

FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO
LJUBLJANA

SEMINARSKA NALOGA PRI PREDMETU
ELEKTRONSKA VEZJA

**STABILIZIRANI LABORATORIJSKI
USMERNIK**

Nalogo izdelal:
Marko Nerat
V Ljubljani,
dne 22.3.2005

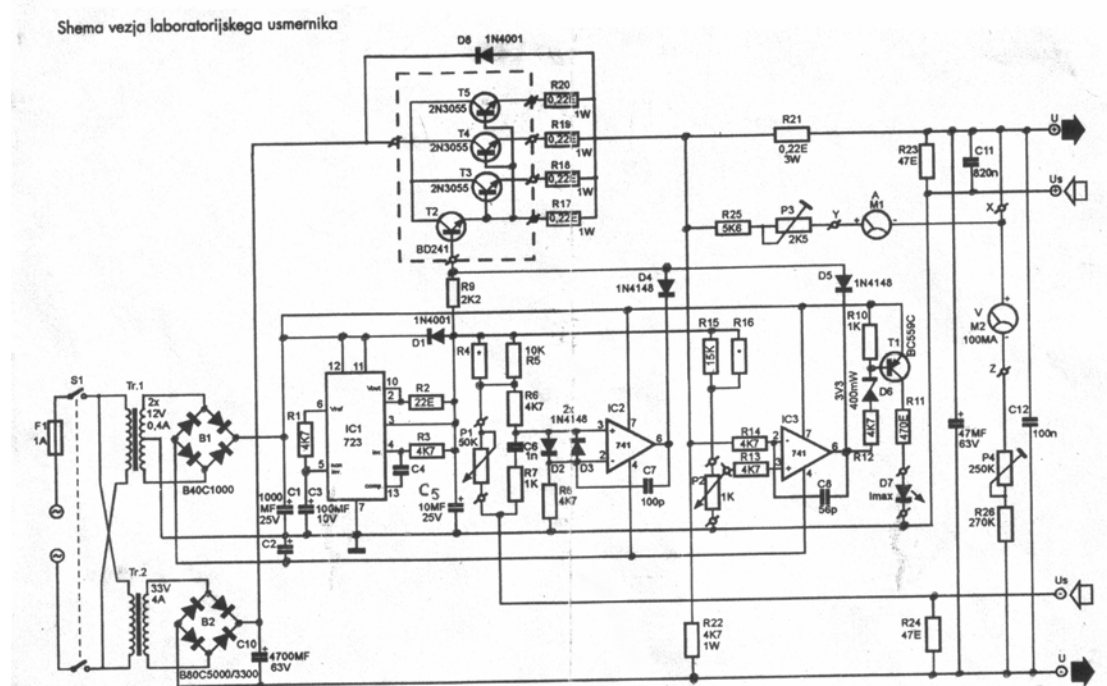
Uvod

Izdelave laboratorijskega usmernika sem se lotil zaradi lastnih potreb po napajalnem viru, ki zagotavlja nastavljivo napetost v rangu med 0 in 30V, z možnostjo omejevanja toka v razponu od 0 do 4A.

Danes si težko predstavljamo kakršenkoli laboratorij brez stabiliziranega usmernika, ki zagotavlja optimalno napajanje elektronskih vezij, ki jih preizkušamo. Praktično je v tem primeru nakup laboratorijskega usmernika nujen, za domačo uporabo pa je dober tudi doma izdelan napajalnik. Pri tem glavno vlogo odigra prav cena, ki se za ekvivalenten usmernik mojemu giblje od 30.000 SIT navzgor.

Shemo oziroma načrt za izdelavo sem povzel iz revije TIM 9/10 maj, junij letnik 1996 in jo nekoliko priredil za meritev izhodnih veličin (toka), kjer sem ampermeter vezal serijsko na izhod in ne kot je prikazano na shemi, kjer je priključen paralelno upor R21. Pri nekaterih elementih gre za ekvivalentne (tranzistorji) ali najbližje vrednosti, ki jih je mogoče dobiti.

Shema (na koncu je dodana je še povečana shema)



Kot lahko vidimo, gre za razmeroma obsežno vezje, katerega delovanje bi opisal takole:

Na skrajni levi strani sheme je napajalni del s transformatorjem, ki je v mojem primeru toroid s tremi navitji – primarnim, ki je prek varovalke F1 vezan na omrežno napetost 230V/50Hz, sekundarnim glavnim, ki je deklariran za 33V/4A in služi za napajanje bremena, ter sekundarnim s srednjim odcepom, ki je namenjen napajanju stabilizacijskega dela vezja in je deklariran kot 2×12V /0.5A. Seveda sta potrebna dva Graetzova stika za polnovalno usmerjanje in gladilni kondenzatorji C10, C1 in C2. IC1 na osnovi UA723PC je univerzalni napetostni regulator, ki zagotavlja stabilno plus – minus napajalno napetost, ki jo generira s pomočjo integriranega referenčnega vira iz sponke 5.

Izhoda 10 in 2 sta vezana skupaj in preko upora R2 služita napajanju tranzistorja T2 ter delilnika napetosti za nastavitev izhodne napetosti usmernika. Vezji IC2 in IC3 sta operacijska ojačevalnika serije IL741S. Prvi služi za nastavitev napetostnega nivoja s pomočjo delilnika napetosti, ki ga sestavljajo upori R4, R5, R6 in potenciometer P1 50kΩ lin. IC2 torej na izhodno napetost vpliva tako, da v primeru previsoke napetosti spusti izhodni nivo (6), tok steče preko D4, kar pomeni, da del toka, ki teče v T2 sedaj "odžira" operacijski ojačevalnik. Tok i_{b2} se torej zmanjša, kar pomeni tudi manjši i_{e2} , tranzistorji T3, T4, T5 sedaj dobivajo manjše tokove v baze, zato tudi izhodni tok usmernika pade, kar zniža napetost na bremenu. Obratno se zgodi pri znižanju izhodne napetosti (npr. upornost bremena Rb se zmanjša). Diodi D2 in D3 na vhodu IC2 sta t.i. bypass diodi, ki omejita vhodno napetost U_d v operacijski ojačevalnik.

Drugi operacijski ojačevalnik IC3 služi za tokovno omejitev usmernika. S potenciometrom P2 določimo, pri katerem toku bremena bo operacijski ojačevalnik začel "odžirati" tok tranzistorju T2 preko diode D5. Takrat se v primeru večjega toka od nastavljenega, tok i_{b2} zmanjša, kar pomeni tudi manjši i_{e2} , tranzistorji T3, T4, T5 sedaj dobivajo manjši tok v bazo, zato tudi izhodni tok usmernika pade, kar zniža napetost na bremenu in s tem teče maksimalni nastavljeni tok. Diodi D4 in D5 služita za neodvisno delovanje obeh operacijskih ojačevalnikov, torej bazni tok T2 pade, čim je katerikoli od izhodov operacijskih ojačevalnikov za kolensko napetost diod D4 ali D5 nižji od U_{b20} .

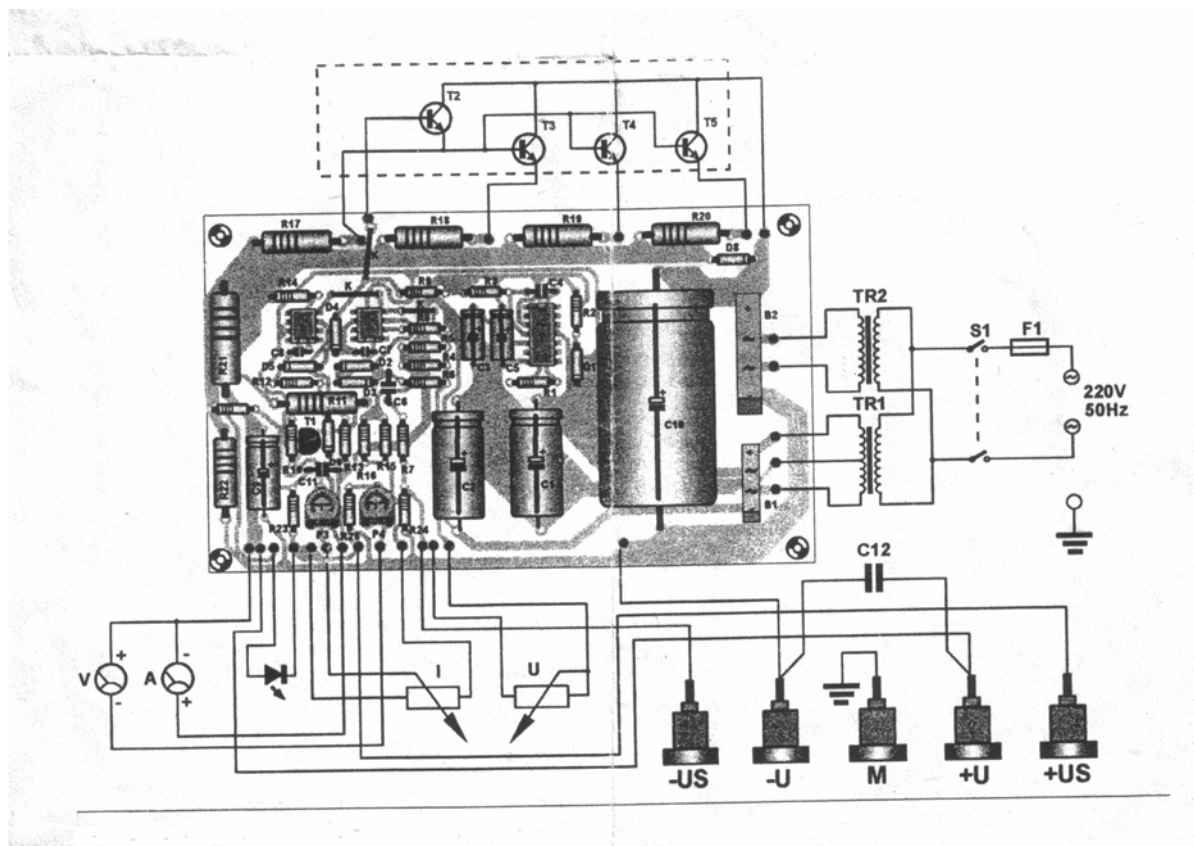
Omejevanje toka signalizira LED, označena kot D7, saj ob določenem dovolj nizkem nivoju na izhodu IC3 Zenerjeva dioda začne prevajati, tok steče skozi upor R10 in pri toku okoli 0.7mA se tranzistor T1 odpre in LED zasveti. Upor R21 je t.i. senzorski upor, ki pomaga nadzirati razmere v vezju (velikost izhodnega toka). Skrajno desno na shemi je izhod napajalnika, kjer je kondenzator C12, ki je lahko tudi večji od navedenih 100nF, saj je delovanje z večjim C na izhodu bolj "gladko", ker se usmernik hitreje odziva na spremembe obremenitve (boljše glajenje tokovnih konic). Prav tako se na izhodu nahaja voltmeter z dodanima preduporoma R26 (fiksni, da ne "zabije" kazalca) in trimmerjem P4 za pravilno nastavitev kazanja instrumenta.

Pri mojem usmerniku je ampermeter vezan v serijo z R21, ker je instrument nekoliko predimenzioniran, saj ima merilni doseg 10A in ni potrebno dodajati soupora kot je to izvedeno na shemi (opustil sem vejo R25, P3, AM1).

Največji problem tega usmernika je odvajanje toplote, ki se večinoma sprošča na močnostnih tranzistorjih T3, T4, T5, ki morajo prenesti disipacijo moči $P=U_1 \times I_{max}=30V \times 4A=120W$, kar znaša v povprečju okoli 40W na posamezen tranzistor, zato je aluminijasto rebro karseda veliko in masivno, saj s tem povečamo toplotno prevodnost in kapaciteto!

Upori R17 do R20 so namenjeni omejitvi emitorskih tokov, da se zaradi različnih parametrov tranzistorjev ne bi zgodilo, da bi večji del bremenskega toka tekkel le skozi en tranzistor in ga uničil. Torej nam upori predstavljajo negativni povratni sklop.

Povezava elektronskih komponent na tiskanem vezju



Kratek opis razporeditve komponent

Kot lahko vidimo na sliki, je večina komponent na tiskanem vezju, nekatere pa so priključene preko žic. Zgoraj so tranzistorji, ki so pritrjeni na hladilno telo, levo spodaj si proti desni sledijo: voltmeter, ampermeter, LED indikator tokovnega omejevalnika, potenciometer za nastavitev maksimalnega toka, potenciometer za nastavitev izhodne napetosti, izhodne sponke (v mojem primeru le U+ in U-). Vse komponente spodaj se nahajajo na čelni plošči usmernika. Na desni vidimo transformator, varovalko, stikalo in priključek na omrežno napetost. Tako stikalo kot tudi varovalki sta na čelni plošči, transformator se nahaja v notranjosti ohišja, prav tako tiskano vezje. Hladilna rebra in priključni kabel so nameščeni zadaj. Sledijo še slike zunanosti ohišja in vezja znotraj, ki so priložene na naslednjih straneh.

Izmerjene karakteristike usmernika

1. Tehnični podatki napajanja

-priključna napetost 230V/50Hz

-transformator: 150VA primar

33V/4A + 2×12V/0.5A sekundar

-varovalka na primarju: F1 (1A)

-izhodna napetost (neobremenjen) nastavljiva od 0V do 35V zvezno

-kratkostični oziroma max. tok 4A, nastavljiv zvezno od 0A do 4A

2. Kriteriji zmogljivosti stabiliziranega usmernika

-regulacija napajanja:

$$(\Delta u_2 |_{\Delta u_1=10\% \cdot U_1} \cdot 100\%) / U_{20} = 40\text{mV} \cdot 100\% / 10\text{V} = 0.4\%$$

-faktor stabilizacije: (pri max. spremembi obremenitve, $I_{\text{bremena}} = I_{\text{load max}}$)

$$S = \partial u_1 / \partial u_2 \approx (U_{10} - U_1 |_{I=I_{\text{max}}}) / (U_{20} - U_2 |_{I=I_{\text{max}}}) =$$

$$= (48.0\text{V} - 38.4\text{V}) / (10.05\text{V} - 10.00\text{V}) = 9.6\text{V} / 0.05\text{V} = 192$$

-rejekcija valovitosti

$$\overline{RR} = 20 \cdot \log (u_{1\text{ripple}} / u_{2\text{ripple}}) = 40 \text{ dB}$$

-procent regulacije napetosti: (nad nastavljeno napetostjo $U_{20} = 5\text{V}$, do predvidene maksimalne 30V)

$$\overline{VR} = ((U_{20} - U_2 |_{I_{\text{load max}}}) \cdot 100\%) / U_2 |_{I_{\text{load max}}} = 0.5\%$$

-regulacija pri spremembi bremena:

$$\overline{LR} = (\Delta u_2 |_{\Delta I_{\text{load}}=I_{\text{load max}}} \cdot 100\%) / U_{20} = 0.5\%$$

-dinamična izhodna upornost:

$$r_{\text{izh}} = \partial u_2 / \partial i_2 = 12\text{m}\Omega$$

-izkoristek stabilizatorja:

$$\eta = P_{\text{izh}} / P_{\text{vh}} = (u_2 \cdot i_2) / (u_1 \cdot i_1)$$

Odvisen od obremenitve, saj je u_2 nastavljiva, i_2 se spreminja podobno kot i_1 , torej lahko v približku rečemo, da je izkoristek sorazmeren u_2 / u_1 , in je največji pri maksimalni napetosti na izhodu!

SLIKE

Čelna plošča:



Zadaj:



Tabela 1

Odvisnost vhodne in izhodne valovitosti napetosti od bremenskega toka

I_{load} [mA]	U_{1pp} [V]	U_{2pp} [mV]	$RR=20 \cdot \log (U_{1pp}/U_{2pp})$ [dB]
0	0.063	0.83	37.60
100	0.250	3.41	37.30
200	0.437	6.25	36.89
300	0.604	7.50	38.12
400	0.750	10.00	37.50
500	0.930	13.00	37.09
1000	1.875	14.70	42.11
2000	3.375	18.75	45.10
3000	4.875	18.75	48.30

Tabela 2

Odvisnost vhodne in izhodne valovitosti napetosti od bremenskega toka

I_{load} [mA]	U_{1rms} [mV]	U_{2rms} [mV]	$RR=20 \cdot \log (U_{1rms}/U_{2rms})$ [dB]
0	25	0.468	34.55
100	66	0.483	42.71
200	126	0.520	47.69
300	179	0.545	50.33
400	230	0.570	52.12
500	281	0.600	53.41
1000	527	0.787	56.52
2000	980	1.170	58.46

Tabela 3

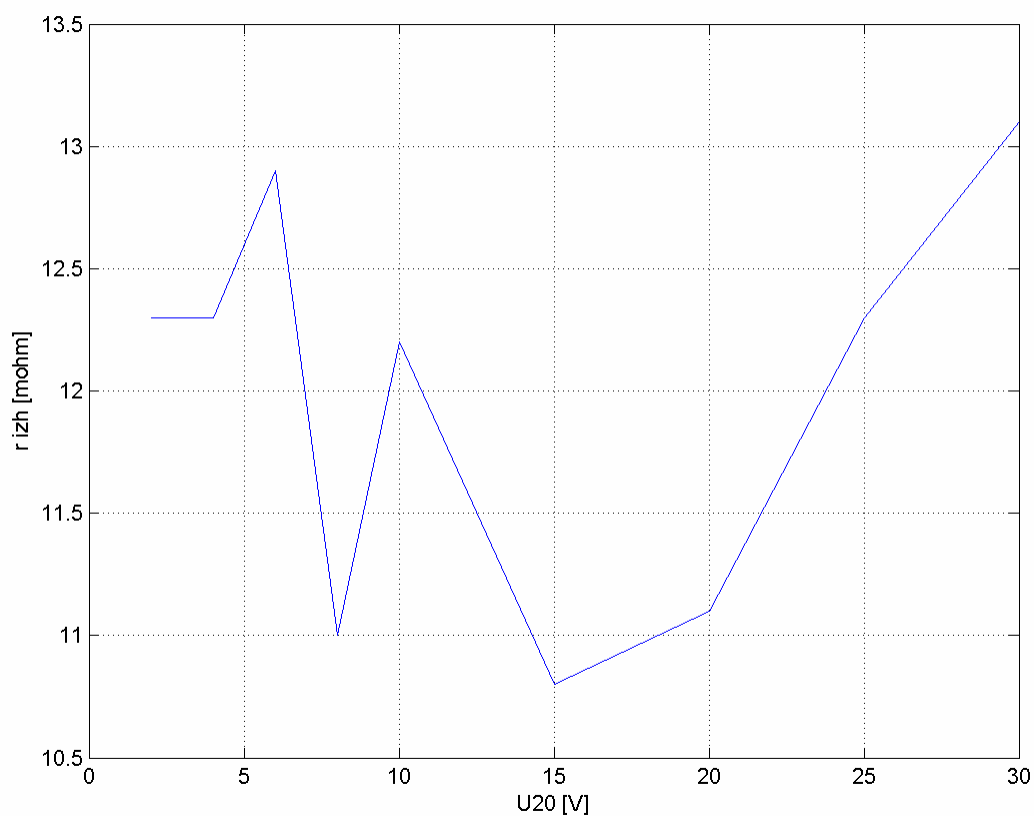
Procent regulacije napetosti v odvisnosti od nastavljene izhodne napetosti neobremenjenega napajalnika

U_{20} [V]	$U_{20} _{I_{load\ max}}$ [V]	VR [%]	LR [%]
1	0.95	5.26	5.00
2	1.92	4.17	4.00
3	2.96	1.35	1.33
4	3.95	1.27	1.25
5	4.97	0.60	0.60
8	7.96	0.50	0.50
10	9.96	0.40	0.40
12	11.96	0.34	0.33
15	14.95	0.34	0.33
20	19.94	0.30	0.30
25	24.90	0.40	0.40
30	29.84	0.54	0.53

Tabela 4

Dinamična izhodna upornost v odvisnosti od nastavljene U_{20}

U_{20} [V]	Δu_2 [V]	Δi_2 [A]	$R_{izh} = \Delta u_2 / \Delta i_2$ [m Ω]
2	0.02	1.62	12.3
4	0.03	2.43	12.3
6	0.04	3.09	12.9
8	0.04	3.62	11.0
10	0.05	4.10	12.2
15	0.04	3.72	10.8
20	0.04	3.59	11.1
25	0.05	4.06	12.3
30	0.04	3.05	13.1

Dinamična izhodna upornost v odvisnosti od nastavljene U_{20} 

Zaključni komentar

Predstavljeni usmernik je dokaj prikladna naprava za domačo uporabo, čeprav morda nima vrhunskih performans. Kljub temu zadovolji potrebe po stabilni napetosti z možnostjo nastavitve, obenem pa omogoča še omejevanje toka, kar pri nekaterih aplikacijah lahko s pridom uporabimo kot tokovni vir s prav tako nastavljivim tokom. Sam to uporabljam za polnjenje svinčevih akumulatorjev, pri katerih je predpisan maksimalni polnilni tok in maksimalna napetost, ki jo akumulator prenese. To nastavimo zelo preprosto, saj lahko napetost prostega teka nastavimo kot U_{20} , ki jo odčitamo na instrumentu, ki meri napetost. Ko je ta enkrat nastavljena, damo potenciometer za nastavitev toka v položaj skrajno levo, da dopuščamo minimalni tok, nakar prikjučimo akumulator (pozimo na pravilno polariteto priključkov!) in počasi povečujemo tok do željenega, ki ga odčitamo z ampermetra (pri manjših tokovih in za bolj precizno nastavitev toka vežemo v serijo še zunanji ampermeter, da res točno nastavimo tok).

Usmernik je dober tudi za napajanje baterijskih polnilnikov, ki potrebujejo dobro stabilizirano napetost z majhno valovitostjo, predvsem so to izvedbe z mikroprocesorjem.

Možnost imamo tudi za nadgradnjo, saj lahko realiziramo dvojno napajanje, vendar samo za manjše tokove, če se držimo načrta, sicer bi morali zamenjati transformator s takšnim, ki bi dovoljeval večje tokovne obremenitve, kot tudi stabilizacijski del, saj IC1 na osnovi 723 sam ne more zagotavljati velikih tokov, zato bi bilo potrebno dodati še močnostni tranzistor na izhod.

Da pa se obstoječi napajalnik nekoliko "naviti" v kolikor ne pretiravamo, saj lahko s paralelno vezavo R16 k uporabi R15 nekoliko povečamo maksimalni tok, vendar POZOR! Transformatorja ne smemo preobremenjevati s tokom, ki bi presegal 4A, saj bi se pregrel in uničil. Prav tako bi slej ko prej odpovedal Graetzov stik, saj je predviden v normalnih razmerah maksimalno za 5A, po izkušnjah sodeč pa še za 20% manj, če želimo zanesljivejše delovanje.

Prot temu sem se poskusil "izogniti" še z dodatno zaščito na sekundarnem tokokrogu, zato sem dodal še varovalko za 5A, ki preprečuje podobne eksperimente, ki bi sicer vodili do kaj hitre odpovedi ene izmed komponent.

Še nekaj besed o varnosti naprave: ker so tranzistorji T2 do T5 pritrjeni na hladilno telo, to pomeni, da je potencial kolektorjev direktno tudi na hladilnem telesu, zato mora biti le to izolirano od kovinskega ohišja usmernika. To je sicer povezano z ozemljitvenim kablom, ki naj bi varoval uporabnika v primeru stika faze z ohišjem. Pomembno je tudi to, da zagotovimo primeren prostor, v katerem napravo uporabljamo. Nahajati se mora stran od vnetljivih snovi in predmetov, stati na trdni podlagi, imeti mora dovolj prostora okoli sebe, da se lahko optimalno hladi. Uporaba neizoliranih kovinskih predmetov v bližnji okolici ni priporočljiva, saj lahko pride do kratkega stika izhodnih sponk. Držati stran od H₂O. Nasploh pa je uporaba prepovedana vsem osebam, ki niso strokovno usposobljene!!!

Izračunane vrednosti pri predpostavkah oziroma izmerjenih vrednostih:

- $R_{\text{sekundarja}} = 0.5\Omega$
- $U_{\text{sek0 max}} = 48\text{V}/50\text{Hz}$ (ker sem izmeril 34V na sekundarju transformatorja)
- $R_{\text{bremena}} = 88\Omega$
- $I_{\text{bremena}} = 500\text{mA}$
- $C = 4700\mu\text{F}$

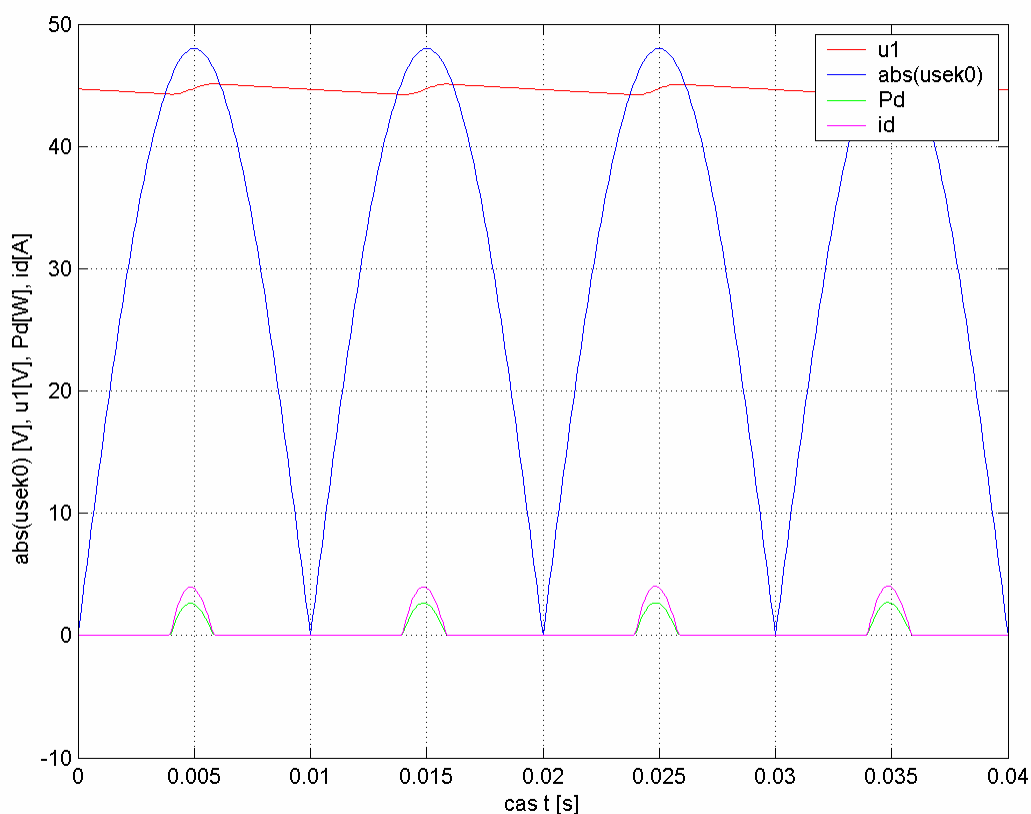
$$\overline{U_1} = 44.8\text{V},$$

$$U_{\text{ripple pp}} = 45.084\text{V} - 44.212\text{V} = 0.872\text{V},$$

$$I_{\text{D povp}} = 500\text{mA}, \quad I_{\text{D max}} = 4\text{A} \quad !$$

$$P_{\text{D povp}} = 0.33\text{W}, \quad P_{\text{D max}} = 2.69\text{W} \quad !$$

Graf valovitosti vhodne napetosti pri $I_{\text{load}} = 500\text{ mA}$



Za neobremenjen usmernik oziroma tedaj, ko teče le notranji tok:

- $R_{\text{sekundarja}} = 0.5\Omega$
- $U_{\text{sek0 max}} = 48\text{V}/50\text{Hz}$ (efektivno 34V na sekundarju transformatorja)
- $R_{\text{bremena}} = 1\text{k}\Omega$ (ocenjena vrednost vseh notranjih upornosti)
- $I_{\text{bremena}} = 0\text{mA}$
- $C = 4700\mu\text{F}$

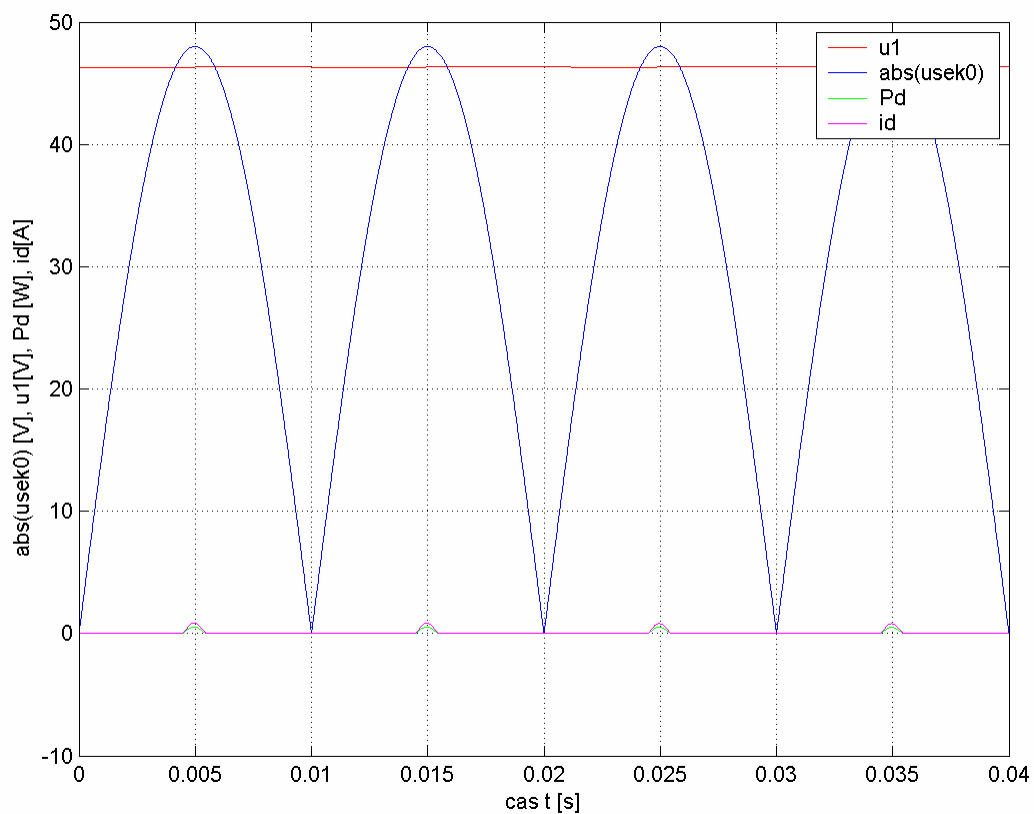
$$\overline{U_1} = 46.34\text{V},$$

$$U_{\text{ripple pp}} = 46.381\text{V} - 46.284\text{V} = 0.097\text{V} = 97\text{mV},$$

$$I_{\text{D povp}} = 50\text{mA}, \quad I_{\text{D max}} = 0.81\text{A}$$

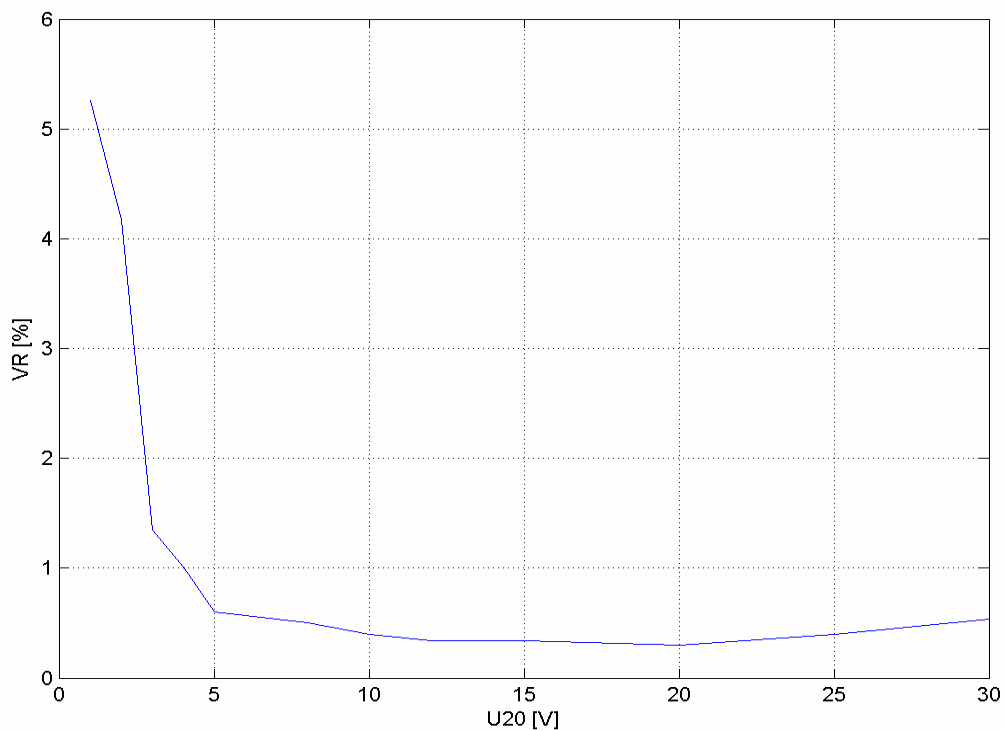
$$P_{\text{D povp}} = 32\text{mW}, \quad P_{\text{D max}} = 0.5\text{W}$$

Graf valovitosti vhodne napetosti pri $I_{load} = 0\text{mA}$

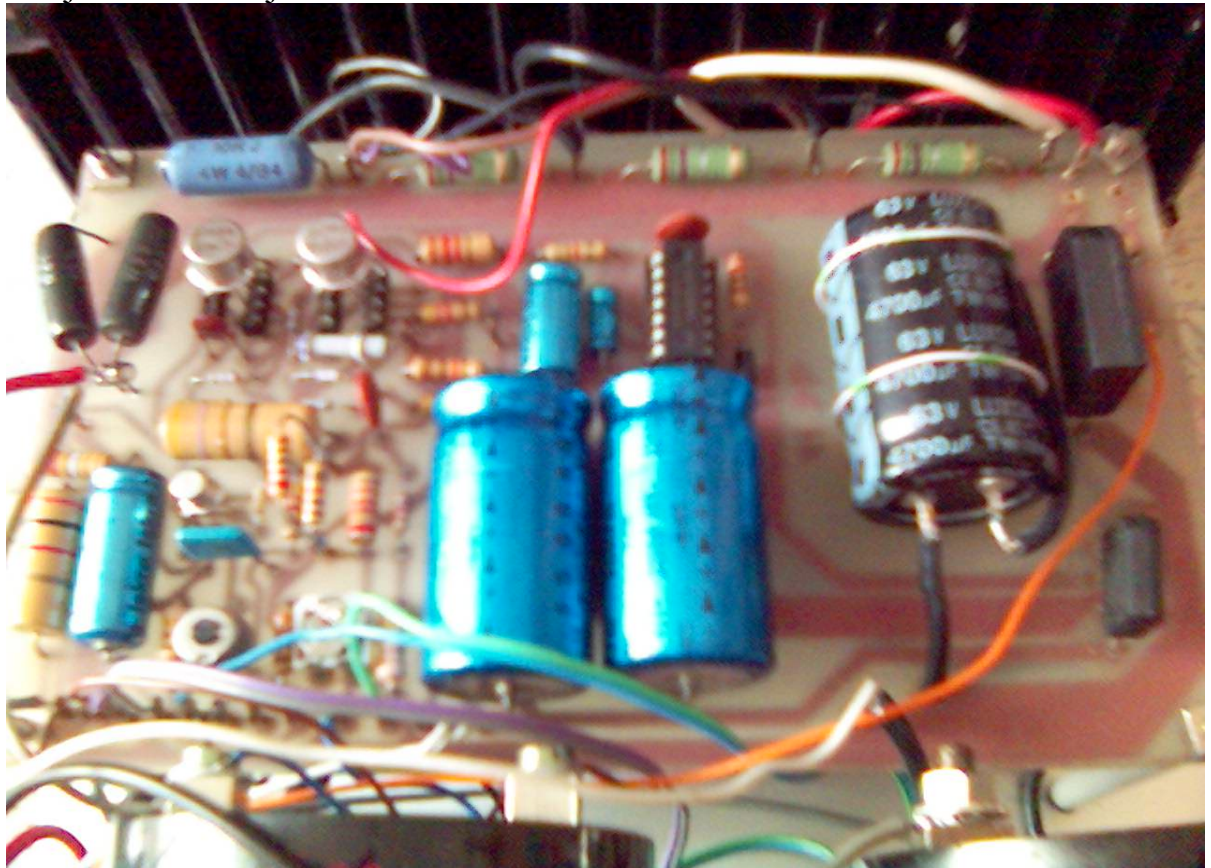


GRAF:

Procent regulacije napetosti v odvisnosti od nastavljene izhodne napetosti pri maksimalni spremembi toka I_{load} .



Vežje stabilizatorja:



In še toroidni transformator spodaj:

