

# Laboratorijski izvor stabilisanog jednosmernog napona

*solidan, robustan i neuništiv*

Ponekad je u radu sa elektronskim uređajima potrebno imati izvor stabilisanog jednosmernog napona. Potreban napon može biti različit, zavisno od potrošača koji se napaja. Najbolje rešenje je ispravljač kome je moguće menjati izlazni napon prema potrebi. Takvi uređaji postoje na tržištu, ali oni kvalitetniji su izuzetno skupi. Uz malo teorijskog razmatranja moguće je konstruisati ispravljač koji ispunjava sve zahteve i kvalitetno radi, a ne predstavlja preveliku investiciju (u odnosu na ispravljač koji se može naći na tržištu, a sličnih karakteristika i kvaliteta).

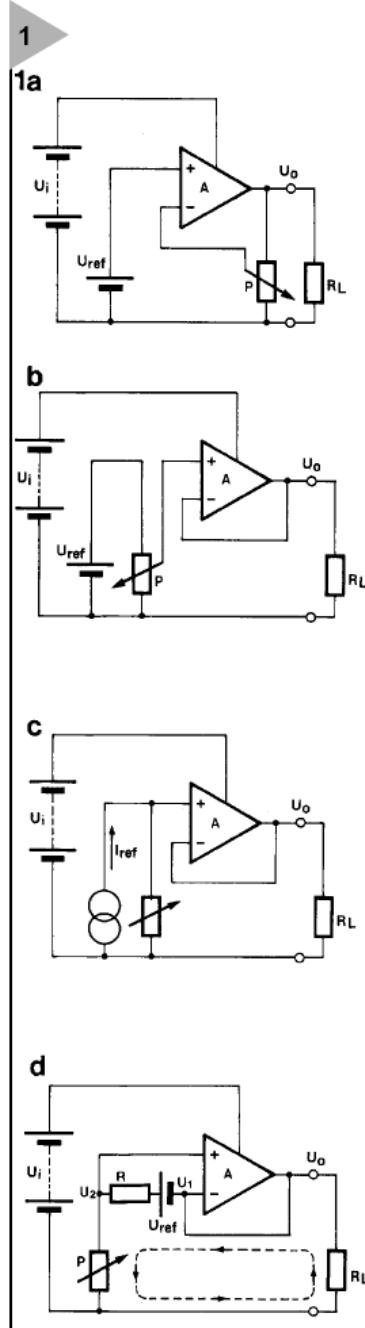
Konkretno, ovde će biti opisan regulacioni ispravljač koji daje maksimalno 35 V stabilisanog jednosmernog napona i maksimalno 3 A strujnog opterećenja, sa strujnim ograničenjem i "sense" povratnom spregom (dalje u tekstu je objašnjeno o čemu se radi). Biće objašnjeno i kako da se povećaju maksimalni napon i struja uz minimalnu izmenu predstavljene šeme.

## Teorija

Slika 1a prikazuje blok šemu "normalnog" regulisanja napona. Izlaz pojačavača A je u seriji sa opterećenjem  $R_L$ . Na ulaz operacionog pojačavača dolazi referentni napon  $U_{ref}$ . Deo izlaznog napona dovodi se na minus ulaz operacionog pojačavača preko potencijometra P. Na taj način dobija se takav izlazni napon, da naponska razlika između oba ulaza bude jednaka nuli. Napon na klizaču P je taman toliki da bude jednak referentnom naponu. Kada je P na gornjem kraju izlazni napon je jednak referentnom naponu, kada je P na sredini tada je izlazni napon duplo veći od referentnog i tako se nastavlja dalje. Rezultat je očigledan: stabilizacioni faktor određuje položaj potencijometra na klizaču. Izlazni napon se smanjuje pre nego dođe na ulaz operacionog pojačavača. Takođe, pojačanje šuma referentnog napona je zavisno od položaja potencijometra. Osim svega ovoga, izlazni napon nije moguće smanjiti na nižu vrednost od referentnog napona i odnos položaja potencijometra i izlaznog napona nije linearan.

Princip odstupanja prikazan je na slici 1b. Operacioni pojačavač ovde je vezan kao bafer. Potencijometar je na referentnom naponu sa klizačem vezanim na plus ulaz operacionog pojačavača. Izlazni napon odgovara naponu na klizaču potencijometra. Ovakvom vezom je moguće menjati izla-

Slika 1. Razine mogućnosti za održavanje nekog napona konstantnim. Slika 1a prikazuje najpoznatiji oblik, slika 1b prikazuje iz osnove drugačiji način, koji je na slici 1c i 1d dalje razrađen. Napajajući napon za operacione pojačavače zbog preglednosti nije naznačen.



zni napon od nule do vrednosti referentnog napona. Napomena: pod pretpostavkom da je operacioni pojačavač simetrično napajan. Stabilizacioni faktor je za svaki položaj potencijometra isti. Šum referentnog napona se na manjem položaju potencijometra pojačava, čime dolazi do odstupanja pri nižim izlaznim naponima. Maksimalni izlazni napon ne može biti veći od referentnog.

Slika 1c prati princip sa prethodne slike, osim što je referentni napon zamenjen referentnom strujom. Struja kroz P uzrokuje napon koji se pojavljuje pojačan na izlazu. I na kraju slika 1d. Ovaj sklop funkcioniše isto kao i onaj na slici 1c. Strujni izvor zamenjen je naponskim izvorom, što ne predstavlja značajnu izmenu, osim što je mesto postavljanja specifično. U principu, moguće je strujni izvor nadograditi tako što se redno veže visokomski otpornik. Ovakav strujni izvor funkcioniše zadovoljavajuće, jedino ako je otpornost opterećenja (u ovom slučaju potencijometar) veoma mala u odnosu na R, što je u praksi teško izvodljivo. Zbog ovoga treba potražiti neko drugo rešenje.

Kao što je za očekivati, operacioni pojačavač "pokušava" da izjednači napone na svojim ulazima. To je u slučaju kada je napon na plus ulazu i preko izlaza invertujuće vezan na izlaz. Redna veza referentnog napona i otpornika R između oba ulaza pojačavača doprinosi da ulazi operacionog pojačavača budu visoko-omski, tako da struja praktično ne teče. Naponski izvor može dati struju samo u strelicom označenom krugu. Za  $U_1=U_2$  (o tome brine operacioni pojačavač) tekuća struja je nezavisna od položaja P i veličine konstante otpornog opterećenja. To iznosi  $U_{ref}/R$ . Zbog ove struje preko potencijometra ide napon koji će biti "prebačen" na izlaz operacionog pojačavača. Istovremeno operacioni pojačavač kompenzuje referentnom strujom uzrokovan pad napona na otporniku opterećenja. Rezul-

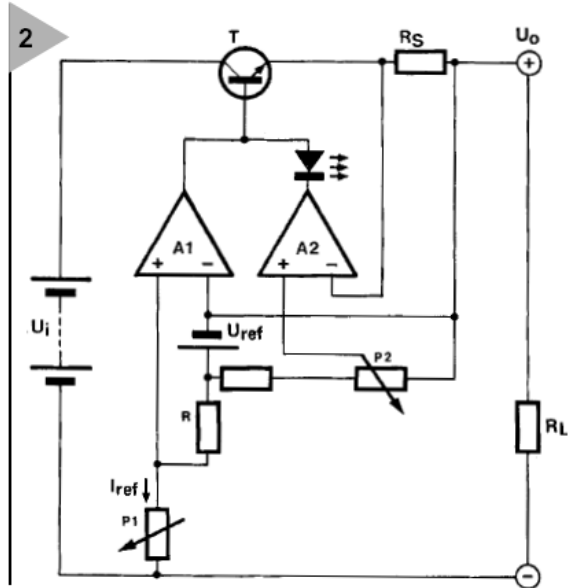
tat je šema koja daje potrebne prednosti korišćenjem datog principa regulacije. Pošto je napon referentnog strujnog izvora skoro nula moguće je strujni izvor izraditi upotrebom izvora referentnog napona i jednog otpornika.

### Blok šema

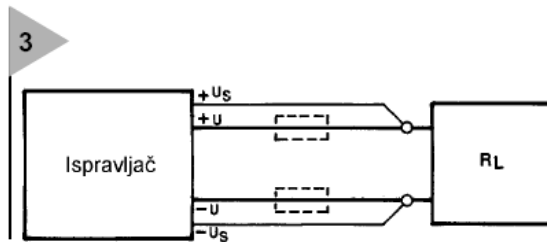
Na slici 2 predstavljena je blok šema laboratorijskog ispravljača. Sastoji se od operacionog pojačavača (A1) i tranzistora snage (T). Strujni izvor ( $U_{ref}$  i R) i potencijometar za podešavanje izlaznog napona (P1) vezani su kao što je već prikazano na slici 1d. Osim toga, na blok šemi se nalazi i kolo za strujno ograničenje sa A2. Otpornik  $R_S$  u ovom slučaju gradi "punjač struje", u emitorskom kolu tranzistora T. Naime, napon preko tog otpornika predstavlja meru za tekuću struju opterećenja. A2 upoređuje napon preko  $R_S$  sa jednosmernim naponom podešenim sa P2. Ovaj napon se takođe dobija iz referentnog napona. U slučaju da je napon preko  $R_S$  veći od postavljenog, operacioni pojačavač odvlači struju sa baze tranzistora snage, čime se praktično struja opterećenja ograničava vrednošću postavljenom na P2. LED na izlazu A2 pokazuje kada je ograničenje aktivno.

### Šema

Uredaj se sastoji iz dva zasebna ispravljača, od kojih je jedan za davanje referentnog napona i napajanja operacionih pojačavača, a drugi sam regulacioni ispravljač snage. Mali ispravljač se sastoji od malog trafoa sa dva sekundara od 12 V (ili dva namotaja 12V potpuno odvojena od drugog 33V namotaja, ako se radi o zajedničkom velikom transformatoru), od jednog mostnog ispravljača B1 i elektrolitskih kondenzatora C1 i C2. Naponski regulator tipa 723 (IC1) daje referentni napon. Ovo integrisano kolo daje referentni napon od 7,15 V. Ovaj napon ide na otpornike R4/R5, R15/R16 i R9. R4/R5 koji predstavljaju otpornik R iz blok šeme. Čvorište R4/R5/P1



Slika 2. Blok-šema mrežnog stepena. Princip se slaže sa slikom 1d, jedino je još dodato ograničenje struje.



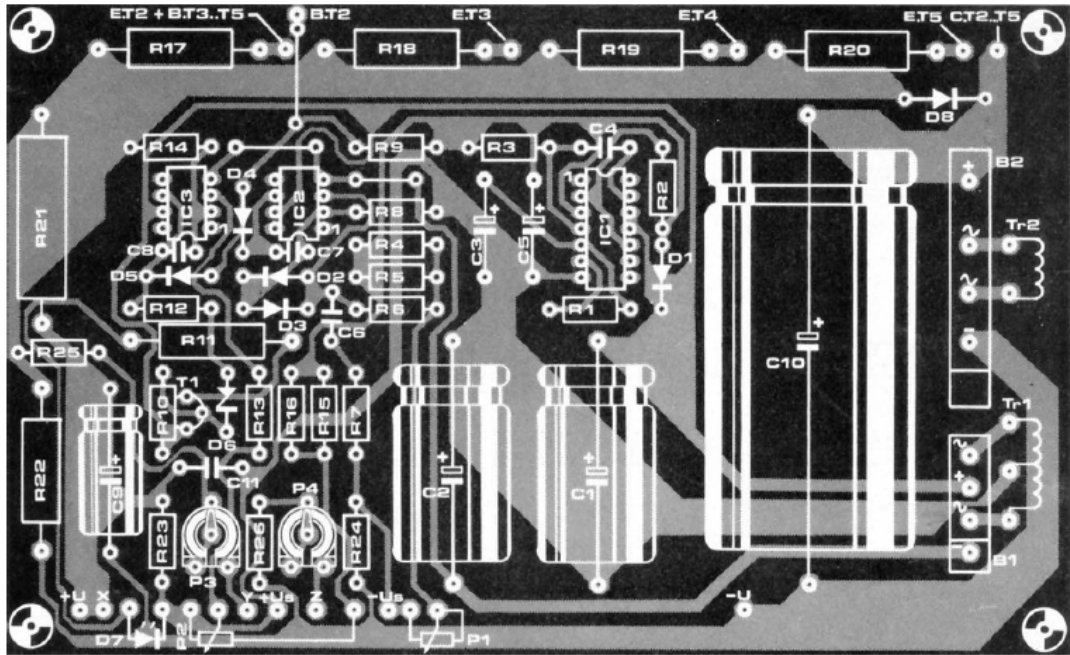
Slika 3. Tako se koriste sens-ulazi mrežnog stepena da bi se pad napona kroz vodove kompenzovao sa opterećenjem.

je preko R6 vezano na neinvertujući ulaz operacionog pojačavača IC2 (na blok šemi predstavljeno kao A1). Drugi kraj potencijometra P1 vezan je na minus vod izlaza ispravljača. Invertujući ulaz operacionog pojačavača ide preko R8 na multi vod pomoćnog napajanja, koji je preko R24 vezan na plus pol izlaznog voda. R6, D8, D2 i D3 brinu o zaštiti ulaza operacionog pojačavača od povišenih napona i slično.

Izvor referentnog napona daje i struju za upravljanje izlazima snage. Naime, baza T2 leži

preko R9 na izlazu iz IC1 od 7,15V, dok IC2 reguliše izlazni napon u zavisnosti od toga koliko baze struje odvodi sa T2, preko D9. T2 upravlja kolu od tri paralelno vezana tranzistora snage tipa 2N3055 (T3, T4 i T5). Broj paralelno vezanih tranzistora može se odrediti prema potrebi, u zavisnosti od željene izlazne struje. Predstavljeno kolo predviđeno je za izlaz od 3A. Svaki od tranzistora poseduje mali emitorski otpor koji brine da raspored struje bude podjednak između paralelno vezanih tranzistora. Iza stepena sa tranzi-

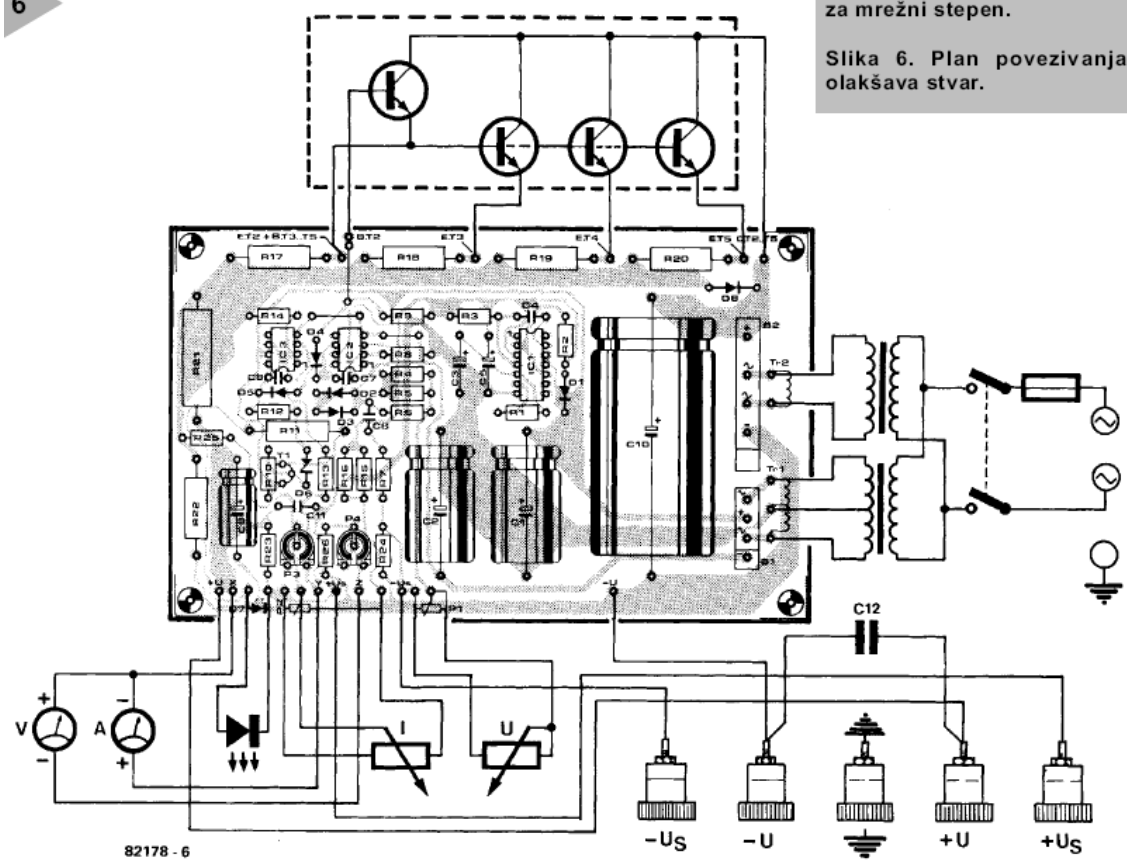




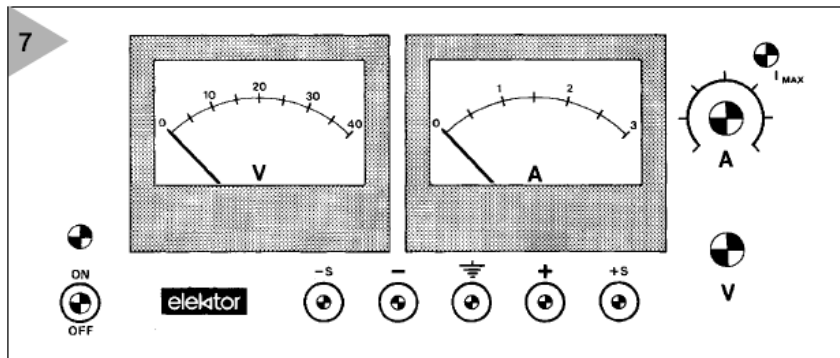
6

Slika 5. Radna strana pločice za mrežni stepen.

Slika 6. Plan povezivanja olakšava stvar.



82178 - 6



Slika 7. Rešenje za prednju ploču mrežnog stepena.



storima snage sledi R21 kao merni otpor za struju (označen kao RS u blok šemi). IC3 poredi pad napona na R21 koji je proporcionalan otporu i struji sa jednosmernim naponom podešenim na P2. Taj jednosmerni napon veoma je stabilan pošto je preko R15/R16 dobijen od referentnog napona. Izlaz IC3 kao i izlaz iz IC2 su preko diode dovedeni na bazu tranzistora T2. Prekoračenjem izlazne struje zadate referentnom vrednošću pomoću P2, izlaz kola 741 počinje da odvlači sa baze T2 onoliko struje koliko je potrebno da onemogući dalji rast struje (strujno ograničenje). Tranzistor T1 pali LED, da bi se videlo da je strujno ograničenje aktivno.

Izlazni stepen reguliše struju ispravljača snage koji se sastoji od transformatora, mostnog ispravljača i elektrolitskog kondenzatora. Na izlazu se nalaze dva merna instrumenta koji mere izlaznu struju, odnosno izlazni napon. Otpornici i trimer-potencimetri određuju merni opseg.

Umesto analognih instrumenta ampermetra i voltmetra moguće je ugraditi digitalne. Iz tog razloga na štampanoj ploči postoje dva stabilisana napona 5 V. Na ovoj ploči moguće je postaviti otpornike-delitelje napona, umesto trimer-potencimetra P3 i P4. To su otpornici R27 i R28, koji se ugrađuju između tačaka 1 i 2 odnosno 3 i 4. Takođe otpornici R25 i R26 imaju druge vrednosti označene u specifikaciji. Najbolje je upotrebiti standardne digitalne voltmetre sa opsegom merenja od 0-2V, tipa DVM-05 zato što

je njihova konstrukcija takva da zauzimaju najmanje mesta na prednjoj ploči.

Ovim je šema uglavnom objašnjena. Ostaje samo još nekoliko važnih detalja. Kao prvo, elektrolitski kondenzator C3. Njegov uobičajeni zadatak na tom mestu je da blokira šum zener diode, ali u ovom slučaju on pored toga brine i za usporenje porasta napona pri uključanju (soft start). Ovo je korisno pošto daje vremena operacionom pojačavaču 741 da se "zaleti". Pri naglom porastu napona regulacija kasni i može doći do prekoračenja zadatog napona. Dioda D1 i D8 imaju zaštitnu funkciju. One štite uređaj od visokih napona na izlazu posle isključenja, recimo ako je priključen potrošač sa većim kapacitetom elektrolitskog kondenzatora ili akumulator. Dioda D4 i D5 vrše "ILF" funkciju vezujući izlazni napon iz IC2 i izlaznu struju iz IC3 na bazu T2.

R7/C6 služe da ubrzaju regulaciju, C7 i C8 brinu za stabil-

nost (potiskuju odstupanje). Stabilna regulacija zahteva i minimalno opterećenje za koje pri slobodnom (bez potrošača) izlazu brine R22.

Za kraj objašnjenje svrhe dva dodatna priključka. Radi se o takozvanim "sense" ulazima koje poseduju profesionalni laboratorijski izvori napajanja. Pomoću njih je moguće kompenzovati pad napona na proizvodnicima koji vode ka potrošaču. Taj pad napona u mnogome zavisi od opterećenja koje stvara potrošač. Kod stabilisanih ispravljača koji ne poseduju ove priključke jedino je sigurno da je prava vrednost napona dovedena na izlazne priključke. Da bi regulator "znao" kolika je vrednost napona koji je stigao na ulaz potrošača potrebna je povratna informacija. Tu na scenu stupaju "sense" ulazi. Kako to praktično izgleda prokazuje slika 3. Izlazni napon odlazi preko (što je moguće debljih) provodnika do potrošača. "Sense" ulazi se preko (slobodno što tanjih) vodova vezuju sa potrošačem. Treba napomenuti da uticaj pada napona nije za potcenjivanje. Otpor koji stvara kabel i otpor kontaktnog spoja koji zajednički daju I E dovode do pada napona, koji pri opterećenju od 1 A iznosi 1 V. Preko tankih "sense" vodova praktično i ne teče struja, tako da prenose pravu vrednost.

#### Spisak delova

Otpornici  
R1,R3, R6,R8,R12,R13,R14=4k7  
R2=22 oma  
R4,R16=Trimer-potencijometar, vidi tekst  
R5=10k  
R7,R10=1 k  
R9=2k2  
R11=470 oma/1W  
R15=15 k  
R17=10 oma/1 W  
R18,R19,R20 = 0,22 oma/1 W  
R21=0,22 oma/3 W  
R22=4k7/1 W  
R23,R24=47r2  
R25=5k6

R26=270k  
P1=50 k (47k) lin. (poželjno 10-obrtni)  
P2=1 k lin.  
P3=2k5 (2k2) trimer-potencijometar  
P4=250 k (220 k) trimer-potencijometar  
  
Kondenzatori  
C1,C2=1000 µF/25V  
C3=100 µF/10V  
C4=100 pF  
C5=10 µ/25 V  
C6=1 nF  
C7=100 pF  
C8=56 pF  
C9=47 nF/63 V

C10=4700 µF/63 V  
C11=820 nF  
C12=100 nF

#### Poluprovodnici:

B1 = Grecov spoj B40/C1000  
B2=Grecov spoj B80/C5000/3300  
D1,D8= 1N4001  
D2...D5= 1N4148  
D6 = Z-Dioda 3V3/400 mW  
D7 = LED (crvena)  
T1 = BC559C  
T2=BD241  
T3,T4,T5 = 2N3055  
IC1 =LM723  
IC2,IC3=LM741