

## Laboratorijski ispravljač 400 W

### (I DEO)

Ovde je prikazan višenamenski jednosmerni izvor napona, kako za simetrično, tako i za asimetrično korišćenje, sposoban za napajanje viškim izlaznim naponima i strujama. potpuno analogno dizajniran, zasnovan na samo diskretnim delovima, ovaj 400 W laboratorijski ispravljač zaslužuje značajno mesto na vašem radnom stolu.

#### OPIS KOLA

Svako ko se bavi praktičnom elektronikom, priznaće da pronalaženje pogodnog izvora napajanja za određena merenja, nije uopšte lako, kada nijedan od dostupnih (recimo  $\pm 15$  V/2A, 0-60 V/100 mA i 5 V/10 A) ne odgovaraju potpuno zahtevima. Očigledno potrebno je napajanje koje kombinuje najčešće korišćene odnose napona i struje, simetrično i asimetrično i koje nudi i zaštitu od preopterećenja.

Iako ćete u uputstvu za upotrebu mnogih jevtinih, gotovih ispravljača pročitati da su tranzistori snage zaštićeni od preopterećenja, ta vrsta zaštite ima određenu manu. Istina, uređaj će dobro napajati maksimalnom izlaznom strujom pri maksimalnom izlaznom naponu, ali će tipično pasti u momentu kada se napon smanji na oko jedan volt. Razlog je jasan: zaštita od preopterećenja se aktivira zbog ekstra disipacije, koja je proizvod izlazne struje i razlike potencijala kroz izlazne tranzistore, što prevazilazi rashladne mogućnosti hladnjaka, ili nominalne snage (skupih) tranzistora.

Predstavljeni ispravljač rešava ove probleme. Može biti podešen za napajanje na:  $2 \times 40$  V /  $2 \times 0-5$  A, ili  $\pm 0-40$  V / 0-10 A, i sposoban je za napajanje maksimalnom izlaznom strujom pri niskom naponu. Specijalna integrisana kola ili mikroprocesori nisu korišćeni, već samo lako dostupne analogne elektronske komponente.

#### BLOK DIJAGRAM

Instrument se sastoji od dva identična, električno izolovana izvora napajanja, koja se mogu povezati na više načina da bi se dobio traženi radni režim. Blok dijagram na slici 1 pokazuje relativno mnogo funkcionalnih blokova, koji zajedno formiraju tri delimično prepletena kola za regulaciju. Prvo od tri kola, spoljno kolo, je transformatorska predregulacija koja služi da održi pad napona na izlaznim tranzistorima (T4 i T5) konstantnim na oko 10 V, tako da maksimalna disipacija ostaje manja od 50 W (ili 25 W po tranzistoru). Druga dva regulaciona kola su za izlazni napon (U) i struju (I). Ova kola su skoro identična. Jedina razlika je ta što

#### REŽIM RADA I OSNOVNE KARAKTERISTIK

##### Režim: Nezavisan

- dva identična, električno odvojena izvora napona.
- Izlazi:  $2 \times 0 - 40$  V uz  $2 \times 0 - 5$  A

##### Režim: Paralelan

- dva identična, paralelno vezana izvora napona.
- Izlazi: 0,6 - 39,4 V uz 0 - 10 A

##### Maksimalni izlazni napon:

- 40 V (puno opterećenje)
- 48 V (bez opterećenja)

##### Maksimalna izlazna struja:

5 A

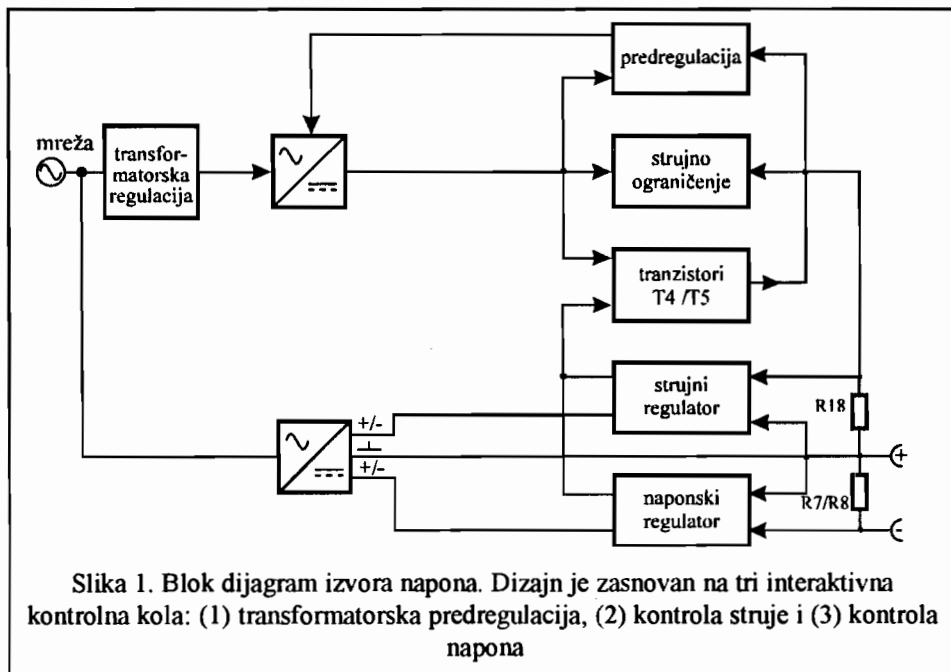
##### Odstupanje :

- 10 mV (bez opterećenja)
- 50 mV (puno opterećenje)

kontrola struje dobija kontrolne informacije od otpornika R18, a kontrola napona od razdelnika napona R7/R8 smeštenog na izlaznim krajevima. Nasuprot transformatorskoj predregulaciji, U i I kontrolna kola dozvoljavaju da se ručno podesi opseg regulacije. Interesantno je da tranzistori T4 i T5 rade u sva tri regulaciona kola.

Blok dijagram predstavlja i drugi izvor napajanja koji obezbeđuje pomoćnih  $\pm 12$  V za korišćenje u glavnom kolu. Uzemljenje simetričnog izvora je povezano sa pozitivnim izlaznim krajem glavnog napajanja. Ovo znači da sve oznake '+12 V' i '-12 V' u daljem tekstu i u dijagramu kola su u stvari '+12 V' i '-12 V' u odnosu na pozitivni izlazni kraj. Pomoćno napajanje funkcioniše takođe i kao naponska referenca.

Konačno, blok označen kao 'strujno ograničenje' predstavlja kolo koje ograničava izlaznu struju oba napajanja ispod 5 A. Ovo kolo se može dopuniti opcionalnim temperaturnim senzorom da bi se izbeglo pregrevanje.



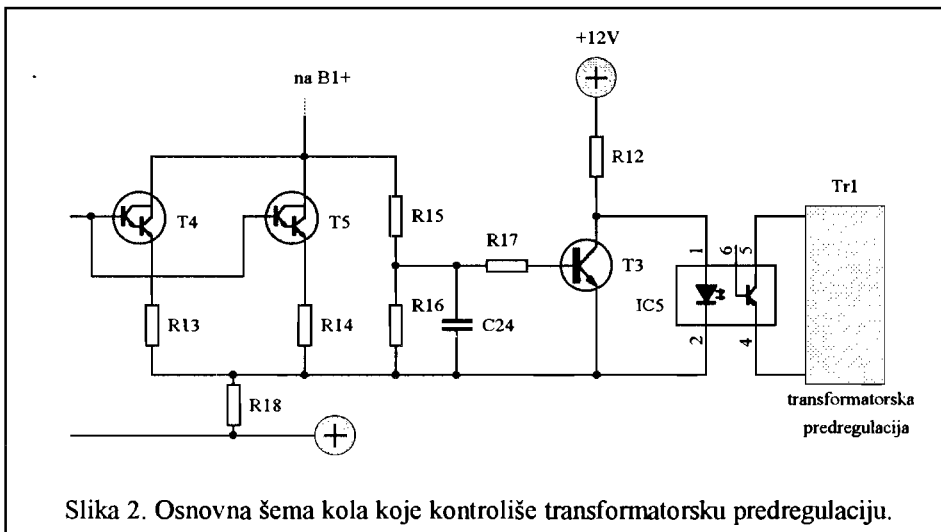
Slika 1. Blok dijagram izvora napona. Dizajn je zasnovan na tri interaktivna kontrolna kola: (1) transformatorska predregulacija, (2) kontrola struje i (3) kontrola napona

## PREDREGULACIONO KOLO

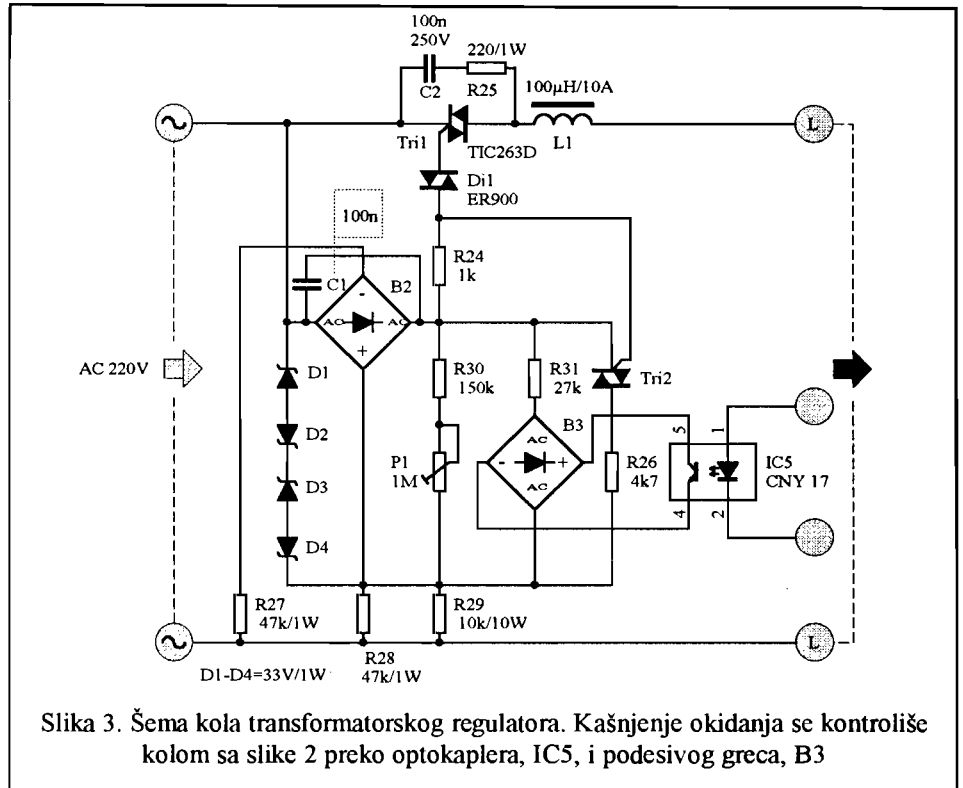
Osnovna opracija predregulacionog kola je najbolje objašnjena na slici 2. Struja teče od pozitivnog kraja Greccovog spoja (B1) do pozitivnog izlaza kroz dva paralelno povezana darlington tranzistora, T4 i T5, i otpornika R13, R14 i R18. Regulaciono kolo pokušava da održi konstantan pad napona od 10 V na izlaznim tranzistorima i njihovim emitorskim otpornicima. Tranzistor T3 se pobuđuje preko razdelnika napona R15-R16 i mreže C24-R17. Ova mreža uvodi malo kašnjenje da bi se eliminisao efekat pikova u predregulaciji. Struja kroz LED u optokapleru IC5 je inverzno proporcionalana naponu na R15-R16.

Relativno je jednostavno kontrolisati naizmjenični napon 220 V na samom ulazu ispravljača, podesivom RC mrežom, koja daje okidački impuls za triak. Vreme okidanja triaka u odnosu na početak poluperiode 220 V je određeno vremenskim kašnjenjem RC veze. Pošto je triak preveden u provodno stanje, provodi dok mrežni napon u toku jedne periode ne opadne na nivo ispod minimuma struje držanja. Ovo se dešava blizu prolaza kroz nulu. Triak ostaje blokiran dok ne primi sledeći okidački impuls pri određenom faznom uglu tokom sledeće poluperiode mrežnog napajanja. Struja dovedena na ulaz je inverzno proporcionalna faznom uglu, tj. kašnjenju okidačkog impulsa pri prelasku kroz nulu. Ovaj princip kontrole faznog ugla važi sve dok su naponi i struje u fazi, tj. sve dok opterećenje ina otporni karakter.

Na nesreću, namotaji u transformatoru izvora za napajanje pored otpornosti poseduju i određenu induktivnost, tako da napon (220 V) i struja nisu u fazi, pa se za-



Slika 2. Osnovna šema kola koje kontrolise transformatorsku predregulaciju.



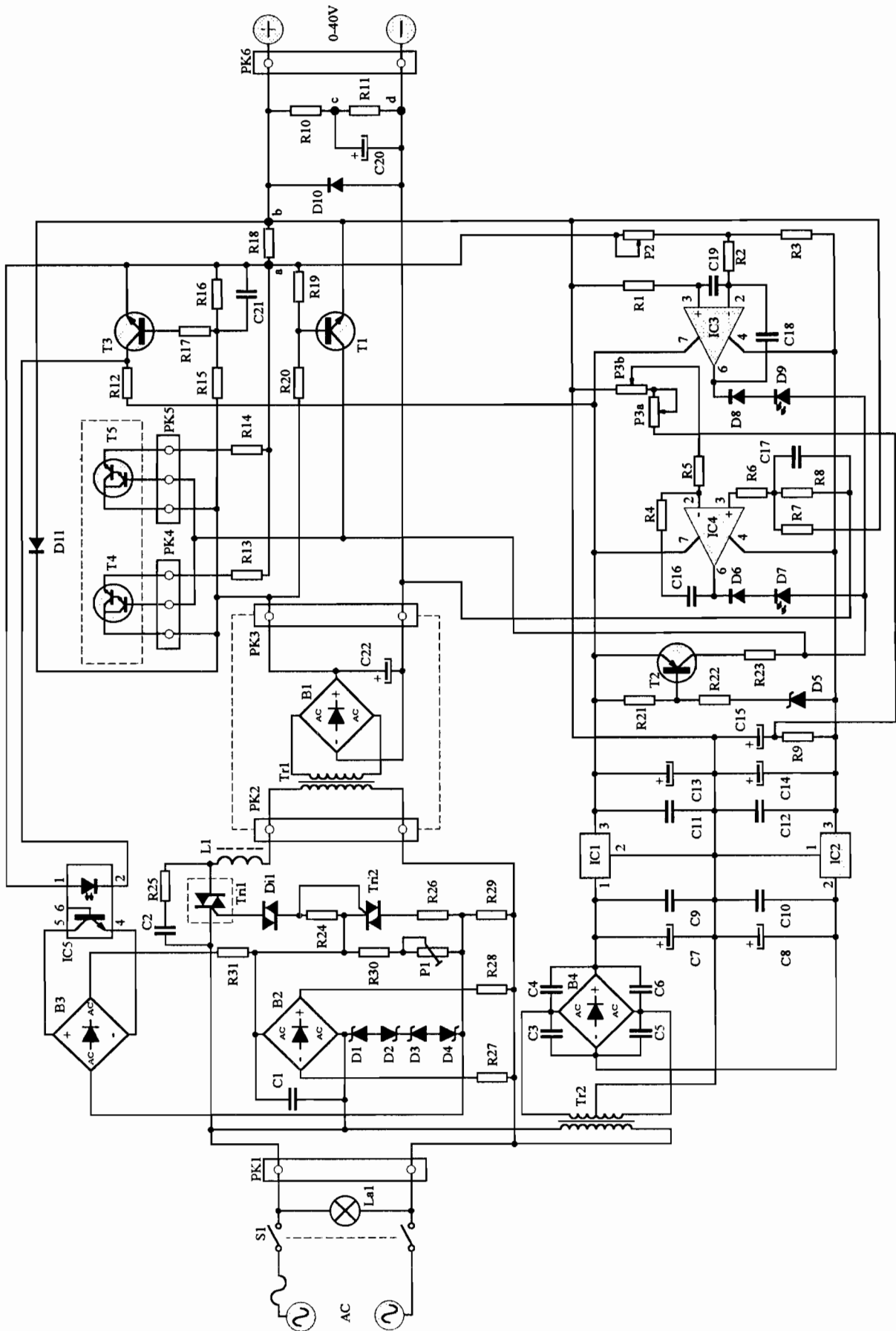
Slika 3. Šema kola transformatorskog regulatora. Kašnjenje okidanja se kontrolise kolom sa slike 2 preko optokaplera, IC5, i podesivog greca, B3

to obično kolo sa triakom ne može iskoristiti u predregulacionom kolu. Sa induktivnim opterećenjem može se desiti da bez obzira što je trenutni napon dovoljno veliki da se pobudi triak, nema dovoljno visoke struje držanja. Zato okidanje može da se desi samo kada je ulazna struja dovoljno visoka da zadrži triak u provodnom stanju. Međutim, pošto je struja izvoru napajanja promenljiva, fazna razlika između struje i napona je takođe promenljiva. Ovo znači da se treba kontrolisati širina okidačkog impulsa pre nego njegova pozicija. Ako se impulsi jednostavno pomeraju, rezultat bi bio asimetrična izlazna struja sa visokom jednosmernom komponentom, koja izaziva brzo zagrevanje namotaja

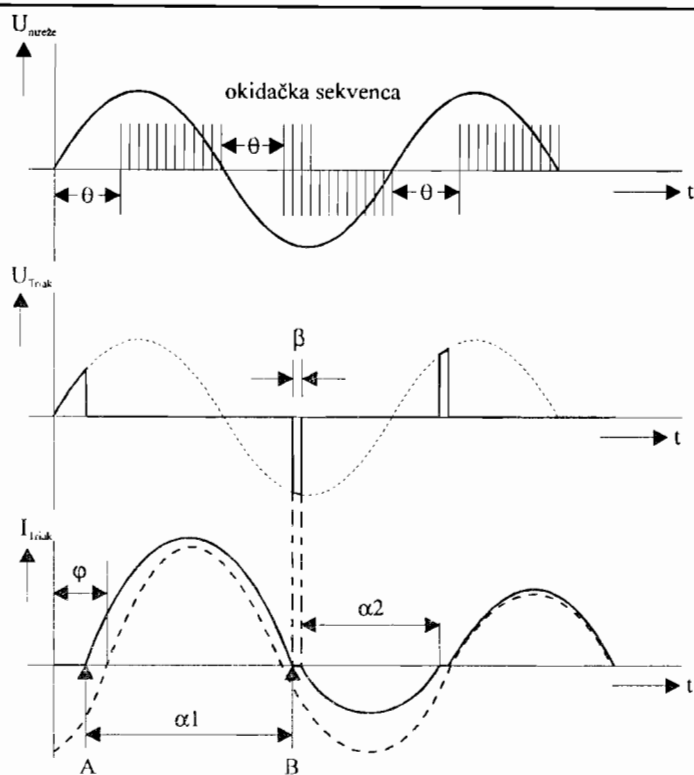
transformatora. Kada se impuls proširuje, treba se voditi računa da ne pređe preko prolaza kroz nulu mrežnog napona.

Deo kola na slici 3 proširuje impuls pomoću impulsnog okidanja. Ovakav prilaz je naročito pogodan za primene gde je struja sklona varijacijama. RC mreža, koja je vezana između faze i nule služi da pomeri trenutak okidanja. Mreža se sastoji od C1, naponskog razdelnika R29-P1-R30 (grana 1), i redno vezanog otpornika R31 i Greccovog spoja B3 (grana 2). Kombinacija Greccovog spoja i optokaplera jednostavno formira regulacioni otpornik za menjanje napona, tako da obe grane imaju istu funkciju: da obezbede promenljivost kašnjenja okidačkog impulsa,  $\phi$  (vidi sliku 4a). Osnovno kašnjenje je određeno sa P1.

Kada se uključi izvor napajanja puni se C1. Kada se dostigne napon paljenja dioda, i Di1 i Tri1 su u provodnom stanju. Kada struja okidanja teče od C1 do Tri1, pad napona na otporniku R24 je dovoljno visok da okine manji triak Tri2. Rezultat je da vreme pražnjenja nije više određeno s dve grane, već sa  $(R26+R29)C1$ . Kada C1 ne može više da napaja strujom držanja Tri2 - što se dešava prilično brzo zbog malih otpornosti R26 i R29 - triak se blokira i C1 se puni ponovo. Ova sekvenca se ponavlja sve do trenutka neposredno pre prolaska kroz nulu, kada mrežni napon ne može više da puni C1 (vidi sliku 4a).



Električna šema ispravljača



Slika 4. Ilustracija osnovne operacije regulatora za induktivno opterećenje, ovde primenjenog u cilju transformatorske predregulacije. Sl. 4a pokazuje poziciju okidačkih impulsa u odnosu na mrežni napon. Napon na triaku Tri1 u poređenju sa mrežnim naponom (isprekidana linija) je prikazan na sl. 4b. Sl. 4c, konačno, pokazuje struju pomerenu za veličinu  $\varphi$ , bez (isprekidana linija) i sa (puna linija) kontrolom faznog ugla.

Talasi oblik kroz tiristor je pokazan isprekidanom linijom na slici 4b. Slika 4c konačno pokazuje talasni oblik struje pomerene za ugao  $\varphi$  bez kontrole faznog ugla kao isprekidanu liniju, a kao punu liniju sa kontrolom faznog ugla. Asimetrija talasnog oblika se javlja samo tokom prve poluperiode. Triak provodi do momenta 'B', kada struja pada na nulu.

Funkcija ostalih delova u ovom delu kola se može brzo objasniti: zener diode ograničavaju napon kroz Tri2 na oko 66 V i obezbeđuju stabilni referentni napon za okidačko kolo. Komponente B2, R27 i R28 obezbeđuju da se C1 prazni tokom prolaza kroz nulu. Induktivnost L1 služi da eliminiše strujne pikove i tako spreči VF smetnje. Mreža C2-R25 kratko spaja pikove generisane prilikom uključanja uređaja i tako sprečava neželjeno okidanje.

NASTAVAK U SLEDEĆEM BROJU

## POPIS ELEMENATA

R1, R2, R5, R6	10 K $\Omega$
R3	22 K $\Omega$
R4	4,7 K $\Omega$
R7, R12, R23	2,2 K $\Omega$
R8	8,2 K $\Omega$
R9	470 $\Omega$
R10	100 K $\Omega$ 1%
R11	1 K $\Omega$ 1%
R13, R14, R18	0,22 $\Omega$ / 5 W
R18	0,1 $\Omega$
R15	220 K $\Omega$
R16	330 K $\Omega$
R17, R20	100 K $\Omega$
R19,	1 K $\Omega$
R21	220 $\Omega$
R22	1,8 K $\Omega$
R24	1 K $\Omega$
R25	220 $\Omega$ / 1 W
R26	4,7 K $\Omega$
R27, R28	47 K $\Omega$ / 1 W
R29	10 K $\Omega$ / 10 W
R30	150 K $\Omega$
R31	27 K $\Omega$

P1 trimmer H ..... 1 M $\Omega$   
 P2, P3a linierni potencijometar 2,2 K $\Omega$   
 P3b linearni potencijometar ..... 220  $\Omega$

C1 ..... 100 nF / 100 V  
 C2 ..... 100 nF / 400 V  
 C3-C6, C9-C12 ..... 47 nF  
 C7, C8 ..... 1000  $\mu$ F / 40 V  
 C13, C14, C20 ..... 10  $\mu$ F / 40 V  
 C15 ..... 2,2  $\mu$ F / 63 V  
 C16, C18 ..... 1 nF / 63 V  
 C17 ..... 100 pF  
 C19 ..... 330 pF  
 C21 ..... 100 nF  
 C22 ..... 10000  $\mu$ F / 63 V

D1-D4 Zener dioda ..... 33 V / 1 W  
 D5 Zener dioda ..... 15 V / 0,4 W  
 D6, D8 ..... 1N4148  
 D7, D9 ..... crveni LED (5 mm)  
 D10 ..... 1N4001  
 Di1 ..... ER900  
 Tri1 ..... TIC263D  
 Tri2 ..... TIC206D-P  
 B1 ..... B80C5000/3300  
 B2 ..... B250C1500  
 B3, B4 ..... B40C1500  
 T1, T3 ..... BC547B  
 T2 ..... BC557B  
 T4, T5 ..... BDV65B  
 IC1 ..... 7812  
 IC2 ..... 7912  
 IC3, IC4 ..... LM741  
 IC5 ..... CNY17-2

L1 kalem ..... 100  $\mu$ H 6 A  
 Tr1 torusni transformator 2x22 V / 5 A  
 Tr2 (za štampu) ..... 2x12 V / 10 VA  
 Tr3 (za štampu) ..... 2x12 V / 10 VA  
 Digitalni panelmetar 3 1/2 cifre za Nap.  
 Digitalni panelmetar 3 1/2 cifre za Str.  
 PK1-PK6 3-pin. red. klema za štampu  
 Set za termičku izolaciju BDV65B  
 Set za termičku izolaciju TIC263D  
 Hladnjak za T4/T5 ..... 1,1 K/W  
 Hladnjak za Tri1 ..... 13 K/W  
 8-pinsko podnožje DIL IC  
 Buksna (crvena)  
 Buksna (crna)  
 Štampana ploča  
 Mrežna utičnica sa prekidačem i osiguračem  
 Spori osigurač (jednostruko nap.)  
 3,15 A  
 Spori osigurač (dvostruko nap.)  
 6,3 A  
 Metalna kutija.