

Výkonový zesilovač pro 144 MHz o výkonu 500W s GI46b

Bc. Tomáš Kavalír OK1GTH (kavalir.t@seznam.cz , <http://ok1gth.nagano.cz>)

Uvedený zesilovač vznikl u nás v radioklubu OK1OUE v Plzni a je alternativním řešením k profesionálním výrobkům, určeným pro radioamatéry, které až na pár výjimek bývají finančně nedostupné. Celá konstrukce je popsána poměrně podrobně, aby stavbu zvládli i méně zkušení konstruktéři. Principiální schéma bylo odvozeno od známého konstruktéra YU1AW [1], kde tento autor zařadil vtipně tuto konstrukci pro „Lazy builders“ neboli po česku pro líné stavitele ☺ Řešení zdroje záporného předpětí bylo pro dobrou zkušenost použito od autora OM3LU a bylo publikováno v RŽ 3/00. Jako zesilovací prvek byla použita keramická trioda GI46b, která je v současné době ještě občas sehnatelná za rozumnou cenu na různých radioamatérských burzách. Tato elektronka je podobná známé triodě GI7Bt, akorát poskytuje o cca 200W větší výkon. Toto konstrukční řešení lze po drobných úpravách použít i pro tuto elektronku, jen musíme počítat s menším výstupním výkonem cca 300W.

Vzhledem k výstupnímu výkonu cca 500W PEP na 50 Ω zátěži je tento zesilovač vhodný konstruovat jako kompaktní, tzn. včetně anodového zdroje s vhodně dimenzovaným síťovým transformátorem v jedné krabici (v mém případě o rozměrech 385x360x230 mm). Dosahovaný výkon je kompromisem, který nezruinuje vaši peněženku a je ještě snadno realizovatelný i v domácích podmínkách. Také se zde až na pár výjimek nemusejí používat velmi speciální materiály a součásti, které pro výkony řádově KW jsou již podmínkou nikoliv pouze postačující ☺ Další navyšování výkonu, aby mělo nějaký reálnější smysl, by představovalo zvýšení výkonu o cca 6 dB , a to bychom se již dostali na hranici 2000W. Takovýto zesilovač je v amatérských podmínkách sice stále ještě realizovatelný (třeba 2x GS35), ale finanční náklady na zhotovení již dosahují závratných výšek. Uplatnění nacházejí téměř výhradně jen u špičkových soutěžních stanic, kde se ale zároveň kombinují s mnohaprvkovými anténními systémy navíc natočenými do různých směrů (multibeaming). Dalším nezanedbatelným úkolem již bývá potřeba dodatečného budiče, který je schopen dodat bez limitace a výrazných intermodulačních produktů cca stovky wattů. Vždy takovýto budící zesilovač provozujeme do oblasti jedno dB úrovně komprese, kterou je vhodné si změřit. Pozor tedy hlavně na tranzistorové koncové stupně napájené 12V, a platí to i pro 100W transceivery! Hrubým prohrěškem také často bývá špatné vstupní PSV následného koncového stupně, které musí být pro celou oblast budících výkonů menší než 1,5. Pro běžné smrtníky je proto snadnější jít cestou stohování antén, kdy již pouhým zdvojením dvou antén při zanedbání ztrát ve slučovači a za podmínky dobrého sfázování antén lze získat dvojnásobný efektivně vyzářený výkon ERP...

Zapojení tohoto koncového stupně je řešeno klasicky pro triody, tzn. zapojení s uzemněnou mřížkou a buzení do katody. Výhodou tohoto zapojení je snadná realizovatelnost bez větších nároků na neutralizaci a především dobrá stabilita takového koncového stupně. Nevýhodou je menší výkonový zisk a s tím související potřeba vyšších budících výkonů. Toto řešení se často používá i u výkonových koncových stupňů pro KV, kde se používá zapojení tetrod a pentod takzvaně jako „falešná“ trioda, kdy se elektricky spojují jednotlivé mřížky. Toto kompromisní řešení je ale realizovatelné pouze u některých, a to především u málo strmých elektronek (GU50, GU81, SRS457, RE400...) Výstupní anodový obvod je u tohoto zesilovače realizován cívkou a řešen jako půlvlnný. Toto konstrukční řešení umožňuje podstatné zjednodušení celé konstrukce bez znatelného omezení dosažitelných parametrů. Dalším hojně využívaným typem výstupního anodového obvodu je tzv. stripline. Podstatným

omezením je speciální konstrukční řešení, které je po mechanické stránce velmi náročné a jistě se neobejdeme bez dobrého soustružníka a obchodu s teflonovými výrobky ☺ Taktéž vlastní uvádění do provozu bývá obecně náročnější a mohou se objevit těžko řešitelné problémy se vznikající korónou neboli samostatný doutnavý výboj. Tato koróna navíc může být stejnosměrná nebo vysokofrekvenční a je dalším častým zdrojem rušení, který takovýto koncový stupeň může produkovat. Jistě tak okolním radioamatérům ve velkých závodech neuděláte radost ☺ Nezanedbatelné může být i výrazné snížení účinnosti způsobené tímto doutnavým výbojem. Vazba do antény je řešena jako kapacitní, která se mnohem snáze realizuje a především nastavuje na rozdíl od vazby induktivní, která se využívá u čtvrtvlnných anodových obvodů. Otázkou je horší potlačení harmonických produktů u kapacitní vazby, proto zvláště pokud bydlíte v husté zástavbě, měli byste automaticky přemýšlet i o vhodném dolnoproputném filtru. Celkem snadno realizovatelná varianta je popsána třeba [2]. Otázkou je samozřejmě nutnost speciálních měřících přístrojů, kdy nejlépe se nám bude filtr nastavovat třeba spektrálním analyzátozem s vestavěným tracking generátorem, kdy filtr nastavíme roztahováním a stlačováním cívek na nejmenší průchozí útlum v pásmu 144 MHz a zároveň na největší potlačení vyšších kmitočtů. Jelikož se jedná o keramickou triodu, je potřeba realizovat speciální systém chlazení. Chladič elektronky (radiátor) tak musí být umístěn ve vzduchové trati, do které je buď vtlačován nebo z ní odsáván vzduch. První řešení pro větší výkonové ztráty především u větších elektronek je účinnější, ale je nutností použít turbínu. Druhý způsob umožňuje použít k odsávání běžně dostupný mezaxiál, kterým je možné vzduch s dostatečnou účinností odsávat. U našeho řešení se spokojíme s kompromisem a použijeme dostatečně výkonný ventilátor z počítačového zdroje, který netradičně použijeme způsobem, aby vzduch „tlačil“ do anodového boxu a následně skrz „komínek“ elektronky. Toto řešení není sice ideální, ale praxe ukázala, že ani při dlouhodobém provozu s plným výkonem nepřesahuje teplota výstupního vzduchu cca 75 °C. Důležité je, aby teplota výstupního vzduchu nepřesahovala 90 °C, což by naznačovalo špatné chlazení a následné přehřívání elektronky, což by mohlo vést až k její destrukci. Jelikož se jedná o keramickou triodu, tak k dlouhodobé životnosti nepřidává ani podchlazování elektronky, kdy prudké změny teploty mezi režimy příjem a vysílání způsobuje rozdílné dilatace materiálů a dochází tak k mechanickému namáhání zátavů kov – keramika. V kritickém okamžiku tak může dojít až k mechanické destrukci, případně k průniku vzduchu do elektronky se všemi důsledky! Pamatujte, že uvedené elektronky (GI46b a více rozšířená GI7Bt) jsou i několik desítek let staré, převážně z armády bývalého východního bloku, a že do budoucna jich bude čím dále tím méně a novější náhrady v podobě 3CX400 (Eimac) jsou zase v cenových relacích stovek dolarů... Velmi vhodná je tak alespoň základní stabilizace teploty realizovaná dvoustupňovým řízením otáček, kdy v režimu RX je zapnut ventilátor se sníženými otáčkami a při přechodu na TX vhodné relé překlenuje srážecí odpor. Při intenzivním závodním provozu je navíc možné tento kontakt relé nahradit kolébkovým vypínačem umístěným na předním panelu a chladit tak elektronku maximálním proudem vzduchu. Složitějším způsobem je možné realizovat regulátor otáček v závislosti na teplotě vystupujícího vzduchu a udržovat tak přibližně konstantní teplotu při obou režimech. Výhodu tady v tom mají majitelé půlvlnného anodového obvodu realizovaného jako koaxiální rezonátor, kdy potřebnou stabilizaci teploty za ně obstarává nejčastěji měděná trubka nasazená přímo na radiátoru elektronky, která svou velkou tepelnou kapacitou nedovolí prudké změny teploty. Pokud seženeme nové elektronky, případně dlouho nepoužívané, tak je samozřejmě nutné tyto elektronky takzvaně vygetrovat. Nejjednodušeji se to provádí tak, že necháme elektronku dostatečně dlouho žhavit (12 až 24h), případně ji necháme procházet malý anodový proud (jednotky mA) při sníženém anodovém napětí (stovky V). Zároveň musíme sledovat teplotu elektronky, abychom nepřekročili maximální dovolenou teplotu a nedošlo k její destrukci. Dobrým prohrátím dojde k pohlcení plynů nedokonalého vakua getrem a k opětovné správné funkci elektronky. Nikdy

nezapínejte vysoké napětí u elektronky, u které si nejste jisti, že byla správně vyetrována. Výsledkem by byl pravděpodobně elektrický průraz mezi anodou a nejbližší mřížkou, kdy dojde k lokálnímu přetížení drobné struktury mřížky a k její částečné destrukci. Myslete na to, že i poměrně velmi výkonné keramické triody a tetrody o anodové ztrátě několika stovek wattů mývají dimenzovány mřížky na výkonovou ztrátu jednotek až desítek W! Tím, že se jedná o zesilovač zapojený s uzemněnou mřížkou, je potřeba, aby zesilovačem v režimu RX netekl žádný anodový proud. Toto je realizovatelné opět několika způsoby. Nejednodušeji sériově zapojeným odporem v katodové části, na kterém se vytvoří potřebné záporné předpětí pro uzavření elektronky (desítky V). Elegantnější a trochu náročnější je řešení popsané i v tomto zesilovači, kdy je na menším síťovém transformátoru mimo žhavicího napětí, napětí pro ovládání a elektroniku navíc přivínuto napětí cca 30 V_{eff}, které je následně zvlášť usměrněno a filtrováno. Po té je sečteno s usměrněným napětím pro elektroniku a ovládání a tím je vytvořeno potřebné předpětí cca 60V pro úplné uzavření elektronky. Myslete na to, že pokud by za provozu došlo ke ztrátě tohoto napětí, dojde k úplnému otevření elektronky při plném anodovém napětí a během několika vteřin k jejímu zničení... Toto předpětí je přivedeno na katodu elektronky přes odpor R14, který samozřejmě vhodně výkonově dimenzujeme na potřebný ztrátový výkon, který vypočteme jako součin procházejícího proudu a úbytku napětí na součástce ☺. Při režimu TX sepneme tranzistor Tr3 a tím připojíme řetězec vhodně poskládaných zenerových diod, jejíž volbou nastavíme klidový proud. Pokud potřebujeme „jemnější“ rozsah, použijeme klasické křemíkové diody do série, kdy v propustném směru je úbytek napětí cca 0,6 V. Klidovým proudem volíme vhodnou pracovní třídu a nastavíme ho na cca 70 – 80 mA. Dalším řešením je použití regulačního tranzistoru, který otevíráme potenciometrem z vhodného stabilizovaného zdroje předpětí, a tím můžeme plynule nastavit klidový proud...

Popis elektrické části:

Schéma napájecí části je na obr.1 Naprosto kritické je použití třívodičového kabelu, vše musíme dobře nulovat!!! Pokud si nejsme jisti, případně pokud nemáme příslušný paragraf vyhlášky číslo 50/1978, necháme si vše zkontrolovat odborníkem!!! Mějte stále na mysli, že se uvnitř zesilovače bude pracovat s životu nebezpečným napětím 2,2 KV navíc podpořené dostatečně vysokou kapacitou, kde se chyba stane opravdu „jen“ jednou. Z minulosti jsou známy bohužel i tragické případy! Do stavby by se neměli pustit úplní začátečníci. Autor tohoto článku nenese žádnou odpovědnost za škody na majetku, případně ublížení na zdraví při stavbě a používání zesilovače. Myslete na své životy a životy lidí, kteří mohou přijít do blízkosti vašeho zesilovače, nezapomínejte vše vhodně zakrytovat a zabezpečit!

Napájení do zesilovače přivádíme vhodně dimenzovaným kabelem. Jako zásuvka je použit běžně dostupný konektor z počítačových zdrojů. Za ním použijeme vhodný síťový filtr, který zabráni rušení přicházející ze sítě a naopak. V nouzi postačí kondenzátory 2500 pF typu Y zapojené proti zemi na napětí alespoň 500V. Nezapomeneme do přívodu umístit síťovou pojistku 6A. Dále následuje síťový vypínač, kde se nejlépe hodí robustnější kolébkový typ i s podsvícením. Jako trafo pro žhavení, elektroniku, předpětí vyhoví transformátor cca 100VA. Anodový transformátor dimenzujeme na cca 1000 VA, kde pro větší bezpečnost a snadnější realizaci usměrňovače je sekundární vinutí složeno ze tří sekcí po 500V_{eff}, které po usměrnění a filtraci se sečtou a výsledné anodové napětí je tak cca 2,1 – 2,2 KV naprázdno. Anodový transformátor zapínáme zvlášť nejlépe pomocí jističe na proud cca 6A. Velmi vhodné pro tuto výkonovou kategorii by bylo použití tzv. soft startéru, který omezí nárazový proud. V mé případě není použit, ale již občas dochází při zapínání k vypadnutí jističe. Pro usměrnění jsou použity běžné můstkové usměrňovače (kostky) na napětí alespoň 1000V. Elektrolytické kondenzátory pro filtraci byly použity dostupné ze spínaných zdrojů na napětí

400V, kdy spojením dvou kondenzátorů do série získáme potřebnou napěťovou odolnost i s nutnou rezervou. Kapacita je vhodná od 220 uF výše. Velmi nutné jsou paralelní odpory ke kondenzátorům, které zajišťují rovnoměrné rozložení napětí, a zároveň po odpojení napájení zajistí bezpečné vybití. Dále jsou jednotlivé sekce sečteny pro vytvoření potřebného napětí 2,1 – 2,2 KV. Toto napětí je dále blokováno kondenzátorem C19, který by měl být alespoň na 4KV. Velmi nutné je do obvodu vysokého napětí zařadit do série tzv. vybuchovací odpor R13, který při případném průrazu v elektronce omezí zkratový proud. Do záporné větve umístíme měřicí přístroj 600mA pro měření anodového proudu. Zapnutí anodového transformátoru signalizuje LED dioda LD1, umístěná i s jednocestným usměrňovačem a omezovacím odporem na primární straně transformátoru. Žhavicí napětí pro elektronku je nutné dodržet 12,6 V při připojení elektronky v toleranci do 5 %. Pomocná napětí 25 a 15 Veff. jsou dále usměrněna a filtrována. Napětí pro ovládání a signalizaci je dále stabilizováno třibodovým stabilizátorem 78S12 na hodnotu 12V, který je určen pro proud 2A. Vzhledem k výkonové ztrátě je nutné tento stabilizátor umístit na vhodně dimenzovaný chladič. Ovládací logika (na obr.2) je řešena poměrně jednoduše a umožňuje zesilovač ovládat jak kladným napětím +7 ..12 V (rdst. Neskom BMT 226 atd.), tak i běžnějším klíčováním proti zemi (FT847 atd.). Zapnutí zesilovače signalizuje LED dioda LD2 zelené barvy a LED dioda LD3 červené barvy indikuje stav TX. Relé Re3 při vysílání překlenuje odpor R23, a tím zvýší otáčky chladicího ventilátoru. Toto samé můžeme provést i vypínačem ventilátor On, který umístíme na přední panel a můžeme tak v případě potřeby zvýšit účinek chlazení. Dioda D4 je ochranná a chrání tranzistor Tr2 při vypínání, kdy vlivem vypnutí indukčnosti dochází ke značnému přepětí v opačné polaritě. Pro indikaci výstupního výkonu je dovnitř anodového boxu umístěna malá měřicí anténka z 4 cm drátu. Signál z této anténky je usměrněn vhodnou diodou a filtrován RC článkem R24, C28. Pro měření použijeme ručkový měřicí přístroj 100 uA. Pro zvýšení komfortu je v zesilovači instalován jednoduchý indikátor vybití s 12 LED diodami na bázi integrovaného obvodu LB1412, u kterého můžeme vypínačem on/off zapnout paměť krátkodobých špiček. Užitečnou pomůckou je i vestavěný teploměr, který umožňuje okamžité sledování teploty vycházejícího vzduchu z komínku. Jako čidlo teploty je použit obvod LM35 v pouzdru TO92, jehož výstupem je již přímo napětí úměrné teplotě, konkrétně 10 mV / C°. Toto napětí je děličem 1:10 převedeno na úroveň, kterou již můžeme snadno indikovat přímo digitálním panelovým V-metrem 200mV, který nám bude již ukazovat konkrétní teplotu ve stupních C°. Výhodou tohoto zapojení je, že se u něho nic nenastavuje a přesnost měření je pro náš účel dostatečná. Elektrické zapojení vlastního zesilovače je na obr.3. Vstupní signál je připojen koaxiálním kabelem z Re1 na vstupní obvod C1, C2, L1, kterým přizpůsobujeme odlišnou impedanci elektronky k výstupu transceiveru. Jako relé Re1 vyhoví například běžné QN 599 26 z radiostanic VR, které je praxí odzkoušeno a umožňuje spínat až výkony okolo 100W na 144 MHz. Toto relé je vhodné umístit přímo do spodní části anodového boxu k přizpůsobovacímu obvodu. Jako relé Re2 musíme bezpodmínečně použít robustní koaxiální relé nejlépe s N-konektory, které přenesou alespoň 500W na 144 MHz. Kondenzátor C3 je běžný keramický na 500V a kondenzátory C4 a C5 jsou průchodkového typu, kterými se přivádí žhavicí napětí. Kondenzátor Cvaz je zde z důvodu snazší realizace kondenzátoru Cant a Czem, kdy se nemusejí použít až tak velké mezery. V původním zapojení nebyl použit a docházelo k hoření doutnavého korónového výboje na hranách kondenzátorů, což po čase vedlo k prohoření izolační teflonové folie a následnému průrazu. Tento kondenzátor musí být velmi kvalitní, schopný přenést požadovaný výkon. Kapacita alespoň 1nF / 3 KV. Ruské keramické diskové kondenzátory jsou pro tento účel přímo konstruované. Kondenzátory Cant a Czem jsou konstrukčního typu a jejich výroba bude popsána později. Velmi důležitý je blokový kondenzátor Cblok, který pro co nejmenší indukčnost je realizován z jednostranného plošného z materiálu FR4, který má dostatečnou elektrickou pevnost. Jeho rozměr je alespoň 100 x 80 mm a je přímo přišroubován k bokům

anodového boxu. Vyhněte se paralelním spojováním diskových kondenzátorů, což je velmi častá chyba, protože uvnitř vznikne závit na krátko, který odsává pracně získanou vf. energii a mění ji v teplo. V mém zapojení není použit pro přivedení VN napětí konektor, protože to je také častý zdroj problémů. Vysoké napětí je přímo do boxu zavedeno kvalitním VN kablíkem, který je přímo přiletován na blokovací kondenzátor Cblok.

Popis mechanické části:

Nejdůležitější součástí celého zesilovače je anodový box, ve kterém je umístěna elektronika a celý anodový obvod. Při konstrukci se vyhněte materiálům jako je mosaz a železo, které mají velmi malou vodivost. Nejvhodnějším materiálem pro konstrukci tak zůstává měď a hliník. Dobrých výsledků se dosáhlo i při konstrukci anodového boxu z kuprextitu, ale musíme ho velmi dobře všude proletovat. Elegantnější je ale použít na výrobu 2mm tlustý hliníkový plech, který nastříháme na vhodné rozměry a v rozích spojíme úhelníky. Materiál lze levně zakoupit třeba zde [3]. Celkové schéma i s rozměry celého boxu jsou na obr.5 při pohledu z boku a na obr.6 při pohledu shora. Zajímavé je technické řešení kondenzátorů Czem a Cant, které bez problémů vyhoví pro přenášený výkon. Kondenzátor Cant je nastaven na pevně na maximum výkonu. Důležité je vyvedení ladění kondenzátoru Czem, kterým se ladí rezonanční obvod. Jeho realizace spolu s ostatními díly je na obr.7. Jako nosný prvek prostředního sloupku je nutné použít teflon, který jako jeden z mála plastů vyhoví z hlediska vf. ztrát. Šroubky pro připevnění měděného plechu ve tvaru U jsou použity samořezné, stejně tak i na uchycení tohoto sloupku ke dnu boxu. Tyč ovládající ladící kondenzátor je o průměru 6 mm, stejně tak jako standardně vyráběné kleštinové přístrojové knoflíky. Na druhé straně je tyč osoustružena a je zde vyříznut závit M3 pro jemnější ovládání. Ladící tyč prochází do boxu průchodkou a z každé strany je zajištěna vhodnou pérovkou proti posuvu. Mezi desky konstrukčních kondenzátorů Czem a Cant je vhodné vložit teflonovou folii o tloušťce 1mm. Na komínek, ve kterém je umístěna elektronika, musíme použít materiál, který dobře snáší vyšší teploty. Opět se osvědčil teflon, případně silikonová guma, která se dá velmi dobře nařezat a slepit. Pod chladič elektronky je upevněn měděný plech o tloušťce 1mm, který je vhodně naohýbán tak, aby k němu bylo možné připevnit vazební kondenzátor. Z tohoto samého plechu je vyroben i úchyt cívky, kterým je cívka spojena na jedné straně s vazebním kondenzátorem a na druhé straně s prostředním sloupkem. Celý anodový obvod je nutné realizovat tak, aby bylo co největší Q nezatížené (lze dosáhnout 600 – 700 i více), protože poměr Q nezatížené / Q provozní určuje výslednou účinnost a měl by být větší jak 10, raději však 20. Výhodou pásma 144 MHz je ještě relativně nízké provozní Q , proto se na rozdíl od vyšších pásem nekladou tak vysoké nároky na vlastní anodový obvod a box. Především je nutné se vyvarovat jakýmkoliv závitům na krátko a do anodového boxu neumisťovat nic, co tam nepatří. Anodovou cívku je vhodné navinout z měděné, případně ještě postříbřené trubičky o průměru alespoň 5mm. U takto realizovaného obvodu a boxu můžeme počítat s účinností cca 55 %.

Navíjecí předpisy cívek:

Cívka L1 ve vstupním přizpůsobovacím obvodu je tvořena jedním závitem z měděného drátu o průměru 2 mm, její vnitřní průměr je 25 mm a délka je 10 mm. Tlumivky Tl1, Tl2 a Tl3 jsou řešeny jako čtvrtvlnné, navinuté smaltovaným vodičem o průměru 1 mm. Vnitřní průměr cívky je 10 mm, délka je 25 mm a počet závitů je 15. Vlastní anodová cívka je tvořena dobře vyleštěnou měděnou trubičkou o průměru 5 mm. V praxi nedocházelo k větším rozdílům mezi postříbřenou a nepostříbřenou trubičkou. Její vnitřní průměr je 50mm a je roztažena do délky 30mm. Počet závitů je 1,5. Je vhodné veškeré spoje související s anodovým obvodem,

především napojení anodové cívky na prostřední sloupek, zajistit provrtáním a sešroubováním šroubkem M3 a poté vše důkladně proletovat. Myslete na to, že zde tečou poměrně velké vf. proudy.

Oživení zesilovače:

Oživování zesilovače provádíme po částech, kdy nejdříve zprovozníme vlastní anodový zdroj. Změříme jednotlivé sekce a pokud máme VN sondu, tak i výsledné anodové napětí 2,2 KV. Pokud použijete dlouho nepoužité starší elektrolytické kondenzátory, je vhodné každý kondenzátor přezkoušet, zdali nemá příliš veliký zbytkový proud. Anodový zdroj opět vypneme a počkáme dostatečně dlouho dobu, než dojde k vybití kondenzátorů. Vždy je pak vhodné vše ještě opatrně dokonale vybit zkratovacím vodičem a nechat ho po dobu úprav vyzkratovaný. Toto provádíme bez připojené elektronky. Dalším krokem již připojíme elektronku a změříme žhavicí napětí, zda je skutečně 12,6 V v toleranci $\pm 5\%$. Dále kontrolujeme potřebné předpětí, které uzavírá elektronku. Mělo by být na katodě proti zemi cca 60V. Zkusíme zesilovač přepnout do polohy TX a kontrolujeme přepnutí všech potřebných relátek. Zároveň kontrolujeme, zda došlo k poklesu předpětí, které si nastavujeme vhodným výběrem zenerových diod ZD2, ZD3 a diody D3. Začneme na hodnotě cca. 25 V. Pokud vše funguje tak, jak má, necháme elektronku dobře nažhavit (minimálně 3min) a připojíme anodové napětí. Zesilovač zaklíčujeme a sledujeme anodový proud. Vhodným výběrem diod nastavíme klidový proud na cca 80 mA. Postupujeme velmi opatrně a před každým zásahem vždy zesilovač vypneme a necháme vybit kondenzátory. Opatrnost se vyplácí, zdraví máte jen jedno. V některých konstrukcích je vhodné tzv. předladění bez připojeného anodového napětí. Toto se provádí připojením radiostanice (generátoru) při malém výkonu (1 W) přes zatěžovací odpor 50 Ω do výstupního konektoru přes zaklíčované relé. Do anodového boxu poblíž anodového obvodu umístíme jednoduchou diodovou sondu připojenou nejlépe k analogovému multimetru (PU120). Rozladěním radiostanice najdeme maximum, které by mělo ležet v pásmu 144 MHz. Pokud máme anténní vazbu naladěnou na minimum, můžeme tak snadno z poměru změřeného kmitočtu, kde bylo naměřeno maximum a z rozdílů kmitočtů, kde došlo k poklesu na cca 70 % výchylky vypočítat i Q naprázdno...Mě se osvědčila ještě jednodušší metoda, kdy jsem výstup zesilovače zatížil dostatečně dimenzovanou umělou zátěží s připojeným W-metrem a do vstupu připojil radiostanici přes PSV metr. Jako radiostanice se nejlépe hodí typ, který umožňuje vysílat i mimo radioamatérské pásmo 144 MHz a její výstupní výkon je cca 1 W. Přeladěním radiostanice jsem našel maximum výkonu. Laděním kondenzátoru Czem se snažíme, aby maximum leželo v amatérském pásmu. Pokud se nám toto nedaří, musíme zkusit změnit rozměry cívky, nejdříve stlačováním a roztahováním cívky, později případnou změnou počtu závitů. Anténní vazbu nastavíme na maximum výstupního výkonu a současně se snažíme nastavit co nejlepší vstupní PSV. Zkusíme postupně zvyšovat budící výkon a současně opět nastavujeme vstup na nejlepší PSV a anodový obvod na maximální výkon. Ladění vyžaduje chladnou hlavu, dostatek prostoru a času. Pokud jsme úspěšní, měl by se výstupní výkon pohybovat okolo 500 W při buzení cca 40 W a vstupní PSV by mělo být pro všechny rozsahy buzení menší než 1,5. Anodový proud by měl přibližně odpovídat 100 mA na 100 W. Neměli bychom dlouhodobě překračovat hodnotu 600 mA, která by vedla k výraznému snížení životnosti cenné elektronky. Při buzení okolo 50 W je zesilovač schopen odevzdat do limitace okolo 600W PEP. Ke konci kontrolujeme i účinnost zesilovače, která by měla být okolo 55 %. Pokud se nám nedaří dosáhnout dobré účinnosti, tak problém bude pravděpodobně v malém nezatíženém Q dutiny. Možnou, ale méně pravděpodobnou variantou může být i špatná elektronka. Otázkou je samozřejmě, jak přesně jsme schopni měřit především výkon výstupní, který nám největším způsobem ovlivňuje výslednou chybu

měření účinnosti, protože příkon jsme schopni většinou určit s dostatečnou přesností... Celé ožívování zesilovače končíme přibližnou kalibrací jednoduchého měřiče výkonu, který si vhodně ocejchujeme, aby nám stupnice vyhovovala. Nastavíme i indikátor vybuzení tak, aby při maximálním výkonu se rozsvítila předposlední LED dioda. Kdo má možnost přístupu ke spektrálnímu analyzátoru, tak je velmi vhodné si nechat změřit harmonické produkty na výstupu zesilovače. Toto provádíme kapacitní vazbou měřící anténkou, nikdy nepřipojujeme přímo na výstup spektrální analyzátor, protože většina těchto přístrojů má omezen vstupní výkon na 30 dBm, což odpovídá 1W! Při každém uvedení zesilovače je vhodné po nažhavení a zapnutí anodového zdroje vizuálně zkontrolovat anodový proud při minimálním budícím výkonu při ssb. Dále je nutno pak přepnout na CW a postupně zvyšovat budící výkon a doladovat kondenzátorem Czem na maximum výkonu a minimum anodového proudu...

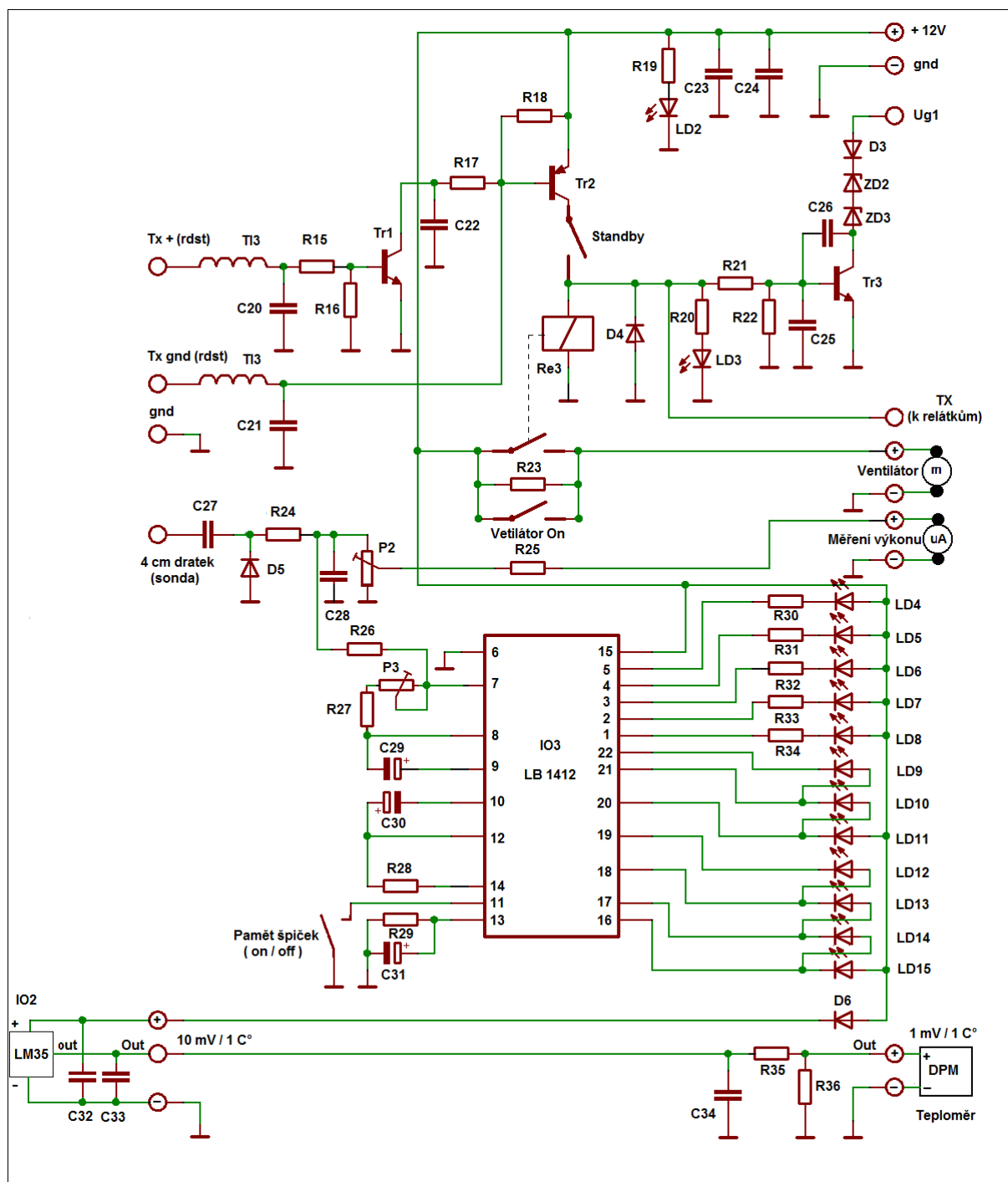
Vhodná vylepšení:

Velmi vhodné je do zesilovače umístit časové relé, které nám indikací LED diodou ukáže, že již můžeme zapnout anodové napětí jističem. Je možné také využít stykače, který nám již sám zapne anodové napětí po určené době. Já jsem u své konstrukce využil přebytečné kontakty časového relé, které využívám k blokování koncového stupně pro TX, dokud není splněna podmínka 3min žhavení. Zároveň dalšími kontakty spouštím chladicí ventilátor opět až po splnění podmínky nažhavení. Toto časové relé je možné zakoupit, případně udělat jednoduchý časovač třeba s IO 555. Dalším užitečným doplňkem je použití obvodu pro omezení nárazového proudu, který je možné si vyrobit, případně zakoupit stavebnici nebo už celý oživený modu, l a tento zapojíme do série s primárním vinutím anodového transformátoru a zabráníme tak občasnému vypadávání jističe při zapínání, když se zrovna trefíme to špičky síťového napětí. Velikost anodového transformátoru spolu s filtračními kondenzátory na sekundární straně je již na hraně, kdy je omezení nárazového proudu doporučeno. Pro větší výkony je tento obvod nutností! Velmi užitečnou pomůckou se ukázal vestavěný indikátor vybuzení, který umožňuje odhalení problémů souvisejících s případným zakmitáváním zesilovače nebo prolézáním vf. do mikrofonní cesty radiostanice, kdy je toto snadno postřehnutelné na sloupci LED diod a navíc to vypadá i hezky ☺ Užitečný je i vestavěný teploměr, zvláště pokud zesilovač provozujeme v závodech a často ho převážíme, okamžitě tak na display vidíme aktuální teplotu vystupujícího vzduchu z komínku. V mém případě jsem nepoužil měření anodového napětí, ale ve schématu je naznačeno možné řešení. Populární je také podsvětlení měřících přístrojů, které vypadá nejen esteticky, ale při provozu ve tmě umožňuje neustále sledovat okamžité parametry zesilovače. V mém případě jsem pro podsvětlení použil dostupné 3mm LED diody modré barvy, které jsou zmatněny jemným brusným papírem a výsledkem tak je rovnoměrnější rozložení intenzity podsvětlení. A proč modrá? Protože je v současné době použita snad ve všech výrobcích spotřební elektroniky a nelíbí se asi jen mému kamarádovi Jirkovi OK1RW. ☺

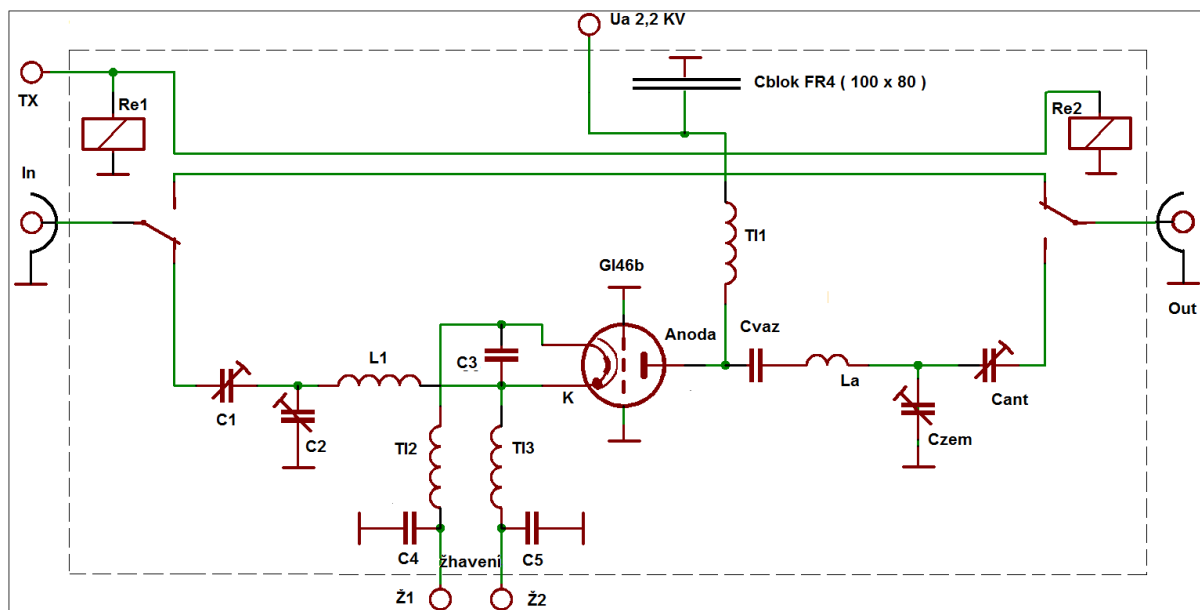
Závěr

Uvedený zesilovač vznikl modifikací zesilovače s elektronkou GI7bt, který jsem postavil před několika lety. V současné době tato popsaná varianta bez sebemenších problémů má za sebou několik desítek hodin ostrého provozu v různých tvrdých podmínkách a ke spokojenosti uživatelů odevzdává dostatek výkonu i pro DX spojení. S tímto zesilovačem bylo během prosincových tropo podmínek minulého roku pracováno s několika stanicemi na vzdálenost větší než 1100 km. Každý, kdo se rozhodne uvedený zesilovač postavit, by měl začít především sháněním vhodné literatury a informací... Vhodným zdrojem je dnes např. internet, viz [1], [4] a [5]. Ale pozor, ne vše, co zde najdete, skutečně funguje ☺. Velice děkuji

Obr. 1 – Celkové schéma zdroje.



Obr. 2 – Schéma ovládací části + indikátor vybuzení.

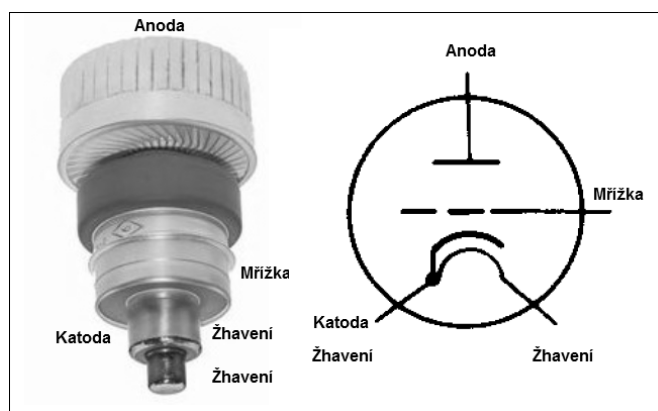


Obr. 3 – Schéma výkonového zesilovače.

Seznam součástek:

Rsít.....	66k / 1W
R1 – R6.....	100k / 4W
R7 – R11.....	500k / 1W
R12.....	3k3 / 0,5W
R13.....	10R / 4W (metalizovaný)
R14.....	4k7 / 1W
R15.....	3k3 / 0,5W
R16.....	1k / 0,5W
R17, R18.....	5k6 / 0,5W
R19, R20,	1k / 0,5W
R21, R22, R26...	10k / 0,5W
R23.....	40R / 1W
R24, R25.....	1k / 0,5W
R27, R28.....	3k3 / 0,5W
R29.....	470k / 0,5W
R30 – R34.....	1k / 0,5W
R35.....	paralelně 2x18k / 0,5W 1%
R36.....	1k / 0,5W 1%
P1, P2.....	10k – trimr
P3.....	50k - trimr
Cblok.....	FR4 100 x 80 mm
Cvaz.....	1 nF / 3KV
C1.....	5 – 15 pF vzduchový trimr
C2.....	3 – 8,5 pF vzduchový trimr
C3.....	1 nF / 500V keramický
C4, C5.....	1 nF průchodkový kondenzátor
C6, C7.....	2500 pF / 500V typ Y
C8, C9.....	2200 uF / 50V
C10 – C15.....	220 uF / 400V
C16 – C17.....	100 nF keramický

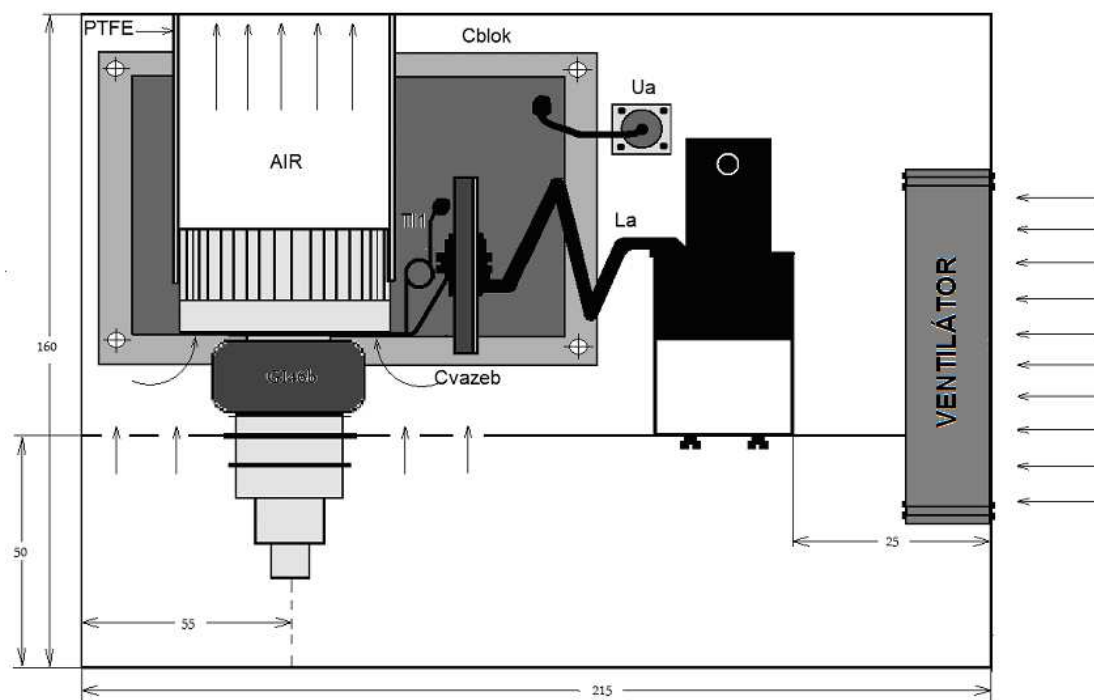
C18.....100 pF / 500V keramický
 C19.....500 – 1000 pF / 4KV
 C20 – C23.....1 nF keramický
 C24.....100 nF keramický
 C25, C26, C28..... 1 nF keramický
 C27.....47 pF keramický
 C29.....1 uF / 16 V
 C30.....4u7 / 16 V
 C31.....2u2 / 16 V
 C32 – C34.....1 nF keramický
 Us1 – Us5.....KBPC 1010W - můstek 10 A / 1000 V
 D1 – D4.....1N4007 1000V
 D5.....GA206 atd. (germaniová)
 ZD1 – ZD3.....Zenerovy diody 12V / 1,3 W
 LD1.....LED dioda 5 mm nízkopříkonová - červená
 LD2.....LED dioda 5 mm – zelená
 LD3 – LD7.....LED dioda 5 mm – červená
 LD8 – LD16.....LED dioda 5 mm – zelená
 Tr1.....KC 509 NPN univerzální
 Tr2.....KD 140 PNP 1A
 Tr3.....TIP 112 NPN darlington 2A
 IO1.....78S12 – stabilizátor 2A
 IO2.....LM35 – převodník teploty
 IO3.....LB1412 - LED driver
 Tr1.....Trafo – 100 VA
 Tr2.....Trafo – 1000 VA



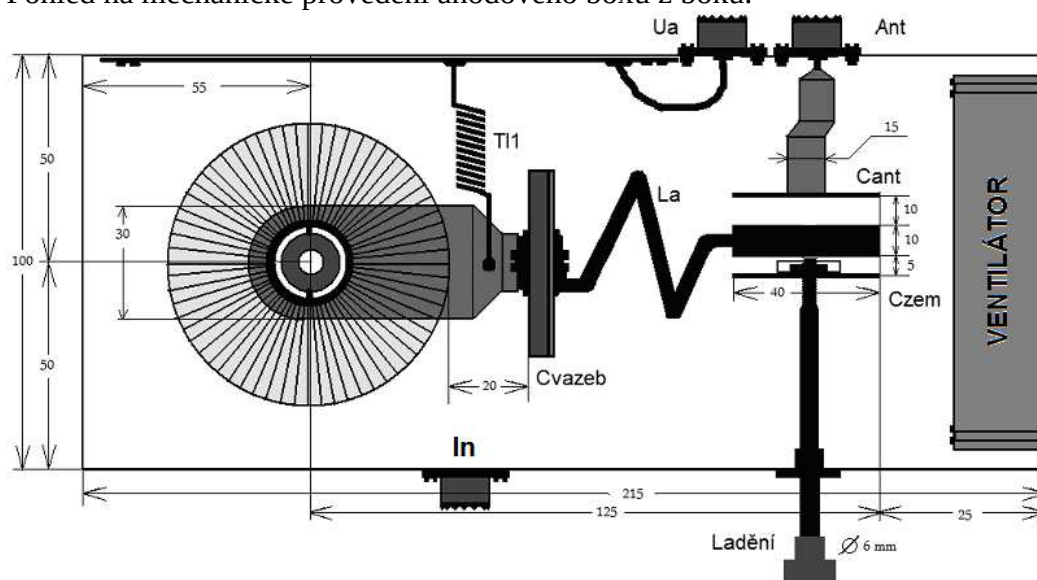
Obr. 4 – Pouzdro a zapojení elektronky GI46b.

Elektrické parametry elektronky GI46b	
Žhavení:	12,6 V ; 2,3 – 2,6 A
Ua (DC):	2 KV
Strmost:	17 – 26 mA/V
Doba nažhavení:	cca 100 s
Anodová ztráta:	350 W
Ztráta mřížky:	20 W
Ia:	350 mA
Maximální teplota:	200 C°

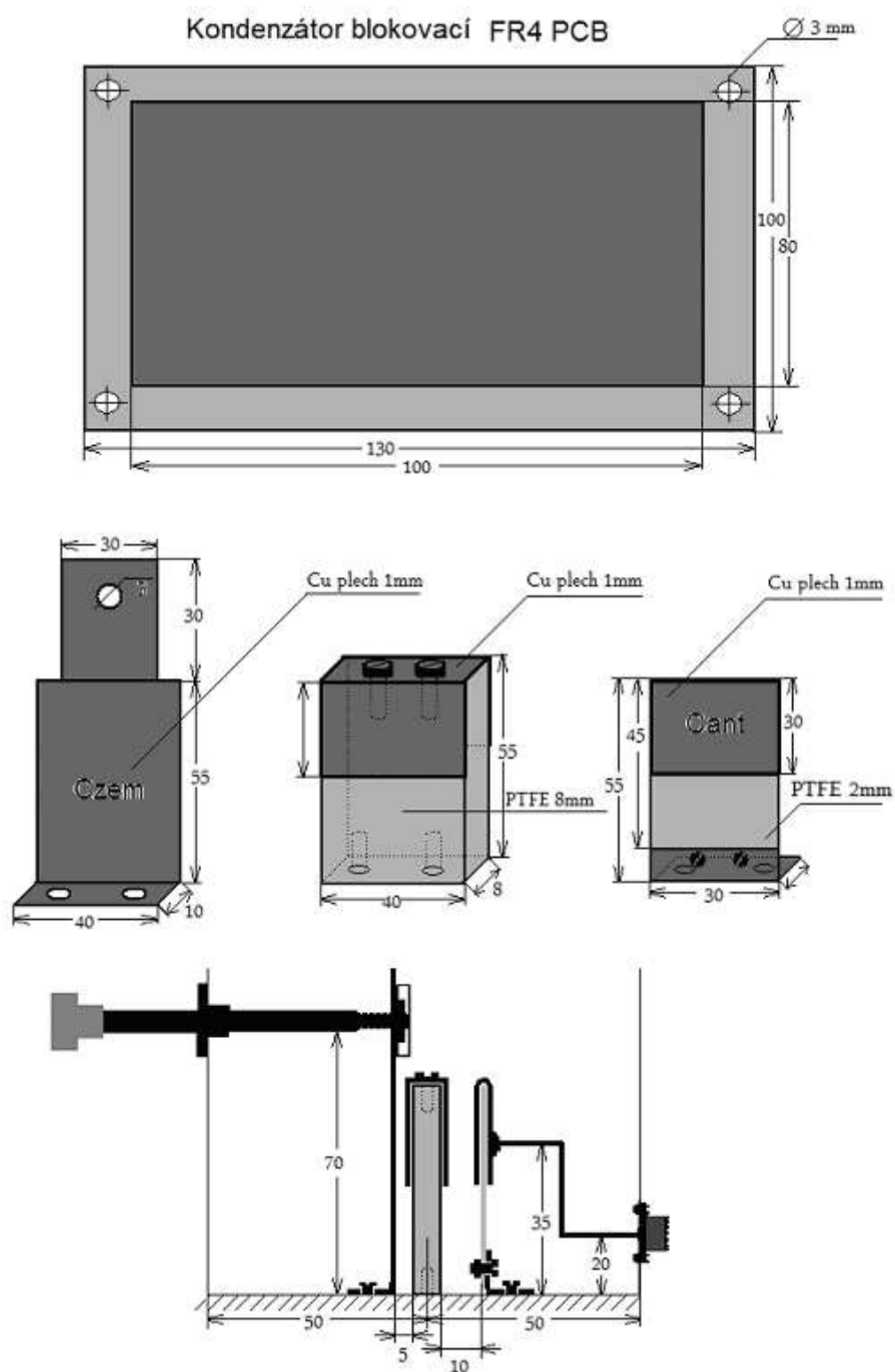
Tab.1 – Základní parametry elektronky GI46b.



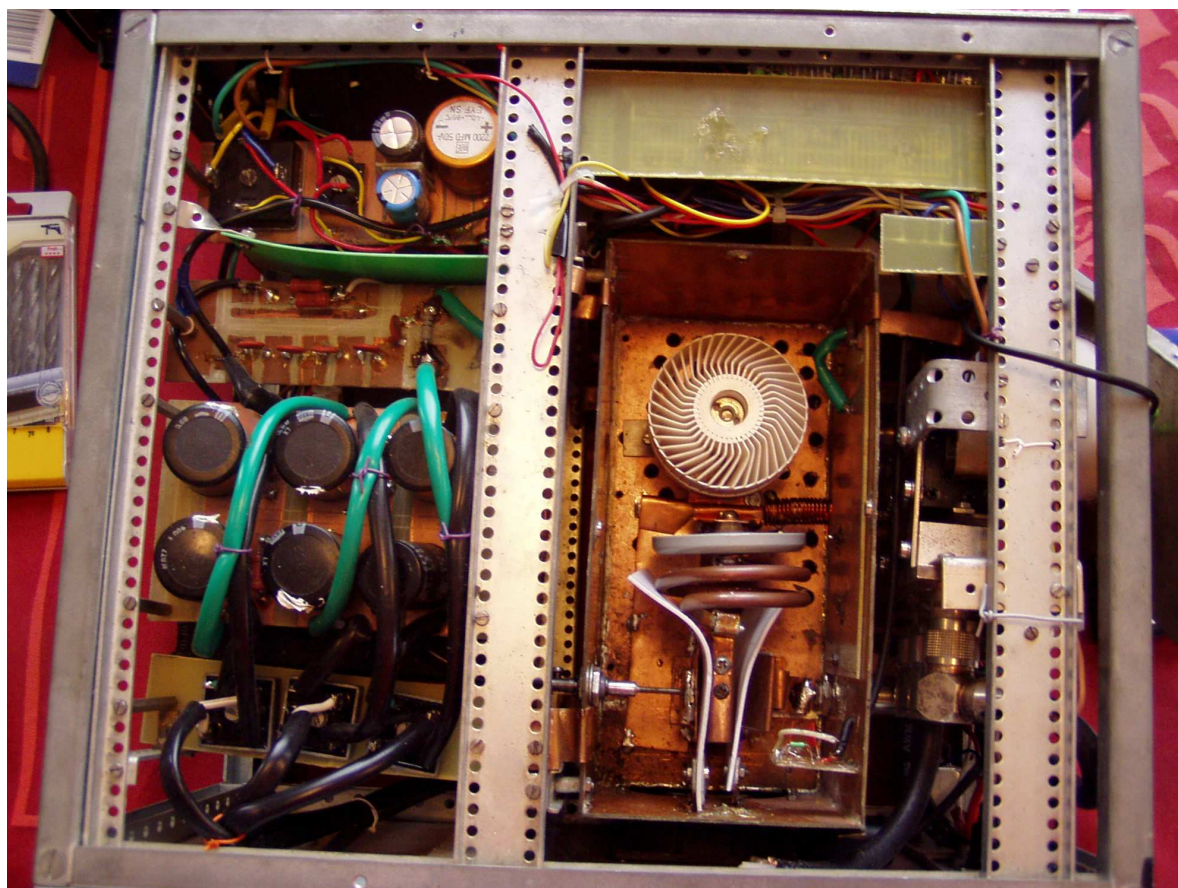
Obr. 5 – Pohled na mechanické provedení anodového boxu z boku.



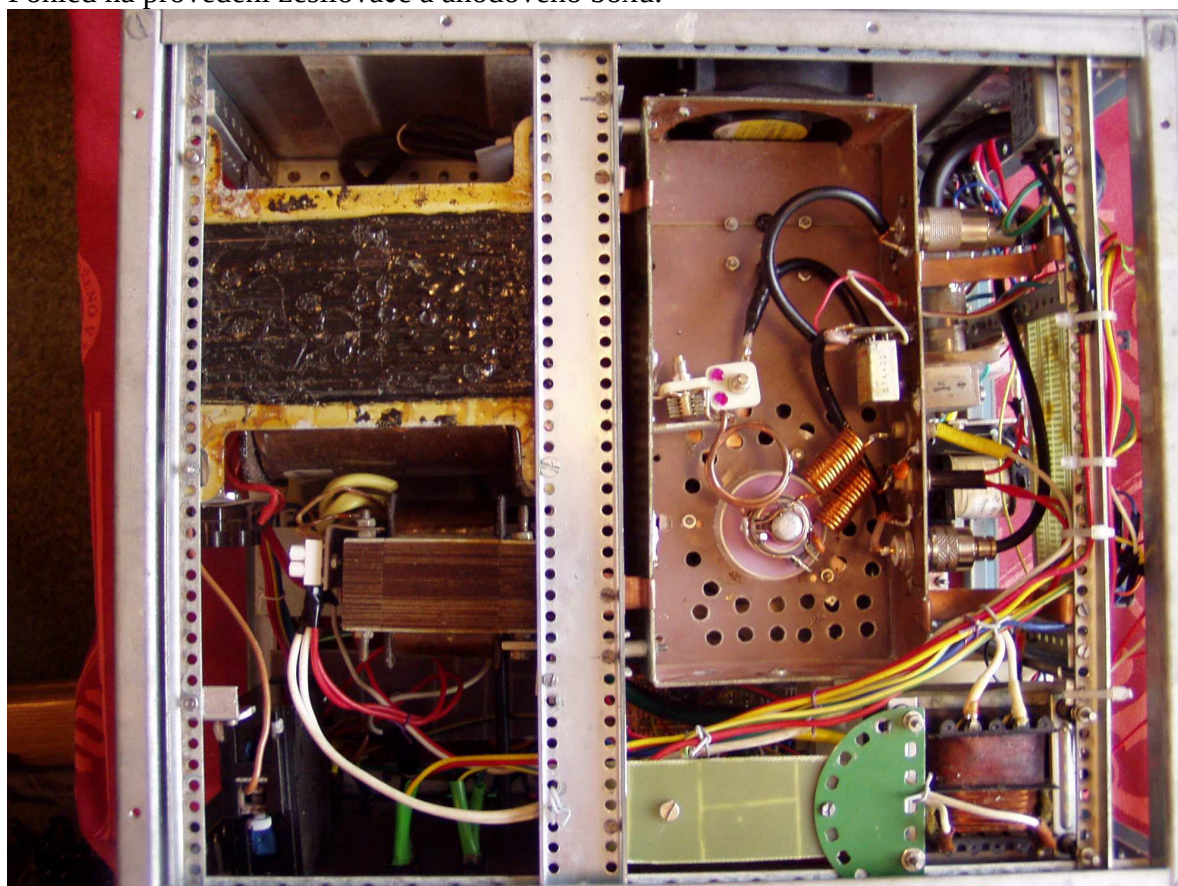
Obr. 6 – Pohled na mechanické provedení anodového boxu ze shora.



Obr. 7 – Rozměry jednotlivých částí konstrukčních kondenzátorů.



Pohled na provedení zesilovače a anodového boxu.



Pohled na zesilovač ze spodu.



Porovnání velikostí GI46b a GI7bt



Tomáš OK1GTH při práci na VKV



Libor OK1DOL při práci na VKV



Koncový stupeň s GI46b