



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: ftndeans@uns.ns.ac.yu



Сертифициван
систем
квалитета



PROJEKTOVANJE ELEKTRONSKIH KOLA POMOĆU RAČUNARA

NAZIV PROJEKTA:

Laboratorijski izvor napajanja

TEKST ZADATKA:

Projektovati laboratorijski izvor napajanja sa podešljivim izlaznim naponom i podešljivom izlaznom strujom. Izlazni napon treba da bude podešljiv u opsegu od 5 V do 35 V a izlazna struja treba da bude podešljiva u opsegu od 0.3 A do 1.5 A.

Potrebno je objasniti princip rada kola, objasniti izbor i funkcionisanje određenih komponenti.

Takođe, potrebno je i izvršiti simulaciju rada kola u *Microcap*-u, proveriti funkcionisanje kola preko tranzijentne analize. Preko tranzijentne analize analizirati struje i napone na grecu i kondenzatoru na izlazu greca.

Na kraju je potrebno proračunati efikasnost napajanja.

Mentor

Dr Miodrag Brkić

Studenti

Petar Stamenković EE18/2019

Momir Carević EE3/2019

U Novom Sadu, 06.07.2023.

Sadržaj

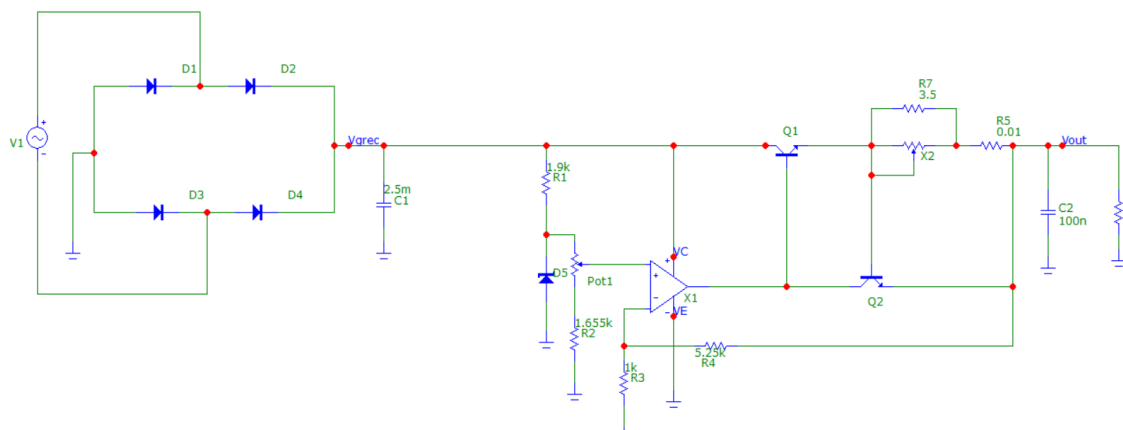
1. Uvod.....	2
2. Šematski prikaz laboratorijskog napajanja.....	3
3. Proračun i odabir komponenti	4
4. Kolo za stabilizaciju.....	7
5. Nezavisnost izlaznog napona od potrošača	10
6. Proračun maksimalne struje na izlazu.....	11
7. Efikasnost napajanja	14
8. Zaključak	15

1. Uvod

Potrebno je projektovati laboratorijski izvor napajanja sa izlaznim naponom koji može da se menja u opsegu 5 – 35 V i maksimalnom izlaznom strujom od 0.3 A do 1.5 A. Električno kolo sa zadatom funkcionalnošću projektovano je u programskom alatu *Micro-Cap*. Takođe, pomoću ovog programa će biti potvrđeni zadati parametri preko traženih simulacija.

2. Šematski prikaz laboratorijskog napajanja

Na slici 1 data je električna šema laboratorijskog napajanja realizovana u programskom alatu *Micro-Cap*.



Slika 1. Šematski prikaz kola

Napon koji bi dobili sa sekundara transformatora smo prikazali preko sinusnog generatora amplitude 50V i frekvencije 50Hz, sto ćemo kasnije uzeti u obzir pri računanju određenog napona brujanja.

Pomenuti napon se vodi na Grečov ispravljač koji pretvara naizmenični napon u jednosmerni, i on je realizovan pomoću 4 diode (D1.D2,D3.D4).

Napon na izlazu Grečovog spoja nije stabilisan pa se dodaje kapacitivni filter(C1), čiju ćemo vrednost kasnije obrazložiti.

Zener dioda, D1, služi kao izvor referentnog napona od 5.6 V. Potrebna je i konstantna struja polarizacije, ostvarena pomoću otpornika R1, da b se ostvario stabilan referentni napon.

Traženi opseg promene izlaznog napona dobijamo preko pojačavača greške(operationog pojačavača X1), potencimetra Pot1, otpornika R2,R3,R4 i tranzistora Q1.

Tranzistor Q2 zajedno sa otpornicima R7 i R5 i potencimetrom X2 predstavlja strujnu zaštitu, čime se ostvaruje željena vrednost strujnog opsega na izlazu kola.

Kondenzator C1 ima ulogu u smanjivanju izlazne impedanse na visokim učestanostima.

3. Proračun i odabir komponenti

Za realizaciju Grecovog spoja, korišćene su diode *1N3491*. Iz *datasheet*-a može se videti da je maksimalni strujni pik koji ovaj tip diode može izdržati 400 A, dok napon proboja iznosi 50 V. Sledeća formula nam daje vezu između struje kroz potrošač i stujnog pika diode:

$$I_m \cdot \frac{T}{2} = I_{dm} \cdot \frac{T_{pd}}{2}$$

I_m – struja kroz potrošač (3A)

T – period (1/50Hz)

I_{dm} – amplituda impulsa kroz diode

T_{pd} – vreme provođenja diode, 10-20% vremena $T/2$

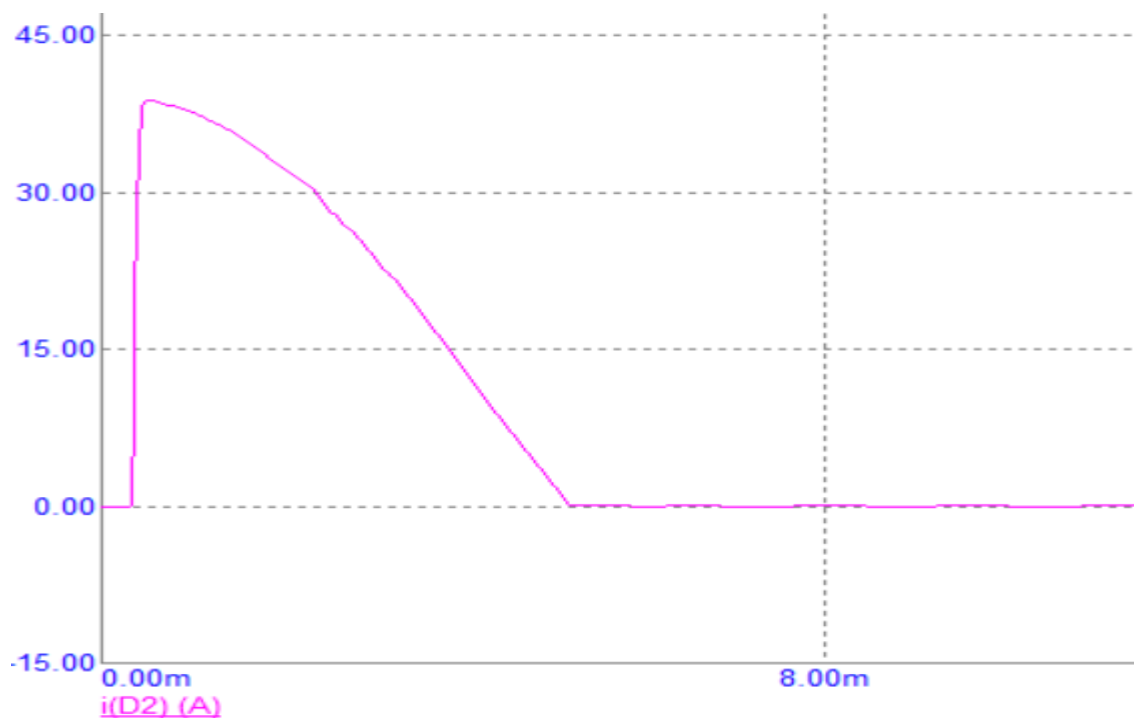
$$I_{dm} = I_m \cdot \frac{T}{T_{pd}}$$

Ako je T_{pd} oko 10% $T/2$, dobijamo da je:

$$I_{dm} = 20 \cdot I_m$$

S obzirom na to da je zadata maksimalna vrednost struje kroz potrošač 3 A, dobijamo da strujni pik diode može biti do 60 A. Dioda korišćene za realizaciju Grecovog spoja mogu to da izdrže jer je njihov strujni pik 400 A, što se može videti iz *datasheet*-a diode *1N3491*.

Ukoliko na izlazu imamo potrošač od 50 Ω , strujni pik diode može biti i do oko 36 A, što se može videti na slici 2.



Slika 2. Strujni pik diode pri $R_6 = 50 \Omega$

Kapacitivni filter C1 ima ulogu da ukloni napon brujanja na izlazu Grecovog ispravljača i da ga učini stabilnijim. Ovde je to realizovano preko jednog kondenzatora vrednosti 2.5mF.

Tu vrednost možemo dobiti preko sledeće formule :

$$0.9 \cdot V_{1amp} - 2V_d - U_{brmax} \geq V_{pmax} + V_{iomin} = V_{pmax} + V_{cemin} + V_{be}$$

$V_{1amp} = 50 \text{ V}$ (amplituda ulaznog sinusnog izvora)

$V_d \approx 1 \text{ V}$ (pad napona na diodi 1N3491)

$V_{pmax} = 35 \text{ V}$ (maksimalni izlazni napon)

V_{iomin} – minimalna razlika napona na ulazu i izlazu stabilizatora za koju je još uvek u linearnom režimu rada

$$0.9 \cdot 50 \text{ V} - 2 \text{ V} - U_{brmax} \geq 35 \text{ V} + 1 \text{ V} + 0.7 \text{ V} \quad (1)$$

$$U_{brmax} \leq 6.3 \text{ V}$$

Na osnovu dobijenog napona brujanja, minimalna vrednost kapacitivnosti na izlazu Grecovog spoja iznosi:

$$U_{brmax} = \frac{I_m \cdot \frac{T}{2}}{C}$$

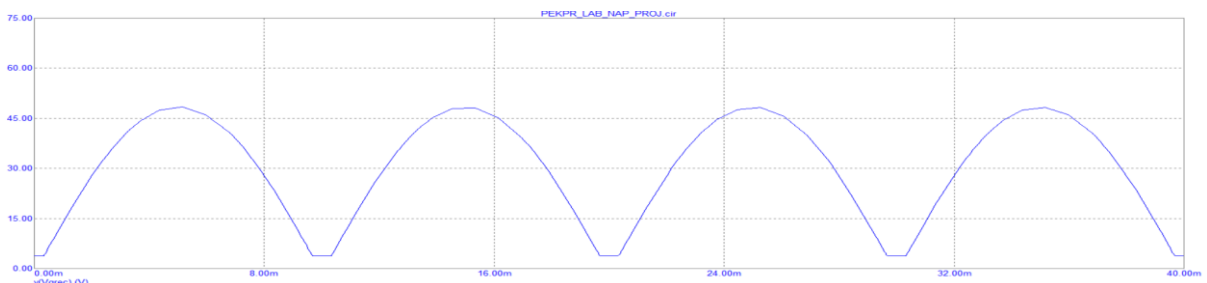
I_m – maksimalna struja kroz potrošač (3 A)

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{ Hz}}$$

Minimalna kapacitivnost se dobija kao:¹

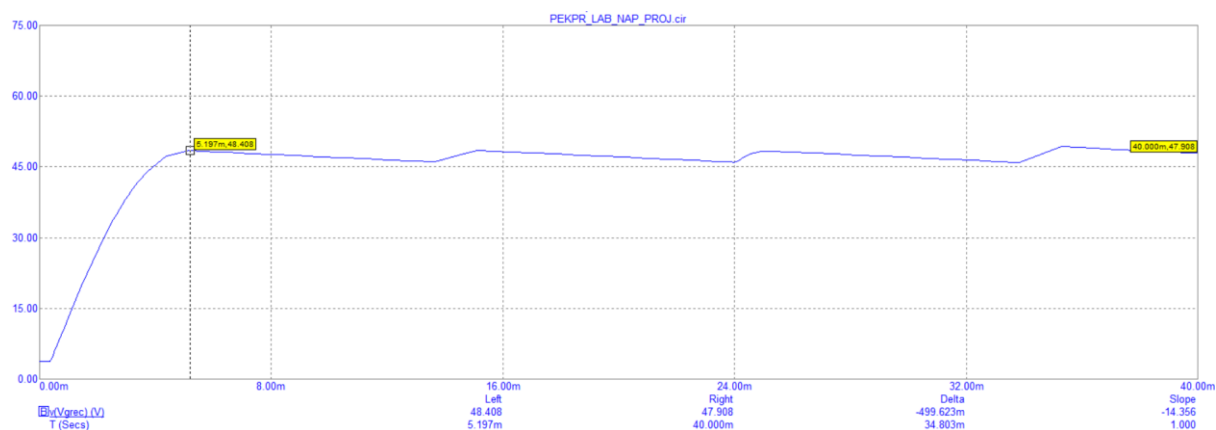
$$C = \frac{I_m \cdot T}{2 \cdot U_{brmax}} = 2.3 \text{ mF}$$

Prikažimo na sledećoj slici (slika3.) napon na izlazu Grecovog ispravljača bez kapacitivnog filtra.



Slika 3. Napon na izlazu Grecovog spoja bez kapacitivnog filtra

¹ (1) Referenca na jednačinu iz naše skripte na strani 14

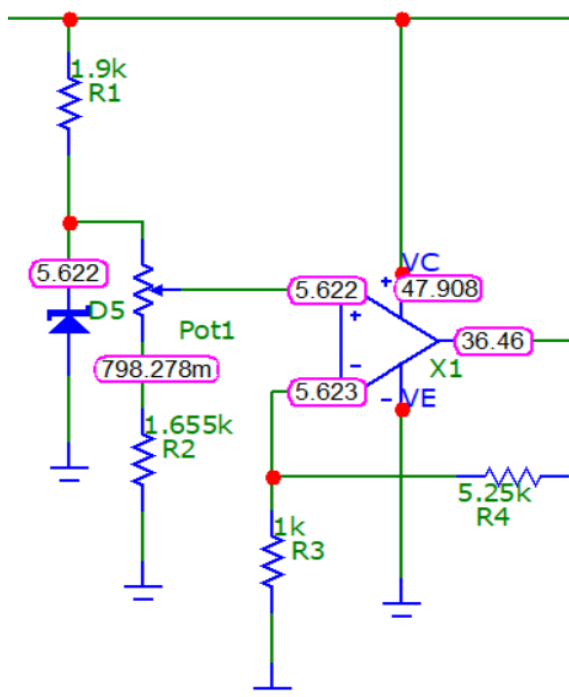


Slika 4. Napon na izlazu Grecovog spoja sa kapacitivnim filtrom

Primetimo da smo na našoj šemi stavili 2.5mF jer je to veće od izračunatih 2.3mF pa adekvatno stabilizuje napon kao što se da videti na slici 4.

4. Kolo za stabilizaciju

Kolo za stabilizaciju se sastoji od operacionog pojačavača *LM344* sa dva ulaza, gde je na *plus* ulaz doveden refernti napon preko Zener diode. Realizovana je negativna povratna sprega. Uz X1 kolo čine jos i otpornici R1, Pot1, R2, R3, i R4.



Slika 5. Kolo za stabilizaciju

Model Zener diode je *1N752*. Pri pobudnoj struji od 23 mA pomenuta dioda na svojim krajevima daje temperaturno stabilan napon od 5.6 V. Ovu vrednost struje uspostavljamo pomoću pomenutog otpornika R1:

$$R1 = \frac{V_{grec} - V_z}{23 \text{ mA}} = \frac{47.9 \text{ V} - 5.6 \text{ V}}{23 \text{ mA}} = 1.839 \text{ k}\Omega \approx 1.9 \text{ k}\Omega$$

V_{grec} – napon na izlazu Grecovog spoja

Napon na '+' ulazu OP-a se određuje preko naponskog razdelnika:

$$V^+ = \frac{R2 + x \cdot Pot1}{R2 + Pot1} \cdot V_z$$

Napon na '-' ulazu OP-a se takođe određuje preko naponskog razdelnika:

$$V^- = \frac{R3}{R4 + R3} \cdot V_{out}$$

Kada se izjednače naponi na ulazu OP-a, dobija se veza između napona na Zener diodi i napona na izlazu:

$$V_{out} = \frac{R3 + R4}{R3} \cdot \frac{R2 + x \cdot Pot1}{R2 + Pot1} V_Z$$

Potenciometar ima dva krajnja slučaja, kada je klizač na $x = 0$ i $x = 1$, pa V_{out} po uslovu projekta može biti minimalno 5V odnosno maksimalno 35V.

$$x = 0 \quad V_{out} = 5 \text{ V} = \frac{R3 + R4}{R3} \cdot \frac{R2}{R2 + Pot1} V_Z$$

$$x = 1 \quad V_{out} = 35 \text{ V} = \frac{R3 + R4}{R3} \cdot \frac{R2 + Pot1}{R2 + Pot1} V_Z$$

Sređivanjem i potiranjem nekih vrednosti u datim jednačinama dobijamo vrednosti otpornosti:

$$\frac{R3 + R4}{R3} \cdot 5.6 \text{ V} = 35 \text{ V} \quad \frac{R3 + R4}{R3} = 6.25$$

$$\frac{R4}{R3} = 5.25$$

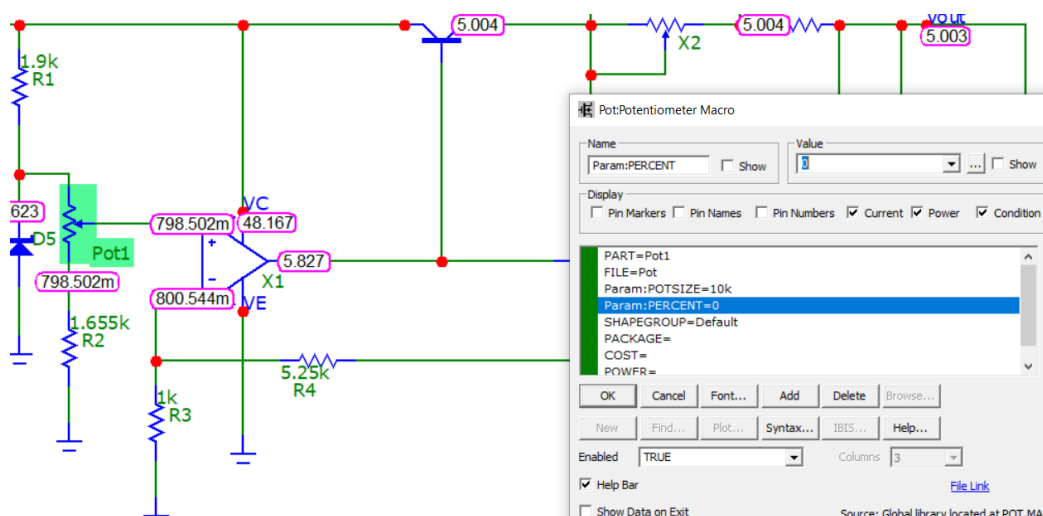
$$R3 = 1000 \Omega$$

$$R4 = 5250 \Omega$$

Sada ubacivanjem ovih vrednosti u prvi slučaj dobijamo sledeće..

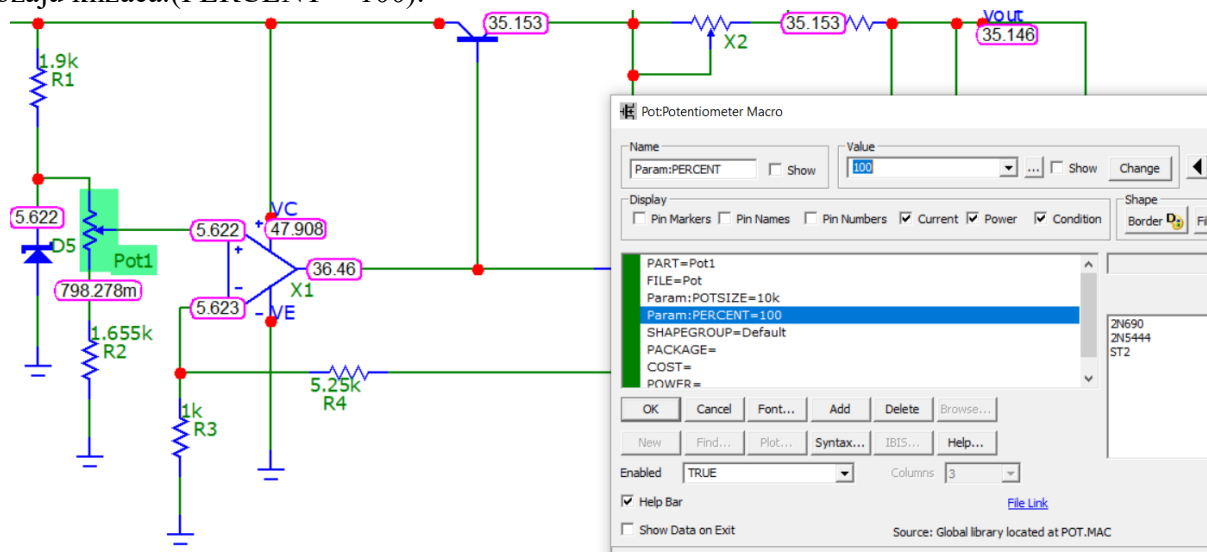
$$\frac{R2}{R2 + 10k} \cdot 6.25 \cdot 5.6 = 5 \quad R2 = 1655 \Omega$$

Na slici 6 vidimo da je $V_{out} = 5.003\text{V}$ sto je približno 5V, pri krajnjem levom položaju klizača.(PERCENT = 0).



Slika 6. Podešavanje izlaznog napona 5 V

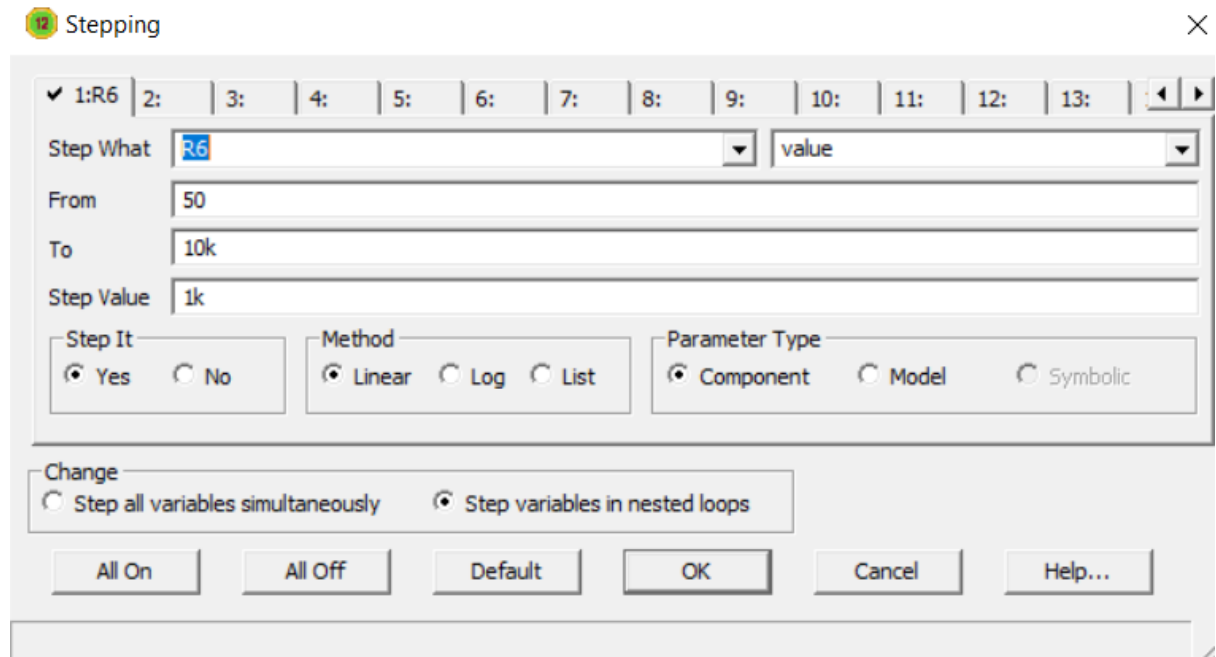
Na slici 7 vidimo da je $V_{out} = 35.146V$ što je približno $35V$, pri krajnjem desnom položaju klizača. (PERCENT = 100).



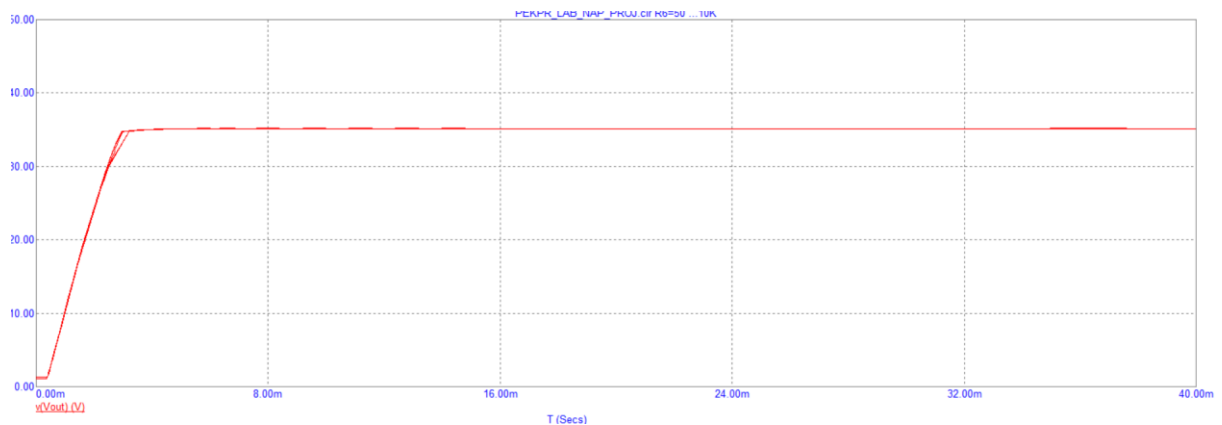
Slika 7. Podešavanje izlaznog napona 35 V

5. Nezavisnost izlaznog napona od potrošača

Dosadašnja podešavanja su dobijena sa potrošačem od $50\ \Omega$, međutim moramo obezbediti da je izlazni napon nezavistan od promene tog istog potrošača. To ćemo uraditi pomoću opcije *Stepping* unutar tranzijentne analize, gde ćemo menjati vrednost R_6 u opsegu od 50 do 10k, sa korakom od 1k.



Slika 8. Stepping po R_6



Slika 9. Zavisnost napona na izlazu od R_6

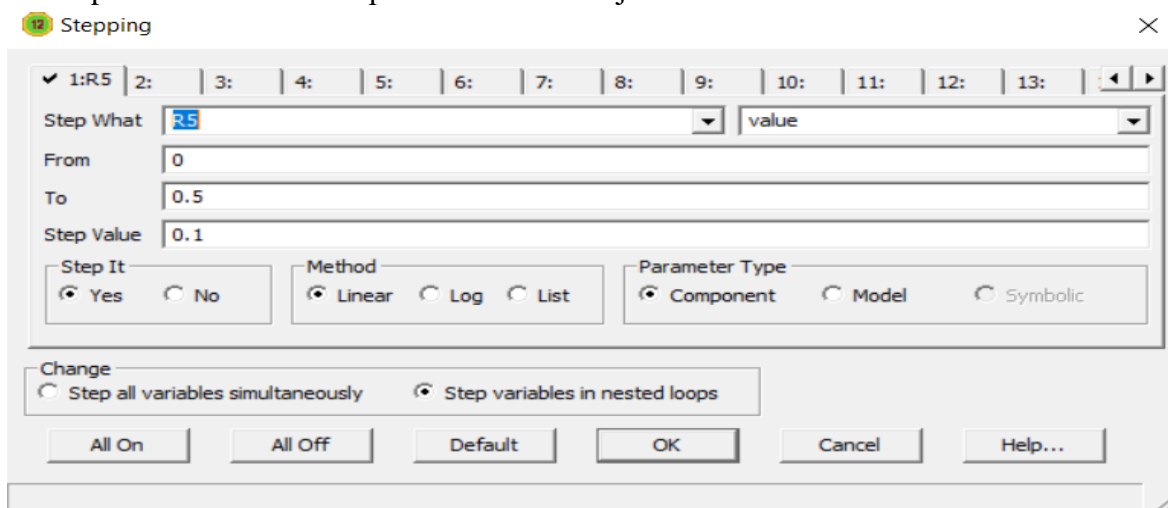
Slika 8 prikazuje podešavanja stepping analize.

Slika 9 potvrđuje prethodnu izjavu jer vidimo da je napon približno konstantan i da ne zavisi od promene potrošačkog otpornika kao i što smo očekivali.

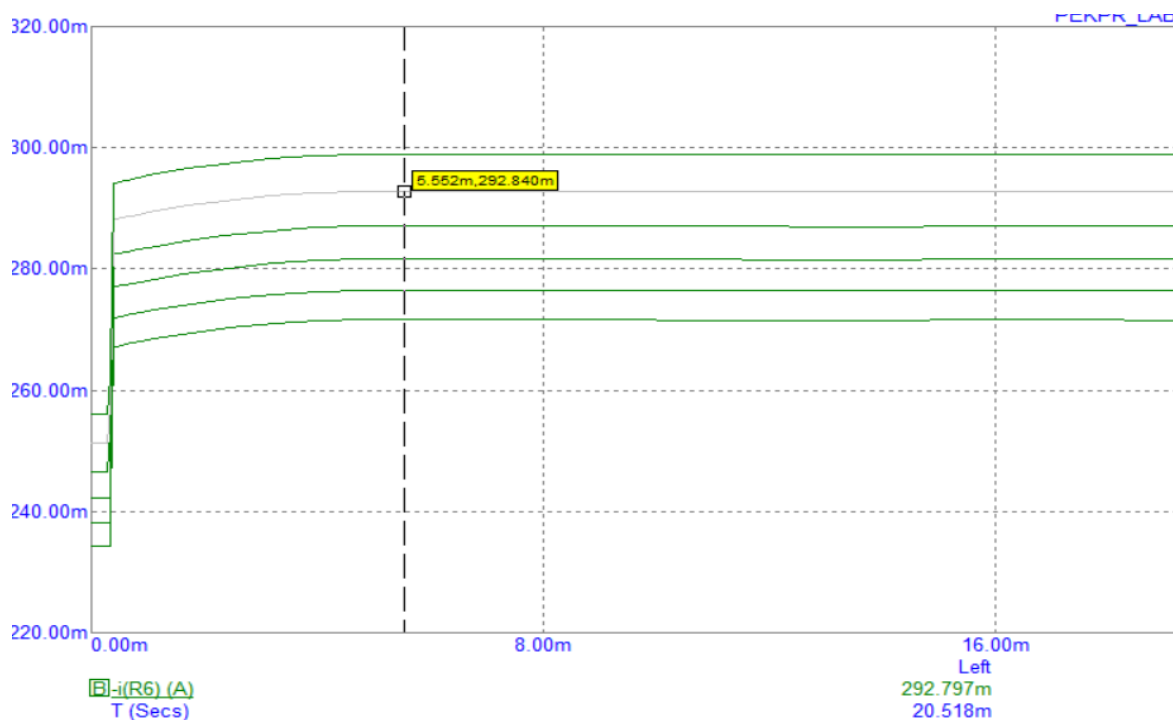
6. Proračun maksimalne struje na izlazu

Drugi zadatak projekta jeste da maksimalna struja na izlazu bude u opsegu od 0.3A do 1.5A, što se postiže tranzistorom Q2, potencijometrom X2 i otpornicima R5 i R7.

Za vrednost potencijometra X2 uzeto je 100 Ω , a R5 i R7 su dobijeni takođe pomoću stepping analize. Pri krajnjem desnom položaju potencijometra, stavili smo proizvoljnu vrednost otpornika R7 na 20 Ω i promenom R5 dobijamo sledeće :

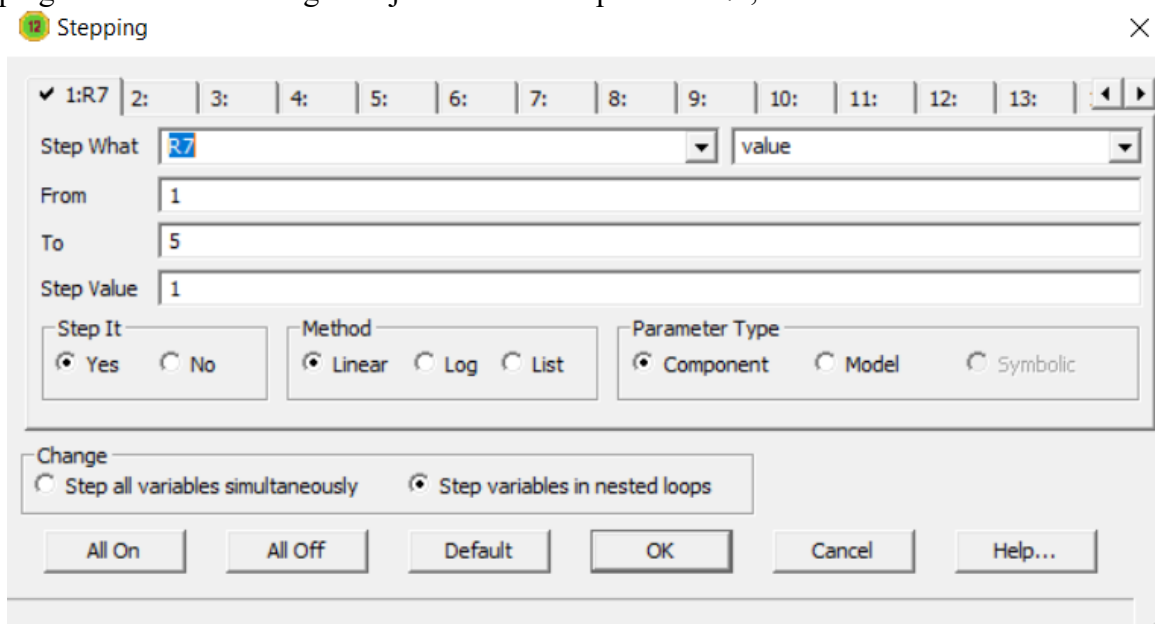


Slika 10. Stepping analiza za dobijanje R5

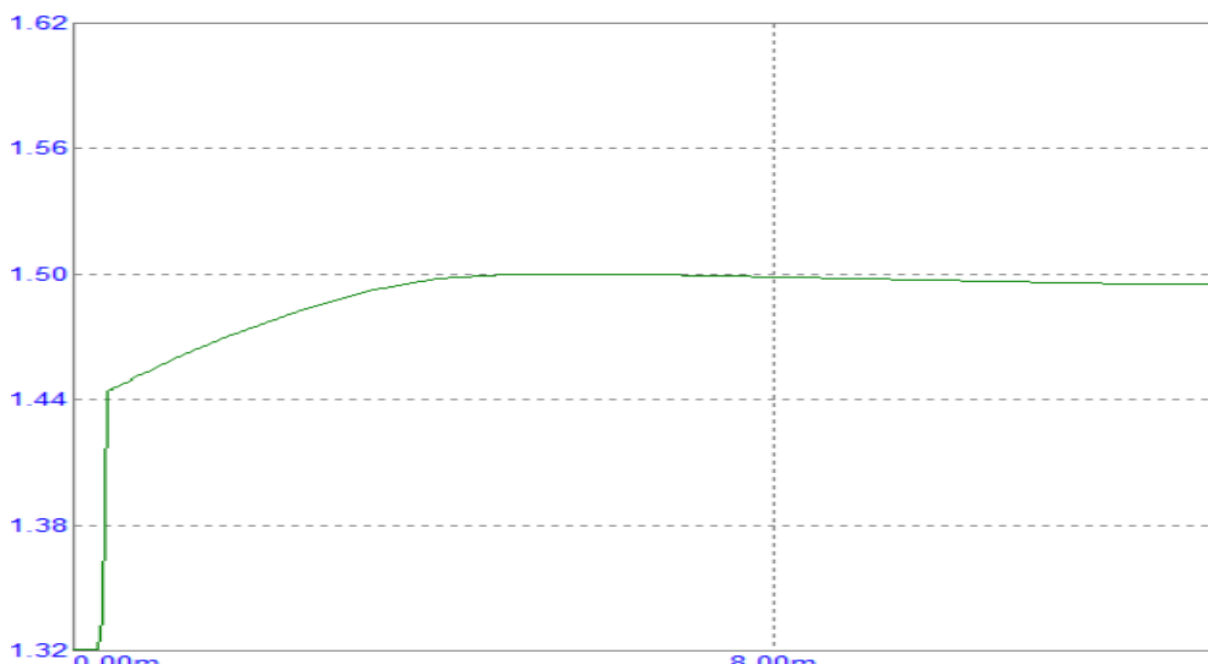


Slika 11. Rezultati stepping analize za promenu R5

Dakle za R5 ćemo uzeti vrednost od $0.01\ \Omega$. Sada ćemo pomerti klizač skroz levo i stepping analizom dobiti odgovarajuću vrednost otpornika R7.,

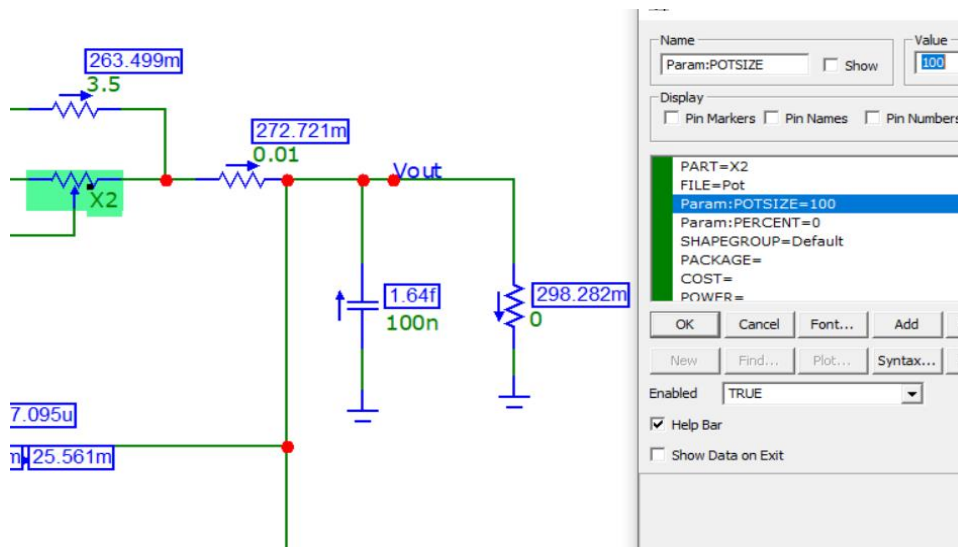


Slika 12. Podešavanja stepping analize za R7

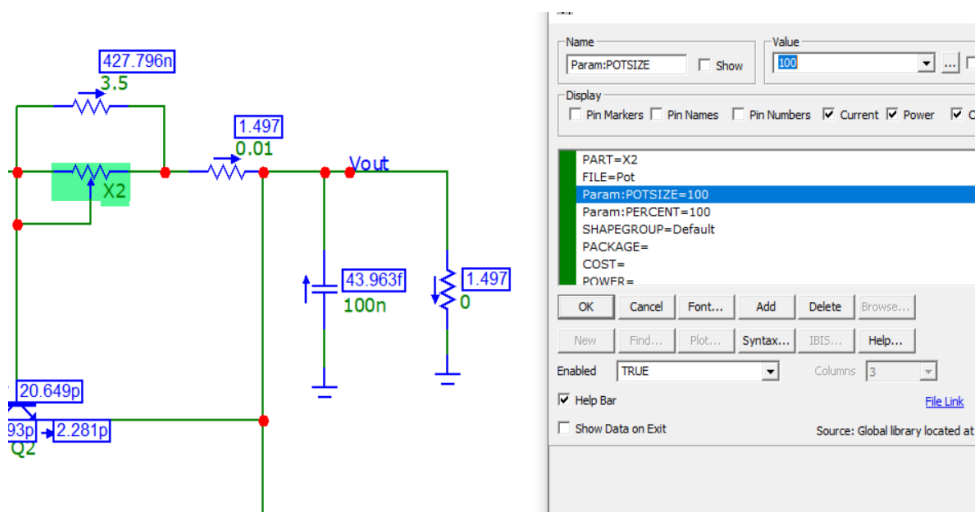


Slika 13. Stepping analiza za otpornik R7

Za otpornik R7 ćemo uzeti vrednost od $3.5\ \Omega$. Izlazne struje ćemo prikazati na šematičku sad za potrošač od $0\ \Omega$.



Slika 14. Izlazna struja za levi krajnji položaj klizača X2



Slika 15. Izlazna struja za drugi krajnji položaj klizača X3

7. Efikasnost napajanja

Efikasnost napajanja predstavlja količnik izlazne i ulazne snage:

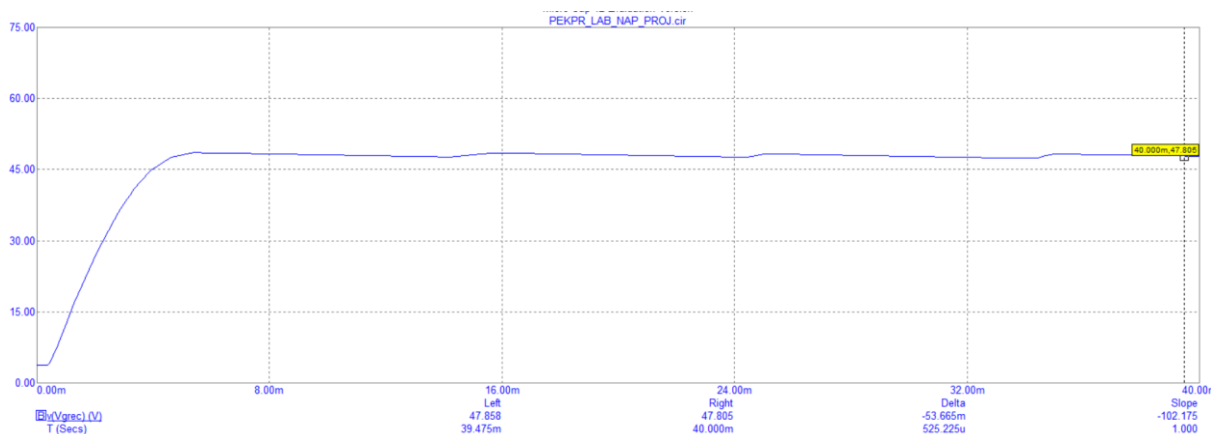
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

Snaga na izlazu se računa kao proizvod napona na izlazu i struje. Proračun je izvršen za $R_p = 50 \, \Omega$ i $V_{out} = 35 \, V$ (maksimalni izlazni napon koji treba da se ostvari).

Obzirom da se ulazna i izlazna struja stabilizatora smatraju identičnim formula za efikasnost se svodi na :

$$\eta = \frac{V_{out}}{V_{grec}}$$

Napon na izlazu Grecovog spoja prikazan je na slici 16.



Slika 16. Napon na izlazu Grecovog spoja

$$\eta = \frac{V_{out}}{V_{grec}} = \frac{35 \, V}{47.805 \, V} = 0.73 = 73\%$$

8. Zaključak

Pomoću znanja iz dosadašnjih predmeta poput “Impulsna elektronika” i “Analogna elektronika” kao i naravno “Projektovanje elektronskih kola pomoću računara” realizovan je laboratorijski izvor napajanja sa traženim parametrima. Prikazan je izbor komponenti, njihov proračun a zbog njihove neidealnosti rezultati nisu 100% precizni. Izvršene simulacije i prateće slike dokazuju ispravan rad i ponašanje kola.