

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko



**Igor Knapič**

Stabilizirani usmernik 0-30 V, 0.02-4 A

Seminarska naloga pri predmetu Elektronska vezja

Vrhnika 2006

# 1. Uvod

Pri delu v domači delavnici se velikokrat pojavi potreba po nastavljivem in stabilnem viru napajanja. S tem razlogom sem se odločil izdelati usmernik, ki bi zadovoljivo služil hobi uporabi, bi imel zadovoljivo območje spreminjanja napetosti ter možnost omejevanja toka.

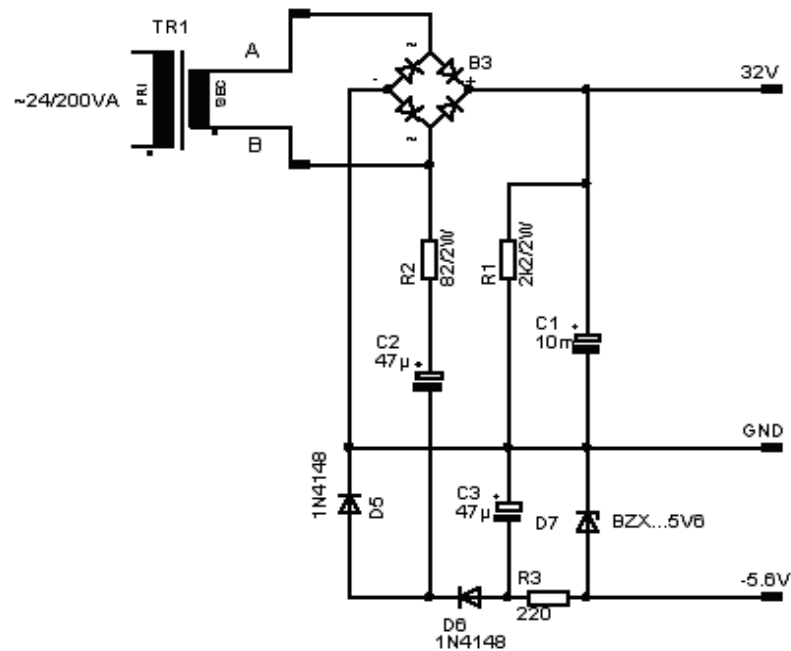
Odločanje za tip usmernika se je pričelo na internetu. V poplavi načrtov različno zasnovanih usmernikov lahko najdemo od zelo enostavnih, brez tokovne zaščite ter z nizkimi maksimalnimi izhodnimi tokovi, do tistih bolj zapletenih z večjim napetostnim območjem in boljšo tokovno regulacijo. Veliko jih bazira na splošno uporabljanem integriranem vezju LM723, ki je precej enostavno za uporabo, mene pa je zanimala izvedba brez tega vezja in tako je nastal opisani usmernik.

Usmernik nam zagotavlja stabilno enosmerno napetost od 0 do 30 V znotraj tokovnega območja 0.02 do 4 A. Omejevanje izhodnega toka je lastnost, ki je izredno dobrodošla, saj se na ta način lahko izognemo prenekateri nepotrebnosti nevšečnosti.

## 2. Opis delovanja

### Napajalni del

Napajalni del je sestavljen iz transformatorja, Graetzovega mostiča in gladilnega kondenzatorja, dodano pa je še vezje za zagotavljanje negativne napajalne napetosti operacijskih ojačevalnikov. Shematski prikaz napajalnega dela prikazuje slika 1.



Slika 1: Shema napajalnega dela

Transformator z napetostno prestavo 230/28 zagotavlja na sekundarni strani izmenično napetost efektivne vrednosti 28 V. Ta napetost se polnovalno usmeri na Graetzovem mostiču. Usmerjeno napetost zgladimo s kondenzatorjem  $C_1$ , ki ima vrednost 10000  $\mu\text{F}$ . Večja je vrednost tega kondenzatorja, manjša je valovitost izhodne napetosti.

Da bo usmernik deloval pri polni obremenitvi, brez da se bo napetost sesedala, moramo zagotoviti dovolj zmogljiv transformator. Vzel sem transformator moči 150 VA.

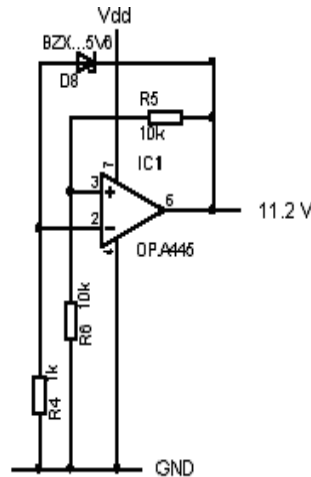
Za napajanje operacijskih ojačevalnikov potrebujemo tudi negativno napetost. To dobimo s pomočjo *charge pump* vezja, ki deluje na sledeč način: ko je na spodnji sponki transformatorja pozitivni polval (prva polperioda) napetosti, se kondenzator  $C_2$  polni preko upora  $R_2$ , dioda  $D_5$  je odprta,  $C_2$  se napolni.

Ker imamo glede na B sponko transformatorja polvalno usmerjanje, je v drugi polperiodi napetost na tej sponki blizu ničle. Ker je na  $C_2$  ostala napetost to premakne točko na negativni potencial, po velikosti enak napetosti, ki se je v predhodni polperiodi shranila na kondenzatorju. To povzroči, da se kondenzator  $C_3$  zaradi napetosti med GND in omenjenim potencialom napolni na razliko te napetosti. Naboj, ki se nabere na njem, dobi kondenzator  $C_3$  s praznjenjem kondenzatorja  $C_2$ . Na ta način na zener diodi  $D_7$  dobimo negativen padec napetosti.

Vrednosti  $C_2$  in  $C_3$  so izbrane tako, da se v polperiodi napetosti kondenzatorja ne spraznita toliko, da bi dobili na diodi  $D_7$  premajhno napetost.

## Regulacija napetosti

Za regulacijo napetosti najprej zagotovimo referenčno napetost 11.2 V, ki jo dobimo na izhodu IC1. Vezje za generacijo referenčne napetosti prikazuje slika 2.



Slika 2: Vezje za generacijo referenčne napetosti

Napetost na izhodu operacijskega ojačevalnika raste dokler ne doseže zaporne kolenske napetosti zenerjeve diode (5.6 V). Ko jo doseže, je na diodi zaradi lastnosti operacijskega ojačevalnika padec napetosti enak 5.6 V. Enak napetostni padec dobimo tudi na upor  $R_5$ . Ker sta upora  $R_5$  in  $R_6$  enaka, je na njih enak padec, 5.6 V. Skupna napetost med izhodom operacijskega ojačevalnika in GND je torej 11.2 V.

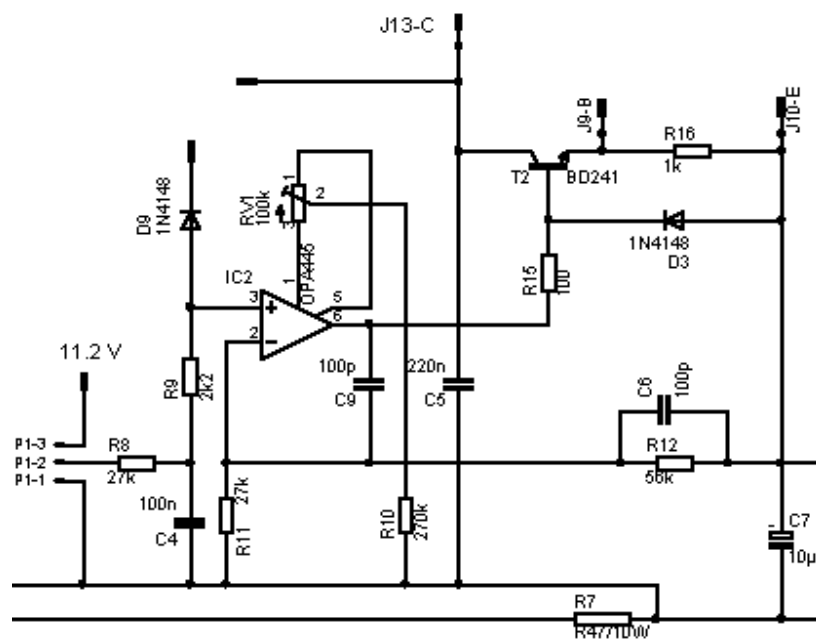
Naslednje vezje (Slika 3) poskrbi, da se referenčna napetost trikratno ojača. Operacijski ojačevalnik IC<sub>2</sub> ima ojačanje določeno z enačbo:

$$A = \frac{R_{11} + R_{12}}{R_{11}}$$

Napetost na izhodu IC<sub>2</sub> je torej največ 33,6 V. S potenciometrom P<sub>1</sub> nastavljamo napetost na vhodu operacijskega ojačevalnika IC<sub>2</sub>. Ker je vhodna upornost operacijskega ojačevalnika veliko večja od upora  $R_9$ , dobimo praktično vso napetost nastavljeno s potenciometrom na pozitivni sponki operacijskega ojačevalnika.

Trimer RV<sub>1</sub> v seriji z uporom  $R_{10}$  je namenjen za nastavljanje izhodne offsetne napetosti operacijskega ojačevalnika na nič.

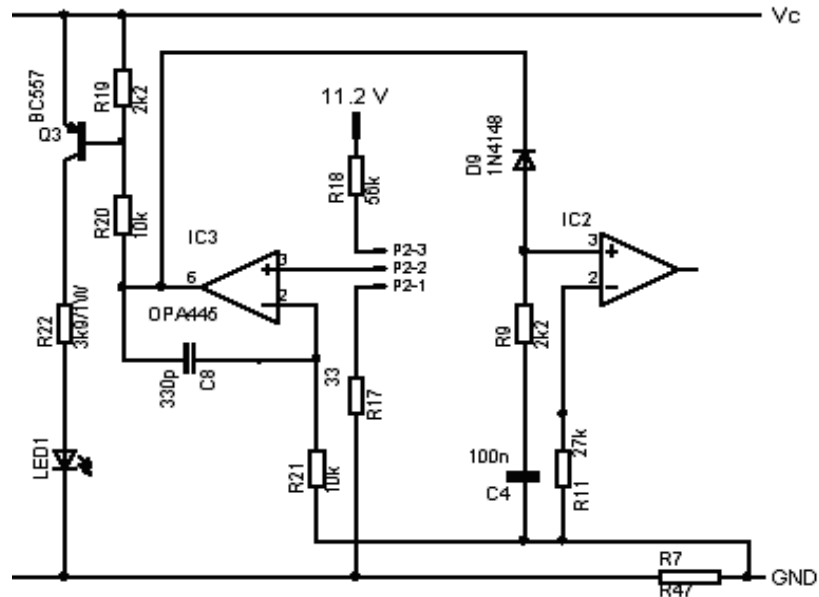
Izhod operacijskega ojačevalnika krmili tranzistor T<sub>2</sub>, ki krmili izodne tranzistorje. Vse to lahko vidimo na spodnji sliki.



Slika 6: Regulacija izhodne napetosti

## Tokovna regulacija

Na sliki 4 lahko vidimo del vezja, ki skrbi za regulacijo toka.



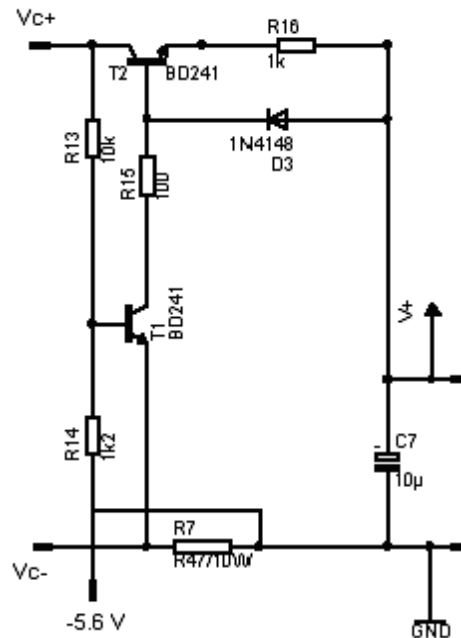
Slika 4: Vezje za regulacijo toka

Operacijski ojačevalnik IC<sub>3</sub> tipa padec napetosti na upor R<sub>7</sub>, ki je vezan v seriji z bremenom. Ta padec nam skupaj s potenciometrom P<sub>2</sub> določa napetost na pozitivni sponki operacijskega ojačevalnika. Invertirajoči vhod operacijskega ojačevalnika je na potencialu 0 V, če ni izhodnega toka. Dokler je napetost na negativni sponki manjša od napetosti na pozitivni sponki, je izhod operacijskega ojačevalnika enak +V<sub>sat</sub>, tokovna zaščita je izklopljena, dioda D<sub>9</sub> ter tranzistor Q<sub>3</sub> sta zaprta. Ko se tok skozi upor R<sub>7</sub>, ter posledično napetost na njem, poveča in se napetost na invertirajočem vhodu ojačevalnika približa oz. naraste nad napetost na neinvertirajočem vhodu, se napetost na izhodu operacijskega ojačevalnika zmanjša za toliko kolikor je potrebno, da obdržimo tok konstanten. Odpre se dioda D<sub>9</sub>. Ko je dioda odprta, se preko nje sprazni kondenzator C<sub>4</sub>, napetost na pozitivni sponki IC<sub>2</sub> se zmanjša, izhodna napetost se zniža. Hkrati se odpre tudi tranzistor Q<sub>3</sub>, prižge se LED dioda, ki omogoči, da vemo kdaj deluje tokovna zaščita.

Za določanje maksimalnega toka nam služi napetostni delilnik R<sub>18</sub>, R<sub>17</sub> in P<sub>2</sub>. Da omejimo maksimalni izhodni tok, lahko povečamo upor R<sub>18</sub>. Minimalni izhodni tok lahko zmanjšamo z manjšanjem R<sub>17</sub>.

## Vezje za znižanje izhodne napetosti ob izklopu napajanja

Glede na veliko kapacitivnost kondenzatorja bi se izhodna napetost zelo počasi manjšala. Temu se izognemo z vezjem prikazanim na sliki 5.

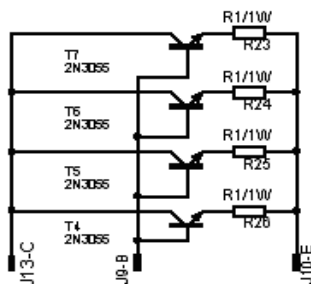


Slika 5: Vezje za nižanje izhodne napetosti

Ko je vezje normalno napajano, je na bazi tranzistorja napetost  $-0.7\text{ V}$  kadar je izhod neobremenjen oziroma še bolj negativna, če skozi breme teče tok. Za to poskrbi uporovni delilnik sestavljen iz uporov  $R_{13}$  in  $R_{14}$ . Takrat je tranzistor  $T_1$  zaprt. Ko izklopimo napajanje, zmanjka tudi negativne napetosti. Takrat se bazna napetost tranzistorja dvigne na  $4.2\text{ V}$ , tranzistor se odpre ter omogoči kondenzatorju, da se sprazni preko upora  $R_{15}$ . Izhodna napetost pade na nič v približno  $10\text{ ms}$ .

## Vezava izhodnih močnostnih tranzistorjev

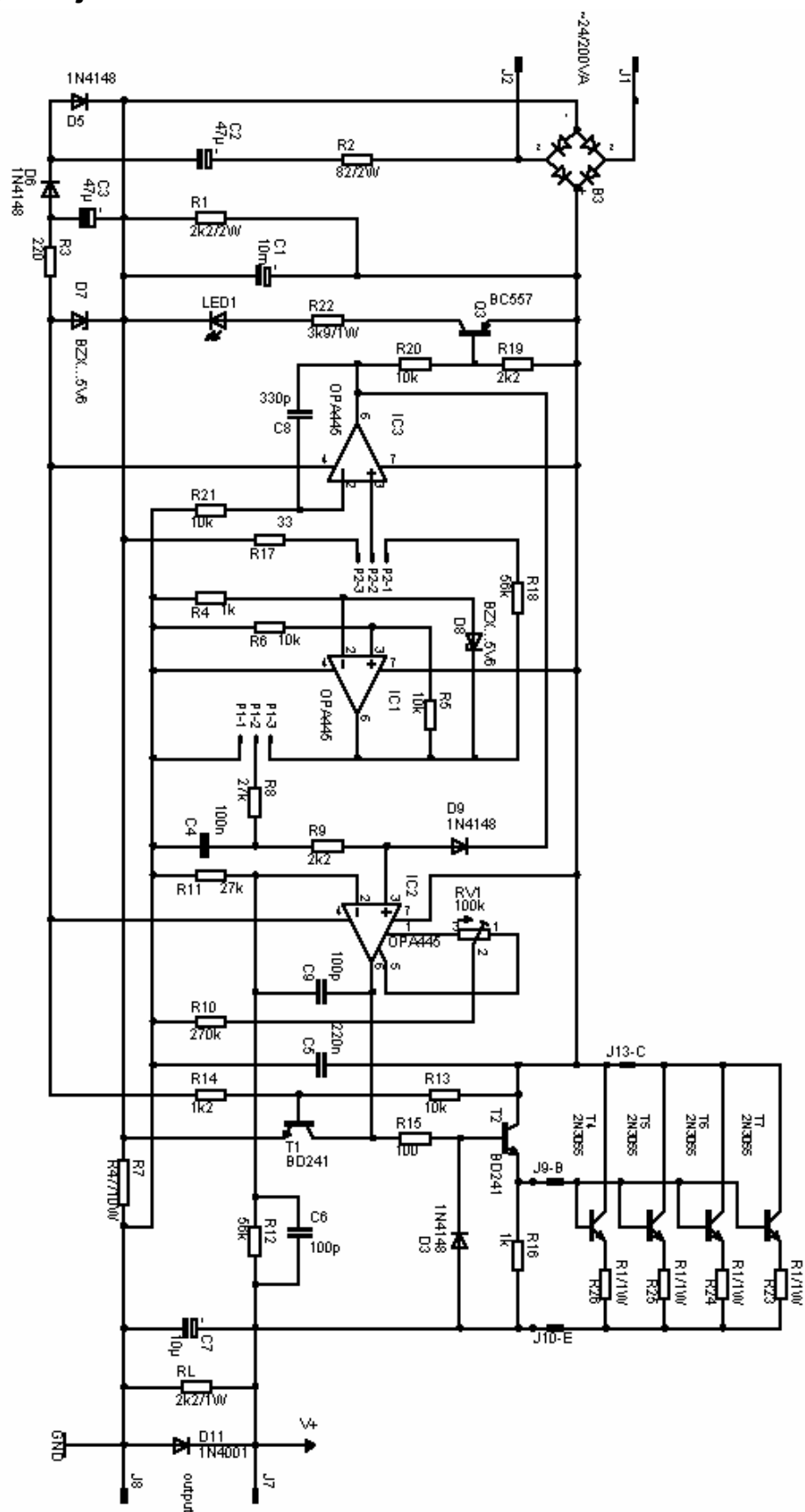
Za zagotavljanje potrebnega izhodnega toka skrbijo štirje izhodni tranzistorji tipa 2N3055. Za delovanje je potreben eden vendar sem uporabil štiri, ker v paralelni vezavi prevzamejo vsak četrtno izhodne moči. Vsakemu je dodan še emitorski upor vrednosti  $0.1\ \Omega$ , ki poskrbi, da se različne upornosti tranzistorjev, ki so posledica tehnoloških postopkov izdelave tranzistorjev izenačijo. Če teh uporov ne bi bilo, bi posamezni tranzistorji v primeru odstopanj njihovih upornosti nosili različne moči. Vezava je prikazana na sliki 6.



Slika 6: Izhodni tranzistorji



## Načrt celotnega vezja



Slika 8: Načrt vezja

### 3. Izbira elementov in sestavnih delov

Pred sestavljenjem usmernika je bilo potrebno dimenzionirati elemente, ki nastopajo v vezju. Začel sem s transformatorjem, ki je moči 150 VA. Na koncu se je izkazalo, da bi bil lahko malce močnejši, ker se zaradi padcev napetosti po vezju izhodna napetost pri polni obremenitvi zniža na 25 V. Železno jedro pride v nasičenje.

Za operacijske ojačevalnike sem izbral ojačevalnike OPA445 proizvajalca Burr – Brown. S standardnimi integriranimi vezji usmernika ne bi mogel realizirati saj imajo prenizke maksimalne dopustne napajalne napetosti. Navedeni ojačevalniki pa imajo najvišjo še dopustno napajalno napetost 90 V.

Potrebno je bilo poskrbeti tudi za pravilno dimenzionirane upore. Maksimalnih moči, ki se trošijo na njih ni bilo težko izračunati.

Tu sta še potenciometra za nastavljanje napetosti in toka. Potenciometer za nastavljanje napetosti je 10-obratni, kar pomeni, da lahko napetost precej točno nastavimo. Potenciometer za nastavljanje toka je navaden linearni potenciometer, vendar ga bo za lepše delovanje potrebno zamenjati.

Izhodni tranzistorji so močnostni tranzistorji 2N3055, katerih maksimalna dopustna disipacija moči je 115 W.

Tranzistorje hladim s pomočjo hladilnih teles ter ventilatorja, ki izsesava zrak iz ohišja. Termične upornosti hladilnikov ne poznam, ker sem le-te našel v nekem odsluženem avdio ojačevalniku. Po pravilih bi moral zmožnost odvajanja moči izračunati z upoštevanjem termične upornosti hladilnega telesa, sljude ter temperature znotraj ohišja. Ventilator je grajen za omrežno napetost in je velikosti 8 cm x 8 cm. Ventilator se vrti neprestano in porabi 70 mA toka.

Za prikazovanje izhodne napetosti in toka uporabljam analogni V-meter z območjem 0 – 30 V in analogni A-meter z območjem 0 – 4 A.

Na primarju transformatorja je varovalka 0.8 A ter dvopolno stikalo ustrezne moči.

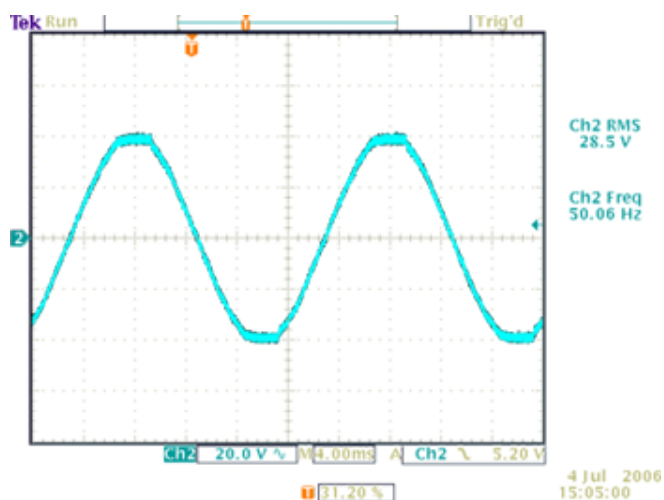
Vse skupaj je zaprto v ohišje velikosti 36 cm x 12 cm x 24 cm.

## 4. Analiza delovanja in rezultati meritev

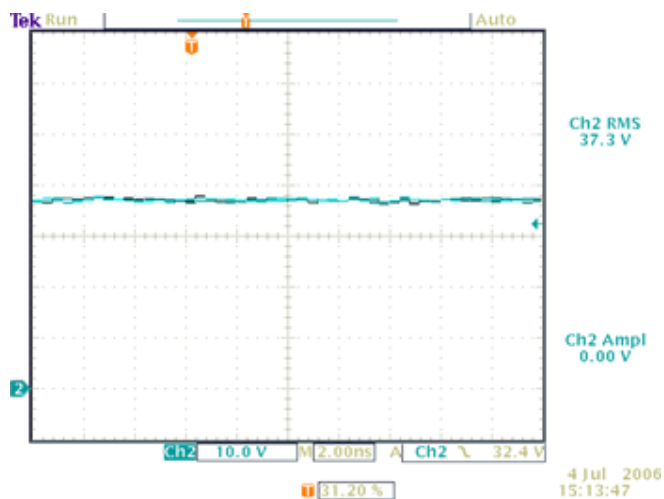
Ker so močnostni upori precej dragi, usmernika nisem testiral čez celo območje delovanja ampak le v praznem teku, neki vmesni obremenitvi, pri polni obremenitvi ter pri kratkem stiku na izhodu.

Spodaj so podani rezultati za vsako izmed teh meritev.

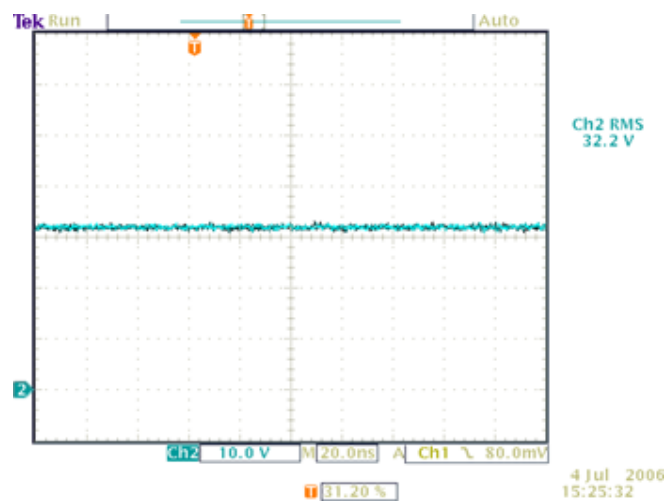
### Prazni tek:



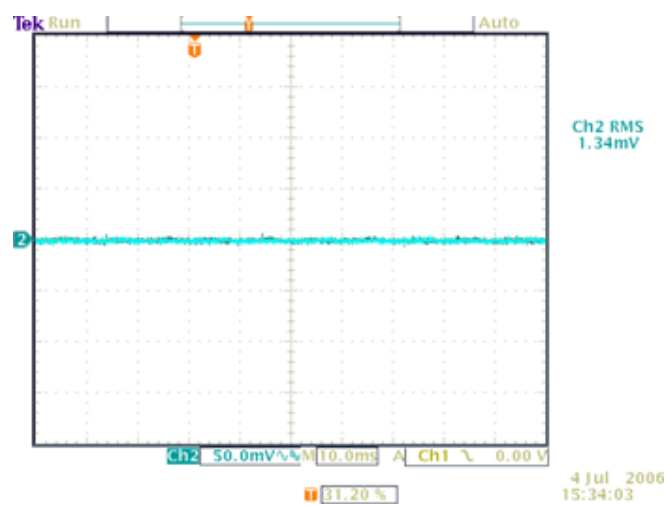
Slika 9: Napetost na sekundarju transformatorja



Slika 10: Napetost na gladilnem transformatorju



Slika 11: Izhodna napetost pri neobremenjenem izhodu

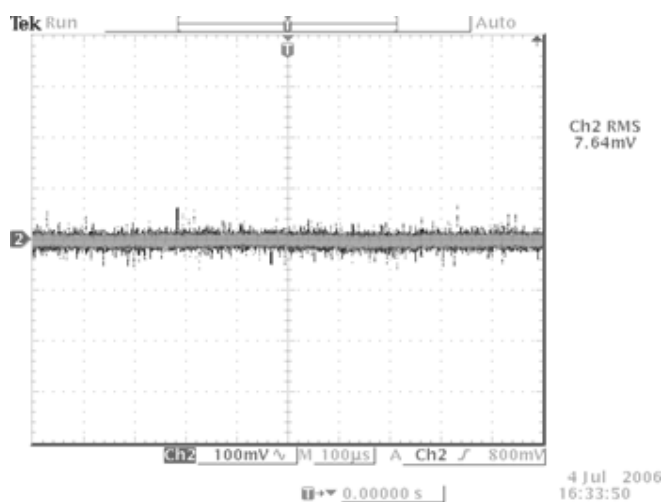


Slika 12: Izhodna valovitost pri neobremenjenem izhodu

$$U_{izh} = 16 \text{ V}, R_L = 4 \Omega:$$

Breme je izbrano tako, da teče skozenj maksimalni tok 4 A. Izmerjeni tok skozi breme je bil 3.9 A. Da bo pri navedeni obremenitvi na bremenu 16 V, mora biti na neobremenjenem izhodu za 300 mV več, kar pomeni 16.3 V. Lahko vidimo, da se valovitost za malenkost poveča v primerjavi z valovitostjo praznega teka.

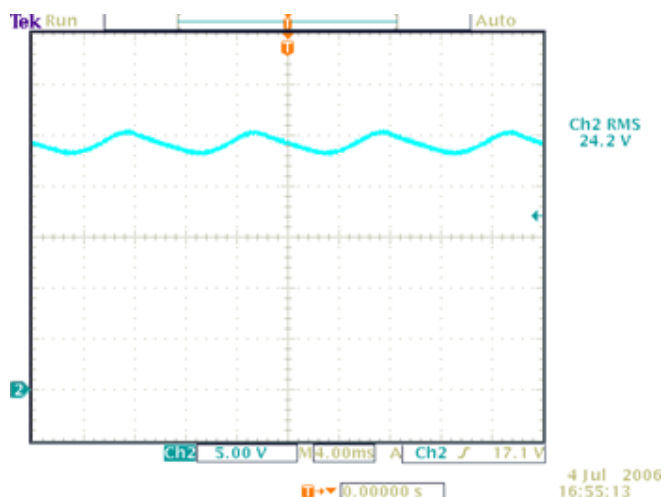
Usmernik pri tej obremenitvi deluje v skladu s pričakovanji.



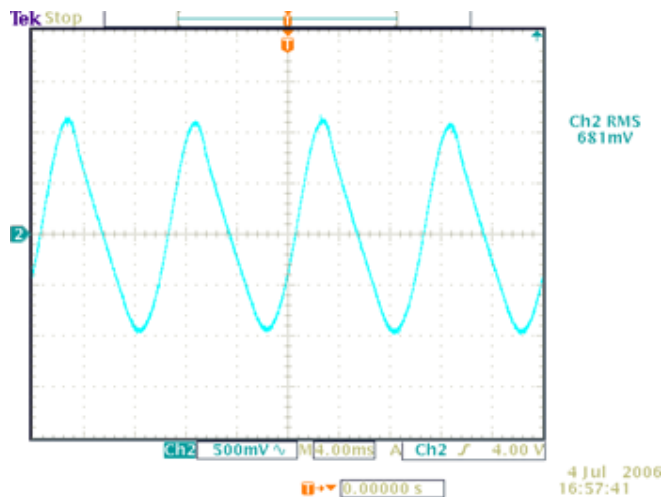
Slika 13: Izhodna valovitost pri dani obremenitvi

### Polna obremenitev ( $U_{izh} = 30\text{ V}$ , $R_L = 7.5\ \Omega$ ):

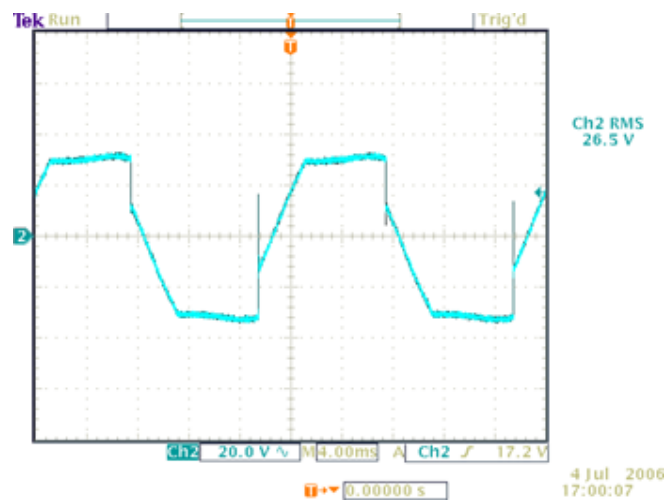
Pri polni obremenitvi lahko že opazimo sesedanje izhodne napetosti. Transformatorsko jedro pride v nasičenje (slika 16), padci napetosti na povezavah so pri toku, ki teče skozi vezje, sorazmerno veliki. Že na gladilnem kondenzatorju dobimo valovitost napetosti. Na izhodu lahko dobimo maksimalno napetost nekaj več kot 24 V. Poveča se tudi valovitost izhodne napetosti. Vse to je prikazano na spodnjih slikah. Tok, ki je tekel skozi breme je bil enak 4 A.



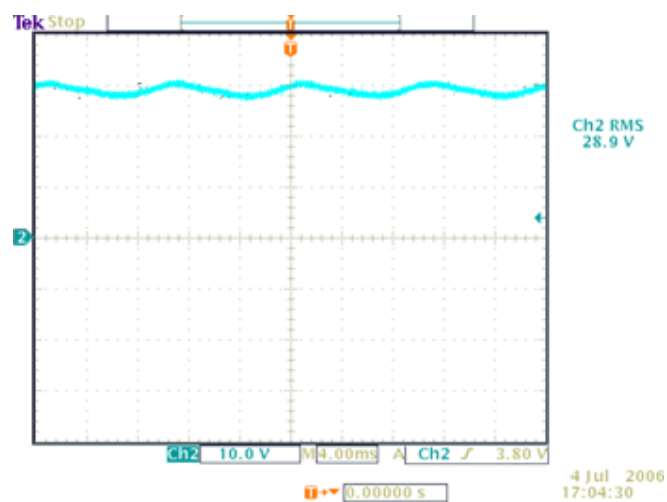
Slika 14: Potek izhodne napetosti pri polni obremenitvi



Slika 15: Valovitost izhodne napetosti pri polni obremenitvi



Slika 16: Potek napetosti na sekundarju transformatorja pri polni obremenitvi



Slika 17: Potek napetosti na gladilnem kondenzatorju pri polni obremenitvi  
Napetost na kondenzatorju je za 8 V manjša kot pri neobremenjenem izhodu.

### **Kratek stik na izhodu:**

Vezje sem testiral tudi s kratkim stikom na izhodu. Tako sem lahko enostavno preveril delovanje tokovne zaščite. Zaščita deluje v skladu s pričakovanji. Tako je pri toku 4 A napetost na izhodu nekaj mV.



## 5. Zaključek

Lahko ugotovimo, da opisani izdelek zadostuje za uporabo v domači delavnici. Na maksimalni obremenitvi so njegove performanse sicer nekoliko slabše, vendar redko kdaj potrebujemo tako veliko moč. V primeru, da nam ne bi zadostoval za napajanje večjih bremen, lahko začnemo razmišljati o preklopnih napajalnikih.

Če govorimo o nadgradnji obstoječega usmernika, je prva stvar, ki nam pride na misel, zagotovo povečanje izhodne moči. To bi lahko na dokaj enostaven način dosegli s ponovnim dimenzioniranjem elementov. Tu imam v mislih predvsem transformator. Pri napajalni napetosti operacijskih ojačevalnikov imamo še dosti rezerve. Povečati bi bilo potrebno tudi moč nekterih uporov in zagotoviti primerno odvajanje toplote iz izhodnih tranzistorjev in Graetzonega mostiča.

Za uporabniku prijaznejše delovanje bi lahko izboljšali prikaz napetosti in toka z vgraditvijo večjih analognih prikazovalnikov oz. po želji tudi digitalnih prikazovalnikov.

**Priloge:**

- 2N3055.pdf
- BC557.pdf
- BD241.pdf
- TIP31A-D.pdf
- OPA445.pdf