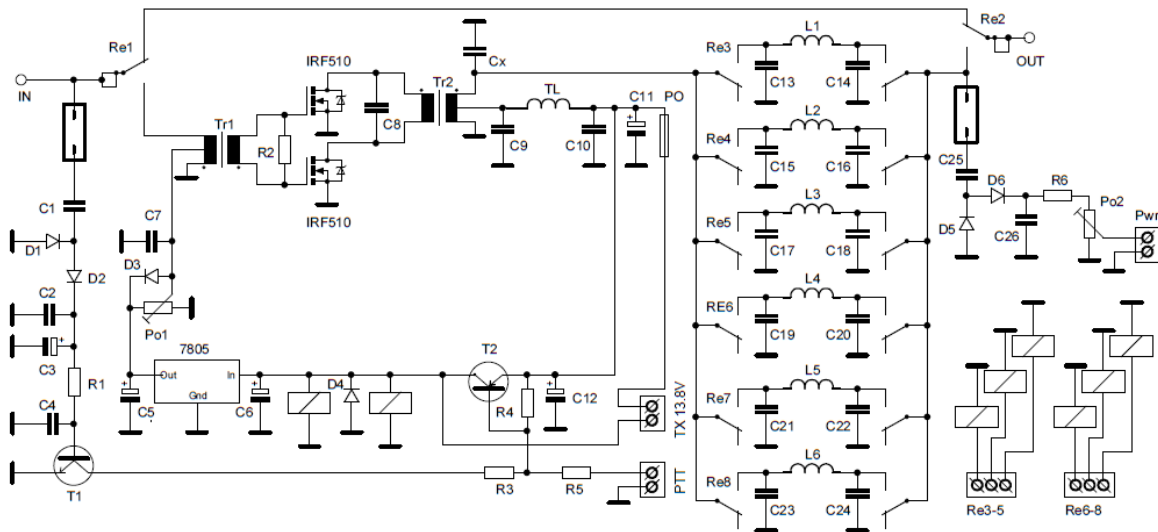


Schéma zapojení zesilovače

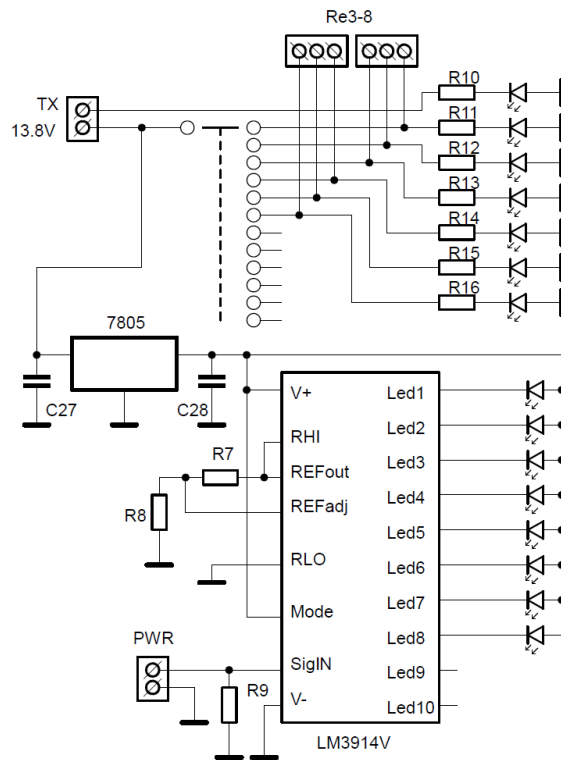
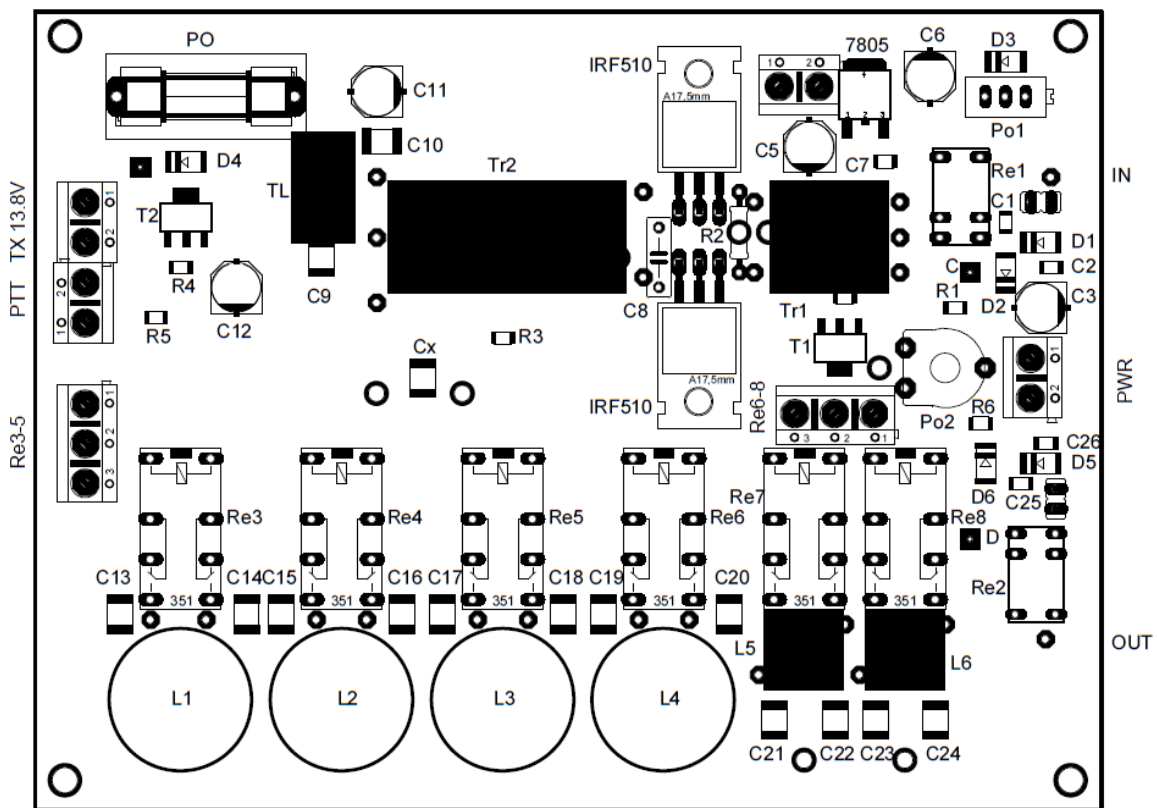
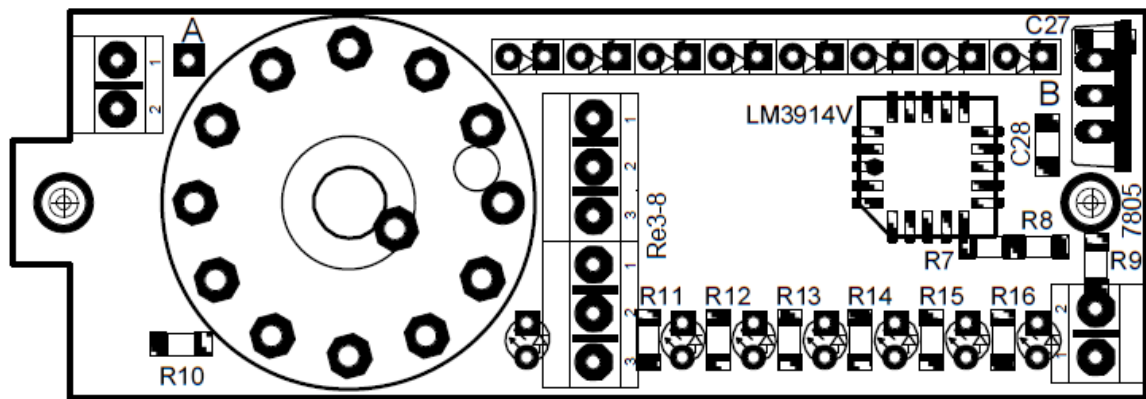


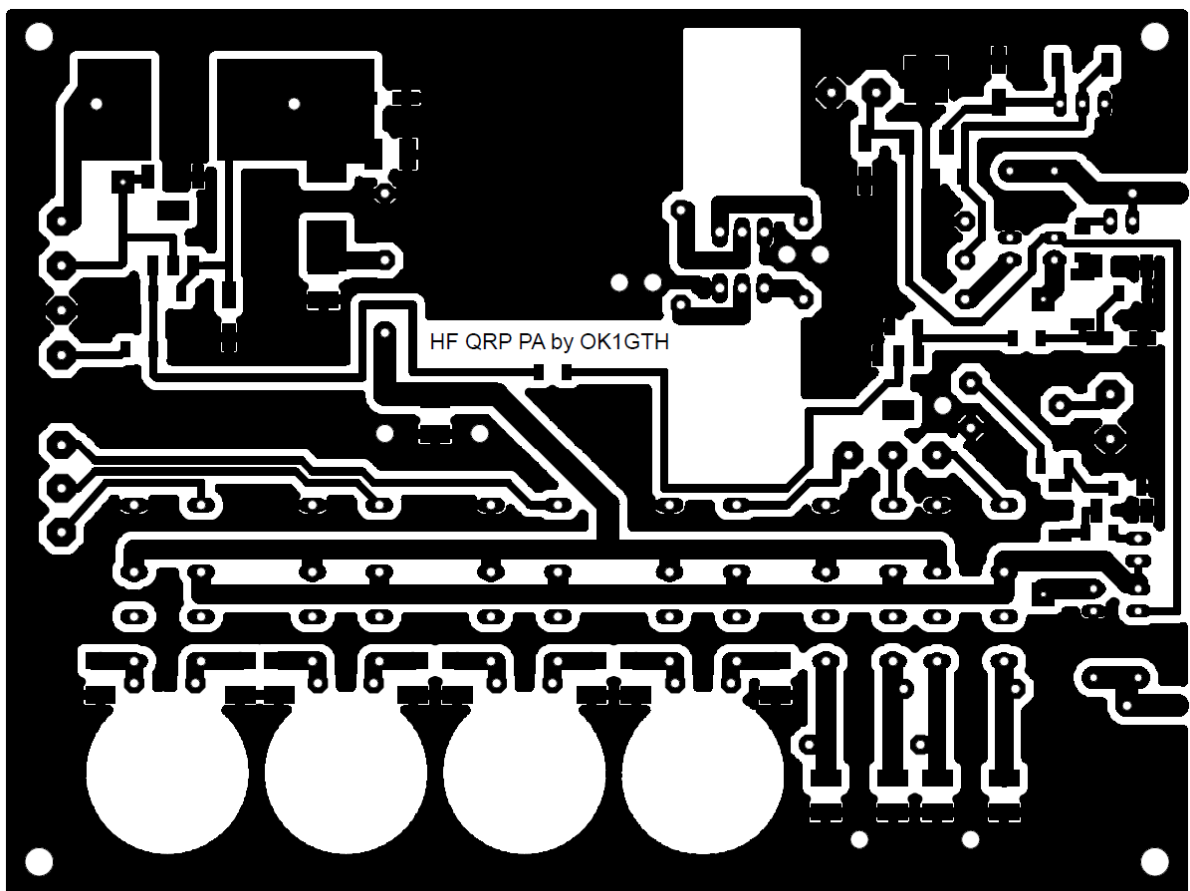
Schéma přední panel



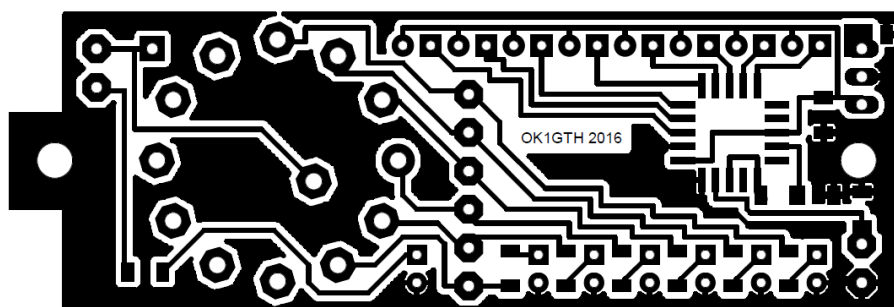
Osazovací plán DPS zesilovače



Osazovací plán DPS přední panel



Deska plošných spojů zesilovače



Deska plošných spojů přední panel





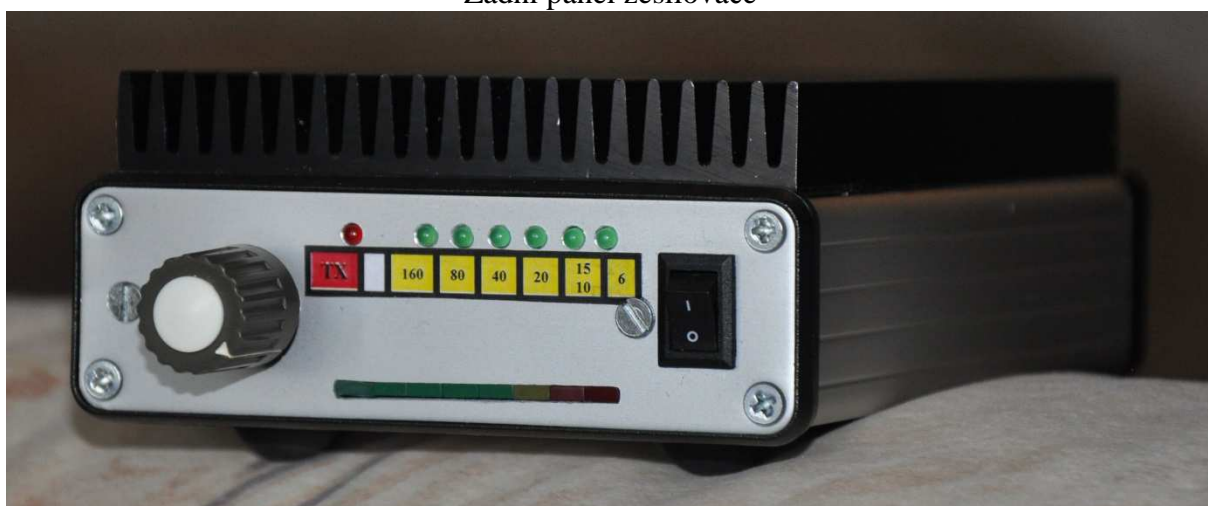
Provedení předního panelu zesilovače a subpanelu



Vnitřní uspořádání zesilovače



Zadní panel zesilovače



Finální provedení zesilovače