



Univerza v Ljubljani



Fakulteta za elektrotehniko

Boštjan Glažar

# Tristorski laboratorijski usmernik

Seminarska naloga

pri predmetu  
Elektronska vezja

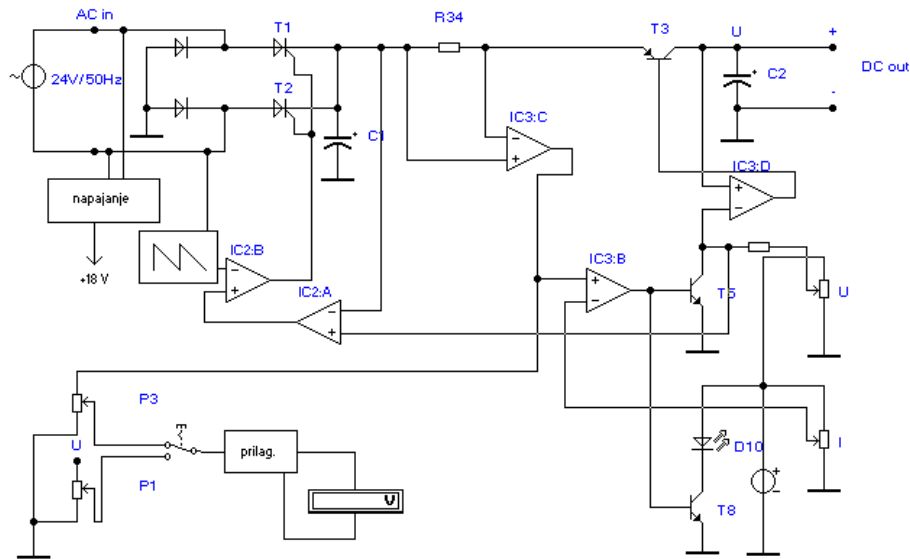
V Postojni, september 2001

## Uvod

Laboratorijski usmerniki imajo običajno nastavljivo izhodno napetost, ki jo potrebujemo za napajanje različnih bremen. Klasični usmerniki imajo na vhodu transformator, nato diodni usmernik z gladilnim kondenzatorjem. S tem pridemo do neregulirane napetosti običajno 30 V. To napetost je potem potrebno še zmanjšati na željeno vrednost, kar običajno naredimo s serijsko vezanim tranzistorjem. S tem napetost hkrati zgladimo. Tukaj pa se pojavi problem izkoristka, saj ostane odvečna napetost na tranzistorju, ki se zaradi tega segreva. To je še posebej očitno, kadar imamo na izhodu majhno napetost. Npr. pri izh. napetosti 5 V in toku 2 A imamo na tranzistorju 50 W izgub, kar je že kar precej in potrebujemo precej velik hladilnik.

Namen te seminarske naloge pa je, da bi te izgube zmanjšali. Edini način kako to storiti pri linearnem regulatorju je ta, da je vhodna napetost nižja. To lahko storimo tako, da v greatzovem spoju dve diodi nadomestimo s tiristorjema, ki ju odpiramo, ko je napetost nižja. S tem se gladilni kondenzator napolni na nižjo napetost s čimer je tudi napetost na tranzistorju manjša. Če vzame isti primer kot prej so izgube približno 15 W.

## Blok shema



Slika 1 - blok shema

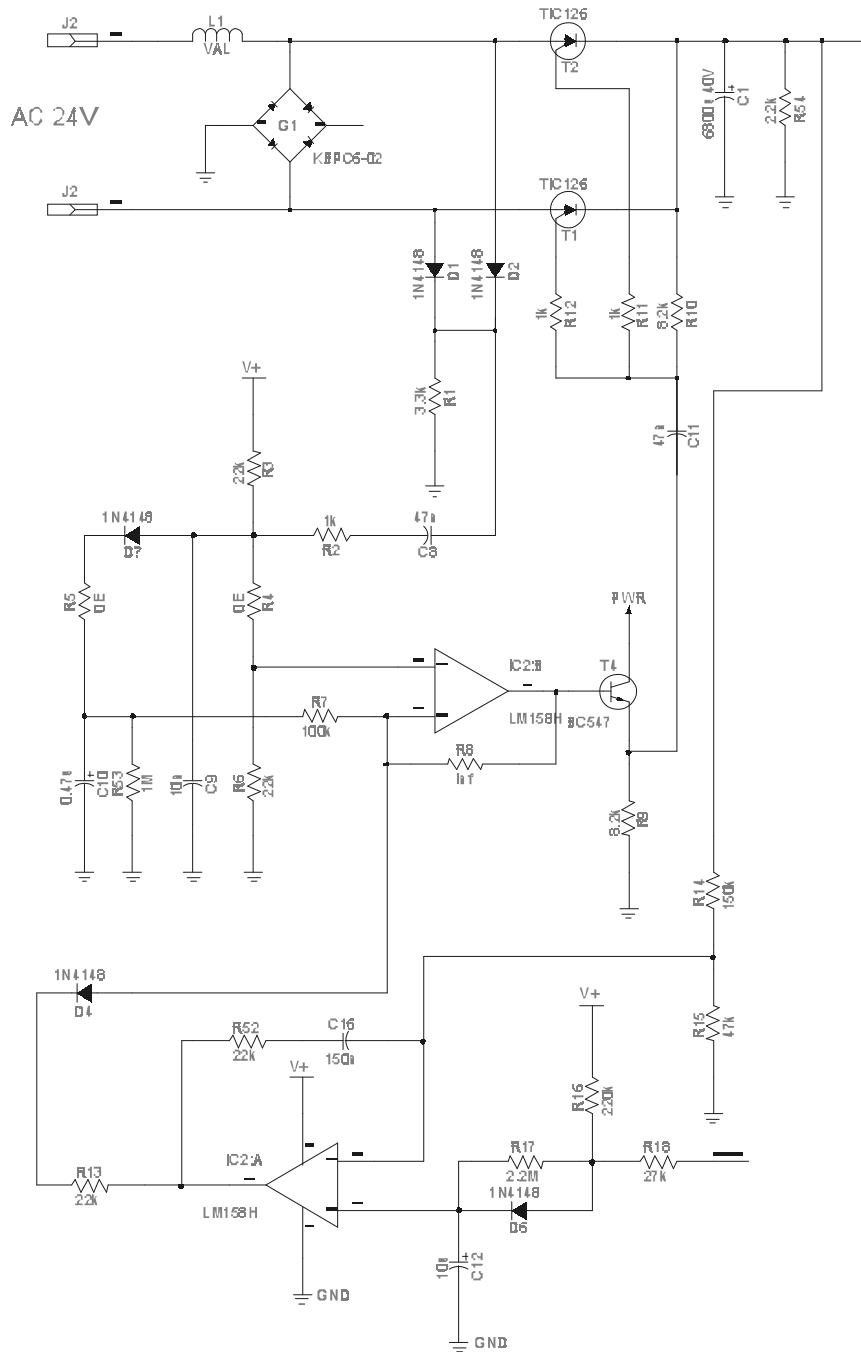
Kot je razvidno iz Slike 1 je na vohodu greatzov spoj, ki ima namesto dveh diod tiristorja. Tiristorja se odpreta kasneje, kot bi se diode - ko je vhodna napetost manjša - zato se kondenzator C1 napolni na nižjo vrednost in ne na temensko. Impulzi za krmiljenje tiristorjev se dobijo s primerjanjem krmilne napetosti z napetostjo žage (IC2:B). Krmilna napetost se dobi kot ojačana razlika željene napetosti in dejanske (IC2:A).

Vezje od tu naprej je običajen usmernik. Najprej sledi meritev toka, ki je izvedena s pomočjo serijskega upora R34 in IC3:C. Zmanjšanje in glajenje napetosti se opravi s pomočjo T3, ki ga v povratni vezavi krmili IC3:D. Tokovna omejitev je izvedena s primerjanjem izmerjenega toka in nastavljene omejitve (IC3:B). Če je tok prevelik se prižge signala svetleča dioda D10 in preko T5 zniža referenčna izhodna napetost.

Običajno nas zanima kakšna je napetost na izhodu in izhoden tok. Za prikazovalnik sem uporabil LCD modul, za katerega sem pa moral najprej narediti prilagodilno vezje. Prilagodilno vezje dvigne potencial mase, ker ima LCD modul plavajočo maso. Prikazovalnik je samo eden, zato s stikalom izberemo kaj merimo.

Vsa krmilna vezja pa seveda potrebujejo napajanje, ki je enojno +18 V.

## Krmiljenje tiristorjev



Slika 2 - krmiljenje tiristorjev

Kot je bilo že omenjeno dobimo krmilne impulze s primerjavo žage s krmilno napetostjo. Žaga (pravzaprav žagi podoben signal) nastane iz usmerjenega sinusa na upor  $R_1$ , kondenzatorja  $C_8$  in vzporedne vezave  $R_3$  in  $R_6$  (diferenciator).  $R_3$  in  $R_6$  hkrati predstavljata delilnik napetost - tako je žaga postavljena približno v sredino napajalne napetosti. Morebitne motnje iz omrežja, ki bi lahko povzročile prezgodnje proženje tiristorjev odstranita  $R_2$  in  $C_9$ . Nastala žagasta napest je priključena na - vhod operacijskega ojačevalnika (OPA) IC2:B. Krmilna napetost pa je pripeljana na + vhod.

Krmilna napetost je dobljena s primerjanjem referenčne napetosti, ki je za ca. 7 V višja od nastavljene izhodne in napetosti na C1. Da ne bi primerjalnik šel pregloboko v nasičenje ko izhodno napetost hitro znižamo, se reference počasneje spušča kot dviga. To je doseženo z diodo D6, ki polni C12, prazni ga pa R17 - počasneje. Upora R16 in R18 poskrbita za višjo referenco. OPA IC2:A ima tudi lokalno povratno vezavo - R52 in C16. IC2:A z okoliškimi elementi tako predstavlja PI regulator. Srednja napetost na C1 znaša:

$$U_{C1} = \left( 1 + \frac{R_{14}}{R_{15}} \right) * \frac{U_{ADJ} * R_{16} + 18V * R_{18}}{R_{16} + R_{18}}$$

V primeru, ko bi bila referenca previsoka (ca. 32 V), bi šel IC2:A v nasičenje, izhodna napetost IC2:B, bi bila stalno v visokem stanju in krmilnih impulzov ne bi bilo. Da se to ne bi zgodilo se na C10 dobi maksimalni nivo žagaste napetosti. Dioda D4 in R7 zagotavljata, da napetost na + sponki IC2:B ne more biti višja od žage.

Krmilni impulzi na izhodu IC2:B so ojačani s T4 in speljani preko C11 na tiristorja. Krmilni tok z danimi elementi znaša ca. 15 mA. T4 se napaja direktno iz 30 V in tako ne moti napetosti 18 V. Tuljava L1 je namenjena povečanju kota odprtja, da se zmanjša efektivna vrednost toka skozi transformator. Vgradimo jo, če ima uporabljen transformator prenizko izhodno impedanco.

## Regulacija izhodne napetosti

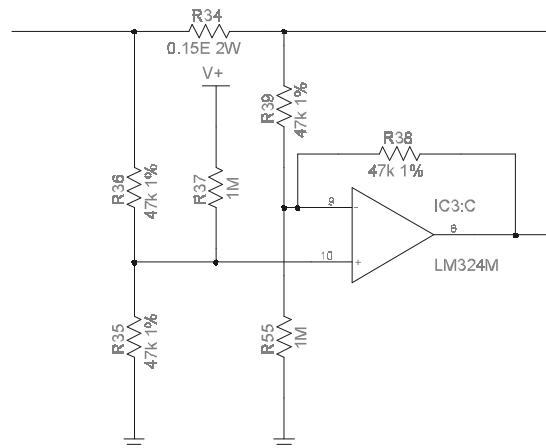
Usmerjena napetost, ki se pojavi na C1 je še vedno precej valovita, zato jo je potrebno zgladiti s serijskim elementom, ki ga predstavlja T3. Kot ojačevalnik napake je uporabljen IC3:D. Na + vhod je preko R21 priklopljen potenciometer s katerim nastavljamo željeno napetost, na - vhod pa delilnik izhodne napetosti. Izhodna napetost je podana z enačbo:

$$U_{izh} = U_{ADJ} * \left( 1 + \frac{R_{22}}{R_{23}} \right)$$

C14 poskrbi za hitrejšo reakcijo vezja na spremembe izhodne napetosti, D7 pa ščiti IC3:D pred negativno napetostjo, ki bi se lahko pojavila pri nenadnem padcu izhodne napetosti. Izhod ojačevalnika se ojača s pomočjo T7 in pripelje na bazo močnostnega tranzistorja T3.

Delilnika R22, R23 in R14, R15 sta enaka, zato je napetost na T3 skoraj neodvisna od nastavljenosti.

## Meritev toka



Slika 3 - vezje za merjenje toka

Meritev toka je najenostavnejše izvesti s pomočjo upora, na katerem se pojavi padec napetosti premosorazmeren z merjenim tokom. V vezju je v ta namen upor R34. Ker pa merilnik in način omejitve toke zahtevata informacijo o toku glede na maso, je v vezju IC3:C, ki napetost na uporu prestavi glede na maso. Pri pogoju ( $R36=R39$ ,  $R35=R38$  in  $R37=R54$ ) je napetost na izhodu IC3:C enaka:

$$U_I = \frac{R_{38}}{R_{36}} * U_{R34} + \frac{R_{38}}{R_{37}} * 18V$$

Pri tem pogoju pa tudi OPA čuti enako impedanco na obeh vhodnih priključkih, s čimer se izognemo vplivu vhodnega predtoka. Dodatna enakost uporov R36 in R38 določa ojačenje 1. R37 in R54 pa poskrbita za dvig izhodne napetosti za 846 mV s čimer je zagotovljeno, da deluje OPA v linearnem območju. To napetost pa je potrebno upoštevati pri pretvorbi za prikaz in nastavitvi tokovne omejitve.

Upori R35, R36, R38 in R39 morajo biti čim bolj točni, sicer napetost na C1 preveč vpliva na izhod OPA.

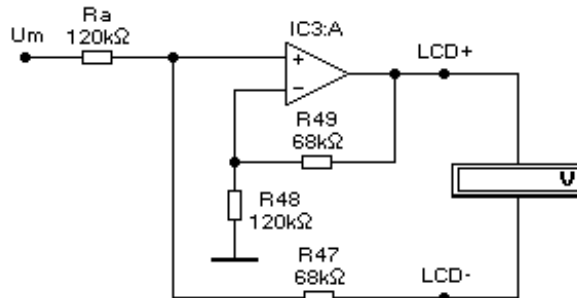
## Tokovna omejitev

Omejitev izhodnega toka potrebujemo tako za zaščito priključenih naprav kot zaščito napajalnika samega. Včasih pa nam pride prav ko potrebujemo tokovni vir (npr. za polnjenje akumulatorjev)

Tokovna omejitev je izvedena s primerjanjem nivoja nastavljenega s P6 in dejanskega toka, za kar poskrbi OPA IC3:B. Pri prevelikem toku se najprej odpre tranzistor T8, ki vključi svetlečo diodo D10. Nato pa še T5, ki zniža referenčno napetost. S tem se preko R21 zniža tudi referenca za polnjenje C1. Če je izhod v kratkem stiku se lahko zaradi napetosti nasičenja T5 in ofsetne

napetosti IC3:D zgodi, da znižanje referenčne napetosti ne bi zmanjšalo toka. V tem primeru poskrbi za zaprteje izhodnega tranzistorja T6.

## Meritev napetosti in toka



Slika 4 - prilagodilno vezje za merilnik

V ta namen sem izbral že kupljen LCD modul. Tak modul običajno vsebuje integrirano vezje 7106. Izberemo lahko tudi ekvivalentem LED modul z IC 7107. Obema moduloma pa je skupno to, da napajalna masa in masa merilnega signala nista na istem potencialu. Problem bi lahko rešili z ločenim napajanjem (npr. s stikalnim napajalnikom), vendar je ta rešitev nekoliko nerodna. Odločil sem se, da bom napajanje za modul priključil direktno, merjeni signal pa premaknil na ustrezen nivo.

Za to sem uporabil seštevalnik, ki sešteje merjeno napetost in napetost mase LCD-ja. Napetost na LCD-ju določa naslednja enačba:

$$U_{LCD} = \frac{R_{47}}{R_A + R_{47}} \frac{R_{48} + R_{49}}{R_{48}} U_m + \left( \frac{R_{47}}{R_A + R_{47}} \frac{R_{48} + R_{49}}{R_{48}} - 1 \right) U_{LCD-}$$

$U_m$  in  $R_A$  sta napetost in upornost vira po Theveninovem teoremu. Izračunamo ju iz delilnika napetosti in serijske upornosti ( $R_{44}$ ,  $R_{45}$ ,  $R_{51}$ ,  $P_1$  in  $P_2$  za napetost oz.  $R_{46}$ ,  $R_{50}$ ,  $P_3$  in  $P_4$  za tok). Iz enačbe je razvidno, da mora, za pravilno merjenje napetosti in ojačenje 1, veljati:  $R_A = R_{48}$  in  $R_{47} = R_{49}$ . Drugače pa je pri merjenju toka, kjer je potrebno odšteti tistih 846 mV. To je doseženo z zmanjšanjem  $R_A$ . Napetost na - sponki LCD modula je konstantna (7 V) oz. za 2,8 V manjša od napajalne, ta pa je za vrednost zener diode D8 (8,2 V) zmanjšana napetost 18 V. Napajanje za LCD modul je vzeto iz +18 V. Ker pa modul potrebuje 9 V je napetost zmanjšana s pomočjo zener diode. Vloga trimmer potenciometrov je naslednja:

- P1 - nastavitev ojačenja napetosti.
- P2 - nastavitev ničle za merjenje napetosti.
- P3 - ojačenje za meritev toka.
- P4 - nastavitev ničle pri merjenju toka.

Zaradi uporabljene vezave je nastavitvev v resnici malo težja, ker P1 in P3 vplivata tudi na ničlo in P2 in P4 tudi na ojačenje. V praksi je tako potrebnih nekaj iteracij.

## Napajanje vezja

Vsi operacijski ojačevalniki seveda potrebujejo tudi napajanje. Odločil sem se za enojno napajanje +18 V. Taka napetost je potrebna predvsem zaradi vezja za merjenje toka. Vhoda OPA IC3:C sta na polovici napetosti na C1, napajalna napetost pa mora biti višja od vhodne.

Napajanje je vzeto iz + sponke greatzovega spoja in stabilizirano s pomočjo tripolnega stabilizatorja LM7818. Ker je usmerjena napetost prevelika za stabilizator jo je potrebno predhodno znižati z zener diodo D3.

## Izvedba

Vezje je narejeno na enostranskem tiskanem vezju (TIV) dimenzije 151 x 81 mm. Močnostni elementi so ob robu tako, da jih je lažje namestiti na hladilno telo. Na hladilno telo se pritrdi tranzistor T3, tiristorja in greatzov spoj.

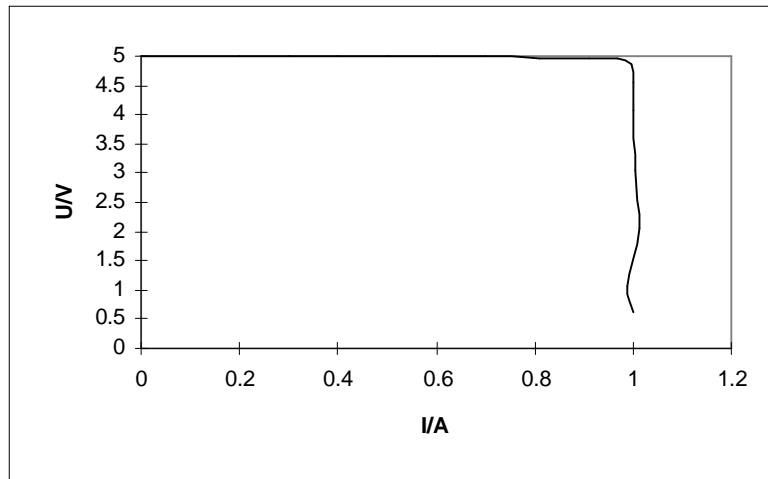
Tiskano vezje ima tudi luknjice za pritrditev. Elementi na čelni plošči (potenciometra, svetleči diodi, stikalo in LCD modul) so priključeni preko IDC konektorja s pomočjo ploščatega kabla. Stikalo je povezano tudi direktno z LCD modulom, za preklapljanje decimalne pike. Priključne puše so na TIV priključene na vrstno sponko. Tukaj je potrebno uporabiti debelejšje žice.

Vezje se napaja preko transformatorja 24 V, ki mora biti dimenzioniran za večji tok, kot je pa izhodni tok iz usmernika. Pred transformator pa je potrebno namestiti varovalko, ki ščiti vezje v primeru napak. Za vklop usmernika je iz varnostnih razlogov priporočljivo uporabiti dvopolno stikalo. Priklop na omrežje je dobro izvesti s pomočjo EURO vtičnice. Ker je ohišje napajalnika običajno kovinsko, ga je potrebno ozemljiti (na srednji kontakt vtičnice).

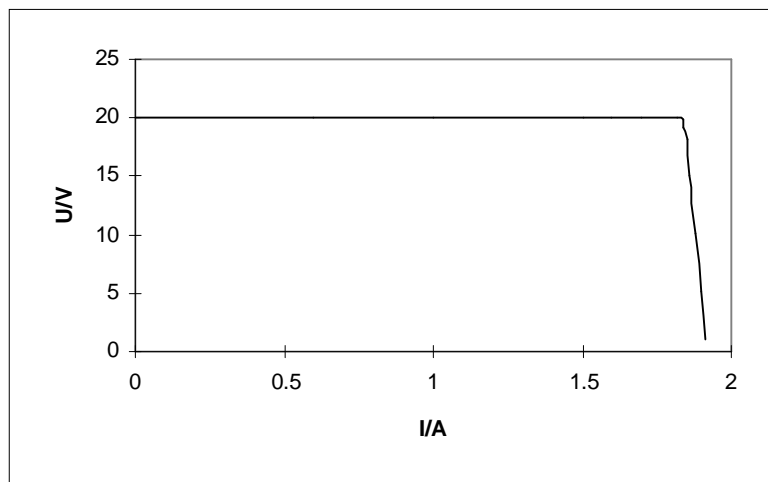


## Zaključek

Za konec sem izmeril izhodno karakteristiko usmernika. Karakteristiko sem izmeril pri dveh različno nastavljenih napetostih in dveh različnih tokovih in sicer 5 V in 20 V ter 1 A in 1,8 A. Zaradi precejšnje podobnosti sem prikazal samo dve.



Slika 5 - izhodna karakteristika pri  $U=5\text{ V}$  in  $I=1\text{ A}$



Slika 6 - izhodna karakteristika pri  $U=20\text{ V}$  in  $I=I_{\text{MAX}}$

Kot je razvidno iz slik je izhodna karakteristika precej ravna. Izhodna napetost pada približno  $20\text{ mV/A}$ . Ugotovil sem, da je to predvsem posledica upornosti vezic na tiskanem vezju. Kot se približamo tokovni omejitvi izhodna začne izhodna napetost strmo padati proti 0. Ne najbolj strmo upadanje pri sliki 6 pa je posledica netočnega merjenja toka. Hkrati sem namreč opozoval meritev toka na LCD prikazovalniku, ta pa je bila odvisna tudi od napetosti. Če je bila napetost večja je bil večji tudi zmerjeni tok. Razlika je lahko znašala tudi  $100\text{ mA}$ . To bi lahko odpravili s točnejšimi upori ali pa s trimmer potenciometrom s katerim bi kompenzirali odstopanje uporov.

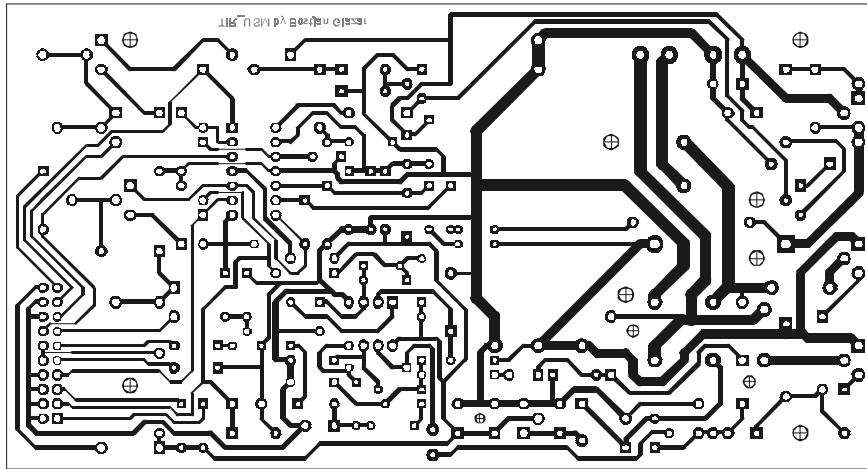
## Seznam uporabljenega materiala

Količina	Tip	Vrednost	Položaj
=====			
1	1N3018	VAL	D8
1	1N3828	VAL	D3
1	BRIDGE	KBPC6-02	G1
2	CAP	47n	C11,C8
2	CAP	1n	C14,C15
1	CAP	150n	C16
3	CAP	100n	C3,C5,C6
1	CAP	10n	C9
2	CONN		J2,J3
5	DIODE	1N4148	D1,D2,D4,D5,D6
1	DIODE	BAT85	D7
1	IDC2X10F		J1
1	IDC2X10M		J1
1	IND	VAL	L1
1	LED	RED	D10
1	LED	GREEN	D9
1	LM158H		IC2
1	LM7818		IC1
4	NPN	BC547	T4,T5,T6,T8
1	NPN	BD242	T7
1	PNP	2N2955	T3
1	POLCAP	6800u	C1
1	POLCAP	0.47u	C10
2	POLCAP	10u	C12,C7
1	POLCAP	47u	C13
1	POLCAP	220u	C2
1	POLCAP	330u	C4
1	POT	2.2k	P1
2	POT	22k	P2,P4
3	POT	10k	P3,P5,P6
1	RES	3.3k	R1
2	RES	8.2k	R10,R9
3	RES	1k	R11,R12,R2
5	RES	22k	R13,R3,R52,R56,R6
1	RES	150k	R14
5	RES	47k	R15,R35,R36,R38,R39
1	RES	220k	R16
1	RES	2.2M	R17
1	RES	27k	R18
1	RES	20k	R19

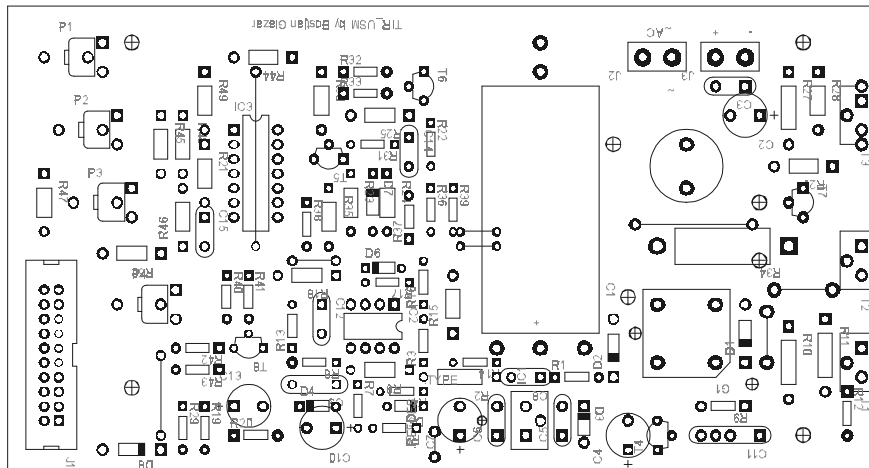
3	RES	Inf	R20,R24,R8
1	RES	120E	R21
2	RES	15k	R22,R40
1	RES	4.7k	R23
2	RES	2.2k	R25,R54
4	RES	0E	R26,R27,R4,R5
1	RES	100E	R28
1	RES	470k	R29
2	RES	56k	R30,R32
3	RES	10k	R31,R33,R41
1	RES	0.15E	R34
3	RES	1M	R37,R53,R55
2	RES	1.5k	R42,R43
1	RES	680k	R44
1	RES	9.1k	R45
3	RES	100k	R46,R51,R7
2	RES	68k	R47,R49
1	RES	120k	R48
1	RES	82k	R50
1	SWITCHDPDT	VAL	SW2
2	THYRIS	TIC126	T1,T2

Skupaj elementov: 114

## Tiskano vezje



Slika 7 - spodnja stran tiskanega vezja (1:1)



Slika 8 - montažna shema - razpored elementov

Pozor!

Nekateri elementi so bili dodani naknadno, zato na tiskanem vezju ni elementov: R51-R55 in C16.

## Literatura:

- [1] LR elektronika: *Elektronika 1/93: Dvojni stabilizirani usmernik*, Vir, 1993
- [2] LR elektronika: *Elektronika 4/94: ISKRA servis Sežana: Enosmerni izvori napajanja - 1*, Vir, 1993
- [3] Telefunken service Farbfernseh-Chassis 712 (servisna navodila)

## Priloge:

- [1] h9299.pdf: *LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers*
- [2] h7787.pdf: *LM158/LM258/LM358/LM2904 Low Power Quad Operational Amplifiers*

## Avtor:

Boštjan Glazar  
bostjan.glazar@campus.fe.uni-lj.si  
4. letnik UNI elektronika v š.l. 2000/2001

