

Izbor ulaznog aluminijumskog kondenzatora kod step-up regulatora pri nižim učestanostima

Dejan Barać, Zoran Prijjić, *Member, IEEE*

Sadržaj — U radu je opisan pristup za izbor ulaznog aluminijumskog kondenzatora kod standardnog prekidačkog step-up (boost) regulatora napona. Rezultati su verifikovani korišćenjem laboratorijskih prototipova sa komercijalnim integrisanim kolima MC34063 i LM3578, koja mogu da se konfiguriraju kao step-up regulatori napona. Za potrebe eksperimenta korišćeni su aluminijumski, tantalski i keramički kondenzatori.

Glavne reči — Boost, step-up regulator, talasnost ulaznog napona, ulazni kondenzator.

I. UVOD

REZULTATI koji će biti prikazani u radu nastali su tokom primene prekidačkih regulatora napona u aplikacijama koje su autori razvijali u okviru firme Ei Informatika poslednjih godina. Ideja za nastanak ovog rada proistekla je iz razloga što u literaturi [1]-[10] nije dovoljno tretiran problem izbora ulaznog kondenzatora kod *step-up* (boost) regulatora napona. Uvidom u aplikativnu literaturu (*datasheets*, *application notes*) renomiranih svetskih proizvođača integrisanih kola za prekidačke regulatore (*National Semiconductor*, *Linear Technology*, *On Semiconductor*, *Analog Devices*, *Micrel*, *Dallas Semiconductor*, *Texas Instruments*, *Microchip*, *Samsung*) izveden je zaključak kako – ni u jednoj slučajju nije predložen pristup niti izraz za proračun ulaznog kondenzatora *step-up* regulatora. Ovde je predložen jedan pristup i data formula koja treba da bude reper za određivanje ulaznog aluminijumskog kondenzatora. Pomenuta formula je izvedena na osnovu izraza i diskusija iz literature.

DC/DC pretvarači sa podizanjem napona (*step-up* ili *boost* regulatori napona) najčešće se koriste kada treba postići da odnos ulaznog prema izlaznom naponu maksimalno bude 1:5 [7]. Međutim, ima slučajeva kada taj odnos može da bude čak 1:50, ali su tada izlazne struje male, reda nekoliko miliampera – tako da ukupna izlazna snaga ne prelazi 1W [11]-[12].

U drugoj sekciji rada istaknut je značaj izbora ulaznog kondenzatora kod *step-up* regulatora napona, i predložen je izraz za njegovo izračunavanje. Treća sekcija sadrži praktične rezultate koji su dobijeni korišćenjem prototipa sa inte-

grisanim kolom LM3578 (*National Semiconductor*), čiji interni oscilator radi na niskim prekidačkim učestanostima (do 100KHz). Pomenuto integrisano kolo ima (eksternu) frekvencijsku kompenzaciju i dostupno je na našem tržištu – i to su bili osnovni razlozi za njegov izbor. Tokom eksperimenta je korišćen i *step-up* regulator sa integrisanim kolom MC34063, međutim – ovde nisu priloženi rezultati dobijeni tom prilikom zbog velikog broja dijagrama.

Od instrumentacije, korišćeni su izvor napajanja **Mastech 3005** i digitalni osciloskop **Tektronix 2102**.

Merenja su izvršena na sobnoj temperaturi.

II. IZBOR ULAZNOG KONDENZATORA

U literaturi [1]-[10] velika pažnja je posvećena proračunu izlaznog kondenzatora prekidačkih regulatora napona. Pored toga, može se sresti više pristupa za proračun ulaznog kondenzatora *step-down* (*buck*) regulatora napona, koji su se pokazali kao prilično dobri za praktične primene. Jedan od pristupa je predložen u [14]. Međutim, nije isti slučaj kada je u pitanju *step-up* regulator napona.

Glavna uloga ulaznog kondenzatora C_{in} kod *step-up* regulatora je akumulacija energije u ulaznoj petlji [5]. Uz to, kondenzator C_{in} treba da filtrira smetnje sa ulazne linije. Izbor preterano velike vrednosti ulaznog kondenzatora (reda nekoliko stotina μF) kod *step-up* regulatora će značajno umanjiti talasnost (*ripple*) ulaznog napona. Međutim, u tom slučaju će struja punjenja kondenzatora imati veliki pik prilikom uključivanja, što nije poželjno. Isto tako, mala vrednost ulaznog kondenzatora uzrokuje veliku talasnost ulaznog napona, što može da izazove nestabilnost u radu integrisanog kola (koje se spoljašnjim elementima i vezama konfiguriraju kao *step-up* regulator napona). Ukoliko ulazni kondenzator ima relativno veliku rednu otpornost, veće impulsne struje uzrokovane njegovom zagrevanje i samim tim skraćenje životnog veka [5].

Ako se na ulaz *step-up* regulatora postavi aluminijumski kondenzator, prilikom računa treba uzeti u obzir i njegovu serijsku otpornost. Kada su u pitanju niže prekidačke učestanosti (f_{sw}), može da se zanemari uticaj induktivne komponente kondenzatora na talasnost (odnos naizmenične i jednosmerne komponente) napona. U [14] je dat opšti izraz za “amplitudu” naizmenične komponente ulaznog napona (*peak-to-peak ripple voltage*) bilo kojeg prekidačkog regulatora napona kao:

Dejan Barać, Ei Informatika, Bulevar Svetog cara Konstantina 80-84, 18000 Niš, Srbija (telefon: 381-64-2575349; faks: 381-18-534840; e-mail: dejanbarac@eierc.com).

Zoran Prijjić, Elektronski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija; (e-mail: prija@ptt.yu).

$$\Delta V_{in}^{p-p} = ESRC_{in} \cdot I_{Cin}^{p-p} + \frac{I_{Cin}^{p-p} \cdot t_{on}}{C_{in}} \quad (1)$$

, gde su:

C_{in} - kapacitivnost ulaznog kondenzatora,

$ESRC_{in}$ - serijska otpornost ulaznog kondenzatora,

t_{on} - vreme rada prekidačkog BJT u toku periode,

I_{Cin}^{p-p} - "amplituda" naizmenične komponente struje kroz ulazni kondenzator (*peak-to-peak ripple current*).

Na osnovu izraza (1) i diskusije u [12]-[15] možemo napisati izraz za "amplitudu" naizmenične komponente ulaznog napona kod *step-up* regulatora u slučaju aluminijumskog kondenzatora, pri maksimalnom opterećenju:

$$\Delta V_{in}^{p-p} = \left(ESRC_{in} + \frac{D}{f_{sw} C_{in}} \right) \frac{I_{out}}{1-D} \sqrt{\frac{D}{12} + D(1-D)^3} \quad (2)$$

, pri čemu su:

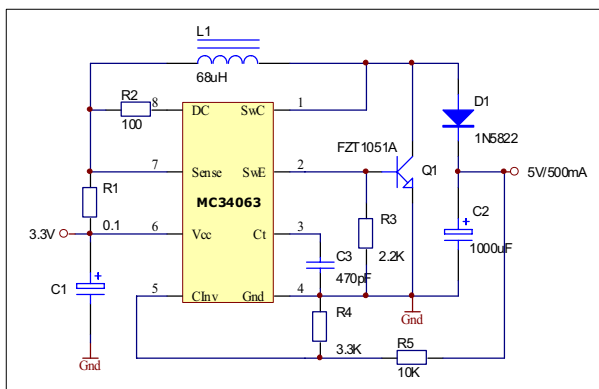
I_{out} - izlazna struja *step-up* regulatora napona,

D - faktor iskorišćenja periode (*duty cycle*) *step-up* regulatora napona izražen u procentima.

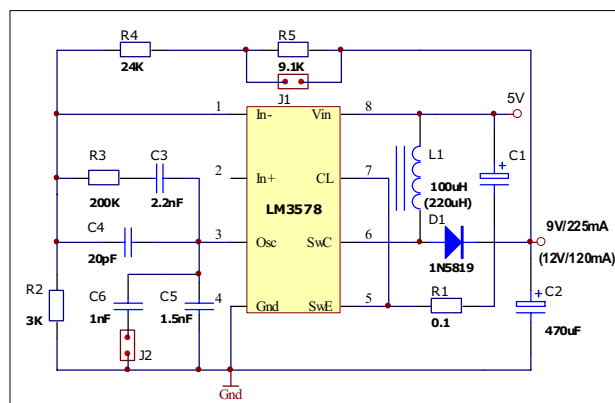
III. EKSPERIMENT

Korišćena su dva prototipa – sa integrisanim kolima MC34063 (*On Semiconductor*) i LM3578 (*National Semiconductor*). Prototip sa kolom starije generacije MC34063 i eksternim tranzistorom FZT949 je testiran na učestanosti od 48KHz pri izlaznoj snazi 5V/500mA (Sl. 1), dok je prototip sa kolom LM3578 testiran pri različitim izlaznim snagama (9V/225mA i 12V/120mA) pri dve vrednosti učestanosti – 32KHz i 52KHz (Sl. 2). Ovde će, međutim, zbog velikog broja dijagrama, biti prikazani samo rezultati dobijeni sa drugim prototipom, pri učestanosti od 52KHz.

Step-up regulator napona realizovan sa integrisanim kolom LM3578 prikazan je na Sl. 1. Otpornikom R_3 i kondenzatorima C_3 i C_4 ostvaruje se eksterna kompenzacija. Sa džamperom (*jumper*) J1 je biran izlazni napon (9V ili 12V), dok je preko džampera J2 definisana prekidačka učestanost (32KHz ili 52KHz). U svim slučajevima vrednost ulaznog napona je iznosila 5V.



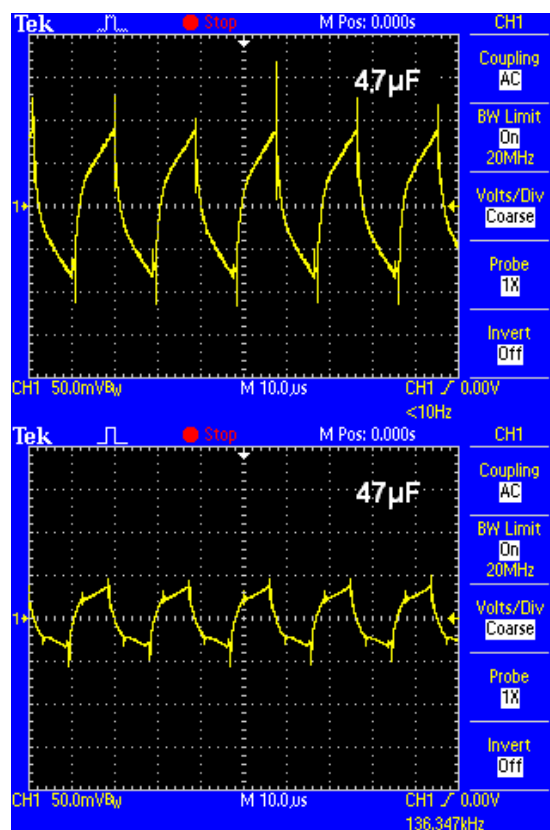
Sl. 1. *Step-up* regulator realizovan sa kolom MC34063



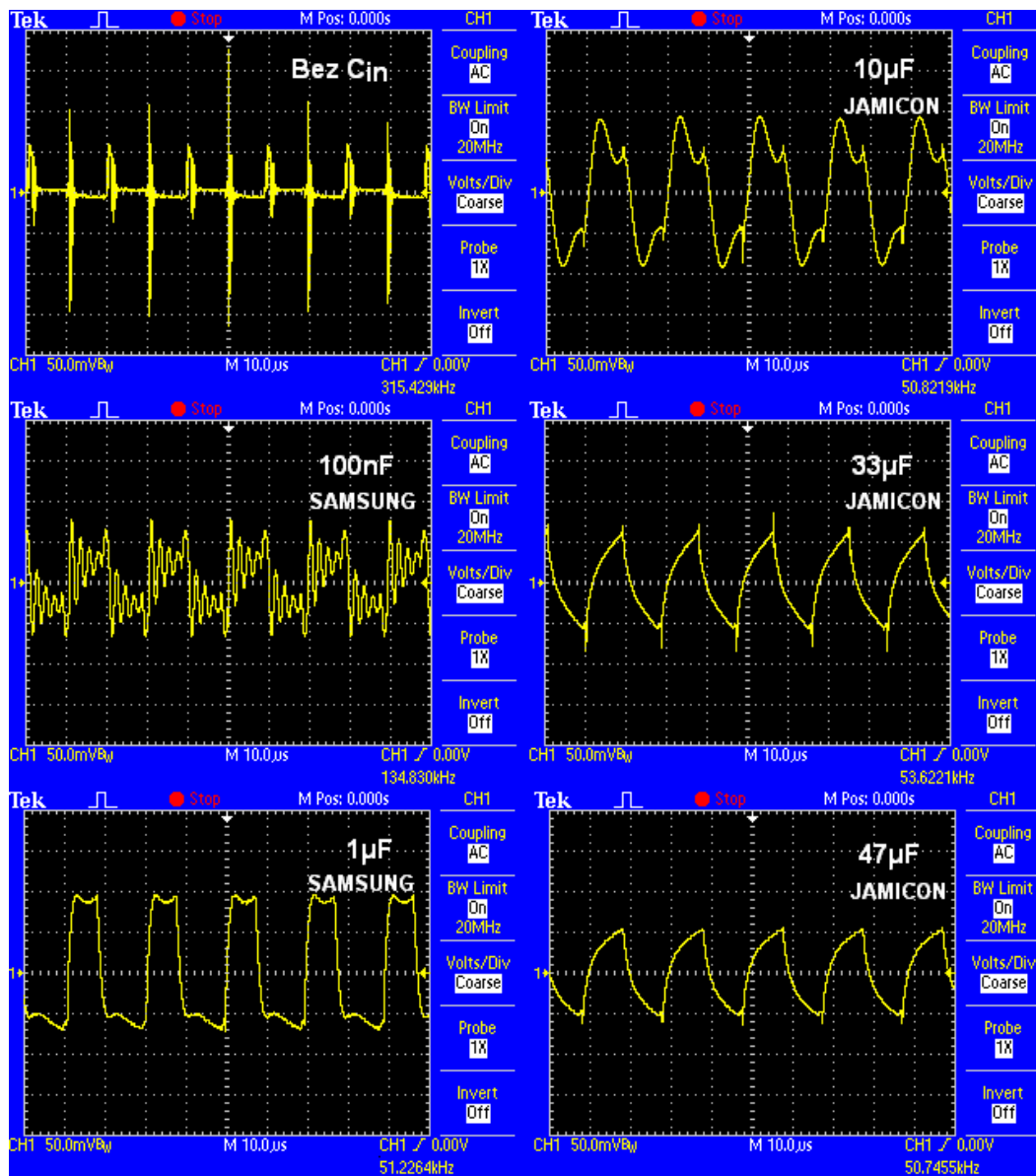
Sl. 2. *Step-up* regulator realizovan sa kolom LM3578

Usvojen je kriterijum da talasnost ulaznog napona (*peak-to-peak ripple voltage*) iznosi oko 2% od vrednosti jednosmerne komponente napona. Postavljeni kriterijum nije preterano strog, s obzirom da se radi o malim izlaznim snagama (do 2,5W).

Poštujući postavljeni kriterijum i imajući u vidu izraz (1) najpre su kao ulazni kondenzatori izabrani tantalski kondenzatori nepoznatog proizvođača. U nedostatku drugih, korišćeni su kataloški podaci dobavljača [16]. Rezultati dobijeni sa dve vrednosti tantalskih kondenzatora prikazani su na Sl. 3. Uočljiva je relativno velika talasnost i pojava većeg broja pikova ulaznog napona pri izboru tantalskog kondenzatora od 4.7µF. U slučaju kada se kao ulazni izabere tantalski kondenzator od 47µF, smanjena je talasnost napona na prihvatljivu vrednost (manje od 2%), ali postoji prisustvo periodičnih pikova učestanosti od približno 136KHz.



Sl. 3. Naizmenična komponenta ulaznog napona u slučaju izbora tantalskih kondenzatora (52KHz, 9V/220mA)



Sl. 4. Naizmjenična komponenta ulaznog napona pri različitim vrednostima ulaznog kondenzatora (52KHz, 9V/220mA)

Na Sl. 4 prikazane su naizmjenične komponente ulaznog napona kada su kao ulazni korišćeni keramički kondenzatori (100nF i 1µF X7R) proizvođača *Samsung* [17] i aluminijumski elektrolitski kondenzatori (10µF, 33µF, 47µF, 220µF) proizvođača *Jamicon* [18]. Merenjem je utvrđeno kako pri prekidačkoj učestanosti od 52KHz za oba slučaja (9V/225mA, 12V/120mA) treba izabrati standardni aluminijumski elektrolitski kondenzator vrednosti 47µF proizvođača *Jamicon*. Ovakvim izborom postižu se izuzetno dobra slaganja izmerenih vrednosti naizmjenične komponente ulaznog napona (86-108 mV) sa vrednostima dobijenim korišćenjem izraza (2).

IV. ZAKLJUČAK

Pri nižim prekidačkim učestanostima, izbor aluminijumskog elektrolitskog kondenzatora kao ulaznog u *step-up* regulatoru napona je ekonomski opravdan. Iz tog razloga je u radu predložen jednostavan izraz za procenu naizmjenične komponente ulaznog napona, na osnovu kojeg

treba izabrati pomenuti kondenzator. Rezultati dobijeni tokom eksperimenta odgovarali su očekivanim u slučaju izbora kondenzatora poznatijih proizvođača, s obzirom da su se njihove specifikacije pokazale kao pouzdane. U slučajevima kada su korišćeni kondenzatori manje poznatih proizvođača, odstupanja su bila daleko veća od očekivanih. Primera radi, tokom merenja *Samsung*-ov keramički kondenzator 1µF X7R pokazao je daleko bolje karakteristike od keramičkog kondenzatora 10µF Y5V nepoznatog proizvođača. Zanimljivo je da su *Jamicon*-ovi aluminijumski elektrolitski kondenzatori pokazali bolje karakteristike od ekvivalentnih *Fujicon*-ovih [19] kondenzatora.

Prilikom projektovanja treba voditi računa da se vrednosti elemenata *step-up* regulatora napona izaberu prema preporukama proizvođača integrisanih kola MC34063 i LM3578 [12]-[13], kako ne bi došlo do nestabilnosti u radu, promene faktora iskorišćenja periode i/ili prekidačke učestanosti. Ulazni kondenzator u kolu treba da bude takva da on bude u neposrednoj okolini (5-8 mm) pina za napajanje integrisanog kola.

LITERATURA

- [1] K. H. Billings, "SwitchMode Power Supply Handbook," McGraw-Hill, 1989.
- [2] M. Brown, "Practical Switching Power Supply Design," Motorola, 1990.
- [3] R. W. Erickson, "Fundamentals of Power Electronics," first edition, New York: Chapman and Hall, 1997.
- [4] A. Pressman, "Switching Power Supply Design," second edition, McGraw-Hill, 1998.
- [5] M. Brown, "Power Supply Cookbook," second edition, Newnes, 2002.
- [6] F. L. Luo, H. Ye "Advanced DC-DC converters," CRC Press, 2004.
- [7] B. Dokić, "Energetska elektronika – pretvarači i regulatori," Banja Luka: Banja Luka Company, 2000.
- [8] *Understanding Boost Power Stages in Switchmode Power Supplies*, Application Reports, Texas Instruments, 1999.
- [9] *Linear & Switching Voltage Regulator Handbook*, ON Semiconductor, HB206/D, Rev. 4, February 2002.
- [10] *SwitchMode Power Supply Reference Manual*, ON Semiconductor, SMPSRM/D, <http://www.onsemi.com>, Rev. 3, July 2002
- [11] *Switching regulator*, Elektor, April 1999.
- [12] J. Alberkrack, "Theory and Applications of the MC34063 and μ A78S40 Switching Regulator Control Circuits," ON Semiconductor, <http://www.onsemi.com>, Application Note AN920-D, Rev. 3, 2002.
- [13] LM1578A/LM2578A/LM3578A Switching regulator, National Semiconductor, April 1998.
- [14] B.Lynch, K.Hesse, "Under the Hood of Low-Voltage DC/DC Converters", Texas Instruments Incorporated <http://ti.com>, 2003.
- [15] *MC3371 and MC33702 Components Selection Guidelines*, Freescale Semiconductor Inc, Application Note, Rev. 0, 2004.
- [16] Comet Electronics, <http://www.comet.bg>
- [17] Ceramic Capacitors, Samsung, <http://www.samsung.com>
- [18] Electrolytic Capacitors, Jamicon, <http://www.jamicon.com>
- [19] Electrolytic Capacitors, Fujicon, <http://www.fujicon.com>

ABSTRACT

This paper describes an approach to selecting input aluminium capacitors in step-up converters for low frequencies. Design considerations and calculations are presented. Results are verified in practice, using laboratory prototypes with ICs LM3578 and MC34063. Capacitor types used in prototypes are aluminium electrolytic, tantalum and ceramic.

INPUT ALUMINUM CAPACITOR SELECTION IN STEP-UP REGULATOR FOR LOW FREQUENCIES

Dejan Barac, Zoran Prijic