

Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za elektrotehniko*



Jure Jazbec

AKTIVNO UMETNO BREME

Projektna naloga pri predmetu Elektronska vezja 2

Ljubljana, november 2014

UVOD

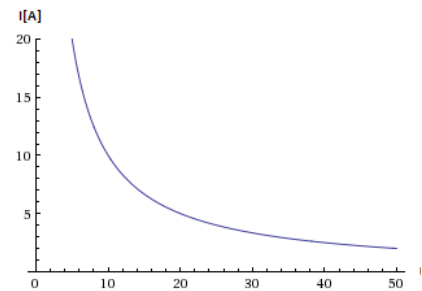
Za svojo projektno nalogo sem se odločil, da naredim aktivno umetno breme.

Izdelek bom lahko uporabljal za testiranje baterij, spremljanje odziva različnih napajalnih vezij, za karakterizacijo vezji v celoti, ipd.

Idejo sem dobil ob spremljanju spletne strani EVVblog [1]. Izdelek je izredno uporaben in zanimiv, hkrati pa tudi izjemno nezahteven za izdelat. Njegovo delovanje je hitro razumljivo vsakemu, ki se ukvarja z elektroniko.

Vezje v grobem rečeno deluje kot limitator toka – skozi sebe spušča konstanten tok, ne glede na spremembe napetosti samega napajalnega elementa.

Izdelek sem načrtoval za delovanje med 0-20 V in 0-5 A. Napetost in tok sta lahko višja od teh, le moč mora ostati znotraj meje 100 W. Kar lahko prikažemo z grafom $100/x$. Naše (teoretično) delovno območje prikazuje površina levo od krivulje.



Mejo sem postavil glede na:

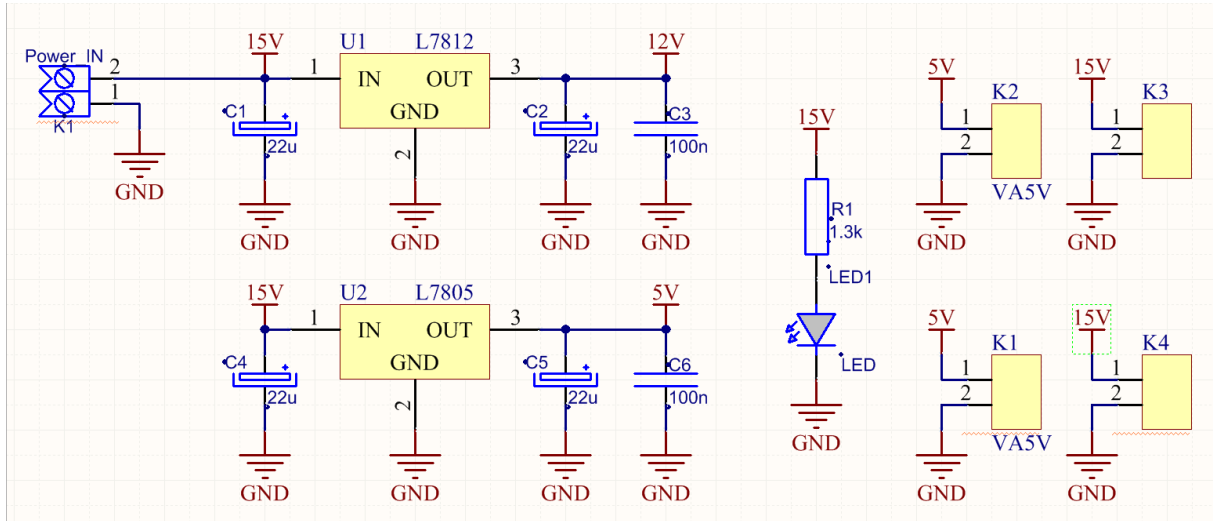
- karakteristike posameznih elementov v vezju
- hladilne zmoglosti, ki jih vezju lahko zagotovim
- svoje potrebe

Vezje je sposobno trošiti več kot 100 W, vendar sem želel ostati znotraj nekega »varnega območja«.

DELOVANJE VEZJA

Veze bom v grobem razdelim na dva dela.

Prvi del je napajalni del.

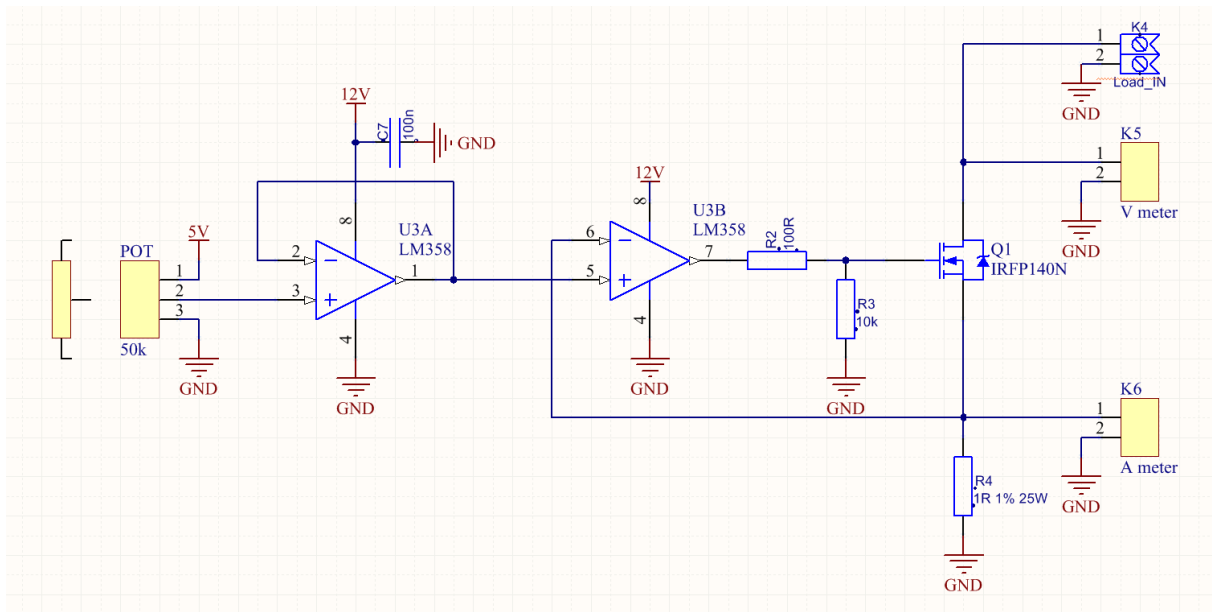


Za napajanje celotnega vezja uporabljam dva napetostna regulatorja: L7812CV [2] za 12 V ter L7805CV [3] za 5 V. Oba regulatorja sta v ohišju TO-220. S primernim hlajenjem lahko preneseta 1.5 A izhodnega toka.

Obema sem dodal blokirne in gladilne kondenzatorje. Prvi poskrbijo za odstranjevanje visokofrekvenčnih motenj, drugi pa stabilizirajo napajanje.

Na tem delu vezja je dodana še LED dioda, ki prikazuje uspešen priklop napajalne napetosti. In pa še štirje konektorji. Dva bom v bližnji prihodnosti uporabil za napajanje volt in amper-metra, ki bosta locirana na samem ohišju končnega izdelka. Na preostalih dveh konektorjih pa bom meril tok in napetost v glavni zanki.

Z drugim delom vezja bom poskusil razložiti njegovo delovanje.



Na vezje priklopimo vir (desno zgoraj). V zanki, ki poteka preko MOSFETA [4] in upora teče največ toka v celotnem vezju. Zato se tu zgodi tudi največja disipacija moči. Upornost R_{DS} določajo vrata oziroma »gate« MOSFETA. Bolj bodo odprta, manjši bo R_{DS} in večji tok bo lahko tekel skozi. Odprtost vrat krmilimo z izhodom operacijskega ojačevalnika »U3B« [5], ki skupaj s tranzistorjem deluje kot napetostni sledilnik. V isti konfiguraciji deluje tudi prvi operacijski ojačevalnik »U3A« [5]. Z njuno povratno zanko sledita spremembam na + sponki operacijskega ojačevalnika. Torej, če napetost našega vira povečamo, bo »U3B« preko povratne zanke in svojega izhoda znižal napetost na vratih MOSFETA in s tem povečal upornost R_{DS} . Rezultat je konstanten tok.

Upor R_2 v seriji z operacijskim ojačevalnikom in MOSFETom preprečuje odboje na linijah in s tem pomaga pri stabilizaciji vezja. Upor R_3 prepreči morebiten odskok linije in nezaželjeno odprtje MOSA v primeru nedelovanja gonilnika.

Upor R_4 je »shunt« upor $1 \Omega / 25 W$ [6]. Njegova nizka upornost 1Ω je taka s točno določenim namenom. Če imamo na uporu $1 V$ padec, lahko po Ohmovem zakonu hitro izračunamo, da teče čez njega tok $1 A$. Tako nam ni potrebno vezati multimetra v serijo, ampak je dovolj že to, da poznamo padec napetosti na tem uporu in brez računanja lahko hitro ugotovimo, kolikšen tok teče skozi.

Če na vhod pripeljemo $10 V$ in imamo na uporu $1 V$ padec, lahko iz tega sklepamo, da je $9 V$ ostalo na MOSFETu. Kar v nadaljevanju pomeni, da se na njemu troši največ moči:

$$P = (10 V - 1 V) * 1 A = 9 W$$

$9 W$ moči se prenese na hladilno rebro, ki je pritrjeno na sam MOSFET. Iz tega lahko sklepamo, da bo sama površina hladilnika oziroma njegova termalna upornost pri višjih močeh odigrala izredno pomemben faktor.

Primer: imamo hladilna rebra s termalno upornostjo $2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ in nanje pritrjen MOSFET na kateremu se troši $9 W$ moči. To pomeni, da se bodo rebra segrela za $18 \text{ }^\circ\text{C}$ nad temperaturo okolice. Če zadevo peljemo v sam ekstrem vezja, torej na $100 W$ porabe moči, se bodo naša rebra segrela na krepkih $200 \text{ }^\circ\text{C}$ + seveda temperatura okolice. Kar pa ni več hec. Rešitev bi bila montaža ventilatorja ali pa rebra z manjšo termalno upornostjo. Sam sem za izdelek izbral hladilna rebra s termalno upornostjo $1.1 \text{ }^\circ\text{C/W}$ [7].

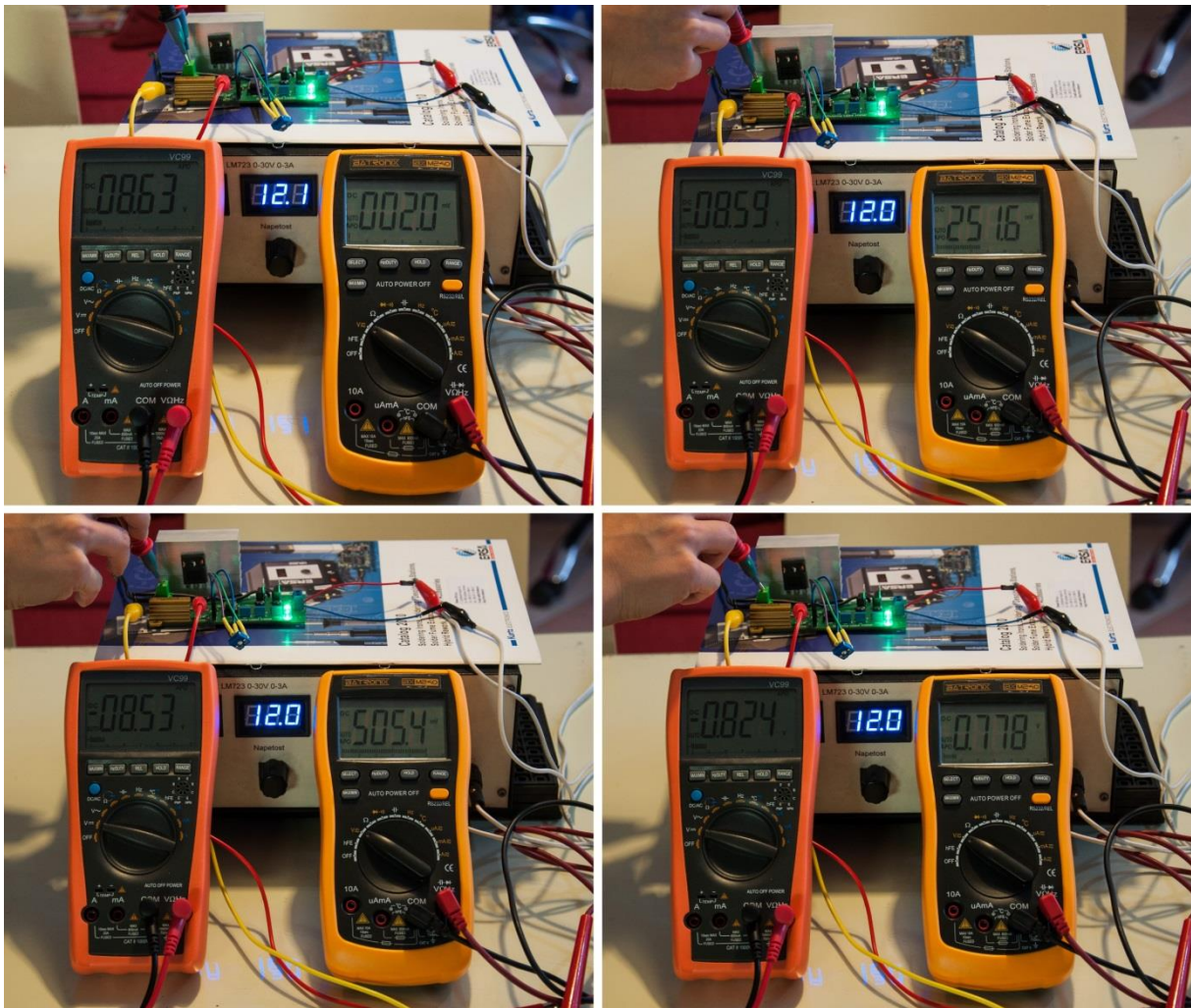
ANALIZA DELOVANJA

Za test sem si izbral adapter za polnjenje računalniške miške. Deklariran je za izhodno napetost 8V in tok 500mA. Najprej sem na njemu izmeril napetost brez bremena. Bila je 8.63 V. Nato sem začel vir postopno obremenjevati. Tok sem povečeval po cca 250 mA. Maksimum toka, ki ga je adapter še uspel dati, je bil 778 mA. Napetost na njemu je ustrezno padala. Ampak je kljub polni obremenitvi ostala še vedno nad deklarirano.

Rezultati so prikazani na spodnji sliki.

Oranžen multimeter prikazuje napetost na viru, rumen pa napetost na »shunt« upor. Naj spomnim: 250 mV pri 1 Ω pomeni 250 mA.

Napajalnik za multimetroma prikazuje napetost s katero napajam napetostna regulatorja.



Na začetku seminarske naloge sem z grafom prikazal željeno območje delovanja. Ta je vključevala pogoj, da disipacija moči ostane pod 100 W. A to ni dovolj.

Iz Ohmovega zakona lahko hitro razberemo, da pri nizkih napetostih ne moramo dobivati visokih tokov. Za to sem odločil, da zadevo pomerim. Po vsej verjetnosti bom hitro ugotovil, da se dejansko območje delovanja precej razlikuje od željenega.

Da bi pri nizkih napetostih dosegal čim višje tokove, sem moral upornost v glavni zanki kar se da znižati.

»Shunt« upor je tak kot je in se ga ne da spreminjat. Medtem ko je pri upornosti MOSFETA drugače. Bolj ko bodo njegova vrata odprta, manjšo upornost bo predstavljal in večji tok bo lahko tekel čez.

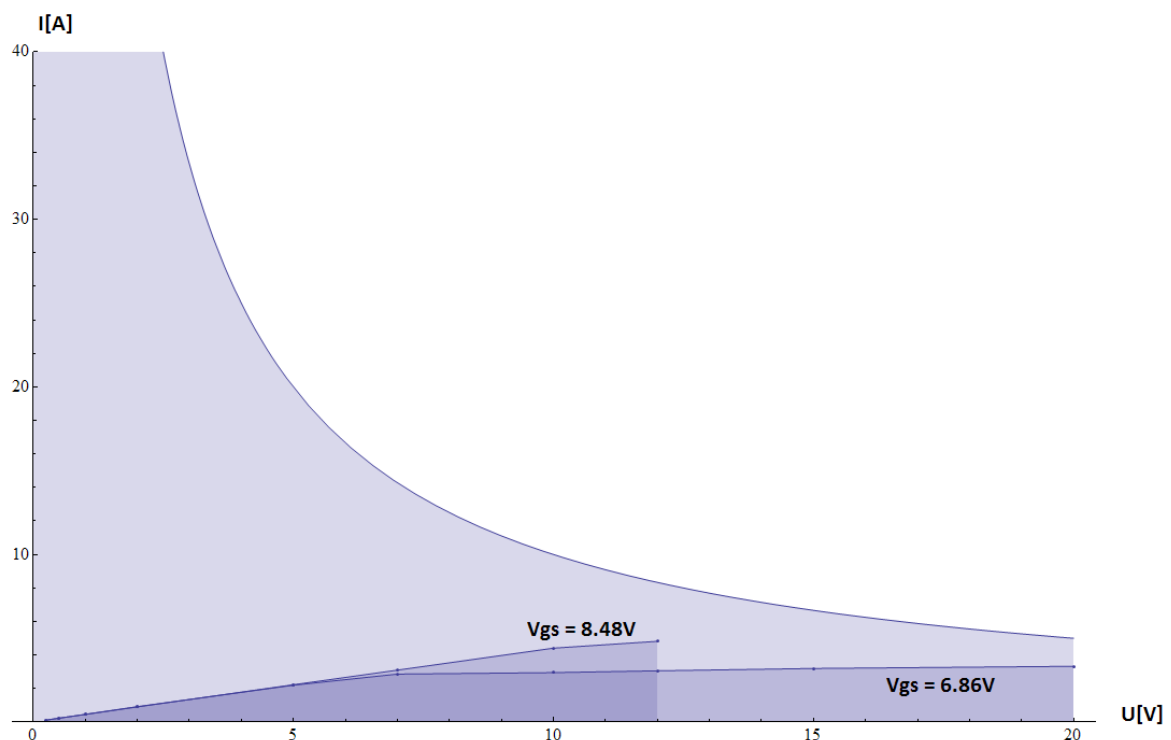
V prvem koraku testiranja sem operacijska ojačevalnika napajal z 9 V, kar mi je ob največjem možnem odprtju MOSFETA dalo napetost $V_{GS} = 6.86$ V, ker je bilo občutno premalo. Element namreč doseže svojo maksimalno odprtost pri napetost $V_{GS} \approx 10$ V.

Zato sem se odločil, da v drugem koraku povečam napajanje operacijskima ojačevalnikoma. Napetostni regulator, ki ju je napajal, sem zamenjal s takim, ki ima izhodno napetost 12 V. Izkazalo se je, da so bile moje domneve pravilne. Dvignjena napajalna napetost je povečala območje delovanja na njunih izhodih. Napetost V_{GS} se je tokrat ustavila pri 8.48 V. Dobili smo nižjo upornost in s tem povečali tok v glavni zanki.

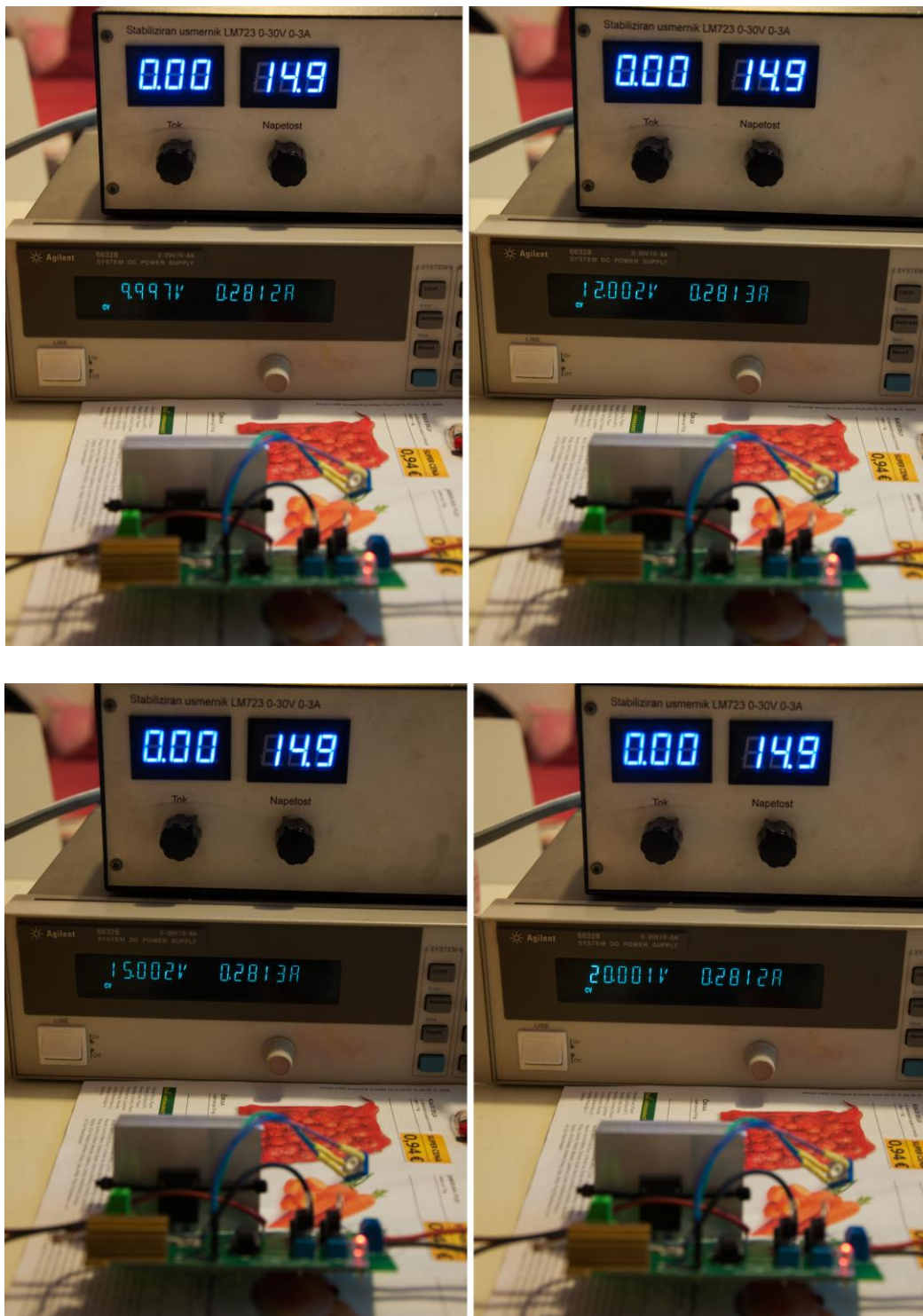
Nadaljno povečevanje toka mi je pri naslednjem koraku preprečila zmogljivost usmenika. Ta ima namreč območje delovanja 0-20 V, 0-5 A. Pri 15 V bi tok narasel bistveno preko 5 A.

Postopoma pa sem se približal tudi omejitvi »shunt« upora – 25 W. Pri 12 V napetosti zanke je bil na njemu padec napetosti 4.54 V, kar pri 1 pomeni 4.54 A. Če to dvoje pomnožim, dobim 20.61W. Kar pa je že precej blizu omejitvi.

Oba koraka sem vrisal v začetni graf:



V prvem delu sem omenil še, da vezje v grobem deluje kot limitator toka. Po opravljenih meritvah sem ugotovil, da je res tako. Napetost glavne zanke sem postopoma zviševal med 10 in 20 V. Tok je kljub temu ostal vedno enak.



ZAKLJUČEK

Težave:

- Ob samem testiranju še nisem imel pravega hladilnega rebra. Na dostavo le-tega namreč še vedno čakam. Zato sem se moral omejiti na nižje moči. Že tokovi nad 1 A so zelo hitro segreti tako »shunt« upor kot MOSFET.
- Potenciometer ima nekaj prostega hoda. To bom popravil z napetostnim delilnikom za kalibracijo.

Možnosti nadgradnje:

- krmiljenje MOSFETA z mikrokontrolerjem (PWM)
- izdelava ohišja, na kateremu bosta tudi digitalni amper in volt meter
- vzporedna vezava še enega MOSFETA; polovična disipacija moči na posamezni enoti
- transformator za priklop na električno omrežje
- temperaturno reguliran ventilator na hladilnih rebrih

VIRI IN LITERATURA

[1] <http://www.eevblog.com/2010/08/01/eevblog-102-diy-constant-current-dummy-load-for-power-supply-and-battery-testing/>

[2] L7812 - <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000444.pdf>

[3] L7805 - <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000444.pdf>

[4] IRFP140N - <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfp140npbf.pdf>

[5] LM358 -

<http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000464.pdf>

[6] RH-25 - <http://www.vishay.com/docs/30201/30201.pdf>

[7] http://mali-sp.si/e_files/docs/70467_20091108_HR-150.pdf