

## **Stikalni tokovni regulator za LED razsvetljavo z MLX10803**

Poročilo projekta za predmet Elektronska vezja

avtor: Matija Bogataj, vpisna št. 64040277

Ljubljana, 25.04.2012

### **Splošen opis uporabljenega integriranega vezja**

MLX10803 ([www.melexis.com](http://www.melexis.com)) je integriran krmilnik močnostnih LED v Step-down (Buck) režimu. Predviden je za delovanje s ceneni dušilkami relativno nizkih induktivnosti, N - kanalnim MOSFETom, Shottkey diodo za zaključitev tokovne zanke, ko MOSFET ne prevaja in keramičnimi (MLCC) blokirnimi kondenzatorji na napajalnem vhodu. Vezje omogoča analogno in PWM regulacijo toka LED in temperaturno omejitev reference s pomočjo NTC termistorja. Njegov interni generator takta vsebuje psevdonaključni generator zakasnitev, ki povzroči stresanje osnovne frekvence proizvedenih motenj. Vsebuje tudi vezje za izklop v primeru prenizke napetosti (Under Voltage Lock Out) s histerezo zanko.

### **Zgradba in delovanje MLX10803**

Vezje je napajano z enosmerno napetostjo med 6V in 32V s pina VS/PWM, ki lahko obenem služi tudi za PWM regulacijo toka (hitre vklope in izklope celotnega regulatorja pri konstantni analogni referenci). To napetost omeji interni linearni regulator na 5V.

Interni RC oscilator ima z zunanjim uporom nastavljivo frekvenco od 500kHz do 5Mhz, ki služi za takt monoflopu s psevdonaključnim generatorjem zakasnitev. Ta na podlagi izhodov primerjalnikov krmili RS flip-flop, ki proizvaja osnovni signal za krmiljenje vrat MOSFETA.

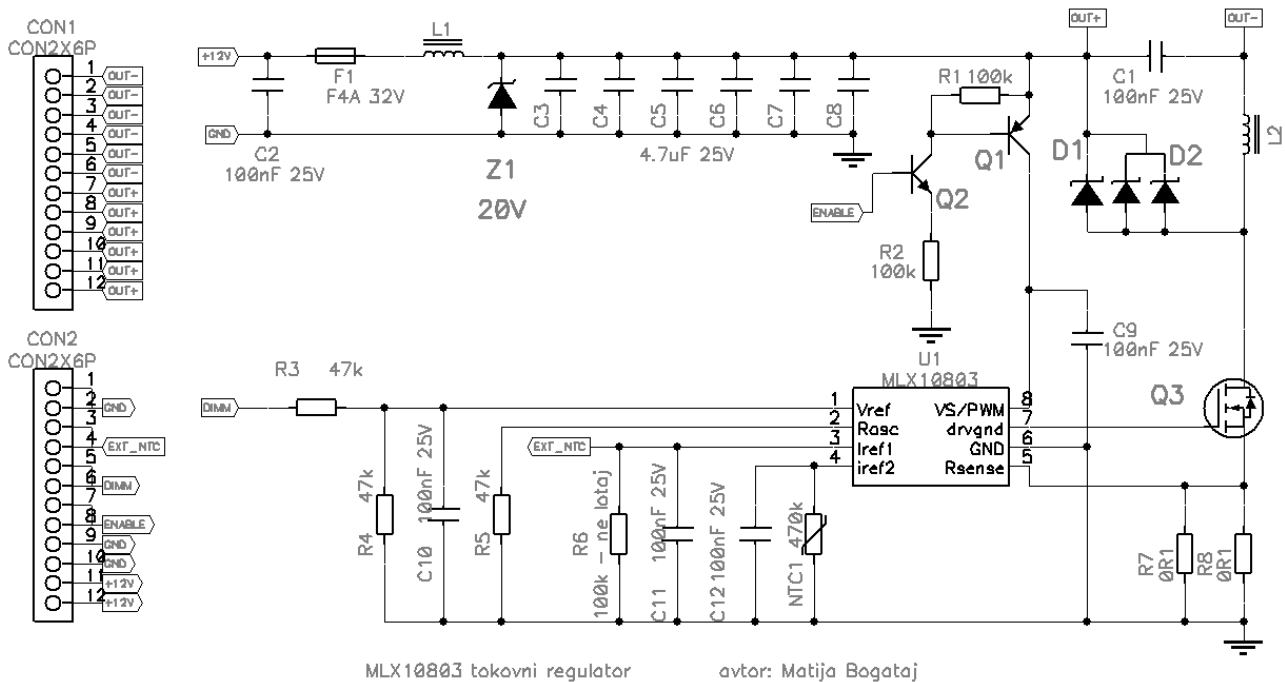
Dva primerjalnika primerjata padec na tokovnem merilnem uporu, ki je vezan med RSENSE in GND z 1/5 in 1/10 najnižjega od signalov VREF, IREF1 in IREF2 (zgornjo in spodnjo mejo). Tok teče skozi merilni upor le, ko MOSFET prevaja, njegov odvod po času pa omejuje induktivnost izhodne dušilke. Ko padec čez merilni upor preseže spodnjo mejo, se prične odšteti čas vklopa. MOSFET se zapre, ko padec doseže zgornjo mejo ali poteče čas vklopa, ki znaša 58.8 taktov internega oscilatorja. Nato se prične odštevanje časa izklopa, ki traja od 9 do 16 taktov internega oscilatorja, odvisno od psevdonaključne zakasnitve.

Vrata MOSFETA krmili izhodna stopnja na pinu DRVGATE z maksimalnim tokom 500mA in maksimalno napetostjo 12V. Kljub tokovni zmogljivosti je priporočena uporaba MOSFETA s čim manjšim  $Q_{gtot}$  (skupnim nabojem vrat).

Odziv na potencial VREF je nazivno linearen v območju od 0.1V do 3.8V. IREF1 in IREF2 vsebujeta tokovna vira 50uA in sta namenjena realizaciji temperaturne kompenzacije reference s pomočjo fiksnega in NTC upora. Dokler je upornost NTC višja, določa maksimalno referenco fiksni upor, ko pa pri določeni temperaturi pade pod fiksno upornost, določa maksimalno referenco s temperaturo relativno hitro upadajoča upornost NTC.

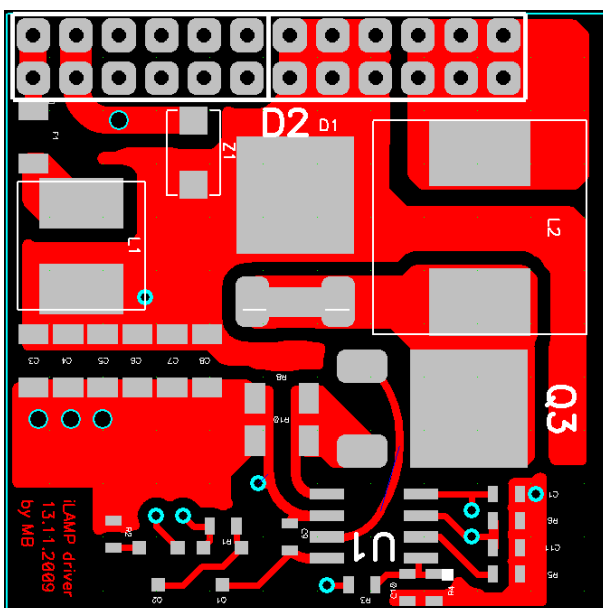
## Opis stikalnega tokovnega regulatorja

Veže stikalnega tokovnega tokovnega regulatorja močnostnih LED za 12V solarne sisteme izrablja vso funkcionalnost MLX10803 in vsebuje EMI zaščito napetostnega vira z LC filtrom, prenapetostno zaščito napajanja, zaščito pred napačno polariteto napajanja, pretvornik logičnih nivojev za PWM krmiljenje, napetostni delilnik za analognu referenco in ločeni temperaturni kompenzaciji z enim senzorjem na vezju in drugim toplotno spojenim z močnostnimi LED.

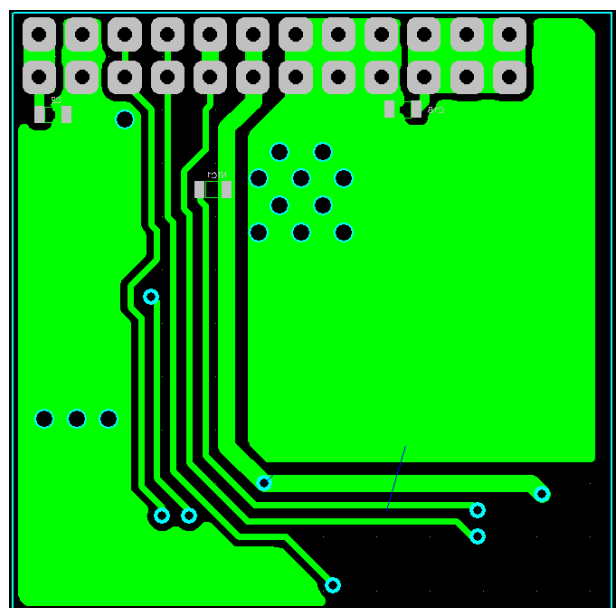


Slika 1: Vežalna shema stikalnega tokovnega regulatorja

Površine bakrenih zalivk na vezju okvirno odražajo predvidene izgubne moči elementov, ki so prispajkani direktno nanje. Največja izgubna moč je predvidena na izhodni Shottkey diodi, skozi katero teče izhodni tok v času izklopa MOSFETA. Njena toplota se za to odvaja v okolico preko največje gornje zalivke, ki je s pini izhodnega konektorja in /ali termo viami toplotno povezana še s spodnjo zalivko.



Slika 2: Zgornja stran tiskanega vezja



Slika 3: Spodnja stran tiskanega vezja

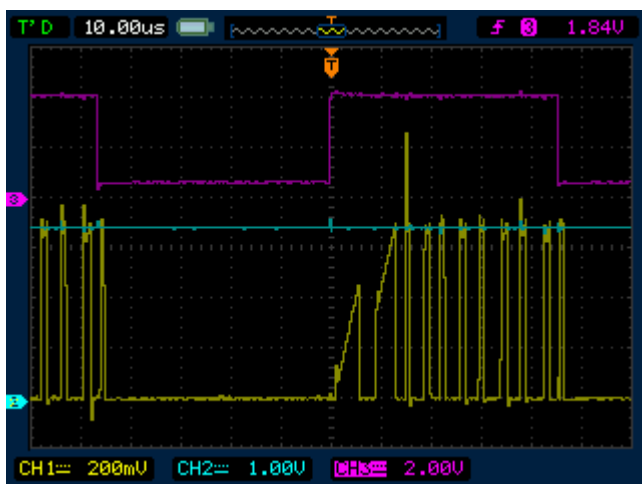
Referenčni in PWM vhod sta predvidena za uporabo z dvema mikrokrmilniškima PWM izhodoma. Napetostni delilnik referenčnega vhoda z gladilnim kondenzatorjem je vezan na maso napajanja skupaj z maso MLX10803 med priključki merilnega upora. Na izhodnem konektorju je ločena signalna masa, na katero je lahko priključen glede na napajalno maso plavajoč izvor reference. Pretvornik nivojev za PWM vhod je izveden s kaskadno vezavo enosmernih bipolarnih tranzistorskih ojačevalnikov: NPN v OSC na vhodu in PNP v OSE na strani strani MLX10803. Ker z vhoda VS/PWM prihaja tudi naboj za krmiljenje MOSFETA, je med VS/PWM in GND vezan keramični kondenzator vrednosti, ki zadostuje za polnjenje parazitne kapacitivnosti MOSFETA, vendar ne povzroča bistvene zakasnitve pri izklopu v PWM režimu.

## Delovanje vezja

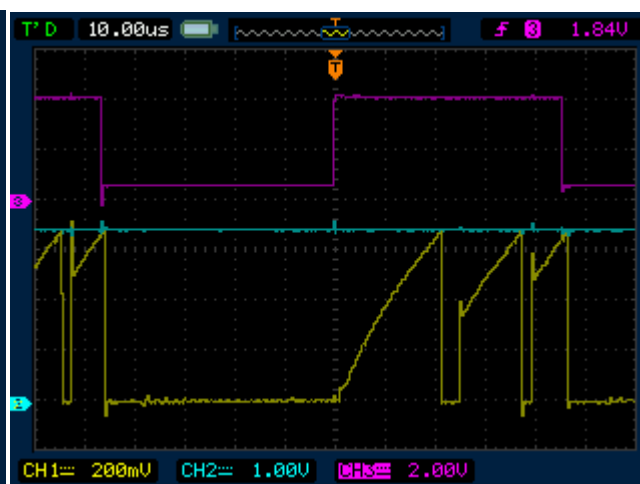
Periodo preklapljanja določa interni časovnik krmilnika, ali časovni potek izhodnega toka. Prvi je enolično nastavljen z uporom R5, drugi pa je odvisen induktivnosti izhodne tuljave, padca čez tuljavo in referenčne napetosti. Delovni režim vklopa izhodnega MOSFETA je obratno sorazmeren padcu na izhodni tuljavi ter na obeh skrajnostih omejen s pomočjo internega časovnika. Stikalni regulator lahko tako prehaja, odvisno od trenutnih razmer, med prekinjenim in neprekinjenim režimom delovanja pri omejeni frekvenci preklapljanja.

Na slikah 5 in 4 je prikazan vpliv padca na izhodni tuljavi na delovni režim in frekvenco preklapljanja MOSFETA. Obenem je prikazana tudi funkcija ENABLE pina, ki je priključen na pravokotni signal (CH3). Tok merimo s padcem na merilnem uporu (CH1) med ponorom MOSFETA in maso, zaradi česar je na njemu prisoten padeč le v prvi pol-periodi.

Na sliki 5 je po vklopu ENABLE signala dolžina prve pol-perioda omejena s časovnikom, dolžina druge in nadaljnjih pa s trenutkom, ko tok preseže referenco (CH2). Neenakomerne dolžine drugih pol-period (ko padca na merilnem uporu ni) vsiljuje interni časovnik s psevdonaključnim generatorjem zakasnitev ter tako omejuje frekvenco preklapljanja in z njo preklapne izgube v vezju. Če je padeč čez tuljavo relativno majhen, kot na primer na sliki 4, v glavnem definira frekvenco preklapljanja časovni potek toka skozi dušilko. V primeru, da tok skozi dušilko narašča prepočasi, trajanje prve pol-perioda ponovno omeji interni časovnik. Slednja funkcija je mišljena kot zaščita izhodne stopnje in bremena, vendar obenem onemogoča delovanje z maksimalnim tokom pri relativno majhnem padcu na tuljavi.

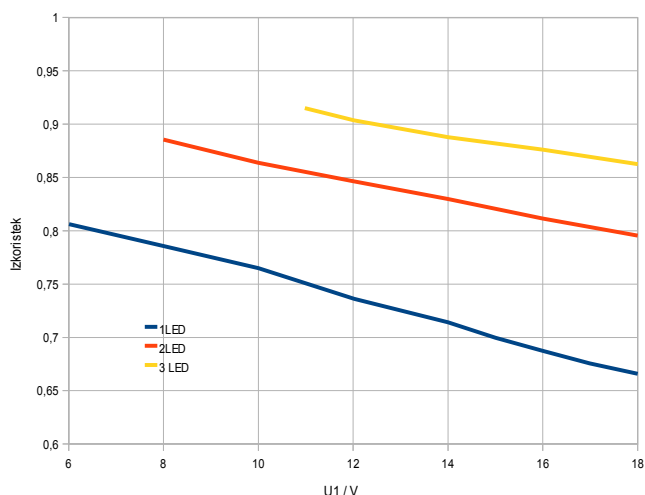


Slika 5: Izhodni tok pri padcu 9V

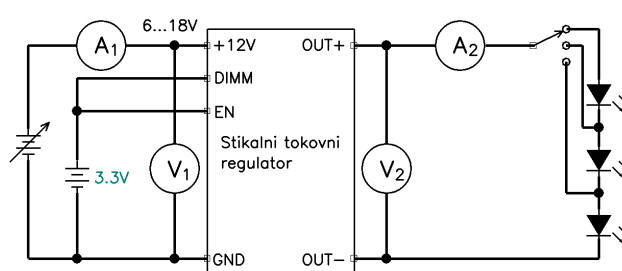


Slika 4: Izhodni tok pri padcu 3V

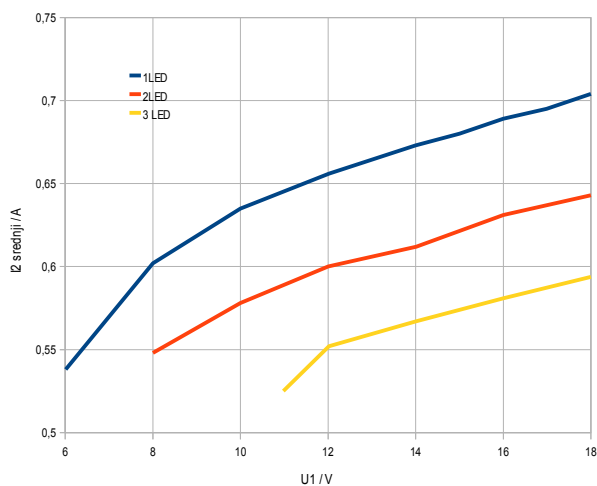
Izkoristek vezja je bil izmerjen s pomočjo 4 multimetrov kot razmerje med izhodno in vhodno močjo pri konstantno nastavljeni maksimalni referenci in brez modulacije ENABLE vhoda. Kot breme so služile 1, 2 ali 3 močnostne LED diode v zaporedni vezavi. Iz grafa 1 je razvidno, da izkoristek pada z naraščajočo vhodno napetostjo in padcem napetosti čez regulator – padec na bremenu je zaradi njegove U-I karakteristike približno konstanten. Padajoči izkoristek gre pripisati padajočemu delovnemu režimu MOSFETA, ki povzroča vse večji delovni režim Shottkey diode. Preostale bistvene izgubne moči se trošijo na serijski upornosti dušilke in MOSFETA ter na merilnem uporu.



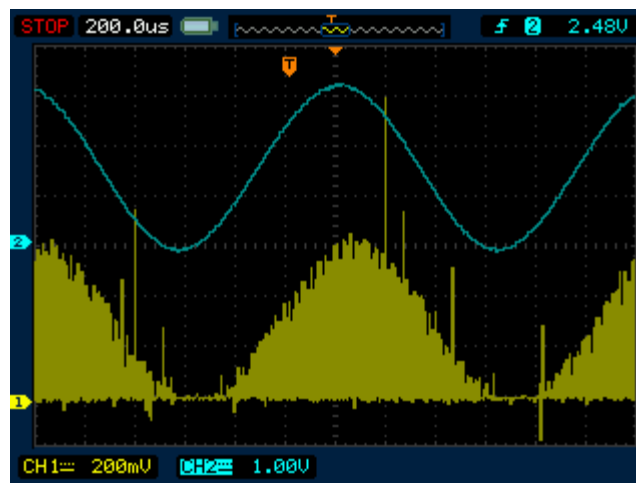
Graf 1: Izkoristek pri konstantni tokovni nastavitvi



Slika 6: Vežje za merjenje izkoristka



Graf 2: Srednji izhodni tok pri konstantni nastavitvi

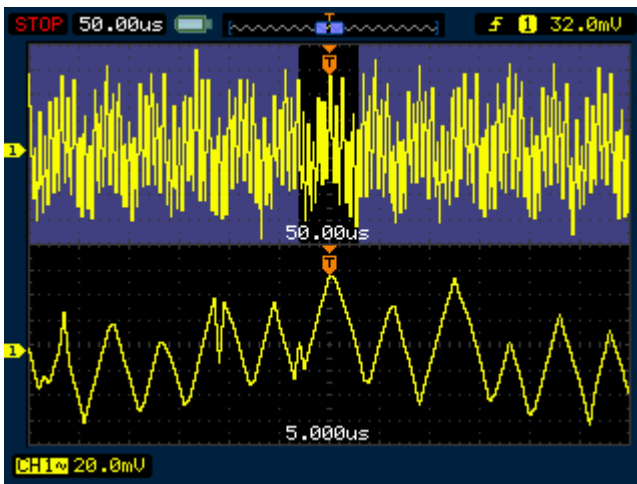


Slika 7: Odvisnost izhodnega toka od reference

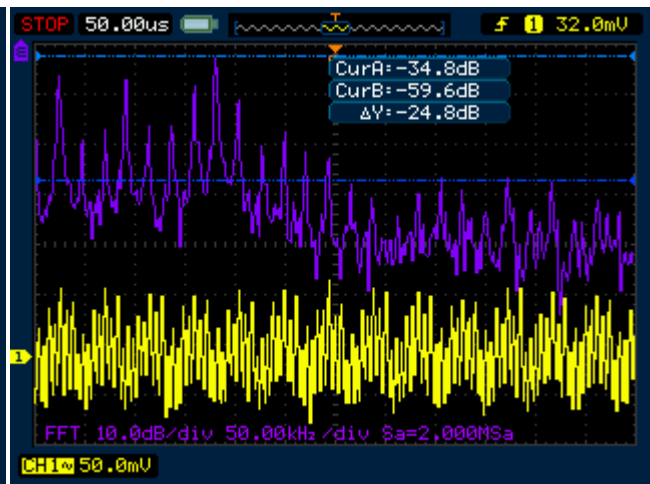
Ker je omejitev toka izvedena s pomočjo primerjalnikov namesto s PI ali PID regulatorjem, se v vezju izognemo potencialni nestabilnosti sistema, vendar pride do očitne odvisnosti srednje vrednosti izhodnega toka od vhodne napetosti, kot vidimo na grafu 2. Odstopanje srednjega toka od referenčne vrednosti je posledica valovitosti toka, ki narašča s padcem čez tuljavo, časom prve pol-periodice in manjšanjem induktivnosti. Kot je razvidno iz slike 7, referenčni vhod DIMM (CH2) služi le kot ovojnica za izhodni tok (CH1).

Kot je že omenjeno v opisu integriranega vezja, je v takt preklapljanja vnesena psevdonaključna zakasnitev. Namen te je olajšati izvedbo vhodnega filtrirnega vezja, ki omeji harmonske komponente motenj na vhodu pod zelene vrednosti. Statistično sipanje časov osnovne periode se v frekvenčnem prostoru prevede v nižje in širše harmonske komponente z nekoliko višjimi stranskimi snopi, kot če bi bila osnovna perioda konstantna. Efektivna moč motilnega signala se ob takšnem preoblikovanju ohrani.

Na slikah 8 in 9 je prikazana valovitost napetosti na vhodnih kondenzatorjih vezja (C3 – C8) pri napajalni napetosti 12V in z 2 LED diodama na izhodu. Gre za žagasto napetost osnovne frekvence (v tem primeru 180kHz), na katero so superponirane še nižje frekvenčne komponente. V frekvenčnem prostoru poleg teh opazimo še izrazit levi in desni bočni pas. Višje frekvenčne komponente upadejo za 24 dB v dekadi nad osnovnim harmonikom. Pod tem nivojem ostanejo tudi vsi lihi višji harmoniki.

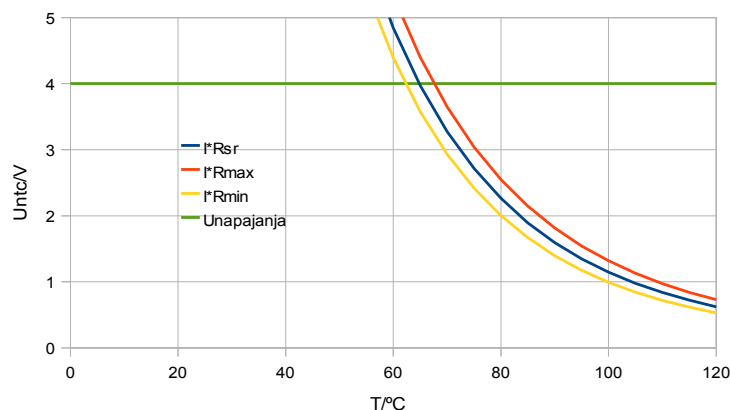


Slika 8: Valovitost napetosti na vhodnih kondenzatorjih

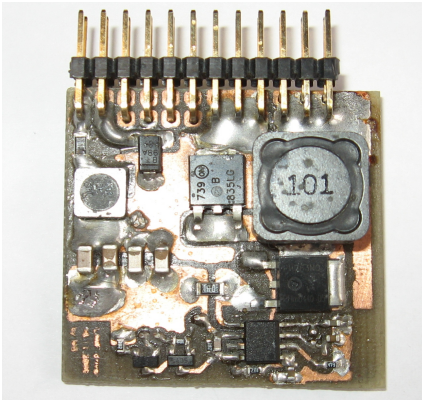


Slika 9: FFT napetosti na izhodnih kondenzatorjih

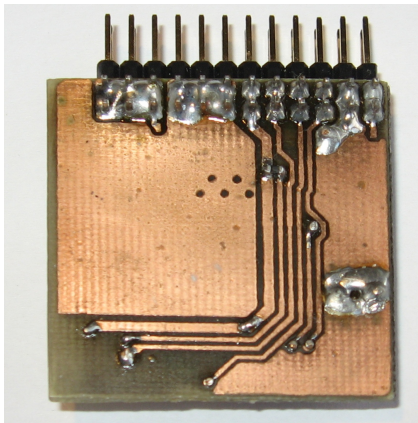
Potek temperaturne kompenzacije reference je odvisen od nazivne upornosti NTC upora in njegovega parametra  $\beta$ . Ker je tok skozi vsak NTC upor omejen s tokovnim virom, se njegov temperaturni potek upornosti preslika v zgornji del karakteristike temperaturne kompenzacije. Maksimalno napetost na NTC uporu in z njo ravni spodnji del karakteristike določa napajalna napetost tokovnega vira. Karakteristika temperaturne kompenzacije je izbrana odvisno od njenega glavnega namena, ki se giblje med dolgoročnim zagotavljanjem nizkih delovnih temperatur komponent in preprečevanjem njihove takojšnje odpovedi. Na grafu 3 je prikazana izbrana karakteristika izvedena z nazivno upornostjo  $R_0 = 470\text{k}\Omega \pm 5\%$  in parametrom  $\beta = 4480 \pm 3\%$ .



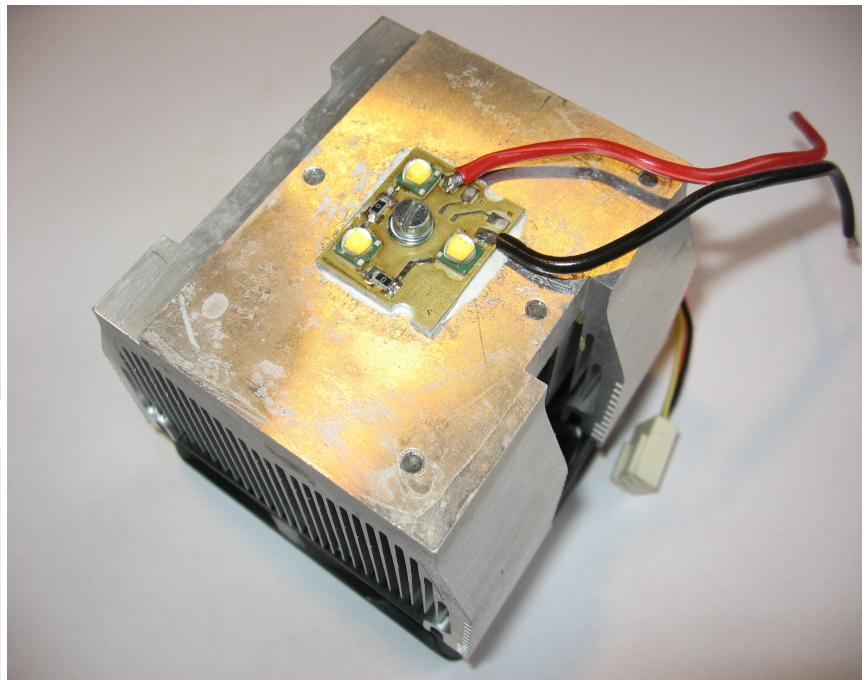
Graf 3: Izbrana karakteristika temperaturne kompenzacije



Slika 10: Zgornja stran vezja



Slika 12: Spodnja stran vezja



Slika 11: Preizkusno breme, 3x XLAMP XM-L na Alu-tiskanini s prostorom za NTC upor, na hladilniku za mikroprocesorje

NTC upor za temperaturno zaščito regulatorja se nahaja neposredno pod največjo bakreno zalivko (na slikah 3 in 12), s katero je temperaturno spojen preko FR-4 laminata tiskanega vezja. Hiba tovrstne zasnove je, da lahko napaka meritve v primeru prisilne konvekcije naraste, če ni temperaturni sklop NTC upora z omenjeno zalivko še kako izboljššan. Temperaturni sklop NTC upora z močnostnimi LED diodami naj bi bil manj problematičen, saj je ta lahko prispajkan na Alu-tiskanino, ki nosi ohišja LED diod.

Praktična izvedba stikalnega tokovnega regulatorja je bila preizkušena le pri tokovih do 0,6A, vendar je dana topologija s primerno nižjo induktivnostjo in merilnim uporom sposobna trajno dovajati tok do 3A, kar je tudi nazivni tok uporabljenega bremena na sliki 11. Vsaka od uporabljenih močnostnih LED diod lahko, odvisno od bina in barvne temperature, proizvede svetlobni tok med 650lm in 975lm.

Tako sestavljen svetlobni vir se lahko po svetlobnem toku in izkoristku vedno bolj kosa s kakovostnimi fluorescentnimi svetili, zaradi relativno hitrega napredka tehnologije močnostnih LED diod. Če ob tem upoštevamo daljšo življenjsko dobo pravilno hlajenih LED diod, ter da so neobčutljive na preklapljanje in takoj oddajajo maksimalni svetlobni tok, postane očitna njihova prednost v kombinaciji s senzorji gibanja.

Viri:

MLX10803 Datasheet:

<http://www.melexis.com/Assets/MLX10803-IC-specification-4840.aspx>

XM-L Data Sheet:

<http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/Data%20and%20Binning/XLampXML.pdf>