

## Zdroj předpětí pro tetrodu (Tetrode board by OK1GTH)

Ing. Tomáš Kavalír, OK1GTH, [kavalir.t@seznam.cz](mailto:kavalir.t@seznam.cz), <http://ok1gth.nagano.cz>

Zde popisovaný technický článek se zabývá realizací zdroje předpětí a dalších podpůrných obvodů pro výkonový zesilovač osazený elektronkou – tetrodou. Hlavním úkolem zdroje předpětí je především zajistit trvalý pracovní bod elektronky s pokud možno stalými parametry a dostatečnou robustností. Zde popsané řešení vzniklo původně pro větší elektronku GU78b, ale bylo vyzkoušeno po drobných úpravách i v zapojení s menšími elektronkami (například RE025). Hlavní důraz při vlastním návrhu byl kladen na jednoduchost zapojení a tím i snadnou „opravitelnost“ a především vysokou robustnost při rozumných parametrech.

Během krátké doby mě několik kolegů radioamatérů požádalo o popis použitého řešení obvodů okolo výkonového zesilovače osazeného keramickou tetrodou GU78b, který jsem před více než rokem dokončil a od té doby prakticky bez výraznějších problémů často používal. Zesilovač byl nasazen několikrát i na 48h závody a po celou dobu správně plnil svoji funkci. Rozhodnul jsem se proto mnou použité řešení zveřejnit širšímu okruhu čtenářů. Na internetu a v odborné literatuře zaměřené na radioamatérskou techniku nalezneme celou řadu různých zapojení od poměrně vysoce sofistikovaných zapojení (například zapojení G3SEK) po poměrně jednoduchá jednoúčelová zapojení. Po prostudování různých možností zapojení jsem nakonec zvolil úpravu již publikovaného principiálního zapojení stabilizátorů pro G1 a G2, které jsem doplnil některými svými nápady a celé zapojení upravil pro své potřeby. Vzniklo tak poměrně univerzální řešení, které je možné použít pro celou řadu elektronek (GU78b, GU84b, GU43b, GU74b, RE025 atd.) někdy jen s drobnými úpravami v hodnotách použitých napětí pro jednotlivé mřížky atd. Vzhledem k tomu, že elektronky typu tetroda vyžadují odlišný způsob přístupu k zapojení podpůrných obvodů a také vzhledem k často vysoké ceně elektronek bylo zapojení doplněno o jednoduché ochrany, které umožňují nastavit optimální pracovní parametry elektronky. Případné překročení jen jediného parametru (nebo kombinace) má za následek přepnutí zesilovače na danou dobu (v popisovaném případě cca 10 sekund) do průchozího (stand-by) režimu, který je indikován jak opticky, tak akusticky.

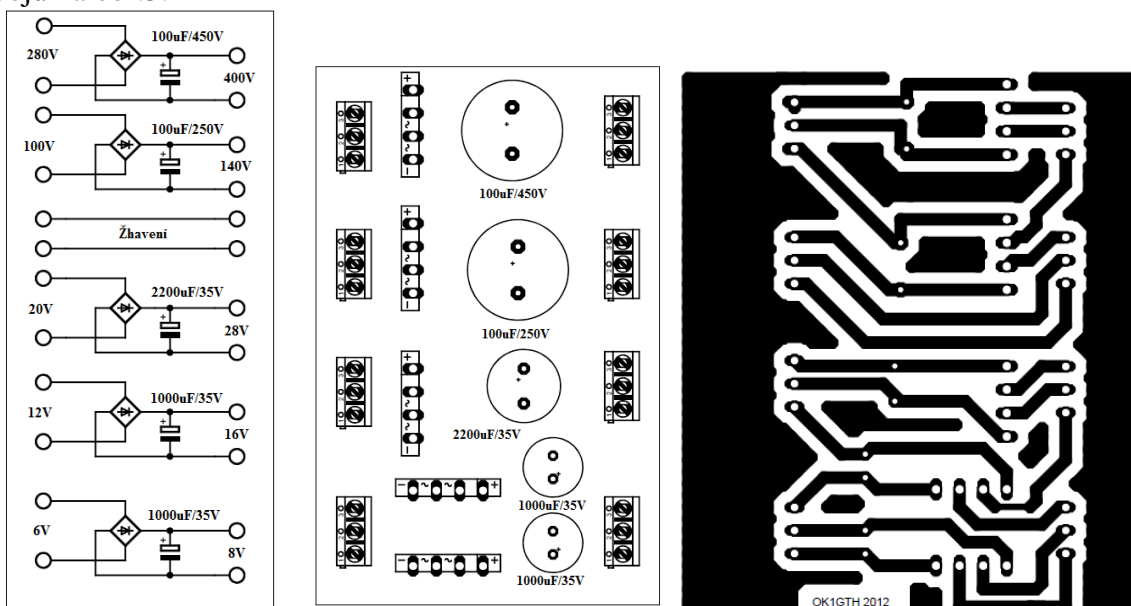
Základní požadavky na celé zapojení jsem stanovil následujícím způsobem:

- jednoduchost, případná snadná opravitelnost, spolehlivost, robustnost
- více-desková konstrukce umožňující postupné ožívání modulů
- PTT ovládání kompatibilní s většinou TRX
- jednovrstvé desky plošných spojů pro snadnou výrobu i v domácích podmínkách
- TX spínání jak běžných 12V relé, tak i vakuových 24 V (případně jiné napětí)
- paralelní stabilizátor pro G1 s nastavitelným předpětím pro nastavení klidového proudu a tím i pracovní třídy
- paralelní stabilizátor pro G2 navržený s ohledem na možný dynatronový jev
- dvoustavová regulace množství chladícího vzduchu
- ochrana překročení mřížkového proudu  $I_{g2}$ , anodového proudu  $I_a$ , teploty, SWR atd.

Celé zapojení jsem tak rozčlenil do několika modulů, které umožňují jednodušší konstrukci a především snazší oživení po částech.

## Modul zdrojů:

Toto zapojení je naprosto jednoduché a uvádím ho zde jen pro úplnost, aby celá konstrukce byla kompletní. Jsou zde umístěny usměrňovače a následná filtrace pro zdroje předpětí G1 a G2, dále pomocné zdroje 24 V, 12 V a 5 V. Tato výsledná napětí jsou získána pomocí tříbodových lineárních stabilizátorů 78xx, které jsou umístěny na zvláštní desce, která zde není popsána. Zapojení modulu zdrojů je na obr.1, osazovací popis na obr.2 a deska plošných spojů na obr.3.

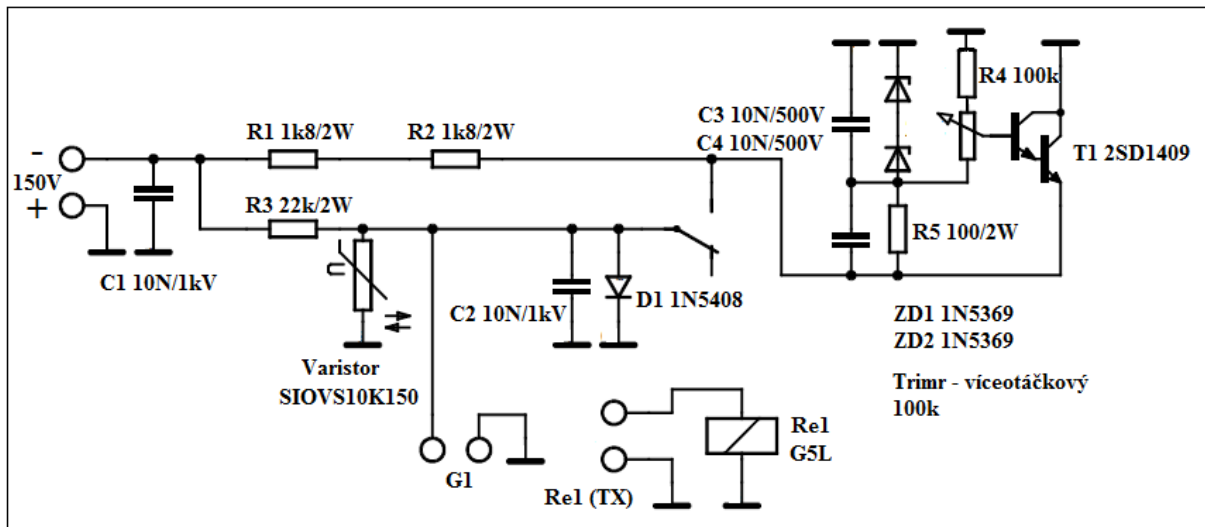


Obr.1 Zapojení zdrojů Obr.2 Osazovací plán modulu zdrojů Obr.3 DPS modulu zdrojů

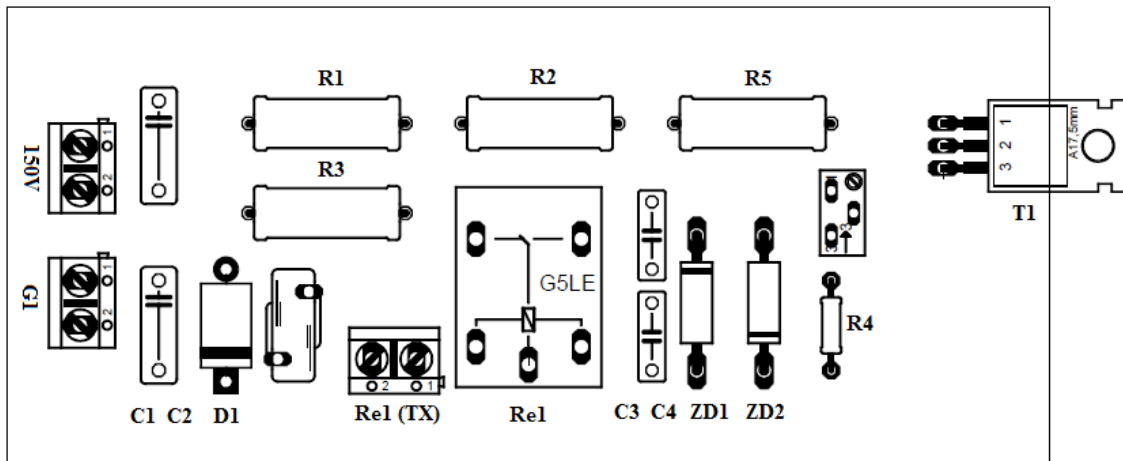
## Zdroj předpětí pro první mřížku G1:

Celé zapojení je poměrně jednoduché, ale je zde použita zajímavá myšlenka, kdy vlastní zdroj předpětí – stabilizátor je trvale připojen ke zdroji napětí pro G1, tím dojde k jeho „usazení“. První mřížka elektronky je při příjmu napájena rovnou z usměrněného záporného předpětí přes pomocný odpor R3 a tím je zaručeno uzavření elektronky dostatečně vysokým předpětím (-150 V). Je důležité si uvědomit, že kladný pól zdroje je připojen na kostru zařízení a elektronka je otevírána postupným snižováním záporného předpětí, tj, čím více se blížíme nulové hodnotě, tím se elektronka více otevírá a naopak. Při režimu vysílání (TX) se přepne relé a dojde k připojení paralelního stabilizátoru s pevně nastaveným napětím, odpovídajícím dané pracovní třídě, respektive úhlu otevření dané elektronky. Při ožiování zesilovače je nutno zkontrolovat otevírací napětí, kdy stabilizátor G1 nastavíme na vyšší hodnotu cca -90V a postupně toto napětí snižujeme, až se nám elektronka začne otevírat a nastavíme tak vhodný klidový proud. Hodnota toho záporného předpětí je různá pro jednotlivé typy elektronek (pohybuje se okolo cca 20 – 50 V) a závisí i na použité velikosti anodové napětí atd. Hodnota klidového proudu se nastavuje na optimální hodnoty intermodulačního a harmonického zkreslení. Toto měření vyžaduje celou řadu specializovaných měřících přístrojů a přípravků, proto je zpravidla obtížně realizovatelné v domácích podmínkách. V praxi se doporučuje nastavit hodnotu klidového proudu na velikost přibližně 8 – 10 % maximální hodnoty anodového proudu, kdy vyšší hodnoty klidového proudu samozřejmě zlepšují celkové nelineární zkreslení zesilovače. Zapojení zdroje předpětí pro první mřížku G1 je uvedeno na obr.4. Použitý tranzistor je možné vodivě spojit s chladičem, na pozici trimru je použit

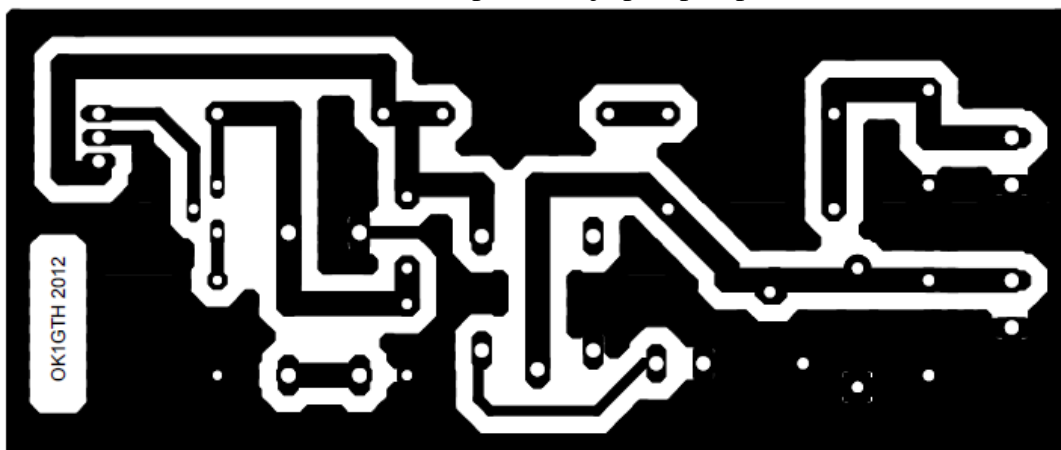
kvalitní cermetový víceotáčkový typ a z důvodu ochrany v případě průrazu v elektronice je zde použit varistor SIOVS10K150.



Obr.4 Zapojení zdroje předpětí pro G1



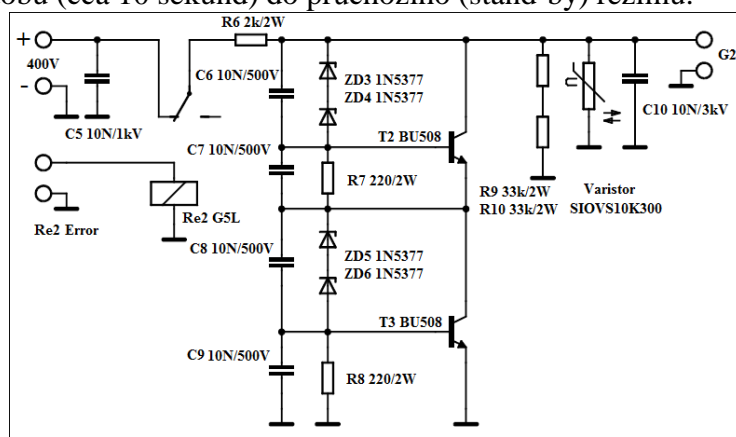
Obr.5 Osazovací plán zdroje předpětí pro G1



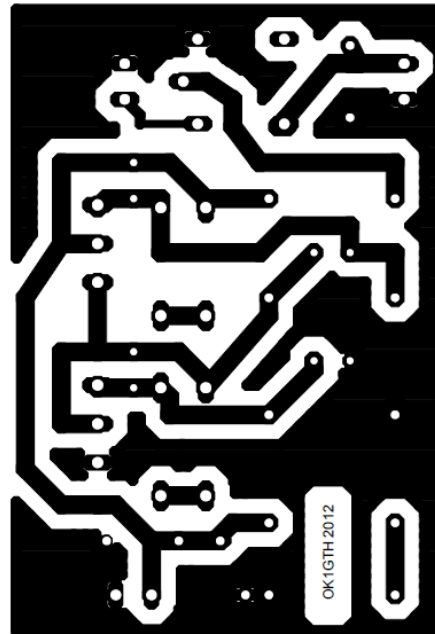
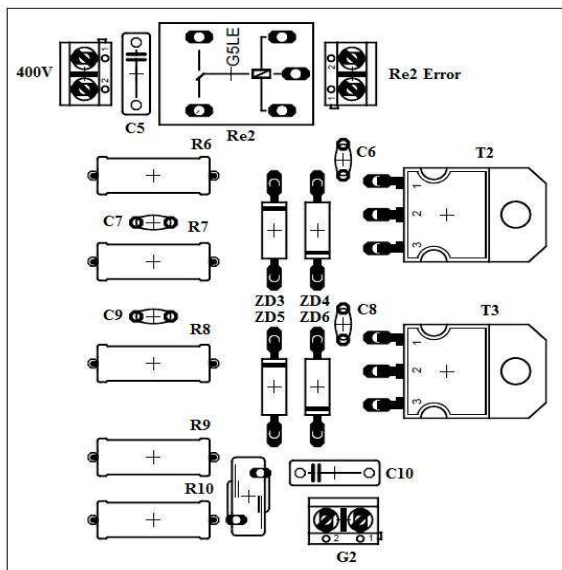
Obr.6 DPS zdroje předpětí pro G1

## Zdroj předpětí pro druhou mřížku G2:

Opět se jedná se o upravené zapojení zdroje předpětí pro druhou mřížku s pevně nastaveným předpětím, kdy podobné zapojení je poměrně často mezi radioamatéry používáno. Originální zapojení je možné opět nalézt na těchto webových stránkách [1]. Celé zapojení je opět řešeno jako paralelní stabilizátor s pevně nastaveným předpětím a je zobrazeno na obr.7. Na vstupu nalezneme kontakt relé Re2 Error, které v případě překročení libovolného nastaveného parametru odpojuje ve velmi krátké době napájení předpětí druhé mřížky a chrání tak elektronku. Celé zapojení je provedeno klasicky, tzn. na výstupu máme kladné napětí odpovídající doporučené hodnotě velikosti předpětí pro konkrétní elektronku. Uvedená velikost okolo 350-360 V je doporučena pro elektronku GU78b. Celý paralelní stabilizátor je konstruován s ohledem na možný vznik dynatronového jevu a zapojení neumožní výrazné zvýšení napětí na druhé mřížce. Na výstupu zdroje předpětí je umístěn tzv. „odsávací“ odpor (R9 a R10). Tranzistory je vhodné použít v celoplastovém provedení, které se snáze umístí na chladič a není u nich nutné použít izolační podložky. Na výstupu je umístěn opět varistor SIOVS10K300, který pomůže ochránit elektroniku zdroje předpětí v případě průrazu v elektronce. Zapojení je dostatečně robustní, což se osvědčilo při jednom z výbojů v elektronce, kdy bylo nutné vyměnit jen tzv. „vybuchovací“ odpory v napájení anody a zbytek elektroniky přežil bez úhony. Na výstupu se nachází měřící přístroj pro indikaci mřížkového proudu  $I_{g2}$  a senzor pro snímání aktuální hodnoty mřížkového proudu, kdy překročení nastavené hodnoty má za následek vypnutí celého zesilovače, respektive přepnutí na definovanou dobu (cca 10 sekund) do průchozího (stand-by) režimu.



Obr.7 Celkové zapojení zdroje předpětí pro G2



Obr.8 Osazovací plán zdroje předpětí pro G2 Obr.9 DPS zdroje předpětí pro G2

### Ovládací jednotka a deska ochran:

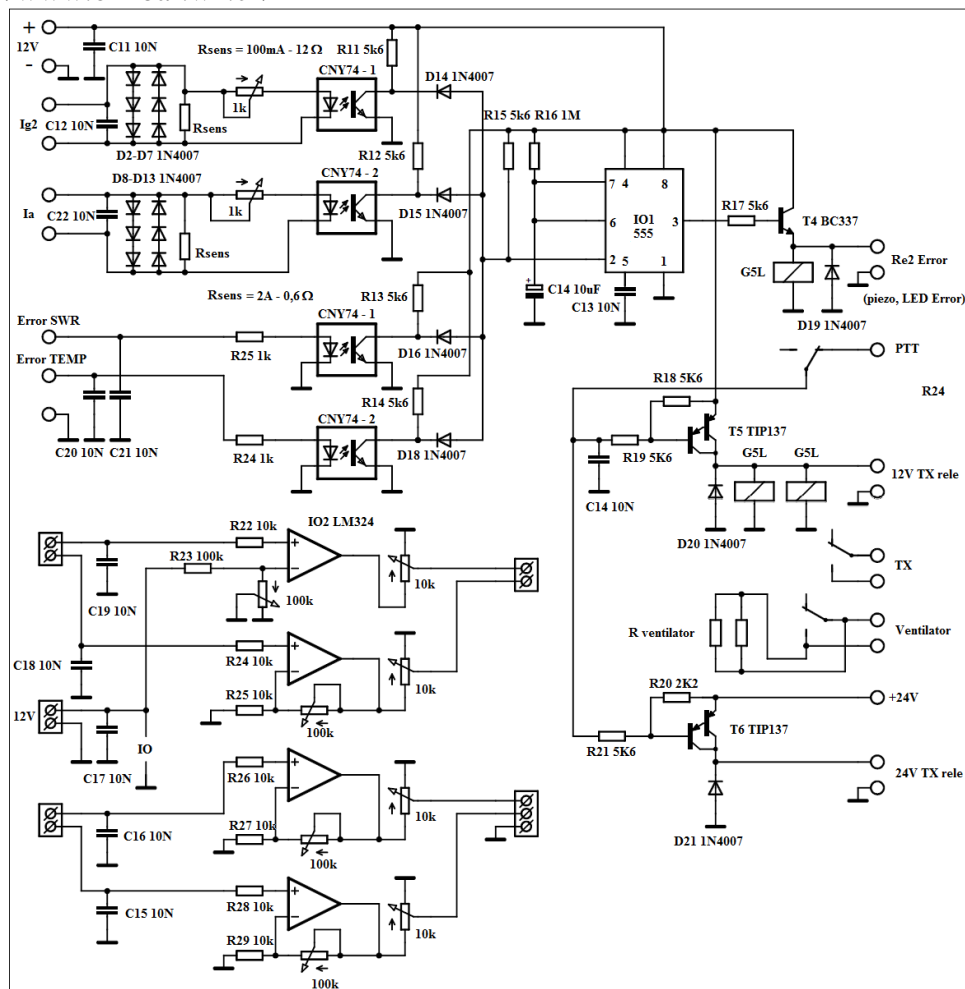
Tento obvod zajišťuje celkové ovládání všech hlavních funkcí zesilovače a zároveň jsou zde realizovány potřebné ochrany. Z důvodu poměrně vysokého potenciálu napětí zdroje předpětí druhé mřížky G2 (cca 350 V) bylo využito pro oddělení optočlenu CNY74. Zároveň bylo využito jednoduchého principu nelineární závislosti otevření (rozsvícení) LED diody uvnitř optočlenu pro aktivování ochrany, kdy průchodem mřížkového proudu  $I_{g2}$  vznikne potřebný úbytek napětí na měřicím odporu  $R_{sens}$  a správným nastavením je tak možno relativně přesně určit bod, kdy dojde k sepnutí optočlenu. Následně dojde k překlopení monostabilního klopného obvodu na definovanou dobu tvořeného časovačem 555 a zesilovač je tak v průchozím režimu. Zároveň dojde k odpojení mřížkového napětí pro G2, což je indikováno blikající diodou červené barvy na předním panelu a tónem 1,8 kHz vytvořeného piezo akustickým měničem. Z důvodu ochrany optočlenu nadměrným proudem v případě průrazu uvnitř elektronky jsou paralelně připojeny do série zapojené antiparalelní diody. Stejným způsobem je jištěn i obvod anodového proudu, kdy vypínací mez je nastavena na cca 2 A (pro GU78b). Výhodou tohoto řešení je možné paralelní řazení jednotlivých okruhů ochran, tzn. další dvojitý optočlen je využit pro ochranu nadměrným odraženým výkonem (špatné SWR) a překročení teploty výstupního chladicího vzduchu, kdy jsou použity komparátory s nastavitelnou mezí překlopení, kdy následně opět dojde k sepnutí optočlenu a přepnutí zesilovače do průchozího režimu. Také lze efektivně využít páskových měřidel složených ze sloupce LED diod (bargrafů), kdy stačí paralelně k LED diodě na správné pozici připojit již zmíněný vypínací optočlen. Na této desce je i implementováno jednoduché dvoustavové řízení průtoku množství chladicího vzduchu, kdy v režimu příjem (RX) je elektronka chlazená výrazně menším množstvím vzduchu, což má za následek optimální provozní teplotu. Naopak v režimu vysílání (TX) je elektronka ofukována maximálním množstvím chladicího vzduchu a v závodním režimu je možné vypínačem na předním panelu sepnout trvalý běh ventilátoru pro dobré chlazení.

Dalšími podpůrnými obvody, které se na desce ovládací jednotky nacházejí, jsou pomocné zesilovače s nastavitelným zesílením a jeden komparátor s nastavitelnou mezí komparace. Je použito čtyřnásobného operačního zesilovače LM324, kdy jedna sekce je zapojena jako

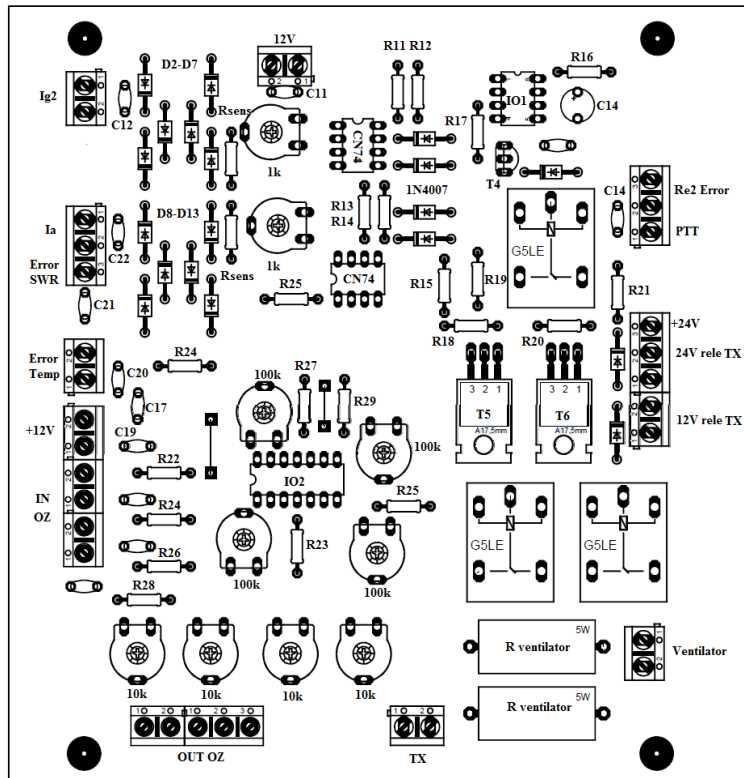
komparátor a tři další sekce jsou zapojeny klasicky jako neinvertující zesilovač se zesílením větší než 1. Tyto sekce můžeme s úspěchem využít například pro zesílení signálu z obvodů směrové odbočnice pro měření dopředného a odraženého výkonu nebo například pro zesílení signálu z jednoduchého teplotního čidla LM35. Výhodou tohoto obvodu je, že jeho výstupem je již přímo napětí úměrné teplotě a konkrétně 10mV/C°. Celkové schéma zapojení ovládací jednotky se nachází na obr.10, na obr.11 je zobrazen osazovací plán a na obr.12 je finální provedení desky plošného spoje. Při osazování je nutné nezapomenout na dvě drátové propojky. Všem, kdo se pustí do stavby přeji hodně úspěchů a hlavně opatrnosti, protože se v obvodech výkonových elektronických zesilovačů často pracuje s životu nebezpečnými úrovněmi napětí. Komerční výroba uvedeného zapojení není dovolena. 73! de OK1GTH

Odkazy:

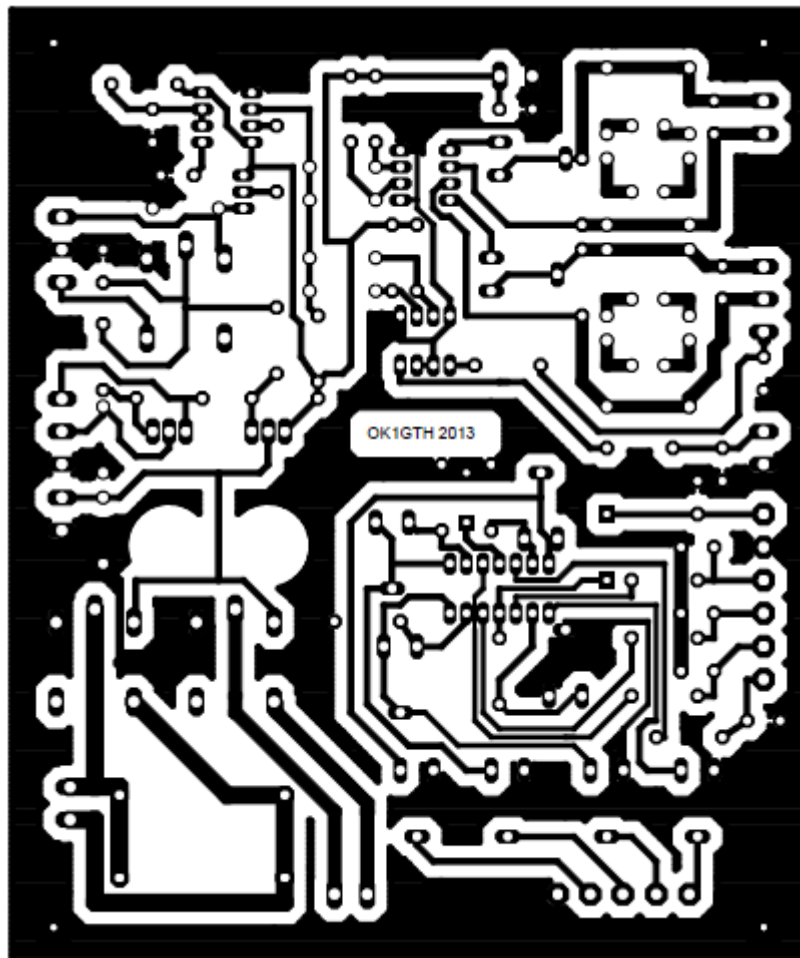
[1] <http://www.ok1baf.wz.cz/>



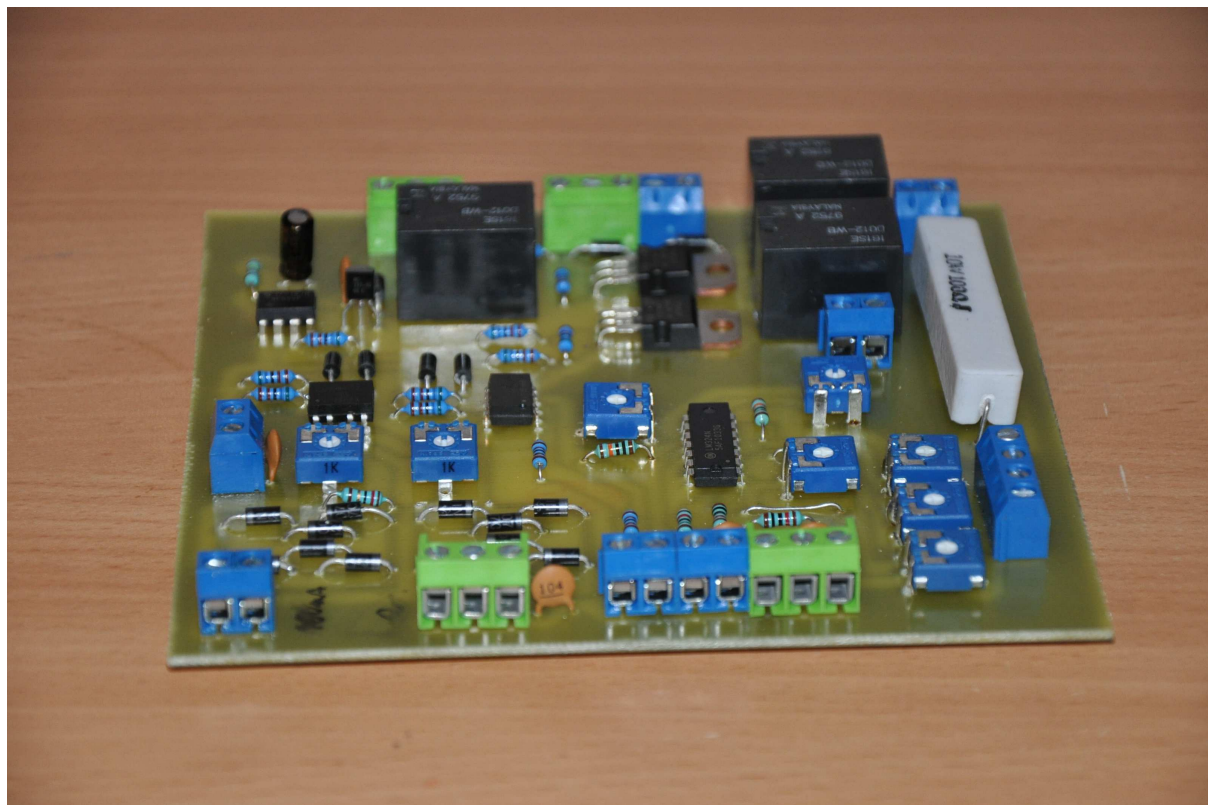
Obr.10 Celkové schéma ovládací jednotky



Obr.11 Osazovací plán desky plošných spojů ovládací jednotky



Obr.12 DPS ovládací jednotky



Obr.13 Osazená deska ochran