



Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za elektrotehniko*

Projekt pri predmetu EV2:

NIZKO ŠUMNI STIKALNI NAPAVALNIK MOČNOSTNIH LED DIOD

Študijsko leto: 2010/2011

Peter Kržič

KAZALO

UVOD.....	3
»BUCK« DC-DC PRETVORNIK	4
OPIS SKLOPOV VEZJA	4
OSNOVNE INFORMACIJE O EMISIJAH.....	4
ZVOČNE EMISIJE	5
STANDARD DOLOČANJA ELEKTRIČNIH EMISIJ CISPR 25	5
MERJENJE ELEKTROMAGNETNIH EMISIJ PO STANDARDU CISPR25	5
EMISIJE NA NAPAJANJE (»CONDUCTED EMISSION«)	5
IZSEVANE EMISIJE	5
REZULTATI MERITEV	6
USTREZNOST VEZJA	7
»BUCK-BOOST« TOPOLOGIJA.....	7
OPIS SKLOPOV VEZJA	7
USTREZNOST VEZJA	8
NAVIDEZNO REZONANČNI PRETVORNIKI	9
PREDNOSTI NAVIDEZNO REZONANČNEGA PRETVORNIKA.....	9
REALIZIRAN NAVIDEZNO REZONANČNI »BUCK« PRETVORNIK.....	10
MERITVE	11
ZAKLJUČEK.....	11
VIRI.....	12

Uvod

Stikalni napajalniki pretvarjajo električno energijo iz različnih napetostnih in tokovnih nivojev na LED diodam primeren napetostni oziroma tokovni nivo. V nekaterih primerih generacija odvečne toplote in učinkovitost napajalnika ni pomembna. V primeru, če je vhodna napetost višja kot je potrebna za napajanje LED diod, se razlika energije med vhodno in izhodno pretvori v toploto, ki se troši na močnostnem aktivnem elementu linearnega napajalnika. Čeprav so linearni napajalniki zelo dobri, ker ne oddajajo elektromagnetnih motenj pa so zelo neučinkoviti pri pretvorbi med različnimi napetostnimi nivoji.

$$13.8V \cdot 0.15A = 2.7V \cdot 0.7A + 0.18W \text{ (Heat)}$$

Primer energijske bilance pri stikalnih napajalnikih z 91% učinkovitostjo

$$13.8V \cdot 0.7A = 2.7V \cdot 0.7A + 7.77W \text{ (Heat)}$$

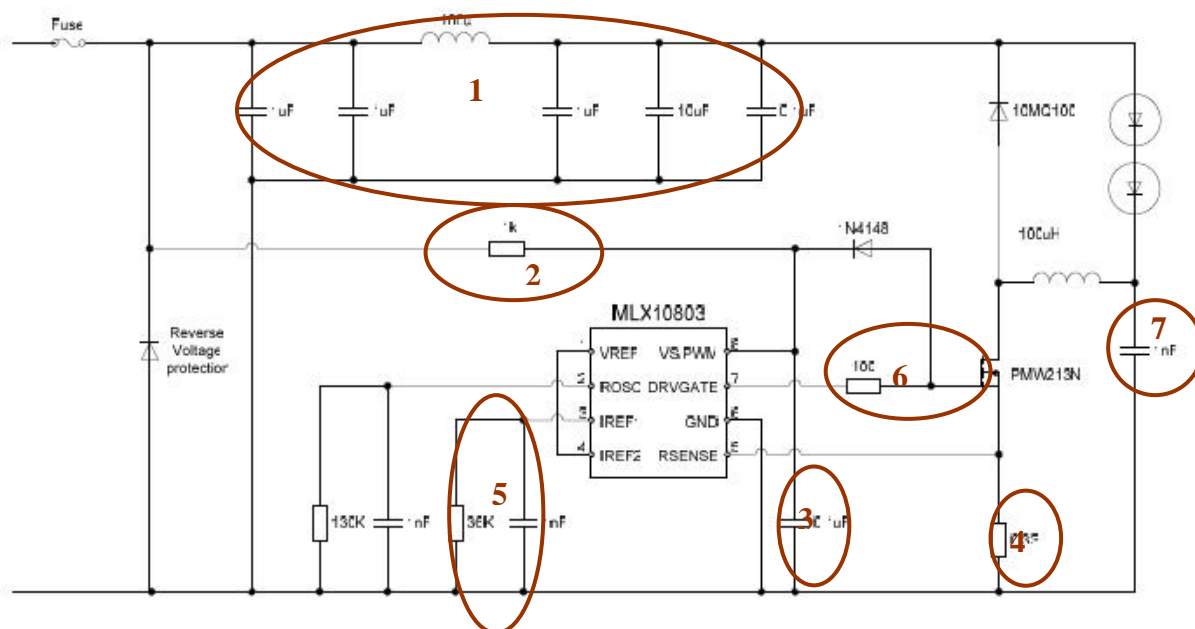
Primer energijske bilance pri linearnem napajalniku z 20% učinkovitostjo

Iz zgornjih izračunov je razvidno, da moramo pri linearnem napajalniku še dodatno poskrbeti za odvod toplote, ki se proizvede na napajalnemu delu vezja. Kot vemo pa so LED diode zelo občutljive na pregrevanje in tudi same že prispevajo nekaj toplote. Previsoka temperatura na LED diodah pa seveda pomeni krajšo življenjsko dobo. Ko se pri močnejših LED diodah pojavi potreba po hlajenju le teh linearni napajalniki kmalu zaradi hladilnih teles postanejo predragi in morda celo preveliki. Najpomembnejši vidik uporabe stikalnih napajalnikov v LED svetilih je ravno v minimalnem segrevanju.

V seminarski nalogi bom opisal stikalni napajalnik, ki vsebuje namensko nizko šumno integrirano vezje MLX10803.

»Buck« DC-DC pretvornik

Gre za »buck« topologijo stikalnega napajalnika, ki omogoča le nižanje napetosti glede na napajalno. Skupaj z integriranim vezjem pa je realiziran tokovni generator, ki je tudi najprimernejši za napajanje LED diod.



Opis sklopov vezja

1. Vhodni LC filter poskrbi za filtriranje nizko frekvenčnih motenj. Eden izmed treh kondenzatorjev na izhodu filtra je priporočeno, da je aluminijev elektrolitski z večjo serijsko notranjo upornostjo, ki duši porezane frekvence.
2. in 3. upor in kondenzator skrbita za počasen vklop samega vezja.
4. »Shunt« upor. Na njem se meri napetost, ki premo sorazmerno s tokom narašča in pada. Upornost torej določa maksimalen tok, ki teče skozenj, posredno pa s tuljavo določa tudi čas T_{on} .
5. Upor določa napetost, katero mora doseči sponka Rsense oziroma »Shunt« upor, da se MOS tranzistor izklopi. Kondenzator, ki pa je vzporedno pa skrbi za počasen vklop. Napetost ob vklopu počasi z napetosti 0V zraste na želeno. Sosednji upor pa določa frekvenco preklapljanja oziroma določa čas T_{off} .
6. Upor, ki je na Gate sponki MOS tranzistorja pa upočasni vklop le tega. S počasnejšimi preklopi MOS tranzistorja zmanjšamo elektromagnetne motnje v RF področju.
7. Ta kondenzator ponovno služi kot filter, ki duši motnje v RF področju. Priporočljivo pa je dodati še en kondenzator med anodo prve LED diode in maso.

Osnovne informacije o emisijah

Imamo dve obliki emisij, ki jih vsebujejo stikalni napajalniki. Imamo zvočne in električne emisije. Tudi linearni napajalniki lahko proizvajajo emisije v primeru, da vsebujejo PWM za uravnavanje svetlosti LED diod.

Zvočne emisije

Mehanska sila električnega in magnetnega polja na elemente vezja povzroča ta tip emisij. Najpogostejše elektromagnetno polje povzroči vibracije navitja in jedra tuljave, lahko pa pride do vibracij tudi pri kondenzatorjih in morda celo med samimi elementi vezja.

Standard določanja električnih emisij CISPR 25

V avtomobilski industriji obstaja nekaj testov s katerimi določimo stopnjo relativnih emisij, ki jih oddaja določena naprava. CISPR 25 je pogosto uporabljen standard in testiranje, ki ga je pripravil IEC (International Electrotechnical committee). Test je določil CISPR (akronim francoskega imena za ta odbor, ki je v angleščini znan kot »International Special Committee on Radio Interference«), ki spada pod IEC. CISPR 25 Podaja 5 različnih referenčnih nivojev h katerim primerjajo izmerjene vrednosti emisij. Prvi nivo dovoljuje večino emisij, medtem ko 5 nivo skoraj ne dovoljuje nobenih emisij.

Merjenje elektromagnetnih emisij po standardu CISPR25

Emisije na napajanje (»conducted emission«)

To so motnje, ki jih proizvaja vezje in jih pošilja po vodniku nazaj proti napetostnem viru. V standardu sta definirana dva tipa emisij: širokopasovne in ozkopasovne za katere so znane omejitve. Kriterij, ki loči med tipom emisij je razlika med vrhom in povprečjem amplitude le teh. Če je razlika manjša kot 6 dB govorimo o ozkopasovnih emisijah, če pa je razlika večja pa o širokopasovnih emisijah. Iz rezultatov meritev nizko šumnega vezja z MLX10803 je dovolj podatek o ozkopasovnem šumu.

**Table 7 (from CISPR 25) – Limits for narrowband conducted disturbances
(Peak detector)**

Class	Levels dB(μV)					
	0.15MHz to 0.3 MHz	0.53 MHz to 2.0 MHz	5.9 MHz to 6.2 MHz	30 MHz to 54 MHz	68 MHz to 87 MHz	76 MHz to 108 MHz
1	90	66	57	52	42	48
2	80	58	51	46	36	42
3	70	50	45	40	30	36
4	60	42	39	34	24	30
5	50	34	33	28	18	24

Table 3 (Table 7 from CISPR 25)

Izsevane emisije

To so elektromagnetne emisije, ki jih proizvaja vezje. Za meritev teh emisij čez cel frekvenčni spekter potrebujemo tri različne antene. Vsaka je za svoje frekvenčno področje.

- 0,15 MHz – 30 MHz : 1 m dolga navpična monopolna antena. Merijo le navpično polarizirano elektromagnetno sevanje.
- 30 MHz – 200 MHz : Dipolna (z dvema stožcema) antena. Merijo navpično in horizontalno polarizirano elektromagnetno valovanje
- 200 MHz – 1 GHz : Log-periodic antena oziroma televizijska antena. Tudi v tem področju merijo tako navpično kot tudi horizontalno polarizirano elektromagnetno valovanje

Tu je testno vezje tako pri navpični kot tudi horizontalni polarizaciji doseglo 12 dB razlike med povprečno vrednostjo in vrhovi, zato CISPR25 določa naslednje omejitve.

**Table 10 (from CISPR 25) – Limits for broadband radiated disturbances
(peak or quasi-peak detector)**

Class	Levels dB(μV)															
	0.15MHz to 0.3 MHz		0.53 MHz to 2.0 MHz		5.9 MHz to 6.2 MHz		30 MHz to 54 MHz		68 MHz to 108 MHz		142 MHz to 175 MHz		380 MHz to 512 MHz		820 MHz to 960 MHz	
	P ^a	QP ^b	P ^a	QP ^b	P ^a	QP ^b	P ^a	QP ^b	P ^a	QP ^b	P ^a	QP ^b	P ^a	QP ^b	P ^a	QP ^b
1	96	83	83	70	60	47	60	47	49	35	49	35	56	43	62	49
2	86	73	75	62	54	41	54	41	43	30	43	30	50	37	56	43
3	76	63	67	54	48	35	48	35	37	24	37	24	44	31	50	37
4	66	53	59	46	42	29	42	29	31	18	31	18	38	25	44	31
5	56	43	51	38	36	23	36	23	25	12	25	12	32	19	38	25

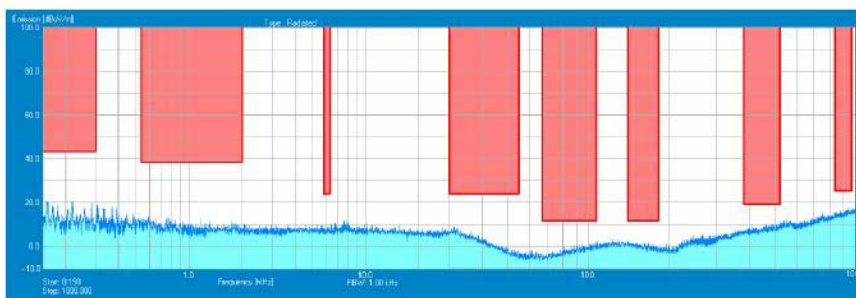
^a Peak
^b Quasi-peak

Rezultati meritev

CISPR25 class 5 levels are marked with red.



Conducted emissions 150kHz – 108MHz

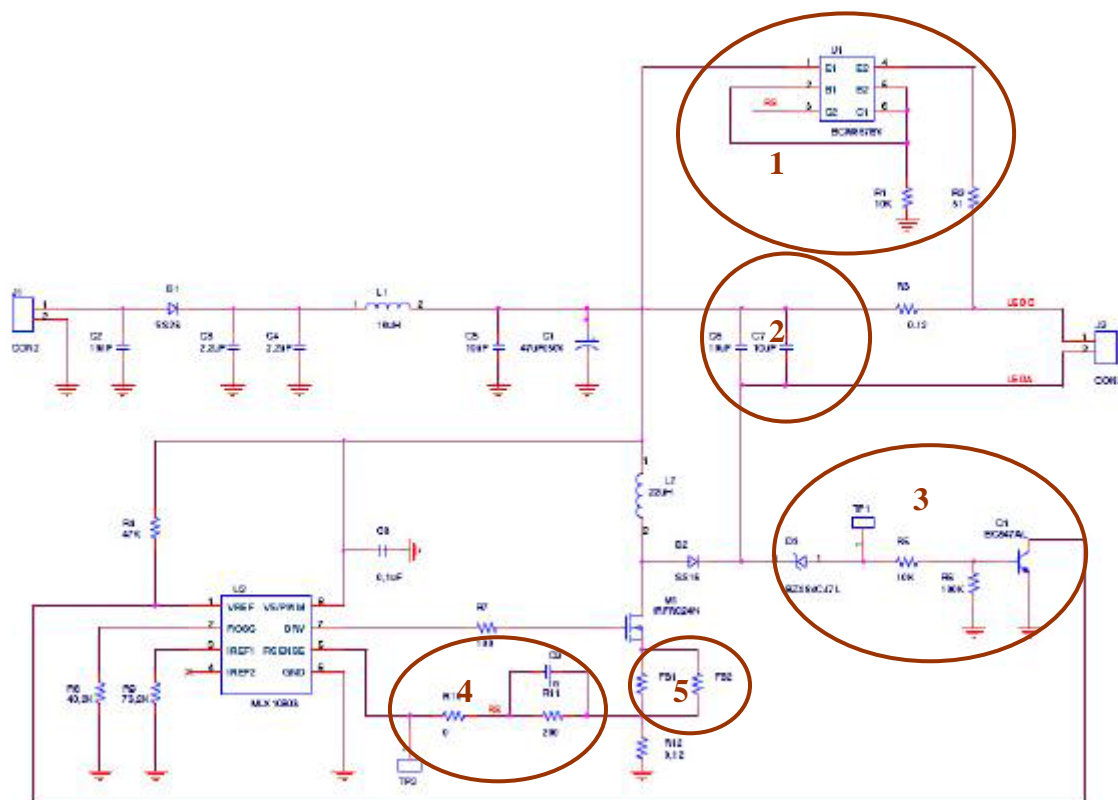


Radiated emissions 150kHz – 1GHz

Ustreznost vezja

Z zgoraj opisanim vezjem je zaradi »buck« topologije možno na to vezje priklopiti le 2 led diodi ob pogoju, da mora delovati v območju med 9V in 19V vhodne napetosti. Če ima LED dioda pri delovanju napetostni padec med 3,5V - 4V, lahko vidimo da že pri dveh LED diodah dobimo napetostni padec 7V – 8V ostane pa nam še 1 V, ki pa se razdeli na »shunt« upor (0,3-0,7V), MOS tranzistor in tuljavo. Želimo pa narediti napajalnik, ki bo omogočal dvig ali spust napajalne napetosti, da bi lahko napajali več zaporedno vezanih diod. Zato pa moramo izbrati drugo topologijo stikalnega napajalnika.

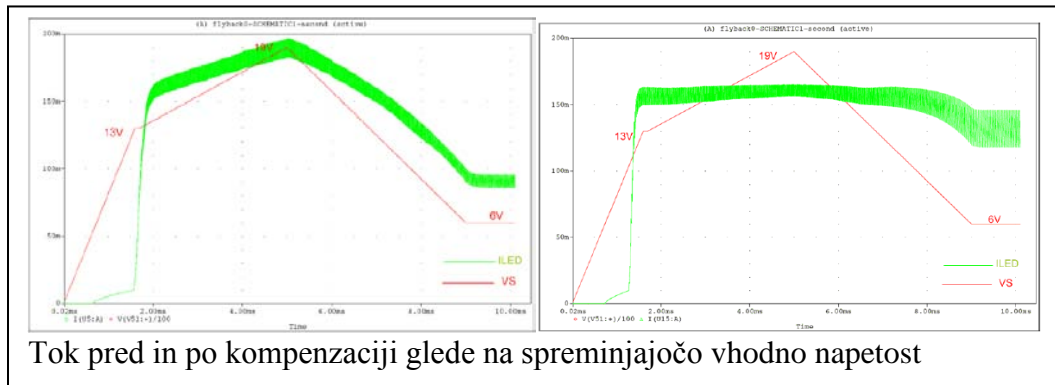
»Buck-Boost« topologija



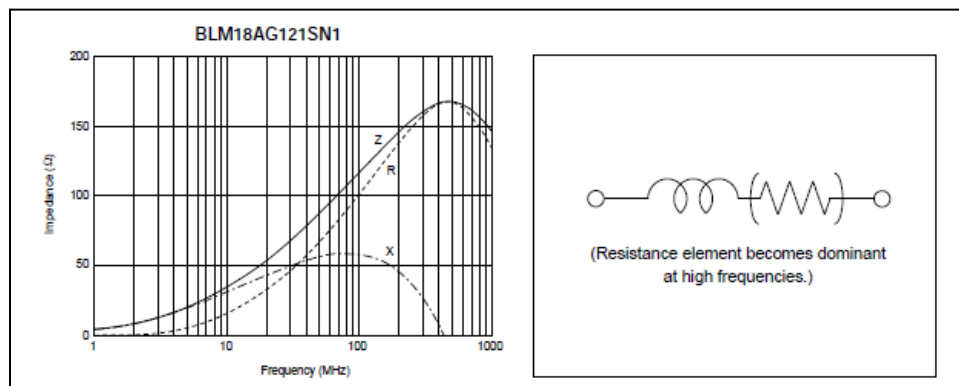
Opis sklopov vezja

1. Pri »buck-boost« topologiji napajalnika je tok skozi led diode večinoma odvisen od napajalne napetosti. Te odvisnosti pa se znebimo z dodanim tokovnim zrcalom. Za to sta uporabljena PNP komplementarna tranzistorja. Tok skozi prvi tranzistor določa upor 10 Kohm, drugi tranzistor pa isti tok vzpostavi med napajanjem in točko RS v sklopu 4. ki služi za dvig ničelne vrednosti napetosti na »shunt« upor. Kot primer proizvajalec integriranega vezja MLX10803 priporoča da z uporom IREF določimo napetost Rsense na 0,7V. Polovico te napetosti naj zagotavlja padec napetosti čez »shunt« upor, polovico pa padec napetosti na upor pred »shunt« uporom (feed forward compensation resistor). Ko se poveča napajalna napetost, bi se povečal tudi tok skozi LED diode. V tokovnem zrcalu pa se ob povečanju napetosti poveča tudi

tok, ki je vsiljen skozi »shunt« in kompenzacijski upor. Ta prirastek napetosti pa zmanjša Ton MOS tranzistorja in s tem preprečimo, da bi tok zrasel čez omejeno vrednost.



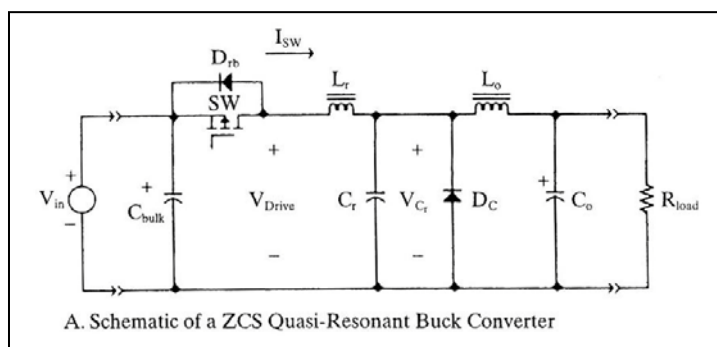
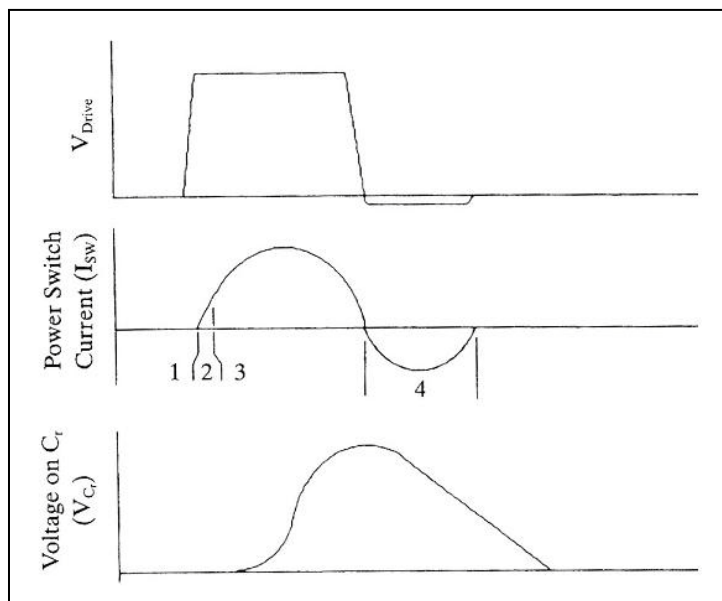
2. V tem sklopu sta dva večja kondenzatorja, ki poganjata tok skozi diode medtem ko se tuljava polni. Od velikosti kondenzatorjev je odvisno nihanje napetosti.
3. V primeru, da bi se prekinila povezava do porabnika, bi napetost na kondenzatorju neomejeno rasla in bi lahko prišlo do poškodb ali uničenja nekaterih elementov. Problem previsoke napetosti pa nem reši to vezje. Zener dioda ob previsoki napetosti postane prevodna in odpre tranzistor, ki pa referenčno napetost zveže na maso in izklopi izhod integriranega vezja. Za delno ugašanje integriranega vezja poskrbi tudi sklop 4, ki na Rsense poveča napetost čez 0,7 V. To pa privede do zoženja PWM signala.
4. Upora skupaj s sklopom 1. služita za kompenzacijo spreminjanja vhodne napetosti. Skupaj s sklopom 3. pa za ožjenje PWM krmilnega signala.
5. V tem sklopu pa se nahajata dušilna elementa visokih frekvenc. Impedanca elementa je frekvenčno odvisna in pri višjih frekvencah se močno poveča.



Ustreznost vezja

Vezje deluje, vendar ustvarja več elektromagnetnih motenj, kot »buck« pretvornik. S tem vezjem ustrezamo le CISPR25 4 class, kar pa ne ustreza avtomobilski industriji.

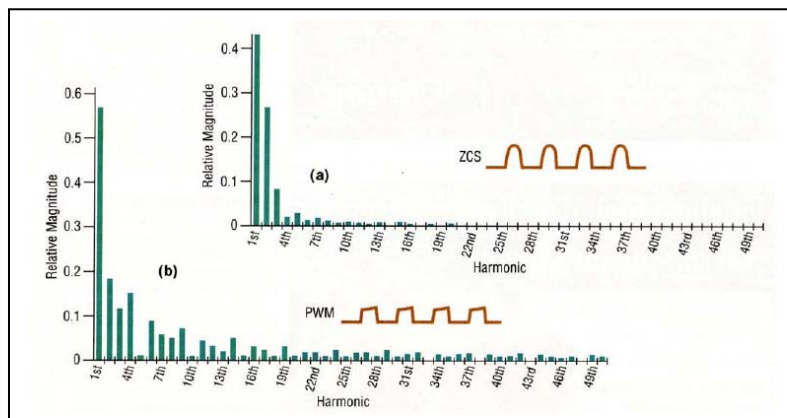
Navidezno resonančni pretvorniki



Pri tej vrsti pretvornikov s pomočjo tuljave in kondenzatorja pravokotne impulze MOS tranzistorja preoblikujemo v zaobljeno sinusnim valovom podobno obliko. Če pride do prekipov tranzistorja v pravem času pa nimamo nobenih izgub ob preklopu. Zaradi kontroliranega spreminjanja zvezne oblike napetosti in toka pa imamo tudi precej manj elektromagnetnih motenj. Večino standardnih topologij pa je možno pretvoriti v navidezno resonančno družino pretvornikov. To vrsto pretvornikov prepoznamo po dodatnem induktivno kapacitivnem vezju, ki je nameščen med tranzistorjem in izhodnim filtrom. Ločimo pa ponovno dve družini navidezno resonančnih pretvornikov. Prva deluje na principu ničelne napetosti, druga pa na principu ničelnega toka. Na vezju se razlika odraža v zamenjanem vrstnem redu tuljave in kondenzatorja, ki sta med tranzistorjem in izhodnim filtrom

Prednosti navidezno resonančnega pretvornika

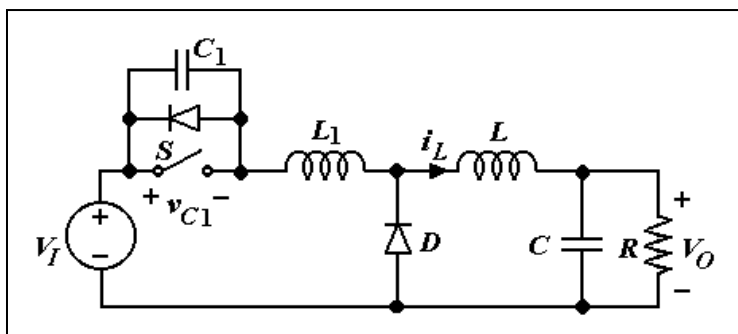
Z uporabo integriranega vezja MLX10803 v navidezno resonančnem pretvorniku, bi se



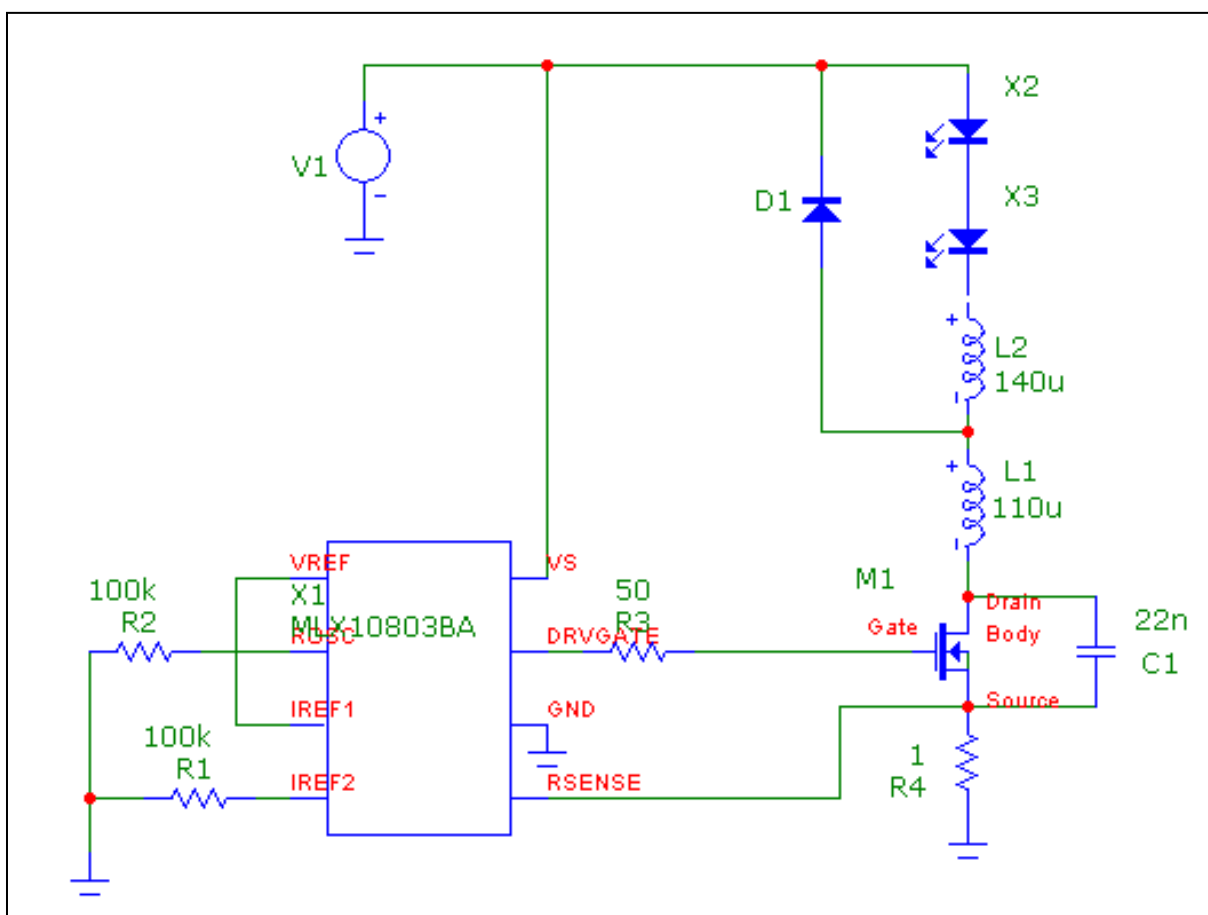
znebili večinoma vseh višje harmonskih komponent. Integrirano vezje najbolje deluje pri frekvenci 150 kHz. Iz spodnjega grafa je razvidno, da je zadnja prisotna 20. višje harmonska komponenta. Zadnja prisotna frekvenca je torej $20 \cdot 150 \text{ kHz} = 3 \text{ MHz}$. Za nižje frekvence pa bi bil še vedno potreben vhodni filter. Ker je možno tudi »buck-

boost« pretvornik nadgraditi v navidezno resonančni pretvornik predvidevam, da bi tako ustrezal CISPR25 5. razredu nizko šumnih električnih vezij.

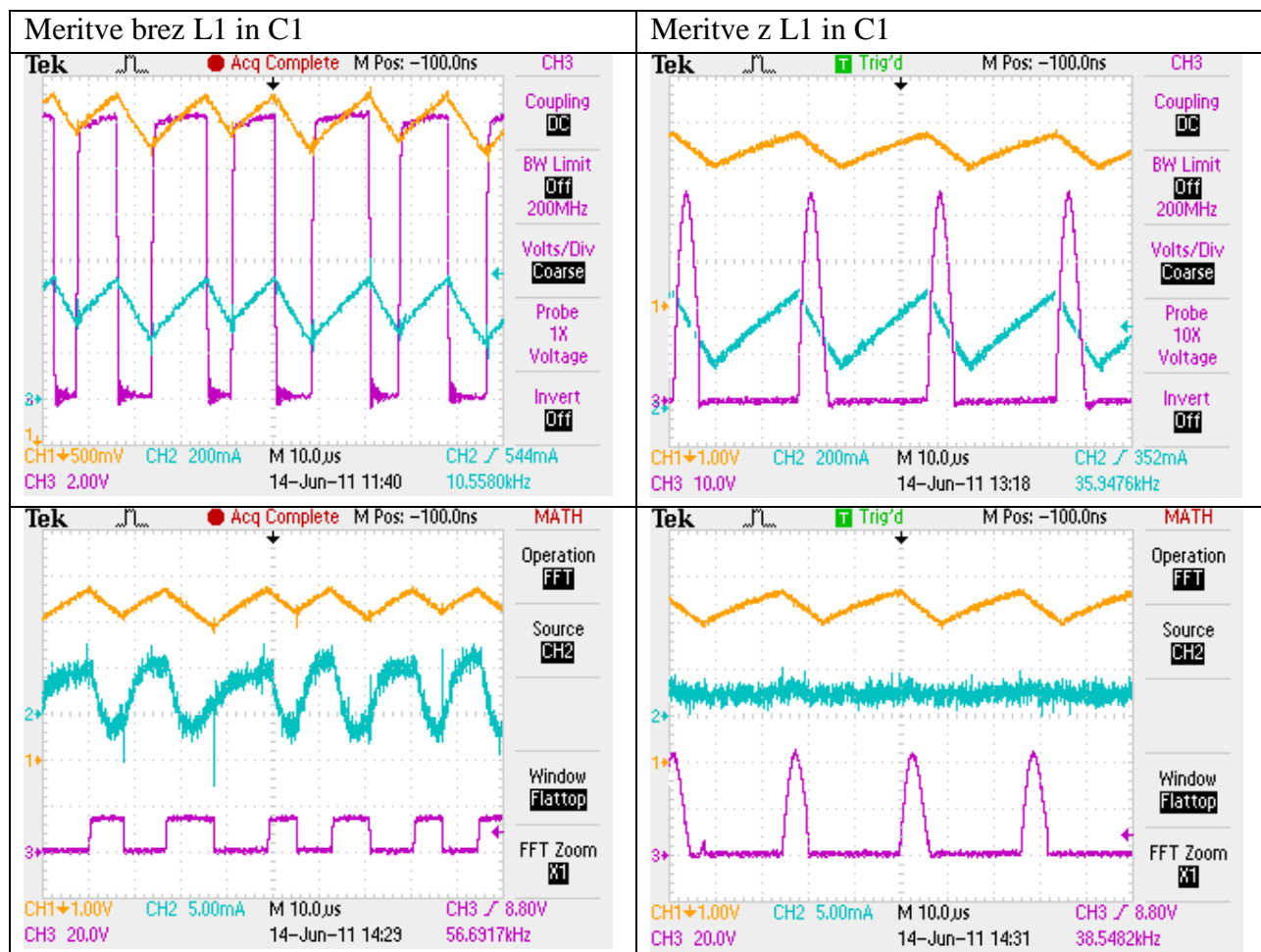
Realiziran navidezno resonančni »buck« pretvornik



V realiziranem stikalnem napajalniku je uporabljena topologija ničelne napetosti oziroma »ZVS QR topology«. V zgoraj opisano »buck« vezje sem dodal kondenzator vzporedno k mos tranzistorju tuljavo pa zaporedno med mos tranzistor in sklopom z diodo tuljavo in bremenom.



Meritve



	graf poteka napetosti na eni izmed diod
	na zgornjih dveh slikah prikazuje graf poteka toka skozi diode, na spodnjih dveh pa izmenično komponento toka na vhodu v vezje
	graf poteka napetosti na sponki ponora MOS tranzistorja

Zaključek

Integrirano vezje mlx10803 se je izkazalo kot zelo primerno vezje za uporabo v stikalnih napajalnikih s topologijo ničelne napetosti. Prednost integriranega vezja je, da nam Toff (čas ko je tranzistor izklopljen) ostaja ves čas nespremenjen ne glede na vhodno napetost in izhodni tok. Čas Toff pa lahko poljubno nastavljamo na sponki Rosc z različnimi vrednostmi upora, ki je vezan na maso. Konstanten Toff potrebujemo pri navidezno resonančni topologiji, da lahko pri vsakem preklopu ujamemo ničelno napetost na tranzistorju. Kot pa lahko vidimo iz zgornjih slik je integrirano vezje po dodanima L1 in C1 postalo bolj stabilno. Toff je vidno konstanten, medtem ko to na slikah brez L1 in C1 ni vidno.

Viri

http://cdn.vicorpower.com/documents/industry_articles/ia_62001_noisemgmt.pdf,
<http://www.melexis.com/Search.aspx?sFor=mlx10803>,

Marty Brown: Power supply cookbook *second edition*