



УНИВЕРЗИТЕТ  
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ  
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Југославија  
Деканат: 021 350-413; 021 450-810; Централа: 021 350-122  
Рачуноводство: 021 58-220; Студентска служба: 021 350-763  
Телефакс: 021 58-133; e-mail: ftndean@uns.ns.ac.yu



Сертификован  
систем  
квалитета



## PROJEKTOVANJE ELEKTRONSKIH KOLA POMOĆU RAČUNARA

### NAZIV PROJEKTA:

Laboratorijski izvor napajanja

### MENTOR PROJEKTA:

Dr Miodrag Brkić

### PROJEKAT IZRADILI:

Nenad Petrovic EE69/2018

## SADRŽAJ

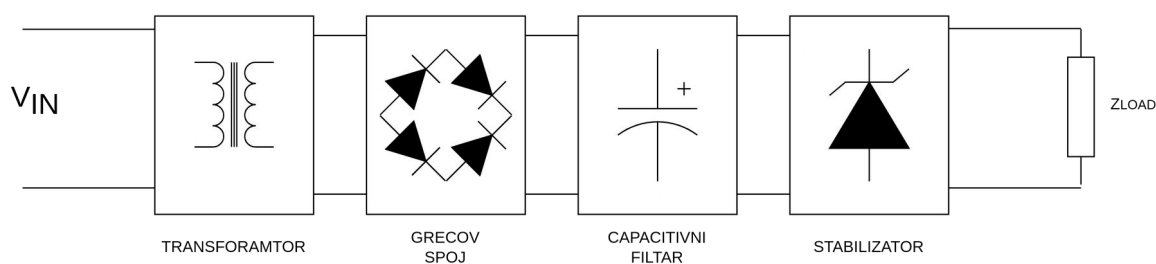
1. UVOD.....	3
2. SCHEMATIC.....	5
3. SUBBLOCKS I PRORACUN DELOVA.....	7
4. GENERISANJE REFERENTNOG NAPONA.....	9
5. IZLAZNI NAPON KAO FUNKCIJA POTROSACA.....	12
6. OBABIR IZLAZNOG TRANZISTORA.....	15
7. STRUJNA ZASTITA.....	16
8. EFIKASNOST NAPAJANJA.....	18
9. ZAKLJUČAK.....	19
10. DODATAK.....	20

## 1. UVOD

Zadatak projekta je realizacija laboratorijskog izvora napajanja sa mogućnošću podešavanja izlaznog napona od 2.5V do 20V i maksimalnom izlaznom strujom od 50mA do 500mA.

Postoji mnogo topologija naponskih stabilizatora. Za ovaj projekat odluceno je da se koristi najjednostavnija moguca topologija koja ima sledece blokove :

- ✓ GrecoV spoj (ispravljač napona)
- ✓ Kapacitivni filter
- ✓ Zener dioda
- ✓ Bafer
- ✓ Pojacavac greske
- ✓ Sense circuit
- ✓ Kontrolni element (izlazni tranzistor)



*Slika 1 .Blok dijagram opste seme naponskog regulatora*

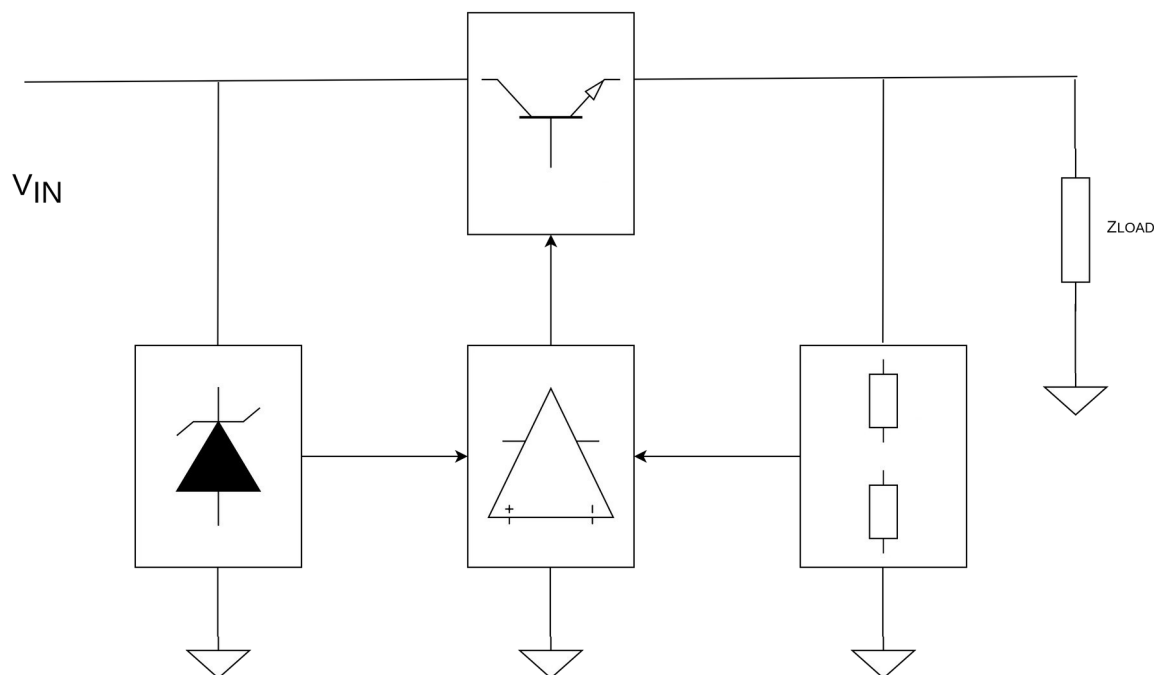
Mrežni napon se smanjuje na nizu vrednost uz pomoc transformatora. Pogodnim odabirom broja navojaka napon pre GrecoVog spoja se prakticno moze programirati.

Potom se upotrebno GrecoVog spoja napon koji je prostoperiodicni , ispravlja , odnosno doija se apsolutna vrednost prosotperiodicnog napona u matematickom smislu.

Ovaj napon i dalje nije DC pa je potrebno dodatno “peglanje“ , uz pomoc kapacitivnog filtra. Za ovaj zadatak bira se kondenzator relativno velike vrednosti , cija je uloga da drzi konstantan napon na svom izlazu i da bude strujni izvor u delu poluperiode kada napon na GrecoVom spoju monotono opada. Proracun ovog kondenzatora je kriticni korak i bice razmatran u daljim poglavljima.

Nakon toga ovaj napon jeste DC medjutim nije dovoljno kvalitetan zbog postojanja “ripple“ napona (napona brujanja), usled konacne vrednosti kondenzatora i rezistivnih elemenata oko njega koji su nepozeljni. Zbog toga se ovaj “prljavi“ napon mora jos dodatno stabilizovati uz pomoc naponskog stabilizatora.

Blok sema naponskog stabilizatora je data u nastavku , svi detalji nisi prikazani , ali ce biti prikazani na schematicu uz dalju diskusiju zasto je svaki element odabran.



Slika 2.Blok sema naponskog regulatora

Sto se tice samog stabilizatora , odluceno je da se koristi standardna topologija , referenti izvor napajanja u vidu zener diode , kolo povratne sprege , op amp i npn BJT.

Princip rada kola je vrlo jednostavan.Referentni napon sa zener diode se dovodi na + kraj op ampa , usled asimptotskog ponasanja op ampa + i – ulazi su prakticno jednaki (dok god op amp nije u saturaciji).Ovo je ujedno i konfiguracija neinvertujuceg pojacavaca , pa je izlazni napon na potrosacu propocionalan sa referentnim naponom zener diode.Da bi se povecale strujne karakteristike koristi se npn BJT.Ako se izlazni napon promeni za neku malu vrednost naponski razdelnik ce detektovati tu promenu , dovesti je na pojacavac greske koji ce regulisati svoj izlaz u skladu sa tim.Promena izlazne struje op ampa dovodi do promene bazne struje npn tranzistora koji onda smanjuje struju kolektora pa i emitira,Ova struja pravi manji pad napona na naponskom razdelniku i kolo je regulisano.Ovim je i pokazano da postoji negativna povratna sprega .

U prakticnoj realizaciji kola postoje i dodatni blokovi za preciznije namestanje referentnog napona , medjutim u blok semi je to izostavljeno i moze se smatrano da su svi pomocni blokovi upravo jedan veliki blok zaduzen za generisanje referentnog napona.

Elektricna sema, kao i sve uradjene simulacije i analize izvršene su uz pomoc alata MicroCap.

## 2. SCHEMATIC

U daljem tekstu bice diskutovan schematic regulatora i bice ukratko receno cemu svaki deo služi , od cega se sastoji i u daljim delovima bice razmatran svaki deo pojedinačno.

Ulazni napon  $V_1$  je prostoperiodicni napon , amplitude 27V i frekvencije 50Hz , smatrano je da se mrezni napon od 230V , smanjio koriscenjem transformatora na ovu vrednost i ovaj deo je izostavljen radi jednostavnosti.

Na izlazu Grecovog spoja se dobija polutalasni napon (napon izgleda kao apsolutna vrednost prostoperiodicnog napona ).Grecov spoj cine cetiri 1N5408 diode.

Dalje se ovaj napon dovodi na filter kondenzator  $C_1$  i on upravo radi kako mu i ime kaze , filtrira ovaj napon i pravi od njega DC signal.

Sledeci blok je referenti izvor napajanja , za ovo ce poslužiti i jednostavna general purpose zener diode iz familije BZ . Inverzni napon je 5.6V dok je struja kroz diodu 5mA.Da bi se ovo postiglo koristi se otpornik  $R_3$  kao strujni izvor.Ovo je jednostavan trik , ali nije bas najbolje resenje jer ovaj otpornik ima tolerancije , sum , temepaturni koeficijent i napon na gornjem kraju se dovodi sa nestabilnog napona filter kondenzatora.O propracunu ove vrednosti bice reci kasnije.

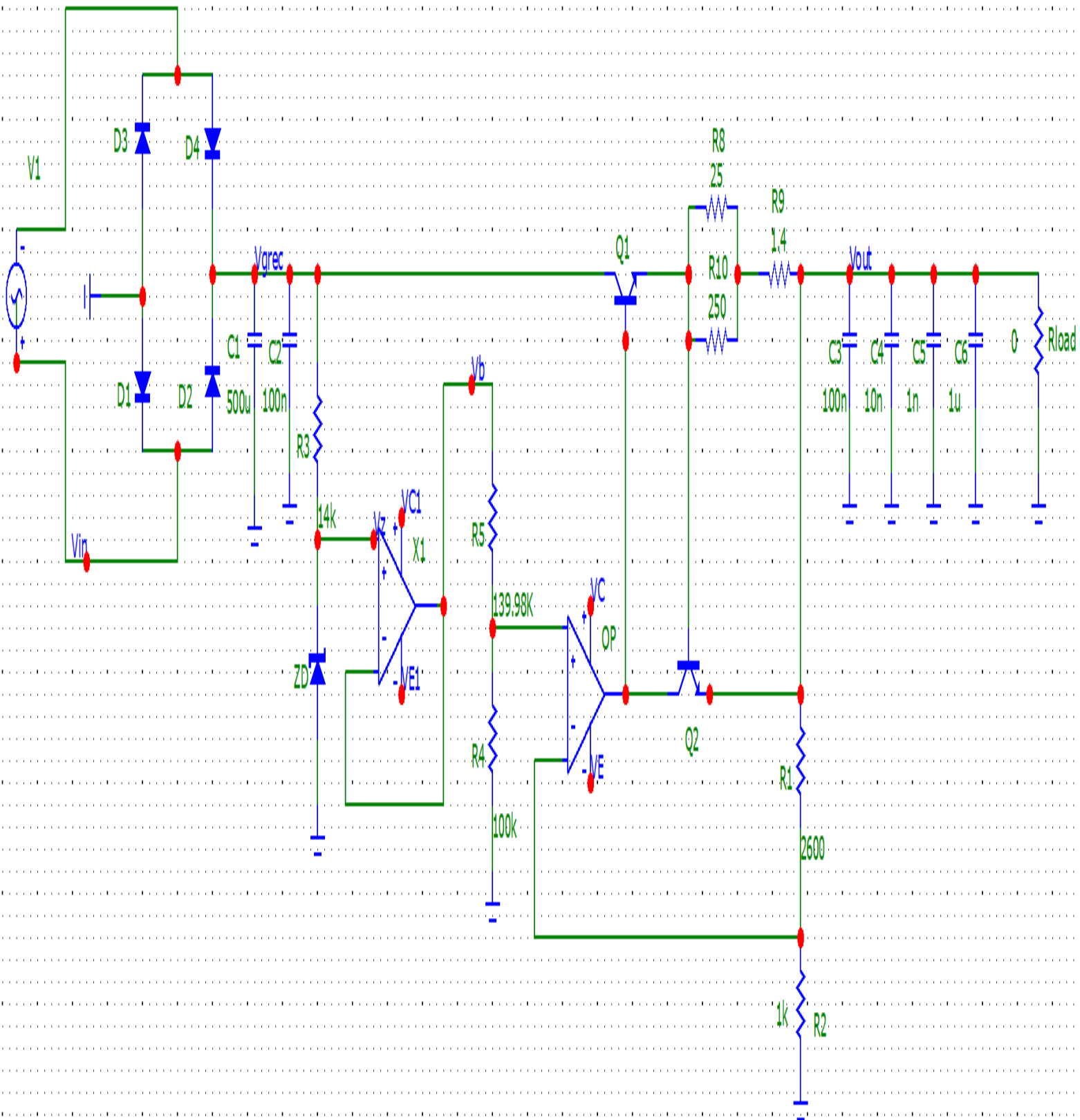
Ovaj napon se dalje baferuje i potom smanjuje uz pomoc naponskog razdelnika i potencijometra (u semi nije nacrtan potencijometar , ali to je otpornik  $R_5$  dok je u analizama ova vrednost stepovana kako bi se simulirao potencijometar).

Pojacavac greske predstavlja OP amp LM358 , na plus kraj operacionog se dovodi referenti napon , a na minus kraj redukovani napon sa izlaza preko naponskog razdelnika koji cine  $R_1$  i  $R_2$ .

Kontrolni element je npn BJT  $Q_1$  i uzet je TIP33.

Kondenzatori na izlazu služe za filtriranje smetnji i smanjivanje impendanse na frekvencijama od interesa.

Strujna zastita je realizovana na jednostavan nacin pomocu BJT  $Q_2$  koji je u literaturi dobro poznati "current thief" , njegova uloga je da "ukrade" struju koju bi operacioni pojacavac inace slao na BJT  $Q_1$  I tako limitira maksimalnu izlaznu struju u slucaju pogresnog vezivanja ili kratkog spoja ili priključenja jako malog potrosaca.U ustanjenom stanju on ne radi nista I aktivira se kada struja prvog tranzistora postane dovoljna da napravi pad napona kroz rednu vezu otpornika koji ce uplaiti  $Q_2$  (tipicno oko 0.7V sto je dovoljno da bazno emiserski spoj bude direktno polarisan) , kako je kolektor na ovog tranzistora na bazi prvog ovo garantuje da je  $Q_2$  kada provede u aktivnom rezimu , gde su I strujni kapaciteti najveći.Ova zastita ce raditi sve dok se ne ukloni uzrok njege aktivacije.



Slika 1. Schematic kola

Komponente	Komada
Ispravljacke diode	x4
Kondenzatori	x6
Otpornici	x5
OP amp	x2
Zener diode	x1

Tabela 1. Spisak komponenata i njihov broj

### 3. SUBBLOCKS I PRORACUN DELOVA

Grecovog spoj je napravljen manuelno (nije koriscen gotov) i koriscene su popularne diode 1N5408. Na osnovu podataka iz *datasheet-a* se vidi da je max current spike ove diode 200A, u kontinualnom rezimu moze da izdrzi oko 3A struje ,napon proboja je takodje izrazito visok (oko 1kV). Ovo je svakako i vise nego dosta .Sledeci izraz prikazuje vezu izmedu struje i max struje koja se pojavi u kratkom impulsu :

$$\frac{I_{cont} T}{2} = \frac{I_{spike} T_{on}}{2} \quad (1)$$

gde su promenjive date kao :

- ✓  $I_{cont}$  - struja u kontinualnom rezimu
- ✓  $T$  - period ulaznog prostoperiodicnog signala
- ✓  $I_{spike}$  - struja u impulsnom rezimu
- ✓  $T_{on}$  - vreme provođenja diode

Iako nije poznato koliko dugo spike traje , recimo da aproksimiramo na sledeci nacin ,  $T_{on}$  je tipicno 10% od poluperioda , onda :

$$I_{spike} = 20 \cdot I_{cont} \quad (2)$$

Kritican korak je proracun filter kondenzatora  $C_1$  .Da bi se doslo do njegove vrednosti treba znati struju u kontinualnom rezimu , ripple napon i svakako period ulaznog signala.Struja je vec proracunata i period je poznat , ostaje samo naci vrednost napona brujanja (ripple voltage).Pisanjem drugog Kirhofovog zakona za ulazni napon , pad napona na diodama i izlazni napon na kondenzatoru dobija se :

$$0.9 V_i - 2 V_{diode} - V_{ripple} = 0 \quad (3)$$

Sada treba napraviti relaciju ulaz i izlaz :

$$V_{out} + V_{sat} < V_{ripple} \quad (4)$$

$V_{sat}$  za TIP33 je oko 1V , min izlazni napon je 2.5V , ulazni napon moze da varira oko 10% , dakle :

$$0.9 \cdot 27 V - 2 V - V_{ripple} \geq 20 V + 1 V \quad (5)$$

$$V_{ripple} \leq 1.3 V \quad (6)$$

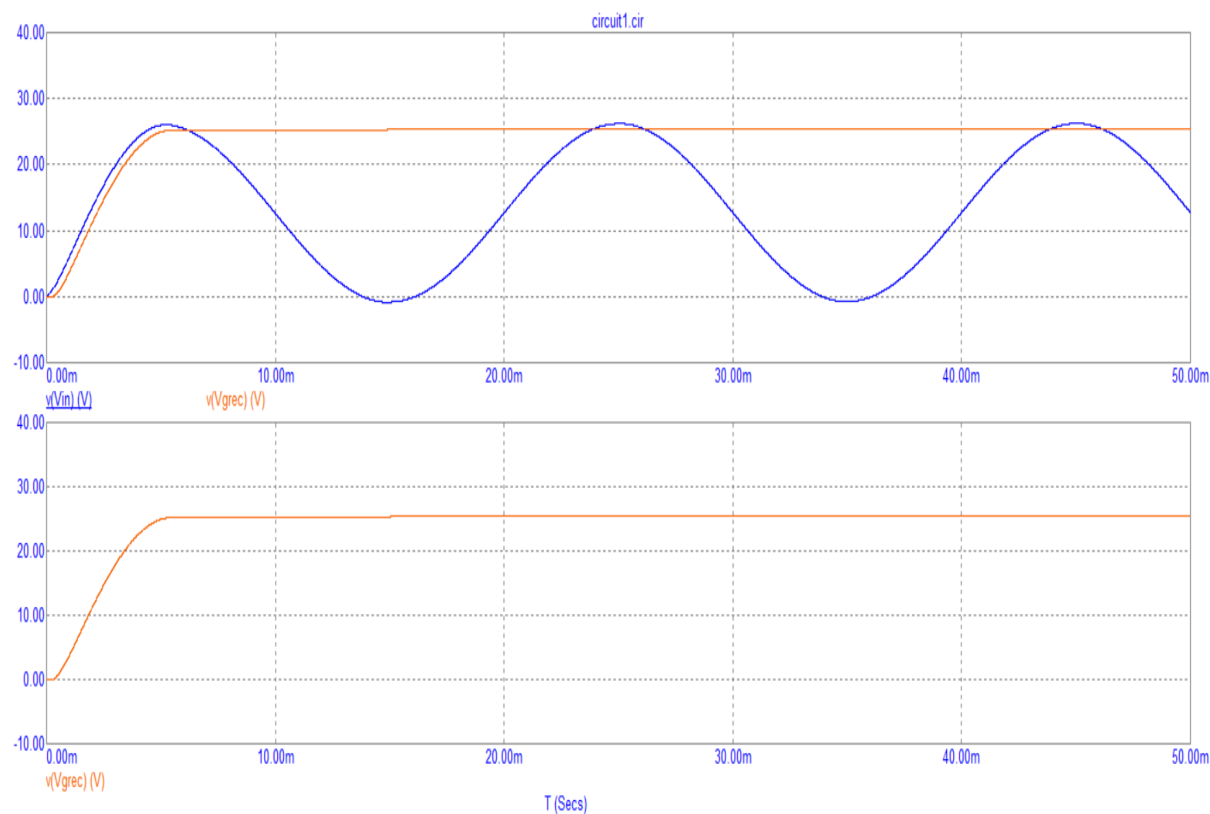
Mala vrednost ripple napona imace za posledicu veliku vredsnost kondenzatora  $C_1$ .

Sada je moguće naci minimalnu vrednost filter kondenzatora  $C_1$  :

$$C_1 \geq \frac{I_{cont} T}{2 V_{ripple}} \quad (7)$$

odatle se dobija  $C_1 \approx 4000\mu F$ .

Uzeta kapacitivnost je veća od izračunate minimalne vrednosti.



Slika 2. Ulazni napon i napon na filter kondenzatoru



#### 4. GENERISANJE REFERENTNOG NAPONA

Generisanje referentnog napona se dobija iz inverznog napona Zener diode. Prvo je potrebno imati inverznu struju kroz diodu vrednosti 5mA i ovo se postize koriscenjem otpornika  $R_3$ . On se dobija na sledeci nacin :

$$R_3 = \frac{V_{grc} - V_{zener}}{I_{zener}} \quad (8)$$

Odavde sledi da je :

$$R_3 = \frac{27V - 5.6V}{5mA} = 4.28k\Omega \quad (9)$$

Ovo naravno vazi samo delimicno jer ni zener napon nije bas tacno 5.6V niti je struja kroz njega potpuno konstanta. Takodje ovde je zanemarena redna otpornost koju ima ova dioda i naravno  $R_3$  ce imati neke tolerancije. Ovo je cena upotrebe ovako jednostavnog strujnog izvora i izlazni napon ce malo odstupati od zeljene vrednosti bas zbog ovoga.

Da bi se posiglo malo finije generisanje referentnog napona, koriscen je baffer. Ovo je uradjeno zato sto je koriscen i potencijometar koji omogucava podesavanje izlaznog napona pa tako i referentnog napona. Baffer naravno ima ogromnu ulaznu otpornost i jako malu ulaznu kapacitivnost i prakticno ne opterecuje kolo zener diode i otpornika  $R_3$ , ovo doprinosi da je struja kroz zener diodu jos vise konstanta i blizu vrednosti koju bi trebalo da ima u kolenu karakteristike. Dalje se izlazni napon smanjuje uz pomoc naponskog razdelnika koji cine otpornici  $R_5$  i  $R_4$ . Opet treba naglasiti da je  $R_5$  potencijometar dok je  $R_4$  regularni otpornik.

Izlazni napon je svakako proporcionalan referentnom naponu.

Sada jos treba naci vrednosti svih ostalih otpornika ili barem njihove odnose. Pocnimo od formule za naponski razdelnik i napon na izlazu :

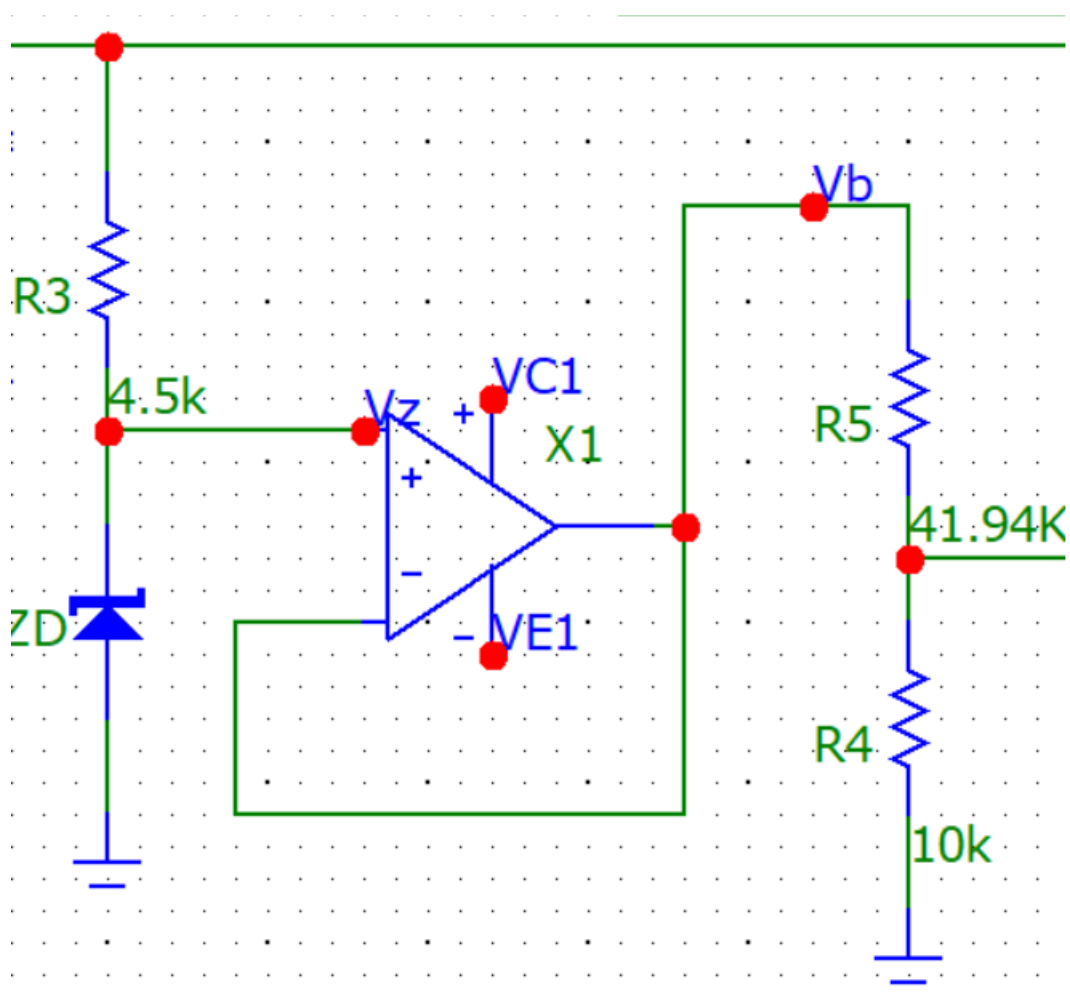
$$V_{plus} = \frac{R_4}{R_4 + R_5} \cdot V_{zener} \quad (10)$$

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{plus} \quad (11)$$

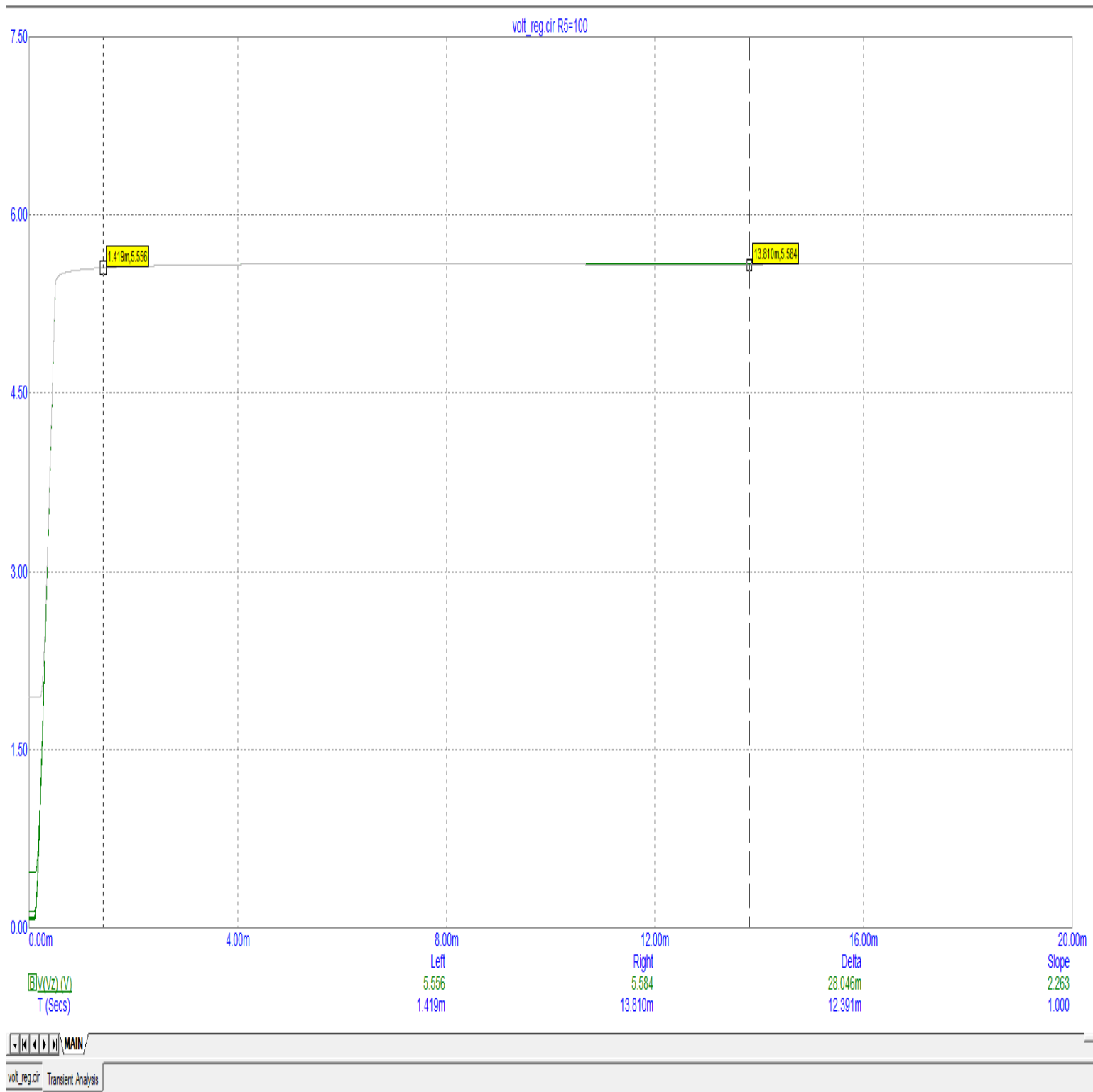
$$V_{outmin} = \frac{R_4}{R_4 + R_5} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{zener} \quad (12)$$

$$V_{outmax} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{zener} \quad (13)$$

Neka je i  $\frac{R_1}{R_2} = n$  neka je  $R_5 = kR_4$  onda se iz (13) dobija  $n = 2.6$  i deljenjem (12) i (13) dobija se  $\frac{R_5}{R_4} = 7$ . Uzeto je da je  $R_5 = 70k\Omega$  i  $R_4 = 10k\Omega$ ,  $R_1 = 2.6k\Omega$  i  $R_2 = 1k\Omega$



Slika 3. Referenti izvor napona

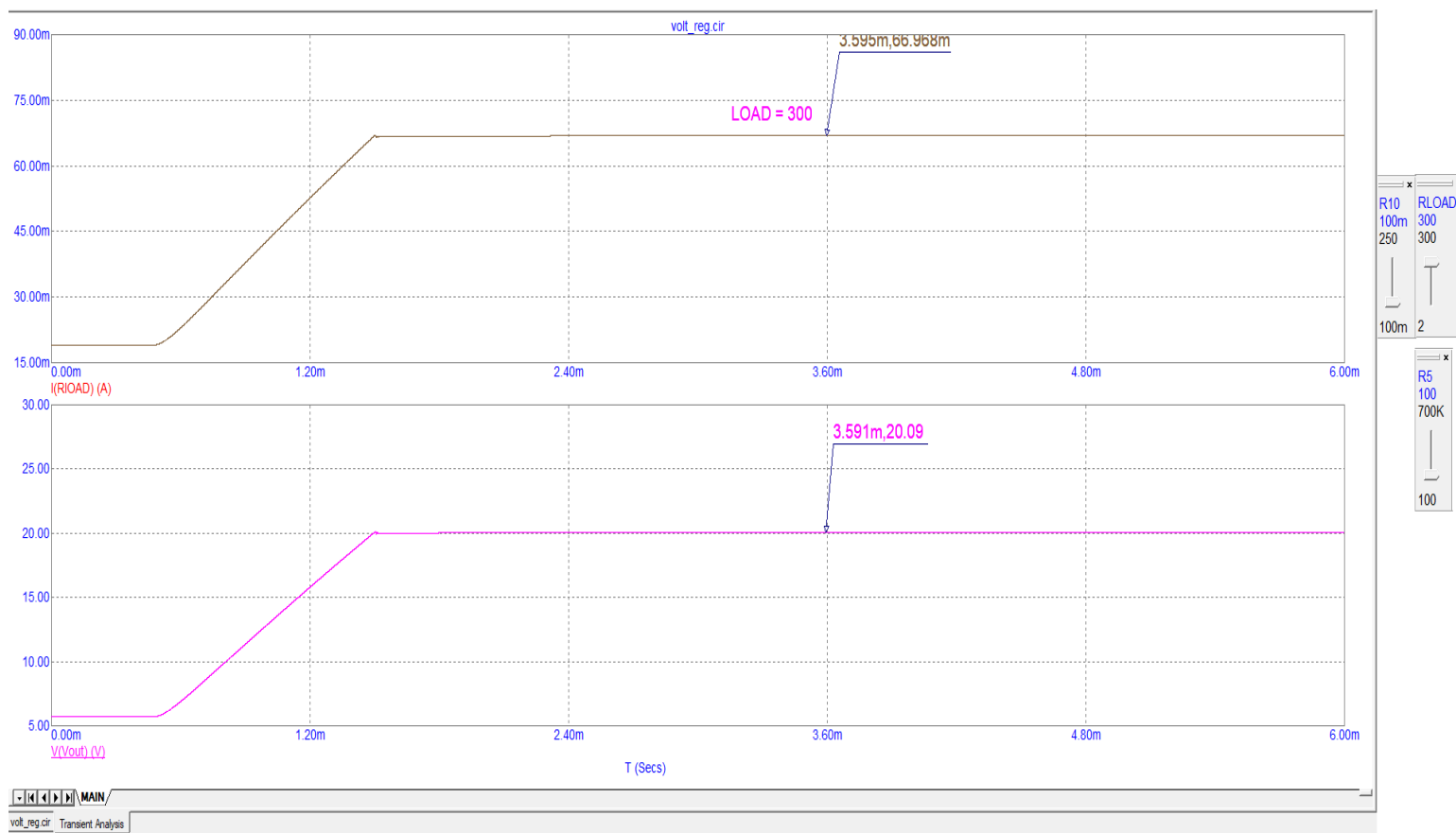


*Slika 4. Izlazni napon na razlicite vrednosti potencijometra R*

Sa gornje slike se vidi da izlazni napon Cener diode ima priblizno ref vrednost od trazanih 5.6V. Ovo je postignuto koriscenjem bafera kako bi struja kroz diodu bila sto konstantnija. I sa gornje slike vidi se da je nezavisna od izbora vrednosti potencijometra  $R_5$ , sto ne bi bio bas slucaj da nije koriscen bafer jer bi za male vrednosti potencijometra struja kroz Cener diodu znacajno odstupala od aproksimacije I referentni izvor bio bi los.

## 5. IZLAZNI NAPON KAO FUNKCIJA POTROSACA

U daljem delu ce biti prikazan izlazni napon u funkciji izlazne impedanse. Jasno je da postoji limit pri kom nece biti moguće imati i konstantan napon na izlazu i zeljenu struju. Ovo je prosto priroda Omovog zakona i u datasheet-u raznih linearnih regulatora specificira se opseg u kom je napon konstantan , odnosno definise se minimalna impedansa koju ovaj regulator moze da vidi na svom izlazu. Velike izlazne otpornosti nisu problem sto se tice napona , jer su modelovane kao otvorena veze , medjutim struja moze ici ispod minimalne zeljene. Dobra praksa je da se stavi izlazni kondenzator koji jos dodatno poboljsava izlaznu otpornost samog kola pre potrosaca  $R_{load}$  na odredjenim frekvencijama.



Slika 5. Izlazna struja i napon za vrednost potrosaca 300ohma i min vrednost potencijometra (100ohma)

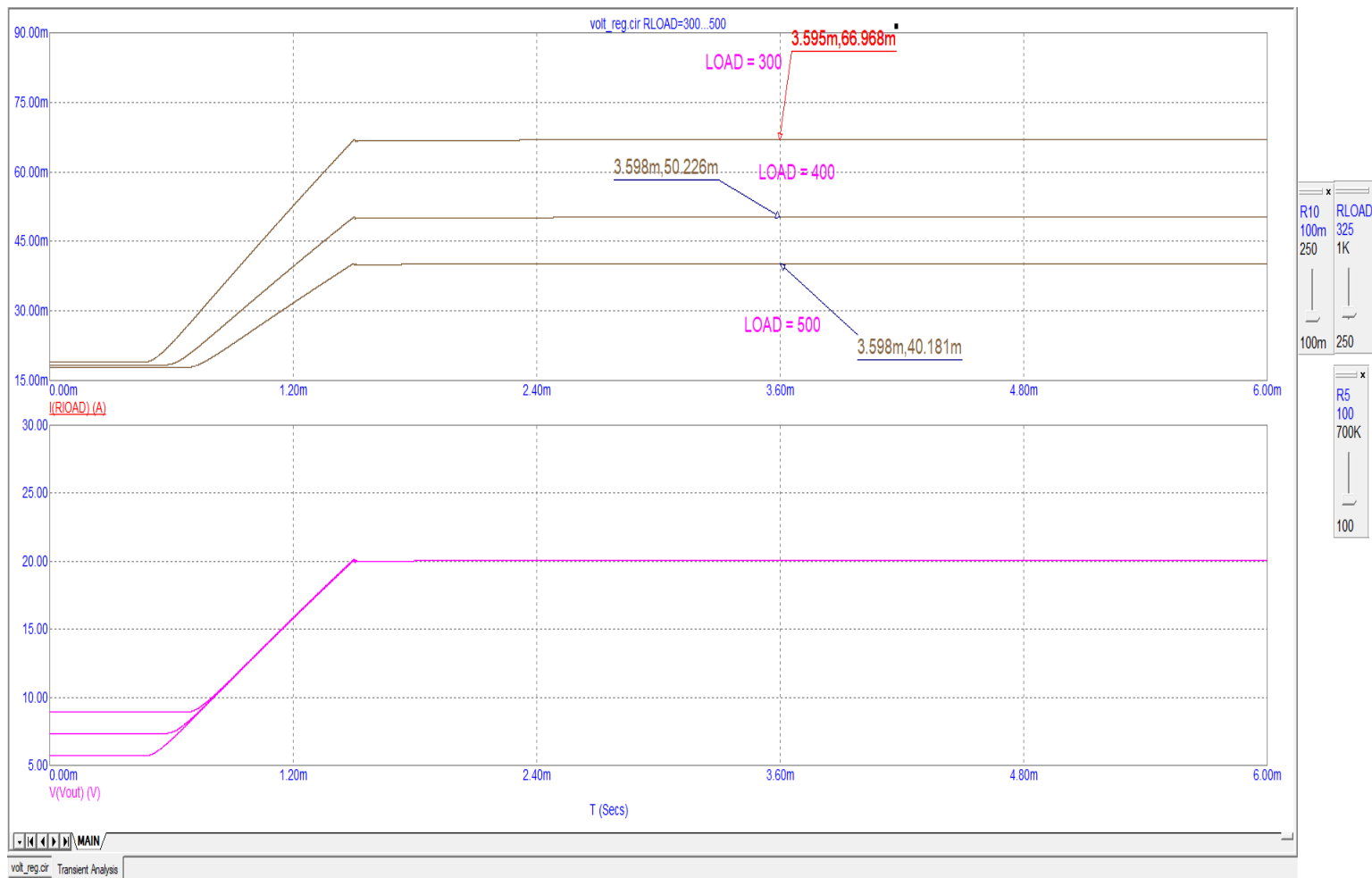
Da bi nasli max vrednost potrosaca za koji na izlazu stabilizatora Imamo struju u zeljenom opsegu mozemo pristupiti na 2 nacina , prvi nacin je da analitickim putem nadjemo kada ce potrosac dovesti do toga da izlazna struja bude manja od minimalne zeljene (u zadatku je to 50mA) ili prosto postavljanjem Potrosaca na neku visoku vrednost npr 1k I potom analizom izlaznih signala smanjivati ili povecavati Potrosac dok resenje ne konvergira (sustinski koristiti stepping da se “brute force” metodom dodje do Resenja ili barem opsega u kom je ovo tacno) .Koristeci prvi nacin iz Omovog zakona sledi:

$$R_{load} = \frac{V_{out}}{I_{out}} \quad (14)$$

Posto se I izlazni napon može menjati u opsegu od 2.5V do 20V , problem se svodi na traženje potrosaca , Tako da je struja minimalna dozvoljena pri max izlaznom naponu. Fiksiranjem izlaznog napona na 20V I Izlazne struje na 50mA , dobija se :

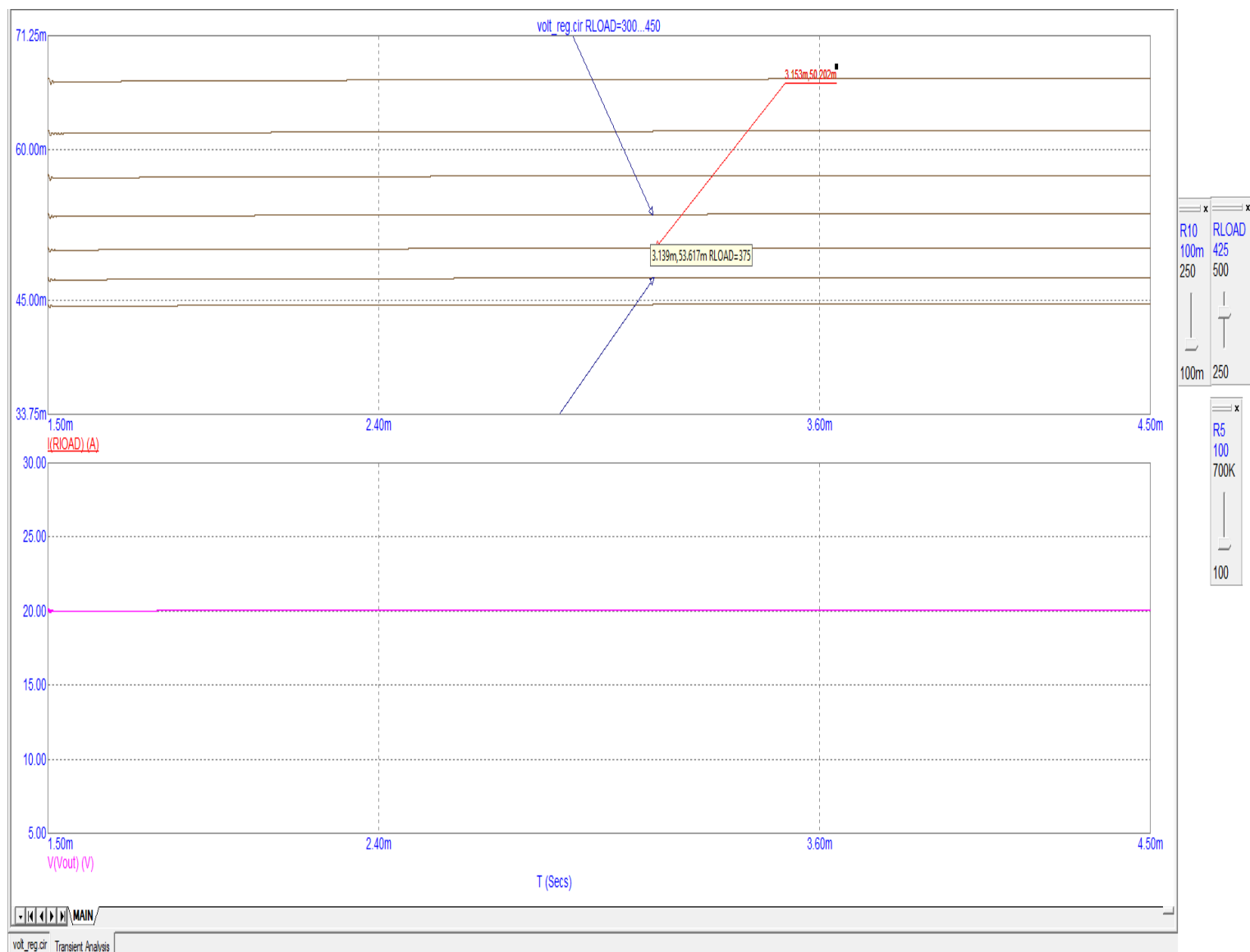
$$R_{max} = \frac{V_{max}}{I_{min}} = \frac{20V}{50mA} = 400\Omega \quad (15)$$

Ovo može da se potvrdi uz pomoć tranzijentne analize I stepping-a , na sledećim graficima se vide izlazna Struja (gornji grafik braon boje) I izlazni fiksirani napon od 20V (donji grafik roze boje).



Slika 6. Izlazni napon za vrednost potencijometra R5 100ohma I min vrednost potencijometra u grani sa strujnom zastitom 100mohma , braon grafik predstavlja izlaznu struju , dok je rozi izlazni napon , potrosac se menja u opsegu od 300-500ohma I vidi se da je 500ohma vec previse da bi izlazna struja bila korisna

Sa gornje slike se vidi da za fiksiran izlazni napon od 20V koji je stabilan , izraz (14) se svodi na funkciju jedne Promenljive , kao sto je predvidjeno .Vec za vrednosti potrosaca vece od 400ohma izlazna struja pada ispod vrednosti od 50mA .Sada bi trebalo smanjiti opseg na vrednosti izmedju 300ohma I 450 ohma I finijim koracima posmatrati izlazne signale. Potrosac može ici I do niziv vrednosti (nenegativnih) , medjutim upalice se strujna zastita , koja je ce izlaznu struju ograniciti na 500mA , sto znaci da je izlazni napon direktno proporcionalan sa potrosacem .Iz ovoga sledi da za jako male vrednosti izlazne impendanse izlazni napon neće btti opetreblijiv, tj. pasce ispod 2.5V , iz izraza (14) kada umesto  $V_{max}$  dodje  $V_{min}$  I  $I_{max}$  dobija se da je min vrednost izlazne Impendanse 5ohma .Simulator nam daje mogucnosti da testiramo I manje vrednosti pa cak I nulu I to ce biti uradjeno u delu koji se bavi strujnom zastitom.



Slika 7. Izlazni napon za vrednost potencijometra R5 100ohma i min vrednost potencijometra u grani sa strujnom zastitom 100mohma, braon grafik predstavlja izlaznu struju, dok je rozi izlazni napon, potrosac se menja u opsegu od 300-450ohma sa korakom od 25ohma, crveni tag je vrednost od 400ohma

Slika 7. blize ilustruje razmatranje u veci max potrosaca, I vidi se da su rezultati tranzijente analize u skladu sa teorijskim predvidjanjem, tj  $R_{load} = 400 \text{ ohma}$  je stvarno limit kada je struja min dozvoljena, sve ispod predstavlja vece vrednosti otpornika koje nisu dozvoljene. Izlazni napon je veoma stabilan u ustaljenom stanju, sto je i bio cilj projekta

## 6. OBABIR IZLAZNOG TRANZISTORA

Kontrolni element ili tranzistor  $Q_1$  daje pojačanje relativno male izlazne struje operacionog pojačavača. Iako maksimalna struja iznosi 0.5A nije loše uzeti malo “jaci tranzistor“, odnosno treba uzeti tranzistor koji može da trpi veću struju emitera kao i paziti na maksimalnu disipaciju na izlazu. Linearni regulatori imaju problem sa ovim i gubici i neefikasnost ovih kola je upravo disipacija na ovom tranzistoru koji prosto mora da postoji. Posto je ovo podesivo napajanje velika razlika između ulaznog napona od približno 27V i izlaznog napona koji može biti dosta mali, oko 2.5V znači da  $V_{ce}$  ima veliku vrednost. Množenjem ove vrednosti sa strujom koja ide kroz tranzistor dobija se max disipacija na ovoj komponenti.

$$P_{Q1} = V_{ce} \cdot I_c \quad (16)$$

Maksimalna izlazna struja je 0.5A, dok je minimalni izlazni napon 2.5V. Dakle  $V_{ce}$  je u najgorem slučaju oko 24V. Ubacivanjem u formulu (x) dobija se

$$P_{Q1} = 24 \text{ V} \cdot 0.5 \text{ A} = 12 \text{ W} \quad (17)$$

TIP33 ima maksimalnu disipaciju od 80W pa će sigurno izdržati i 12W, tako da je ovaj tranzistor sasvim solidan za ovo kolo, čak stavise suviše je dobar i zapravo bi trebalo naci losiji, ako je cena problem.

## 7. STRUJNA ZASTITA

Zadatak projekta je da maksimalna izlazna struja bude u opsegu 0.05 do 0.5A.

To se lako moze realizovati pomocu tranzistora  $Q_2$  i par otpornika  $R_8$ ,  $R_9$  i  $R_{10}$ , s tim sto je  $R_{10}$  zapravo potenciometar i tako je tretiran u analizama.

Strujna zastita proradi kada napon baze-emitera tranzistora  $Q_2$  dostigne vrednost od skoro 0.7V,  $Q_2$  provede u aktivnom rezimu i krene da uzima struju baze tranzistoru  $Q_1$  cime se ogranicava maksimalna izlazna struja.

Vrednost otpornika racuna se na sledeci nacin :

$I_{\max} = 0.5A$  i  $V_{be} = 0.7V$ , iz Omovog zakona da je

$$R_{ekv} = 1.4 \Omega \quad (18)$$

$R_{ekv} = R_8 \parallel R_{10} + R_9$ , dakle max struja ce se pojaviti kada potenciometar ne postoji, nije bitna Vrednost  $R_8$  pa je  $R_9 = 1.4$

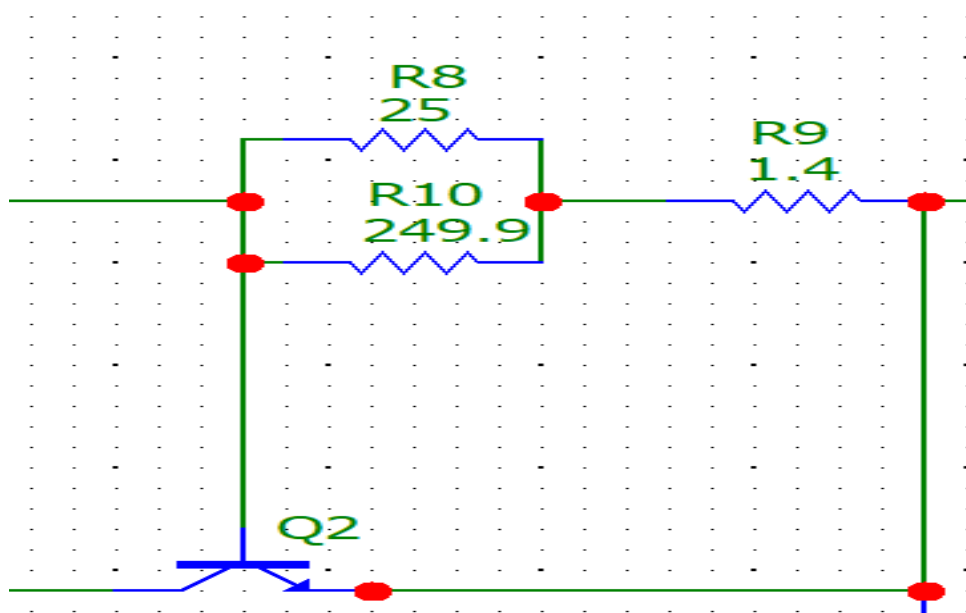
Drugi slucaj  $I_{\max} = 0.05A$  i potenciometar i max poloazaju

$I_{\max} = 0.05A$  i  $V_{be} = 0.7V$ , iz Omovog zakona da je

$$R_{ekv} = 14 \Omega \quad (19)$$

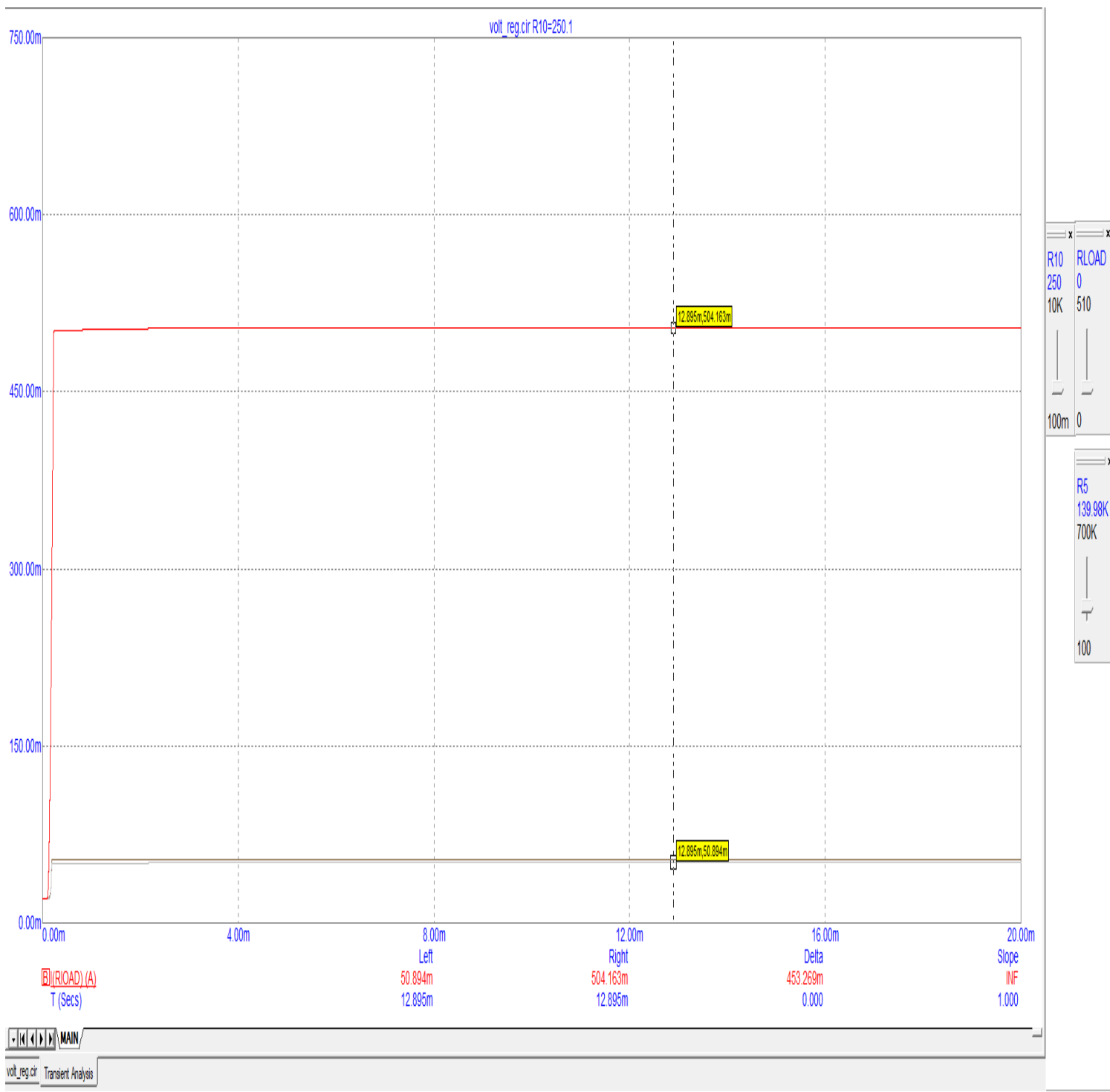
Potenciometar se moze odabrati proizvoljno i uzeta je vrednost  $250\Omega$ , dakle  $R_8$  ima vrednost  $25\Omega$ . Ovo je vise od teorijskog predvidjanja, ali teorija je zanemarila neke struje koje dodju do Izrazaja. Uzete vrednosti se lepo slazu sa zadatim vrednostima.

Simulacija nam omogucava da stavi vrednost potrosaca na 0 i tako dobijemo kratak spoj. Ako strujna zastita izdrzi za ovaj slucaj izdrzace i za sve druge jer je struja kratkog spoja najveca.



Slika 8. Kolo strujne zastite,  $Q_2$  je "current thief",  $R_{10}$  je potenciometar,  $R_8$  i  $R_9$  su obicni otpornici





Slika 9. Tranzijenta analiza pokazuje min I max struju na potrosacu za razlicite vrednosti izlazne impendanse

Sa gornje slike vise se da je zeljena izlazna struja u opsegu 50mA I 500mA , za razlicite vrednosti izlazne impendanse.Kao sto je vec napomenuto , ako je preopetrecenje preveliko izlazni napon moze Biti u zeljenom opsegu , posto velike impendanse nisu problem za napon , medjutim struja ce sigurno opasti ispod zeljene.Zato su ovde uzimane male vrednosti otpornika , pogotovo sto max struja je reda stotina miliampera , simulirana vrednost pri kojoj kolo daje zeljenu struju od 50mA je za max izlaznu Impendansu od 400Ω



## 8. EFIKASNOST NAPAJANJA

Za kraj treba izracunati maksimalni stepen iskoriscenja samog kola. Koeficijent eta ( $\eta$ ) je \_  
definisao kao :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_i} [\%] \quad (20)$$

Treba uzeti u obzir da je ulazna struja skoro ista kao i izlazna struja , posto je struja kroz zener diodu konstanta i priblizno 5mA.

Dakle izraz se svodi na

$$\eta = \frac{V_{out}}{V_i} \quad (21)$$

$V_i$  je ulazni napon od 27V dok ce maksimalna efikasnost biti postignuta kad je  $V_{out}$  maksimalan tj. 20V.

$$\eta = \frac{V_{out}}{V_i} = \frac{20V}{27V} = 74\% \quad (22)$$

Ovo je naravno maksimalna efikasnost koja se moze postici , i u realnosti nece biti ovolika jer nije uzeta u obzir disipacija na elementima. Ako je maksimalni izlazni napon manji , recimo oko 2.5V dobice se da je efikasnost veoma mala (manja od 10%) sto je i odlika ovih regulatora , tj. veoma je energetski neefikasno smanjivati ulazni napon na tako niske vrednosti kada je ulazni napon skoro 10 puta veci. To ujedno znaci da je napon  $V_{ce}$  dosta velik i odatle zapravo i dolazi neefikasnost jer se tranzistor zagreva ne radeci nista. Ovo se moze resiti upotrebom hladnjaka , medjutim treba proracunati i termicke otpornosti kucista i elemenata. Ovo obicno doalzi u datasheet-u mada se ne moze simulirati u microcap-u.

## 9. ZAKLJUČAK

Na kraju se može zaključiti da naponski stabilizator uspešno obavlja posao za koji je napravljen. Urađene su sve analize od interesa i komponente su proracunate tako da imaju neke tolerancije usled neidealnosti svih signala. U dodatku su razmatrane prvobitne ideje i zasto nisu koriscene kao i dalje mogućnosti unapredjenja kola.

## 10. DODATAK

U ovom poglavlju će biti ukratko opisan izbor komponenti i razlog za njihovo korišćenje kao i alternative koji bi mogle da se uzmu u obzir, ako nije moguće nabaviti originalne delove.

Kao što je rečeno Grečov spoj je morao biti napravljen manuelno, tu su korišćene četiri 1N5408. Realno bilo koja dioda iz ove familije 1N540x bi radila posao jer sve imaju istu spike struju od 200A i kontinualnu struju od 3A, što je naravno i više nego dosta za ovu aplikaciju. Jedina razlika su probojni naponi na ovim diodama. Iz ovog razloga je uzeta 1N5408 jer ima probojni napon od 1kV.

Što se tiče samih kondenzatora u simulatoru je moguće staviti bilo koji vrednost, međutim u realnosti je teško naći kondenzator od 5mF, dakle potrebno je improvizovati. Da bi se dobila veća kapacitivnost, potrebno je vezati više kondenzatora paralelno. Ovde treba biti pažljiv i pogledati maksimalne tolerancije koje ovaj kondenzator može da ima, temperaturne karakteristike i naravno probojni napon. Bitno je znati da ovakvi kondenzatori imaju izražene rezistivne parazite usled konstrukcije kucista i dosta su frekvencijsko zavisni (kao i svi kondenzatori). Za izlazni kondenzator od 100nF može se koristiti keramički kondenzator. Oni su veoma jeftini, imaju dug radni vek i dolazi sa probojnim naponom preko 25V.

Što se tiče otpornika svi otpornici su gledani da budu oko standardnih vrednosti i male promene ne bi trebalo da previše menjaju kolo, jer je i sam račun bio aproksimacija.

Za buffer op amp uzet je LF355, ali mogao se koristiti bilo koji iz ove familije LF353x, on ima veoma mali offset napon i veoma malu ulaznu struju, veoma visoku ulaznu otpornost i veoma malu izlaznu otpornost, što se i očekuje od buffera. Što se tiče samo pojačavača greške koristi se dobro poznati LM358. Karakteristike ovog pojačavača su dosta velik opseg napona napajanja, relativno visok GBW, mali offseti struje i napona kao i dobra fazna margina, što je ovde bitno. Pošto je on koriscen kao driver za tranzistor, nije loše znati i njegove strujne mogućnosti kao i slew rate. Maksimalna izlazna struja je reda 30mA, dok je slew rate tipican i iznosi oko 0.5 V/μV.

Kao što je rečeno za tranzistor je pogodno uzeti power tranzistor. Iako u ovoj kategoriji ima dosta izbora koriscen je TIP33, zbog ogromne maksimalne moguće disipacije i velike struje kolektora u ustaljenom stanju i naravno dosta velikog probojnog napona. Ovde je mogao da se koristi bilo koji tranzistor iz familije TIP1xx, ili BD746x ili manje jak tranzistor P2N2222A.