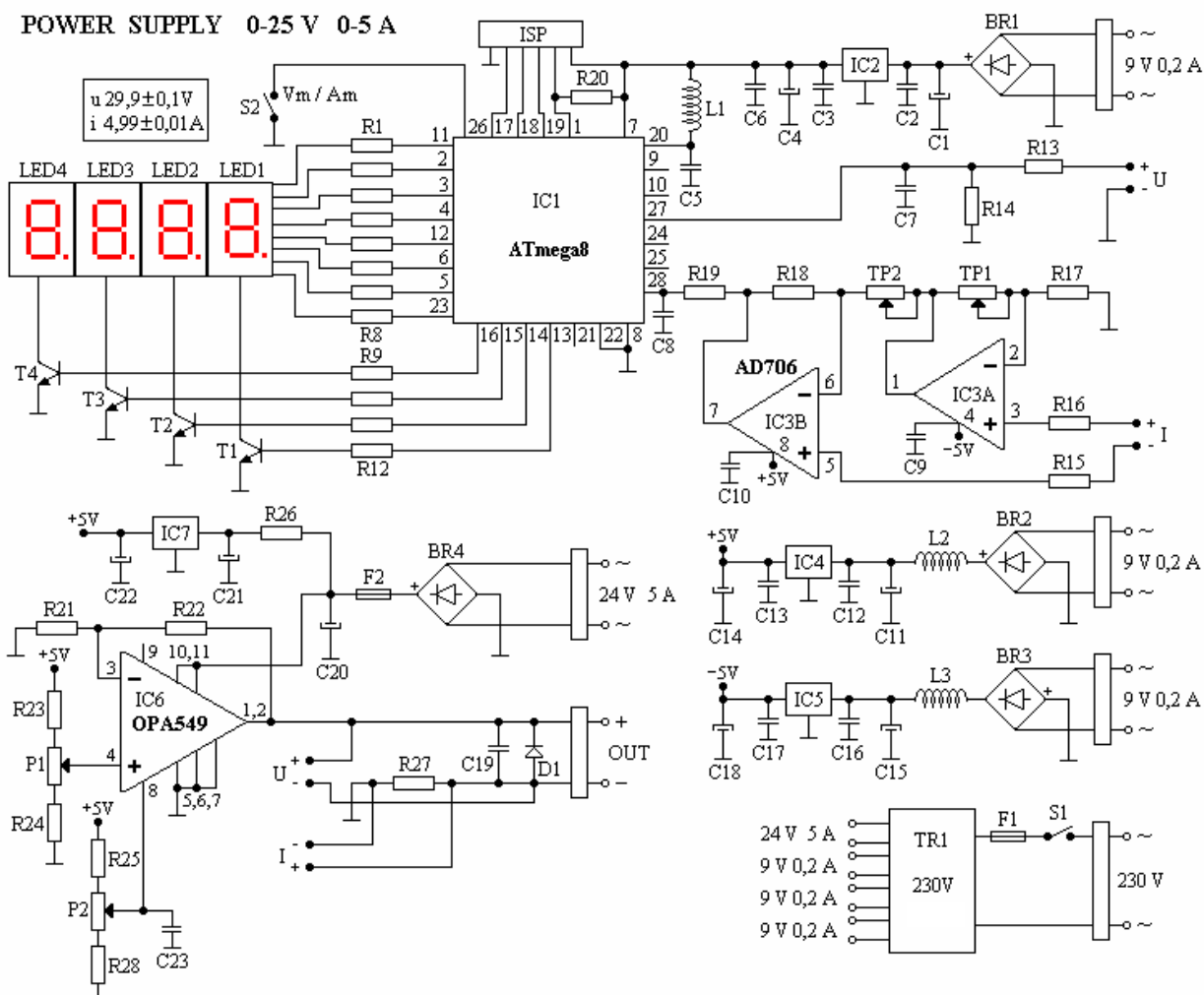


# 1. Konstruiranje napajalnika

## 1.1 Usmernik

Usmernik je zgrajen okoli močnostnega operacijskega ojačevalnika OPA549, ki je na električni shemi, na sliki 1, označen z IC6. Izmenično napetost usmerimo z mostičem BR4 in jo gladimo z elektrolitom C20. Napetostni regulator IC7 zagotavlja referenčno napetost 5V za IC6. Referenčno napetost potrebujemo za nastavljanje izhodne napetosti na nogici 4 in za nastavljanje maksimalnega izhodnega toka na nogici 8.



Slika 1 - Električna shema

Na nogici 4 s potenciometrom P1 nastavimo napetost  $U_{vh1}$ . Nastavljena napetost se množi z nastavljenim ojačanjem ( $G = 11$ ). Ojačanje ( $G$ ) je nastavljeno z uporoma R21 in R22. Napetost  $U_{iz}$  na izhodu IC6 je podana z enačbo 1.

$$U_{iz} = U_{vh1} \cdot \left(1 + \frac{R22}{R21}\right) ; G = 1 + \frac{R22}{R21} \quad (1)$$

Izračunane vrednosti posameznih elementov so podane v tabeli na sliki 2.

R23	R24	P1	$U_{vh1}$	R21	R22	$U_{iz}$
10 k $\Omega$	350 $\Omega$	0 k $\Omega$	0,085 V	1 k $\Omega$	10 k $\Omega$	0,95 V
10 k $\Omega$	350 $\Omega$	5 k $\Omega$	1,31 V	1 k $\Omega$	10 k $\Omega$	14,5 V
10 k $\Omega$	350 $\Omega$	10 k $\Omega$	2,54 V	1 k $\Omega$	10 k $\Omega$	27,9 V

Slika 2 - Tabela z izračunanimi elementi za  $U_{iz}$

Na nogici 8 s potenciometrom P2 nastavimo maksimalni tok (tokovno omejitvev)  $I_{iz}$ . Maksimalni tok  $I_{iz}$  na izhodu IC6 je podan z enačbo 2.

$$I_{iz} = \frac{((U_{ref} + 4,75) - U_{vh2}) \cdot 15800}{7500} \quad (2)$$

Izračunane vrednosti posameznih elementov so podane v tabeli na sliki 3.

R25	R28	P2	$U_{ref}$	$U_{vh2}$	$I_{iz}$
180 $\Omega$	4,7 k $\Omega$	0 k $\Omega$	0 V	2,37 V	5,00 A
180 $\Omega$	4,7 k $\Omega$	3,9 k $\Omega$	0 V	3,30 V	3,05 A
180 $\Omega$	4,7 k $\Omega$	6,8 k $\Omega$	0 V	4,00 V	1,58 A
180 $\Omega$	4,7 k $\Omega$	10 k $\Omega$	0 V	4,95 V	<0,02 A

Slika 3 - Tabela z izračunanimi elementi za  $I_{iz}$

Upor R27 je shunt za merjenje toka skozi breme, ki je priključeno na usmernik. Dioda D1 je zaščita proti inducirani napetosti v primeru, ko na usmernik priklopimo induktivno breme. Na primer rele. Kondenzator C23 poveča neobčutljivost na šum (noise immunity).

Upor R26 zmanjša napetost na IC7, da se ta preveč ne greje in da ne moremo preseči maksimalne delovne napetosti za IC7. Varovalka F2 ima dve nalogi:

- a) Ščiti mostič BR4 v primeru kratkega stika na izhodnih sponkah usmernika. To je aktualno v primeru, ko je nastavljeni maksimalni izhodni tok - tokovna omejitev večja od 5 A. Pri kratkem stiku na izhodu naraste izhodni tok čez 5 A in prebije mostič BR4.
- b) Ščiti mostič BR4 pri visoki temperaturi hladilnega telesa in mostiča (80°C in več). Tedaj se upornost diod v mostiču zmanjša, zato tok naraste preko 5 A in prebije mostič BR4.

## 1.2 Led V-A meter

Srce Led V-A metra je Atmelov AVR mikrokontroler ATmega8. V električni shemi je označen z IC1. Mikrokontroler ima tri naloge:

- a) V multipleksnem načinu poganja štiri sedem segmentne led prikazovalnike.
- b) Odčituje vrednost na nogici 27 in jo prikaže v voltih na eno decimalno natančno.
- c) Odčituje vrednost na nogici 28 in jo prikaže v amperih na dve decimalni natančno.

Interni oscilator v mikrokontrolerju je nastavljen na 8 MHz, da procesor hitro preračunava vrednost za prikaz. Posledično ni utripanja na led prikazovalniku.

Tuljavica L1 in kondenzator C1 tvorita filter proti motnjam iz napajalnika in filtrirata referenčno napetost za AD pretvornik. AD pretvornik je 10 bitni, zato imamo  $2^{10}$  delcev (kvantov). Pri referenčni napetosti 5V je velikost delca 0,00488, kar je razvidno iz enačbe 3.

$$V_{in} = ADC \cdot \frac{V_{ref}}{1024} \quad (3)$$

Za pravilen prikaz napetosti in toka je potrebno vrednost iz AD pretvornika pomnožiti s konstanto, ki jo določa uporovni delilnik. Uporovni delilnik za V meter (R13 in R14) ni enak delilniku za A meter. S katero konstanto se bo pomnožila vrednost AD pretvornika določa

položaj stikala S2. Stikalo S2 določa način (mode) delovanja, ki je lahko V meter ali A meter. S stikalom S2 postavljamo marker Vam v programu mikrokontrolerja.

Konstanta za V meter je 6,5. Določena je z uporabo R13 in R14. Za pravilen prikaz jo pomnožimo še z 10.

Konstanta za A meter je 1. Določena je s faktorjem ojačanja operacijskega ojačevalnika IC3 ( $G = 10$ ) in z uporabo R27 ( $G = 0,1$ ). Za pravilen prikaz jo pomnožimo še s 100.

Ojačanje operacijskega ojačevalnika IC3a in IC3b določata upora  $R_A$  in  $R_B$ . Električna shema je zasnovana na podlagi literature [3, stran 7]. Napetost  $U_{iz}$  na izhodu IC3b je podana z enačbo 4.

$$U_{iz} = (U_{I+} - U_{I-}) \cdot \left( 1 + \frac{R_a}{R_b} \right); \quad R_a = R17 = R18, R_b = TP1 = TP2 \quad (4)$$

Za izbrano ojačanje ( $G = 10$ ) in vrednost upora  $R_a = 47 \text{ k}\Omega$  smo za upor  $R_b$  izračunali vrednost  $5,22 \text{ k}\Omega$ . Ker upor takšne vrednosti ne obstaja, izračunano vrednost nastavimo s trimerjema TP1 in TP2. Kontrolo faktorja ojačanja naredimo tako, da na vhod pripeljemo napetost  $1,00 \text{ V}$  in preverimo ali je na izhodu napetost  $10,0 \text{ V}$ . Ker je padec napetosti na shuntu R27 majhen, smo pri realizaciji A metra izbrali diferencialni način merjenja napetosti. Pri V metru je signal večji, zato merimo napetost v načinu s skupno maso.

Vemo, da je na izhodu usmernika prisotna valovitost, zato lahko cifre na led prikazovalniku »plešejo«. Vendar se to ne dogaja, ker je filtriranje izvedeno z uporabo R13 in R14, ter s kondenzatorjema C7 in C8.

Napajanje operacijskega ojačevalnika IC3 je simetrično. Realizirano je s pozitivnim in z negativnim napetostnim regulatorjem. (IC4 in IC5). Namesto AD706 bi lahko uporabili cenejši LM358. Električna shema je v literaturi [4, stran 18].

Toroidni transformator ima štiri sekundarna navitja:

- 24V - 5 A za napajanje usmernika,
- 9V - 0,2 A za pozitivno napajanje operacijskega ojačevalnika,
- 9V - 0,2 A za negativno napajanje operacijskega ojačevalnika,
- 9V - 0,2 A za napajanje V-A metra.

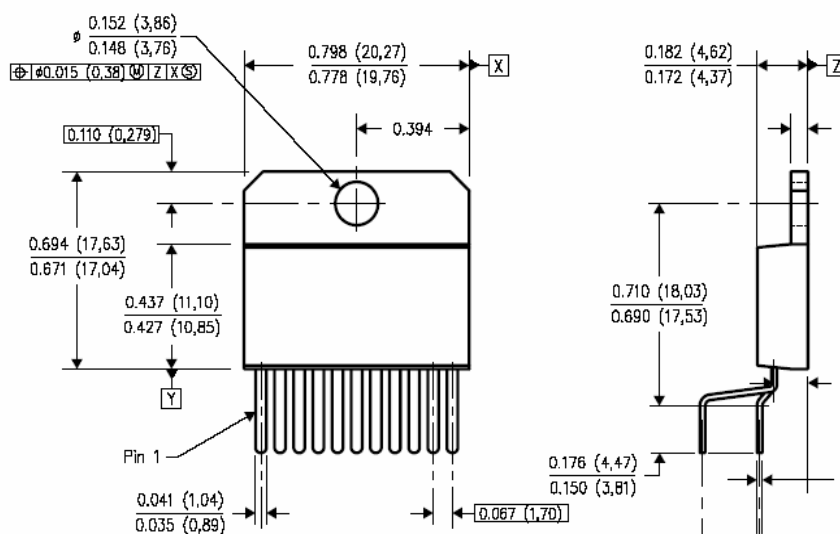
Seznam uporabljenih elementov v električni shemi je podan v tabeli na sliki 4.

Kos	Tip	Vrednost	Referenca
8	upor	220 $\Omega$	R1-R8
6	upor	4,7 k $\Omega$	R9, R10, R11, R12, R26, R28
1	upor	82,5 k $\Omega$ 1%	R13
1	upor	15 k $\Omega$ 1%	R14
2	upor	47 k $\Omega$ 1%	R17, R18
2	trimer	10 k $\Omega$ (5,22 k $\Omega$ )	TP1, TP2
4	upor	1 k $\Omega$	R15, R16, R19, R21
2	upor	10 k $\Omega$	R22, R23
1	upor	390 $\Omega$ (470 $\Omega$ )	R24
1	upor	180 $\Omega$	R25
1	upor	0,1 $\Omega$ 1% 3W	R27
1	potenciometer	10 k $\Omega$	P1
1	potenciometer	10 k $\Omega$	P2
2	el. kondenzator	330 uF / 25 V	C1
2	el. kondenzator	33 uF / 35 V	C4, C21
2	el. kondenzator	10 uF / 35 V	C14, C18, C22
1	kondenzator	4700 uF / 35 V 105°C	C20
13	kondenzator	100 nF ML / 50 V	C2, C3, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C12, C13, C16, C17, C19
1	kondenzator	10 nF ML / 25 V	C23
4	tranzistor NPN	BC 547 C	T1, T2, T3, T4
3	dušilka	10 uH	L1, L2, L3
1	gretz mostič	B80C3300/5000 ali GBU810	BR4
3	gretz mostič	B80C1000	BR1, BR2, BR3
1	mikrokontroler + prog.	ATmega8	IC1
2	podnožje	14 PIN	IC1
2	nap. stabilizator	78L05	IC2, IC4
1	nap. stabilizator	7805	IC7
1	nap. stabilizator	79L05	IC5
1	podnožje	8 PIN	IC3
1	opamp	AD706 ali LM358	IC3
1	opamp	OPA549T	IC6
4	LED	SC56-11 EWA	LED1,2,3,4
1	transformator toroidni	230 V / 1 x 24 V - 5 A / 3 x 9 V - 0,2 A / 130 VA	TR1
1	stikalo	enopolno	S1 - za vklop/izklop
1	stikalo	enopolno	S2 - za preklop Vm / Am
2	varovalka	Cevna 5x20	F1, F2
1	dvojna sponka za TIV	RM 5,08	OUT
1	ohišje za elektroniko	(120 x 90 x 180) mm	KOBIS
3	TIV		
1	hladilno rebro		
2	vtičnica za »banane«		
2	gumb		
1	sljuda + izolator za IC6		
1	kabel za 230 V z uvodnico		
1	nalepka za čelno ploščo		

Slika 4 - Seznam uporabljenih elementov v električni shemi

### 1.3 Hladilno telo

Na IC6 se porablja razlika moči med močjo na mostiču in močjo na bremenu. Zato ga je potrebno hladiti oziroma privijačiti na hladilno telo. Hladilno telo določimo na podlagi literature [1, stran 11]. Zaradi boljšega hlajenja in večje stične ploskve IC6 z hladilnim telesom smo namesto ohišja TO-220 izbrali Power Package na sliki 5, ki je dvakrat večje od ohišja TO-220.



Slika 5 - Power Package ohišje za OPA549

Izračun sloni na Ohmovem zakonu za toploto. Za naš primer uporabimo enačbo 5. Z enačbo izračunamo potrebno termično upornost ( $\theta$ ,  $\Theta$ ) hladilnega telesa. Na podlagi izračunane  $\Theta$  izberemo ustrezno hladilno telo iz kataloga.

$$\Theta_{jc} + \Theta_{ch} + \Theta_{ha} = \frac{\Delta T}{P_t} \quad (5)$$

- Opomba:
- $\Theta_{jc}$  - termična upornost: spoj - ohišje (junction - case), [K/W]
  - $\Theta_{ch}$  - termična upornost: ohišje – hladilno telo (case - heatsink), [K/W]
  - $\Theta_{ha}$  - termična upornost: hladilno telo - okolica (heatsink - ambient), [K/W]
  - $\Delta T$  - sprememba temperature v K med dvema temperaturama, [K]
  - $P_t$  - toplotni tok med dvema temperaturama, [W]

Izračun hladilnega telesa po enačbi 5 je prikazan v tabeli na sliki 6.

$T_j$	$T_a$	$P_{t\text{ opa}}$	$\Theta_{jc}$	$\Theta_{ch}$	$\Theta_{ha}$
130,0	40,0	20,0	1,4	0,5	<b>2,60</b>
130,0	40,0	30,0	1,4	0,5	<b>1,10</b>
130,0	40,0	40,0	1,4	0,5	<b>0,35</b>
130,0	40,0	<b>24,0</b>	1,4	0,5	<b>1,85</b>
130,0	40,0	<b>42,0</b>	1,4	0,5	<b>0,24</b>

Slika 6 - Izračun hladilnega telesa po enačbi 5

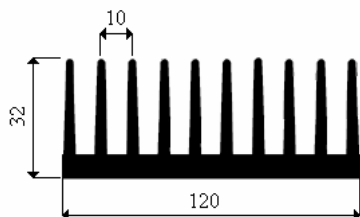
Velikost ohišja je omejila velikost hladilnega telesa. Posledično je hladilno telo manjše od izračunanega. Zato lahko, s pomočjo enačbe 5 in meritve temperature na hladilnem telesu, določimo  $\Theta_{ha}$  – termično upornost hladilnega telesa. Meritev temperature je izvedena s temperaturnim senzorjem LM35, ki je privijačen na hladilno telo. Rezultati so podani v tabeli na sliki 7.

$T_h$	$T_a$	$U_{C20}$	$U_{opa}$	$U_L$	$R_L$	$I_L$	$P_{t\text{ opa}}$	$\Theta_{ha}$
57,50	20,00	27,9	23,4	4,5	5,0	0,90	21,1	<b>1,78</b>
79,00	20,00	25,7	15,3	10,4	5,0	2,08	31,8	<b>1,85</b>

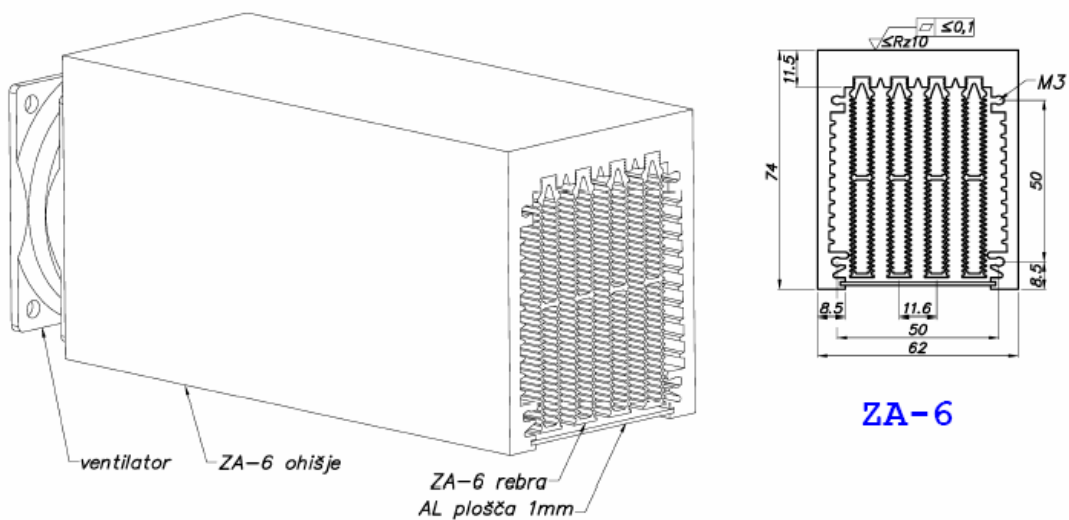
Slika 7 - Izračun  $\Theta_{ha}$  hladilnega telesa po enačbi 5

$\Theta_{ha}$  neznanega hladilnega telesa, na sliki 8, je torej 1,85 K/W. Iz tabele na sliki 6 vidimo, da je maksimalna moč, ki se lahko troši na IC6, s tem hladilnim telesom samo 24W. V primeru, ko vzamemo hladilno telo z  $\Theta_{ha} < 0,24$  K/W, pa se lahko na IC6 troši 42W. Za ta primer ustreza hladilni agregat na sliki 9.

Termalna upornost pri dolžini 35 mm 1,85 °C/W



Slika 8 - Hladilno telo z  $\Theta_{ha}=1,85$  K/W



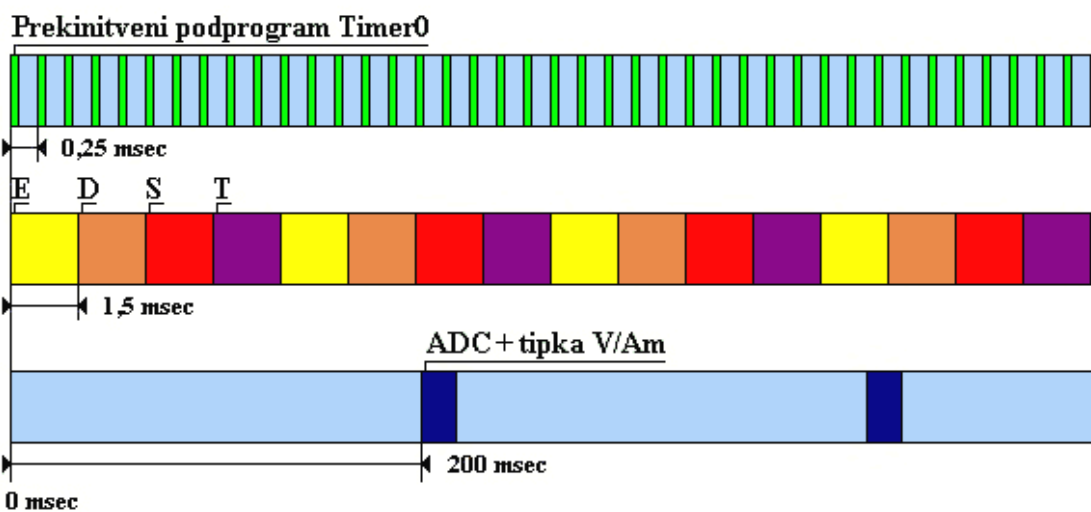
Termalna upornost pri dolžini 100mm	0,25 °C/W ventilator 24V DC
Termalna upornost pri dolžini 100mm	0,20 °C/W ventilator 12V DC

Slika 9 - Hladilni agregat

## 1.4 Program za mikrokontroler ATmega8

Program je prikazan v obliki diagrama poteka (Flowchart-a), ki je v prilogi 1.

Poenostavljen časovni diagram je na sliki 10. In kaj program počne?



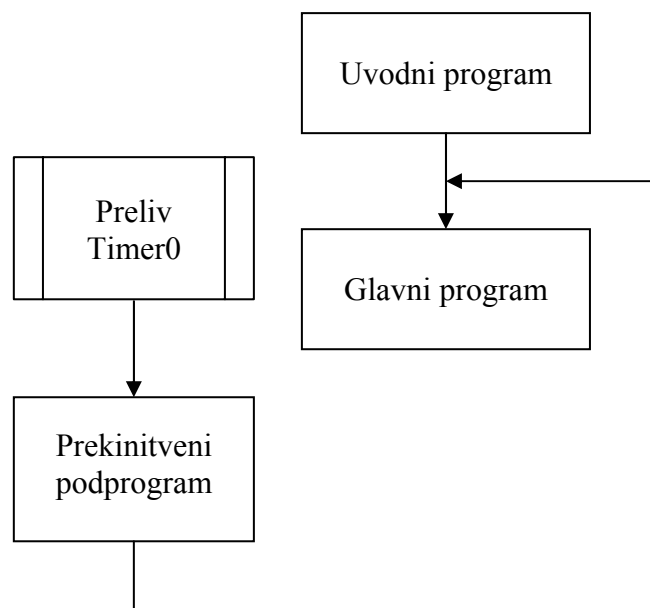
Slika 10 - Poenostavljen časovni diagram



V glavnem programu se izračuna in oblikuje vrednost za prikaz na led prikazovalnik. Procesor se vrta v glavnem programu in skoči v prekinitveni podprogram vedno v trenutku, ko pride do preliva pri časovniku Timer0.

Vsake 0,25 msekunde se ob prelivu izvede prekinitveni podprogram, ki poveča vrednost spremenljivke clock. Vsake 1,5 msekunde se prižge in gori 1,5 msekunde led segment za enice (E), desetice (D), stotice (S) in tisočice (T). Vsake 0,2 sekunde se prebere vrednost v AD pretvorniku in stikalo Vm /Am. S položajem stikala določimo ali se na led prikazovalniku prikazuje napetost ali tok.

Program je napisan v programskem jeziku Basic. V hex kodo, velikosti 1,9 kB, je preveden s prevajalnikom Bascom AVR [5]. Prednost programiranja v višjem programskem jeziku je enostavnejše programiranje in enostaven prenos programa na druge AVR mikrokontrolerje.

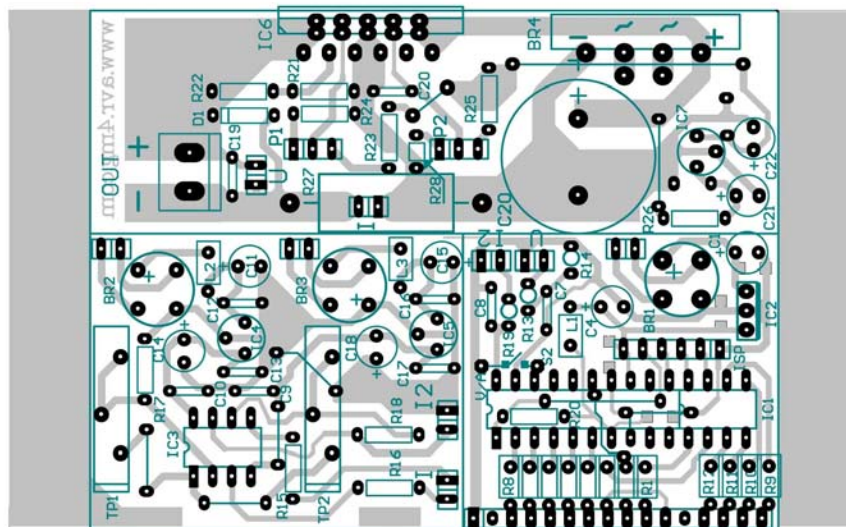


Slika 11 - Diagram poteka

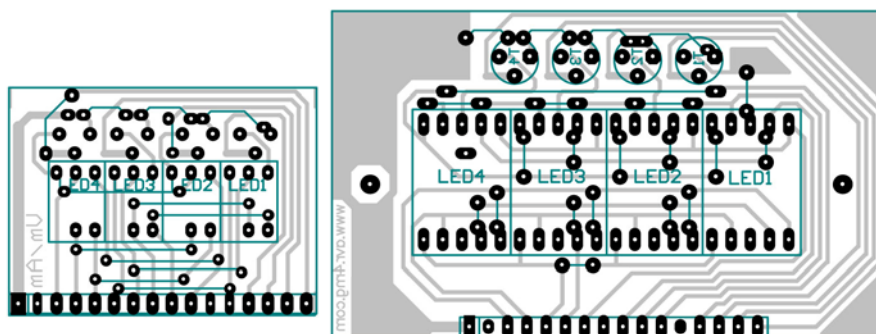
## 1.5 Dodatek



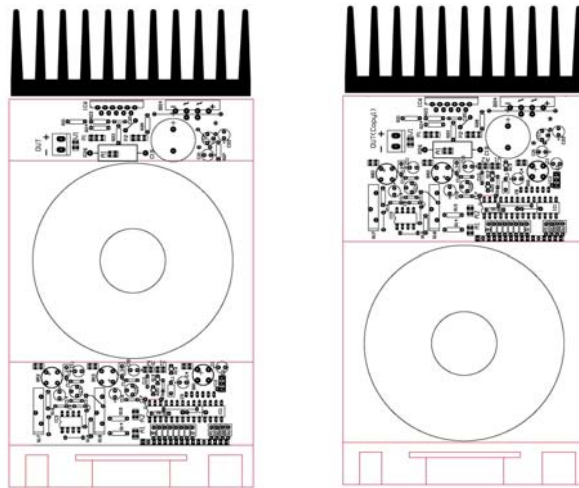
Slika 12 - Čelna plošča napajalnika. Velikost (120 x 60) mm.



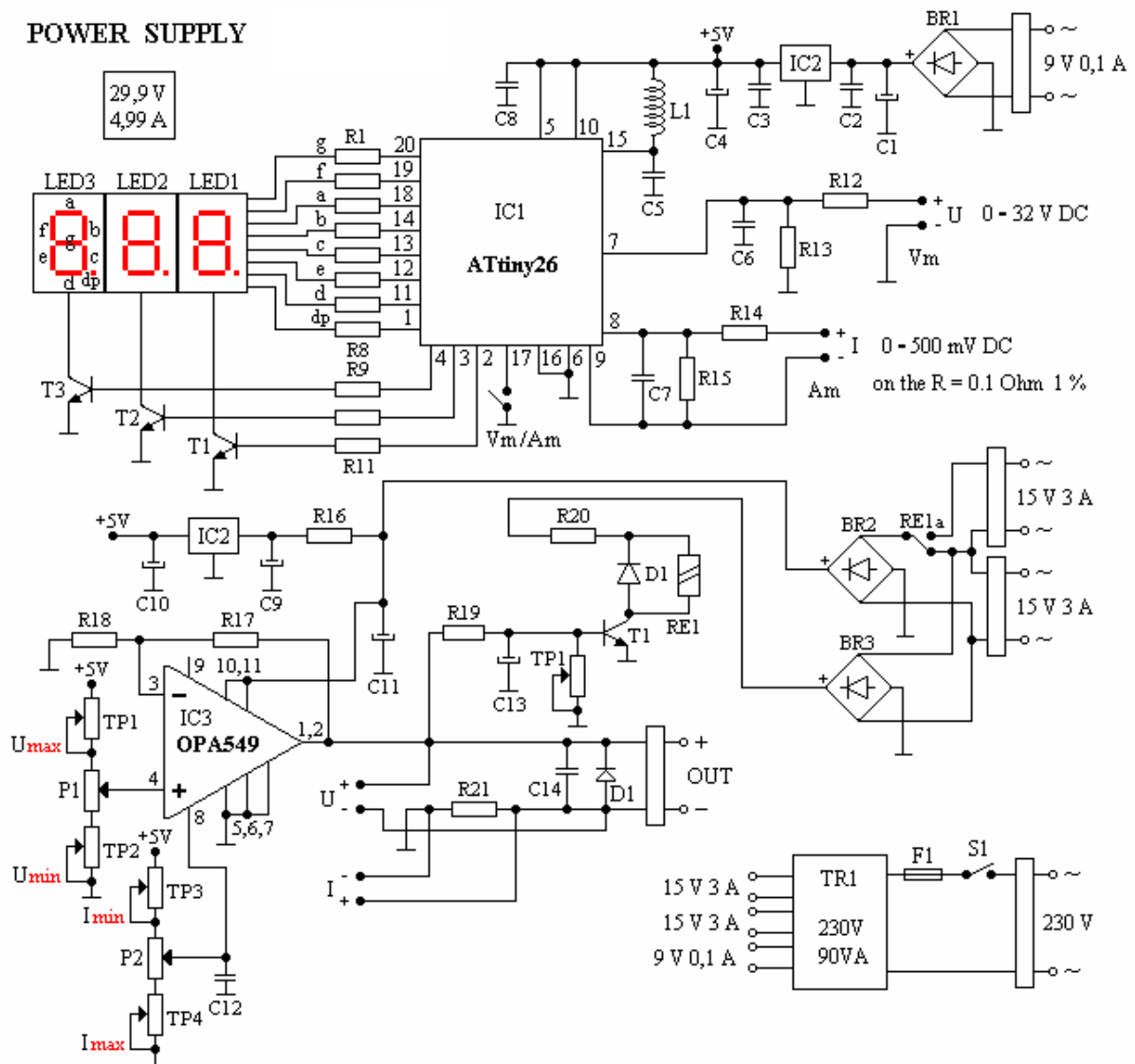
Slika 13 - Postavitev elementov. Velikost (90 x 70) mm.



Slika 14 - Postavitev elementov. Velikosti (40 x 30) mm in velikost (73 x 43) mm.

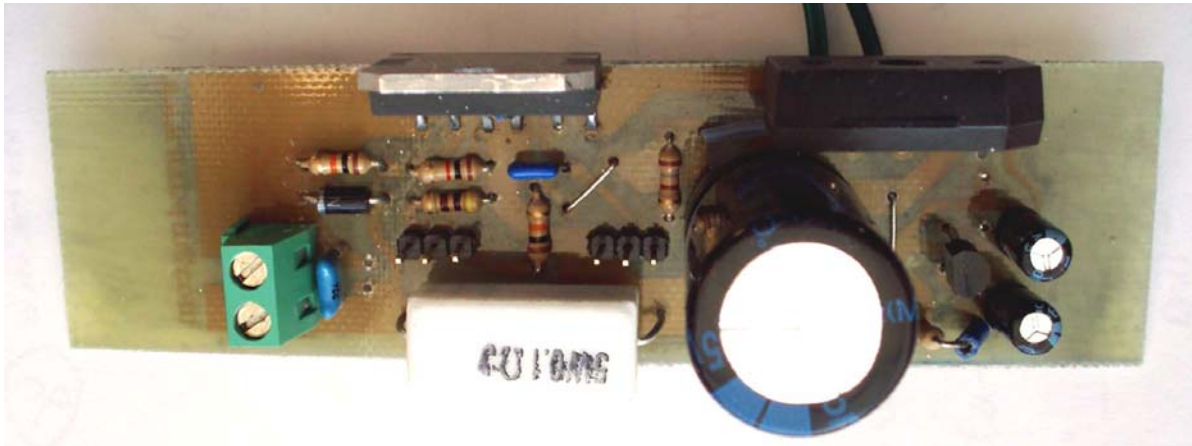


Slika 15 - Postavitev transformatorja. Dve varianti.



Slika 16 - Izboljšana električna shema

V seznam uporabljenih elementov smo vnesli cene za posamezne elemente. Celoten znesek je 102 EUR. Za izboljšano verzijo električne sheme je znesek 120 EUR.



Slika 17 – Slika izdelanega TIV-a (usmernik)

### Maska za tiskano vezje

