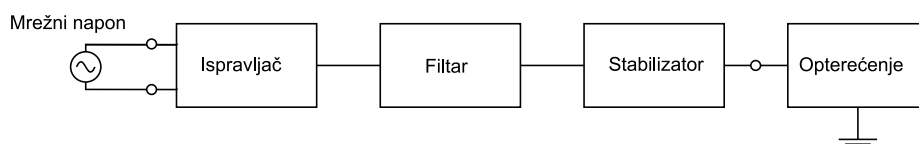


Glava 1

Izvori jednosmernog napona

Izvori jednosmernog napona predstavljaju neophodni deo svakog elektronskog uređaja. Kvalitet jednosmernog napajanja je od suštinskog značaja za pouzdan rad uređaja. Zadatak izvora napajanja je da naizmenični napon iz mreže pretvori u jednosmerni, svodeći pri tome njegovu amplitudu na željeni nivo, kao i da takav jednosmerni napon učini dovoljno stabilnim u smislu imunosti na varijacije mrežnog napona i šumove. Pored toga, savremeni izvori napajanja omogućavaju i regulaciju izlaznog jednosmernog napona, odnosno podešavanje njegove amplitude, smanjenje osetljivosti na promenu temperature, kao i dodatno filtriranje. To znači da se, kao osnovni blokovi izvora napajanja, mogu razlikovati ispravljač, filter i stabilizator napona. Takođe, izvor napajanja mora da obezbedi električnu izolaciju između ulaza i izlaza, kao i zaštitu od preopterećenja. Blok šema izvora napajanja prikazana je na sl. 1.1.



Slika 1.1: Blok šema izvora jednosmernog napona.

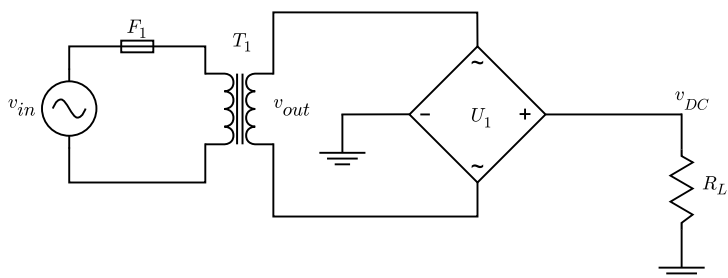
Prema konstrukciji i načinu rada izvori napajanja se mogu podeliti u dve glavne grupe:

1. linearni;
2. prekidački (engl. *switch*).

Obe grupe izvora se danas mogu naći u širokoj komercijalnoj upotrebi i pripadaju klasi AC/DC izvora. Pored toga, u izvore napajanja se svrstava i klasa DC/AC pretvarača, čiji opis prevazilazi okvire ovog teksta [1].

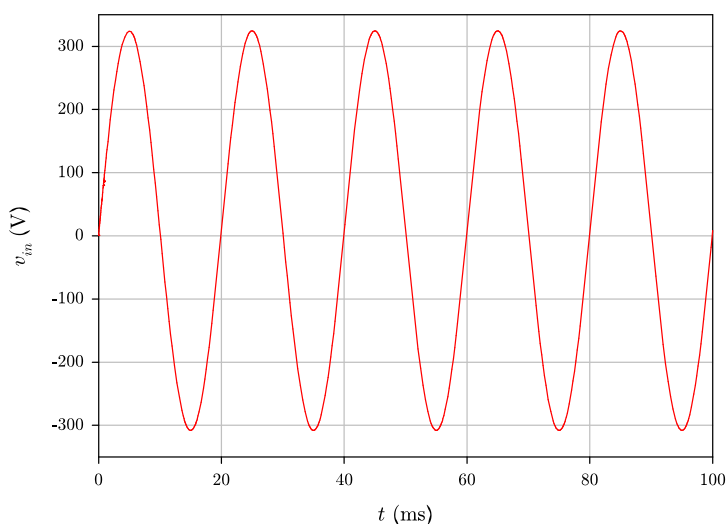
1.1 Linearni izvori napajanja

Kod linearnih izvora napajanja se, u opštem slučaju, ulazni napon vrednosti V_{IN} transformiše u izlazni napon vrednosti V_{OUT} na principu promenljive provodnosti komponente koja se nalazi između ulaza i izlaza, pri čemu je $V_{OUT} < V_{IN}$. Ako je izlazna struja I_{OUT} , onda je snaga koja se disipira na takvoj komponenti $(V_{IN} - V_{OUT})I_{OUT}$. Izvori napajanja koji se najčešće sreću u praksi transformišu naizmenični napon iz gradske mreže u stabilisani jednosmerni napon određene vrednosti. Osnovna karakteristika ovih izvora napajanja je prisustvo mrežnog transformatora u ispravljačkom bloku, kao što je ilustrovano na sl. 1.2. Na ulaz se dovodi mrežni



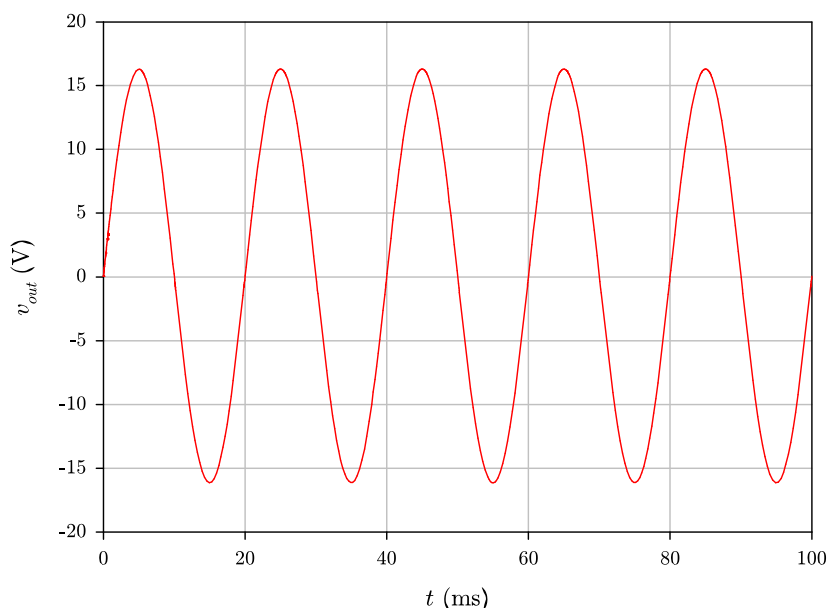
Slika 1.2: Ispravljački blok linearnog izvora napajanja.

napon v_{in} učestanosti 50Hz i nominalne amplitude 230V (tako da je vršna vrednost $\approx 325V$), čiji je talasni oblik prikazan na sl. 1.3. Mrežni tran-



Slika 1.3: Talasni oblik ulaznog mrežnog napona v_{in} .

sformator T_1 je u ovom primeru izabran tako da ima odnos transformacije $n = v_{out}/v_{in} = 0,05$, pa se na njegovom sekundaru pojavljuje naizmenični napon v_{out} vršne vrednosti $\approx 16V$, čiji je talasni oblik prikazan na sl. 1.4. Pravilan izbor mrežnog transformatora veoma utiče na karakteristike iz-



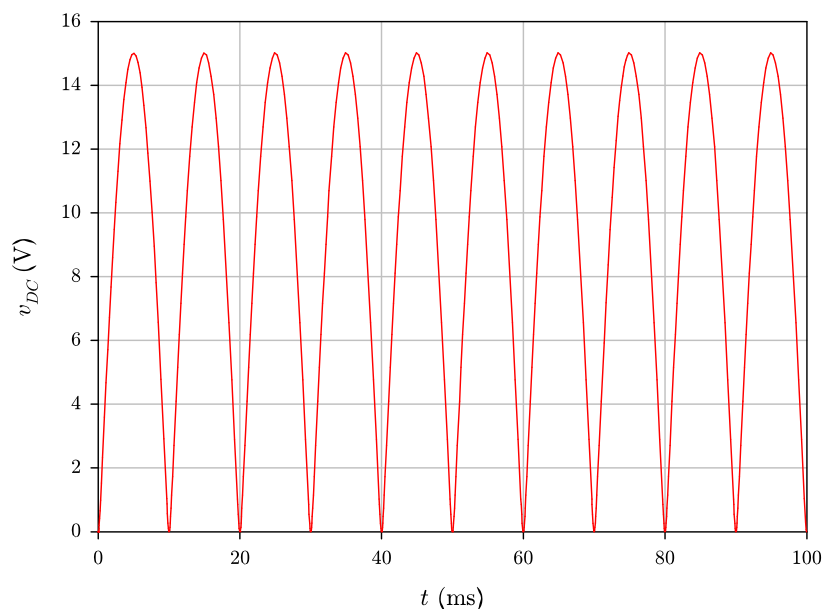
Slika 1.4: Talasni oblik napona na sekundaru v_{out} .

vora napajanja. Proračun transformatora je složen postupak i detaljno je opisan u [2]. Ovde treba napomenuti da se na tržištu nalazi veliki broj komercijalno raspoloživih mrežnih transformatora i da je pri izboru, pored odnosa transformacije, potrebno obratiti posebnu pažnju na maksimalno opterećenje. U kolu primara nalazi se osigurač F_1 . Osigurač se bira na osnovu izraza za struju u primaru $I_{pri} = nI_{sec}$, pri čemu je I_{sec} struja u sekundaru pri maksimalnom opterećenju.

Transformisani napon v_{out} se sa sekundara dovodi na integrisani ispravljač U_1 . Ispravljanje naizmeničnog napona se može izvesti na više načina, ali je u praksi najzastupljenije dvostrano ispravljanje pomoću Grecovog spoja¹. Grecov spoj se može realizovati u diskretnoj tehnici pomoću četiri diode, ali se danas primenjuje integrisana varijanta u kojoj su sve diode na jednom čipu, tako da je i pakovanje pogodno za površinsku montažu na štampanu ploču [3]. Talasni oblik ispravljenog naizmeničnog napona v_{DC} koji se pojavljuje na opterećenju koje predstavlja otpornik R_L prikazan je

¹U anglosaksonskoj literaturi se dvostrani ispravljač naziva *full wave rectifier*, a Grecov spoj *bridge rectifier*.

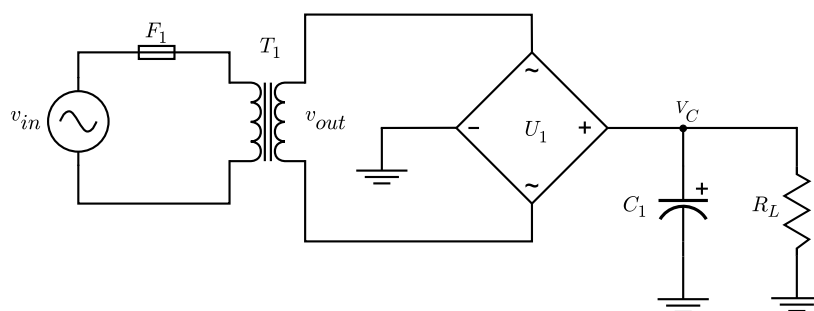
na sl. 1.5. Amplituda napona v_{DC} je umanjena za dvostruku vrednost pada



Slika 1.5: Talasni oblik ispravljenog naizmjeničnog napona v_{DC} .

napona na diodama Greccovog spoja u odnosu na vršnu vrednost napona v_{out} .

Oblik napona v_{DC} nije pogodan za praktičnu upotrebu, pa se zbog toga uvodi filtarski blok koji se u najprostijem slučaju sastoji od jednog elektrolitskog kondenzatora C_1 , kao što je prikazano na sl. 1.6. Kada se izvor

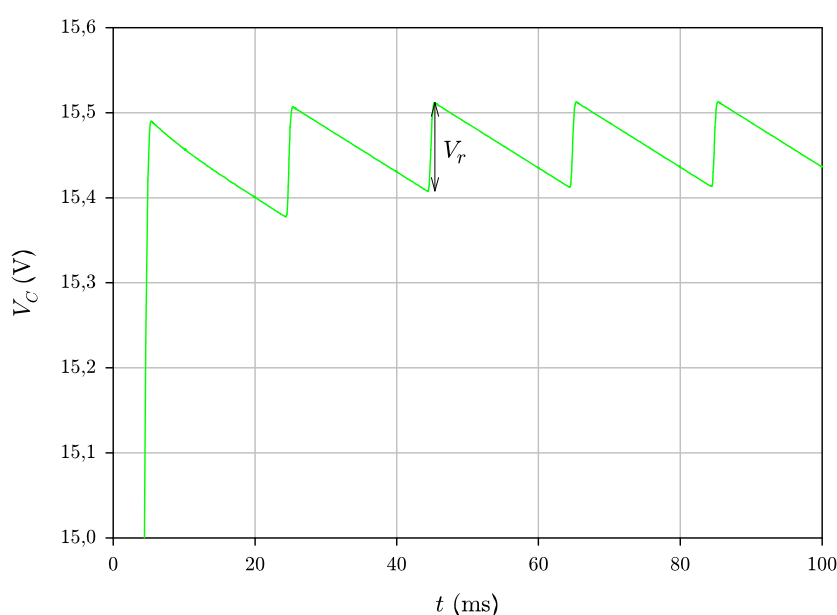


Slika 1.6: Filtriranje ispravljenog naizmjeničnog napona.

napajanja uključi i pojavi napon v_{DC} , na izlazu ispravljača kondenzator se brzo napuni preko relativno male otpornosti ispravljača. Punjenje kondenzatora traje sve dok napon v_{DC} ne dostigne maksimalnu vrednost. Kada napon v_{DC} počne da opada, kondenzator počinje da se prazni preko re-

lativno velike otpornosti opterećenja. Ako je kapacitivnost kondenzatora dovoljno velika, proces pražnjenja će biti prekinut u trenutku kada napon v_{DC} ponovo bude počeo da raste. Kondenzator će se ponovo napuniti dok napon v_{DC} raste, a zatim početi da prazni, te se ovaj proces ciklično ponavlja. Tipična vrednost kapacitivnosti kondenzatora koja se koristi je $1000\mu\text{F}$, a mogu se upotrebiti i druge, pri čemu treba obratiti pažnju da probojni napon kondenzatora mora biti veći od vršne vrednosti napona v_{DC} .

Idealizovani talasni oblik napona V_C koji se pojavljuje na kondenzatoru C_1 prikazan je na sl. 1.7. Sa ove slike se može uočiti da vrednost napona V_C

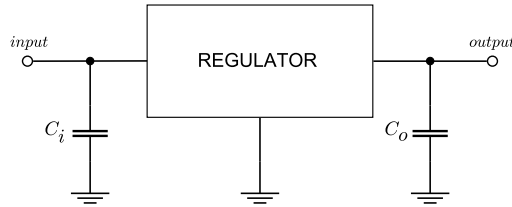


Slika 1.7: Idealizovani talasni oblik napona na filtarskom kondenzatoru.

periodično varira, što je posledica opisanog cikličnog punjenja i pražnjenja kondenzatora. Amplituda varijacije je označena sa V_r i naziva se *ripple voltage*. Ova neželjena pojava se može ublažiti povećanjem vrednosti kapacitivnosti kondenzatora C_1 ili vezivanjem više kondenzatora u paralelnu vezu. Međutim, to nije praktično sa stanovišta dimenzija izvora jer kondenzatori većih kapacitivnosti imaju i veće gabarite.

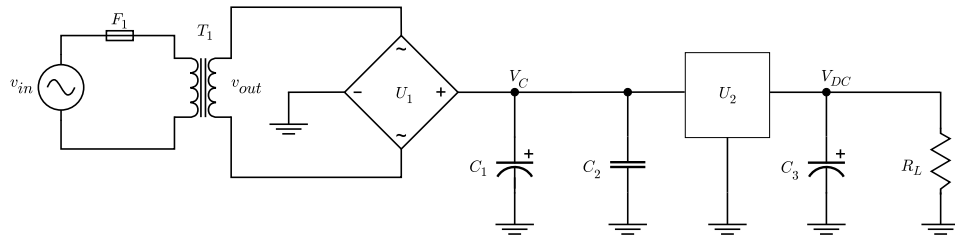
Značajan nedostatak izvora napajanja sa sl. 1.6 ogleda se u osetljivosti na promene amplitude mrežnog napona v_{in} . Zbog linearnosti kola, svaka promena amplitude napona v_{in} proporcionalno će se odraziti i na vrednost napona V_C . Zbog toga se za dodatnu stabilizaciju jednosmernog napona koriste linearni stabilizatori napona. To su integrisana kola koja omogućavaju da vrednost izlaznog napona bude nezavisna od varijacija ulaznog napona, opterećenja i temperature (videti npr. [4], [5]). Tipična konfigu-

racija stabilizatora² sa fiksnim izlaznim naponom prikazana je na sl. 1.8. Kondenzator C_i predstavlja paralelnu vezu filtarskog kondenzatora i kon-



Slika 1.8: Konfiguracija linearnog stabilizatora napona.

denzatora manje vrednosti (tipično $1\mu\text{F}$), čija je uloga da spreči eventualnu pojavu oscilacija u kolu, posebno ako filtarski kondenzator nije lociran blizu integrisanog kola stabilizatora. Kondenzator C_o ima ulogu dodatnog filtriranja, u smislu poboljšanja odziva stabilizatora u prelaznim režimima, a tipične vrednosti su u opsegu $(0,1-10)\mu\text{F}$. Izvor napajanja sa naponskim regulatorom U_2 prikazan je na sl. 1.9. Kvalitet stabilizacije izlaznog napona



Slika 1.9: Izvor napajanja sa stabilizatorom napona.

se opisuje parametrom koji se naziva faktor stabilizacije napona (*line regulation*). Ovaj parametar opisuje koliko se menja izlazni napon $V_{OUT} \equiv V_{DC}$ u odnosu na datu promenu ulaznog napona $V_{IN} \equiv V_C$:

$$\text{faktor stabilizacije napona} = \left(\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}} \right) \cdot 100\% \quad (1.1)$$

Kada je u pitanju osetljivost regulatora na promenu opterećenja, razlikuju se dve granične vrednosti izlaznog napona:

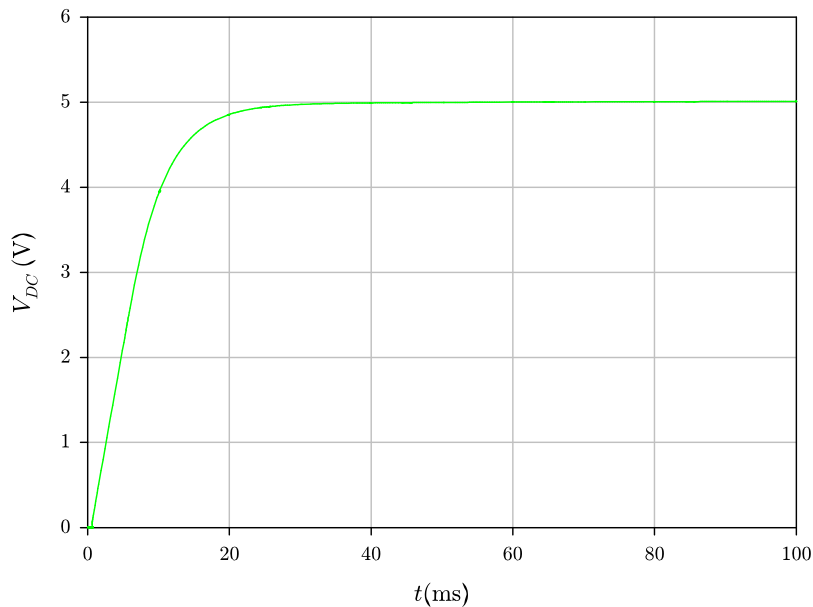
- kada regulator nije opterećen (*no load*) $V_{OUT} \equiv V_{NL}$,
- kada je regulator maksimalno opterećen (*full load*) $V_{OUT} \equiv V_{FL}$

Na osnovu ovoga se definiše parametar koji se naziva faktor regulacije opterećenja (*load regulation*):

$$\text{faktor regulacije opterećenja} = \left(\frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \right) \cdot 100\% \quad (1.2)$$

²U anglosaksonskoj literaturi se stabilizatori napona nazivaju *voltage regulators*.

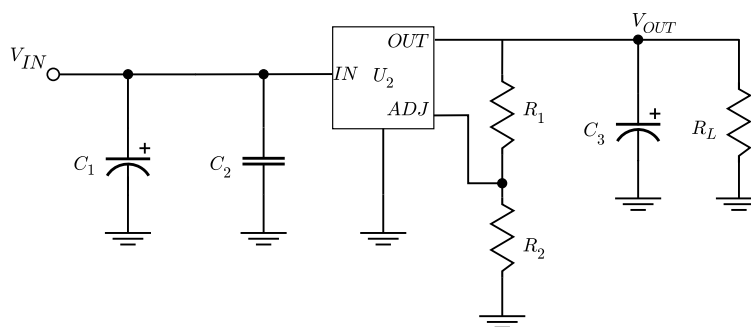
Stabilisani izlazni napon V_{DC} u kolu sa sl. 1.9 prikazan je na sl. 1.10. Jasno



Slika 1.10: Stabilisani izlazni napon V_{DC} u kolu sa sl. 1.9.

je da se upotrebom stabilizatora napona eliminiše i *ripple* efekat.

Stabilizatori napona postoje i u varijantama koje omogućavaju podešavanje vrednosti izlaznog napona. Takvi stabilizatori tipično imaju jedan dodatni izlaz *ADJ* (*adjustable*) preko koga se formira naponski razdelnik, kao na sl. 1.11. Stabilizator je projektovan tako tako da se između izlaza



Slika 1.11: Stabilizator sa promenljivim izlaznim naponom.

OUT i *ADJ*, odnosno na otporniku R_1 , uvek pojavljuje referentni napon

V_{REF} . Izlazni napon je određen relacijom:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (1.3)$$

Tipična vrednost napona V_{REF} je 1,25V. Pogodnim izborom vrednosti otpornika R_1 i R_2 mogu se dobiti različite vrednosti izlaznog napona. Otpornik R_2 može biti i promenljive otpornosti (potenciometar), tako da se dobija izvor kod koga je vrednost izlaznog napona moguće menjati u određenim granicama.

Treba napomenuti da postoje i stabilizatori koji daju negativan napon.

Osnovne karakteristike linearnih izvora napajanja date su u tab. 1.1. Vreme održanja se definiše kao vreme za koje je izvor u mogućnosti da odr-

Parametar	Vrednost	Jedinica
faktor stabilizacije napona	0,02–0,05	%
faktor regulacije opterećenja	0,02–0,1	%
Ripple	0,5–2	mV RMS
Opseg ulaznog napona	± 10	%
Efikasnost	40–55	%
Vreme održanja	2	ms
Vreme oporavka	50	μs

Tabela 1.1: Osnovne karakteristike linearnih izvora napajanja.

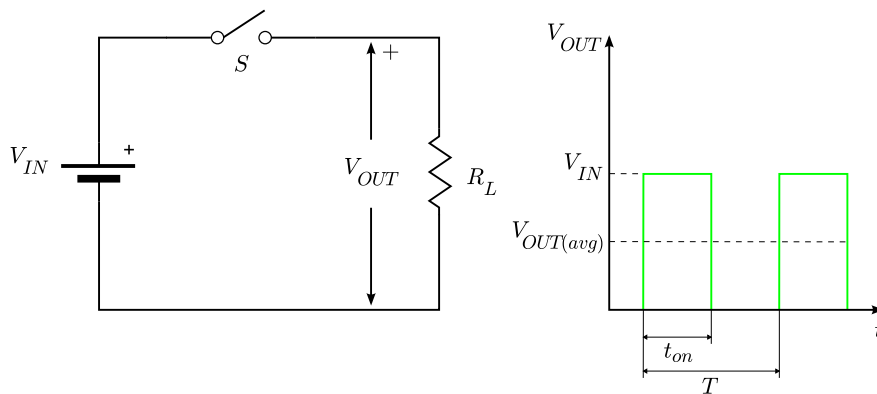
žava izlazni napon po prekidu ulaznog napona. Vreme oporavka predstavlja vreme za koje izvor uspostavlja stabilan izlazni napon nakon skokovite promene ulaznog napona ili struje opterećenja.

1.2 Prekidački izvori napajanja

Prekidački izvori napajanja su prevashodno nastali iz potrebe da se smanje gabariti izvora kod uređaja veće snage. Osnovni princip rada ilustrovan je na sl. 1.12. U ovom kolu se prekidač otvara i zatvara tako da je t_{on} vreme tokom koga je prekidač zatvoren, a $t_{off} = T - t_{on}$ vreme tokom koga je prekidač otvoren. Na otporniku R_L koji predstavlja opterećenje se sve vreme pojavljuje srednja (average) vrednost napona:

$$V_{OUT(avg)} \simeq \frac{t_{on}}{T} V_{IN} \quad (1.4)$$

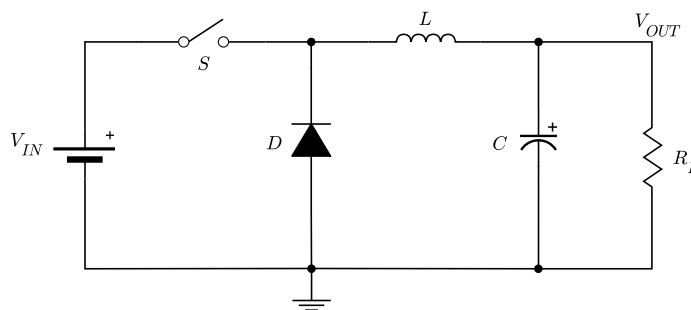
Promenom vrednosti t_{on} menja se i vrednost $V_{OUT(avg)}$. Ova tehnika se naziva modulacija širine impulsa PWM (*Pulse Width Modulation*).



Slika 1.12: Princip rada prekidačkog izvora napajanja.

1.2.1 Prekidački spuštač napona

Da bi se princip sa sl. 1.12 pretvorio u praktičnu realizaciju potrebno je u kolo uvesti komponentu koja će akumulirati energiju izvora V_{IN} tokom perioda kada je prekidač zatvoren i prenositi je opterećenju tokom perioda kada je prekidač otvoren. Takva komponenta je očigledno kalem³, pa se osnovna konstrukcija izvora napajanja može realizovati na način kao što je prikazano na sl. 1.13. Ova konfiguracija se naziva step-down ili *buck* konvertor ili čoper spuštač napona. Kada je prekidač zatvoren, kroz kalem



Slika 1.13: Prekidački spuštač napona.

protiče struja koja se menja u vremenu:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{L}. \quad (1.5)$$

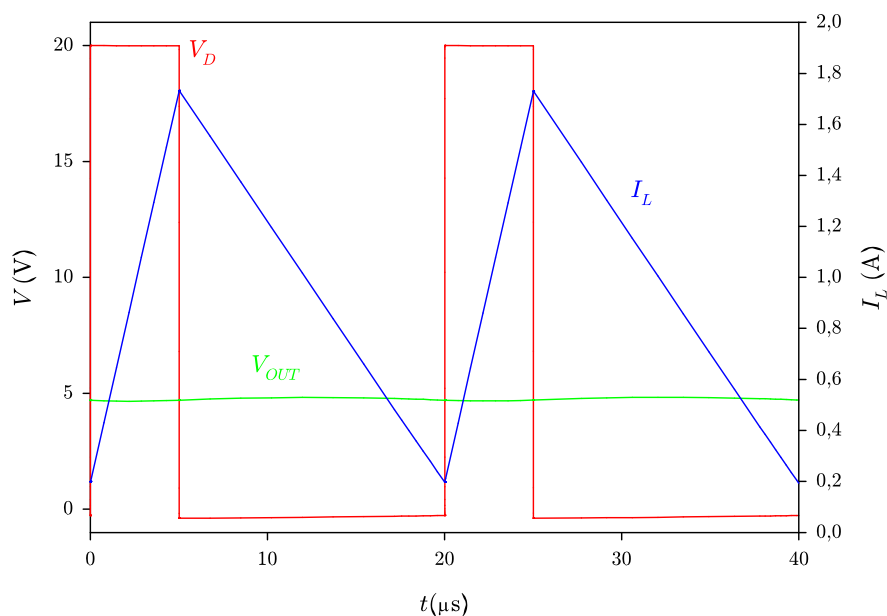
Struja kroz diodu D ne protiče jer je ona inverzno polarisana. Na krajevima kalema se indukuje napon koji se suprotstavlja naponu V_{IN} , težeći da smanji struju kroz kalem. Kondenzator C ima filtarsku ulogu. Kada se prekidač otvori, na krajevima kalema se indukuje napon koji direktno polarise

³Odziv kalema na impulsnu pobudu opisan je u [6].

diodu, tako da je promena struje u vremenu:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{V_{OUT} + V_D}{L}, \quad (1.6)$$

pri čemu je V_D pad napona na diodi. Kalem se ponaša kao izvor, a dioda obezbeđuje zatvaranje provodnog puta, pa protok struje kroz kolo postoji i po prestanku dejstva ulaznog napona. Treba napomenuti da je izlazni napon uvek manji od ulaznog, pa otuda i potiče naziv ovog konvertora. Vrednost izlaznog napona određena je relacijom (1.4). Na sl. 1.14 prikazani su idealizovani talasni oblici napona iz kola sa sl. 1.13, pri čemu je $V_{IN} = 20\text{V}$, $L = 50\mu\text{H}$, $C = 25\mu\text{F}$ i $R = 5\Omega$.



Slika 1.14: Idealizovani talasni oblici napona i struja kod prekidačkog spuštača napona.

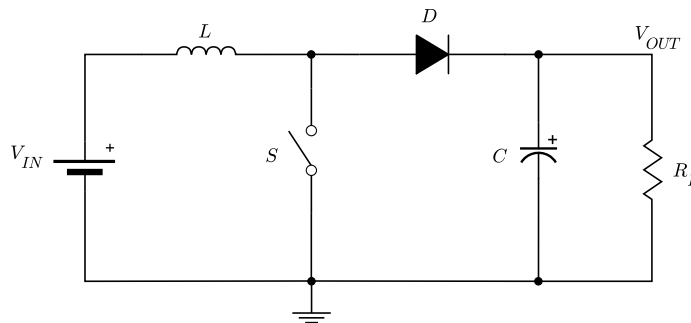
Prekidačka učestanost je tipično reda veličine desetina ili stotina kHz, a može biti i nekoliko MHz. Sa porastom učestanosti moguće je izraditi izvore manjih gabarita, što je pogodno sa stanovišta smanjenja ukupnih dimenzija uređaja. Pored toga, smanjuje se uticaj inercije prekidača na brzinu odziva kola. Inercija prekidača se odnosi na konačno vreme potrebno za njegovo zatvaranje i otvaranje, tokom koga u kolu može doći do neželjenih pojava kao što su naponsko premašenje ili oscilacije⁴. Zbog visokih

⁴Treba imati u vidu da je vreme odziva kod LC komponentata reda veličine ms.

učestanosti obavezna je upotreba brze prekidačke ili Šotkijeve diode. Proračun potrebne vrednosti induktivnosti sažeto je opisan u [7], a najčešće se, zbog većih induktivnosti, koriste kalemovi sa jezgrom [2], što važi za sve prekidačke izvore napajanja.

1.2.2 Prekidački podizač napona

Da bi se dobio izlazni napon koji je veći od ulaznog, tj. step-up ili *boost* konvertor, može se iskoristiti kolo sa sl. 1.15. Rad ovog kola se zasniva



Slika 1.15: Prekidački podizač napona.

na istom principu kao i rad step-down konvertora, odnosno na prenosu energije akumulirane u kalem u kondenzator. Kada je prekidač zatvoren struja kroz kalem je:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{V_{in}}{L} \quad (1.7)$$

Kada se prekidač otvori struja kroz kalem je:

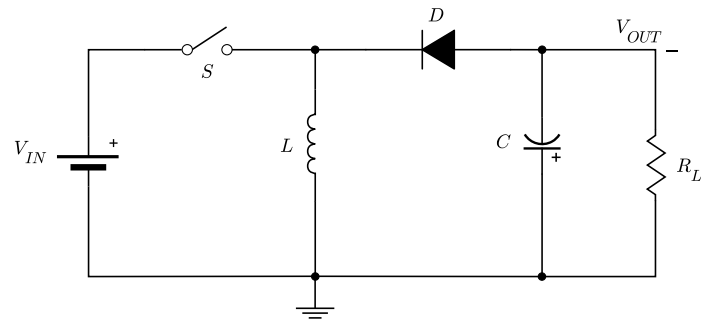
$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{L} \quad (1.8)$$

1.2.3 Prekidački invertor napona

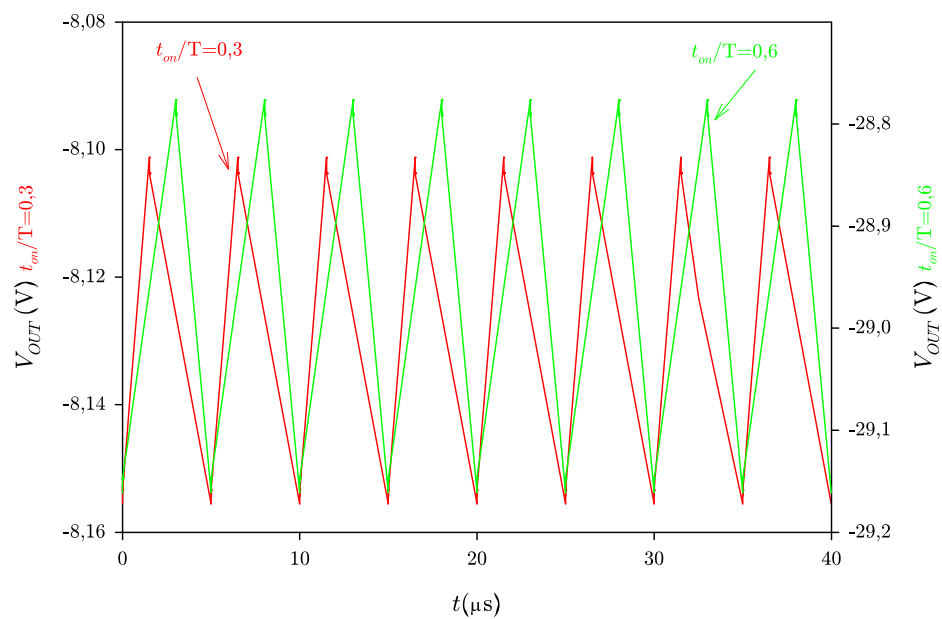
Dobijanje negativnih izlaznih napona moguće je pomoću kola sa sl. 1.16, koje se naziva impulsni invertor napona ili *inverting regulator*. U ovom slučaju izlazni napon može biti i manji i veći od ulaznog (po apsolutnoj vrednosti), što zavisi od odnosa t_{on}/T , kao što je ilustrovano na sl. 1.17, za slučaj kada je $V_{IN} = 20V$, $L = 50\mu H$, $C = 47\mu F$ i $R = 5\Omega$.

1.2.4 Prekidački blokirni pretvarač

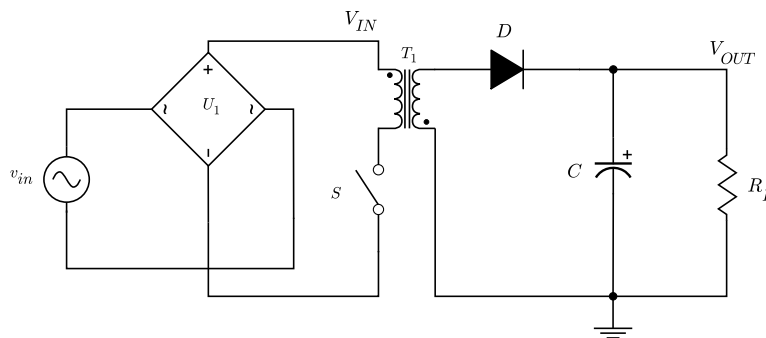
Pretvarači opisani u 1.2.1–1.2.3 su pogodni za regulaciju napona unutar kola, kada već postoji jednosmerni napon na ulazu celog uređaja (*on-board*



Slika 1.16: Prekidački inverter napona.



Slika 1.17: Idealizovani talasni oblik izlaznog napona na prekidačkom inverteru napona.



Slika 1.18: Principijelna šema prekidačkog blokiranog pretvarača.

regulation). U tom slučaju nije potrebna električna izolacija između ulaza i izlaza kola. Kada je u pitanju naizmenični napon, umesto kalema se koristi transformator. Pošto transformator radi na visokim učestanostima, njegove dimenzije mogu biti mnogo manje nego što je to slučaj sa transformatorom kod linearnog izvora napajanja. Principijelna šema ovakvog kola, koje se naziva *flyback* konvertor, prikazana je na sl. 1.18. Na ulaz kola se dovodi mrežni napon v_{in} , koji se ispravlja korišćenjem Grečovog spoja⁵ U_1 . Transformator T_1 se može posmatrati kao kalem koji ima dva namotaja. Primarni namotaj služi da akumulira energiju u jezgru, a sekundarni da akumuliranu energiju prenese na izlazni filtarski kondenzator C . Kada je prekidač uključen struja teče kroz primarni namotaj. U kolu sekundara nema struje, jer je dioda D inverzno polarisana (treba obratiti pažnju na smer namotaja primara i sekundara). Kada se prekidač isključi, dioda D se direktno polarise i struja iz sekundara puni kondenzator C . Izlazni napon je određen relacijom:

$$V_{OUT} = \frac{t_{on}}{T - t_{on}} V_{IN} \frac{N_2}{N_1}, \quad (1.9)$$

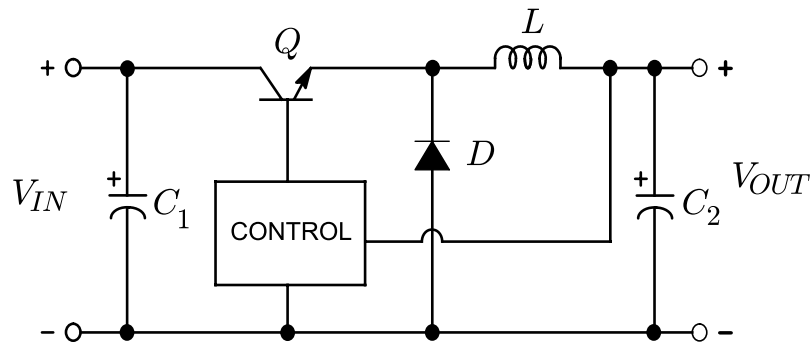
pri čemu su N_1 i N_2 brojevi namotaja u primaru i sekundaru, respektivno. Kola kao što je ovo, kod kojih se DC napon na prekidač dovodi direktno iz mreže preko Grečovog spoja, nazivaju se *off-line* prekidački izvori napajanja.

Postoji još nekoliko često korišćenih konfiguracija prekidačkih izvora napajanja sa transformatorom kao što su: *forward* konvertor, *push-pull* konvertor, *half bridge* i *full bridge* konvertori, a principijelne šeme se mogu videti u npr. [1],[8].

1.2.5 Prekidač i povratna sprega

⁵Kod projektovanja flyback konvertora treba odabrati Grečov spoj koji je predviđen za ispravljanje netransformisanog mrežnog napona.

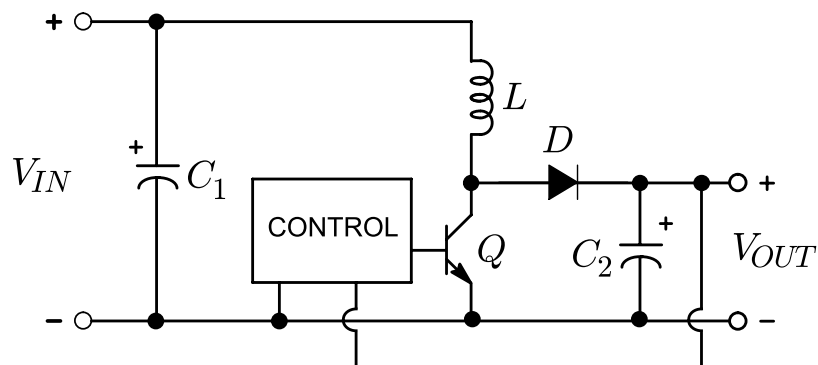
Kod svih opisanih konvertora se kao prekidač može upotrebiti tranzistor Q , koji može biti bipolarni ili MOS. Za upotrebu tranzistora je potrebna dodatna polarizacija, što se mora obezbediti posebnim kolom. Pored toga, svi konvertori u elementarnoj realizaciji imaju jedan veliki nedostatak, a to je da se izlazni napon menja sa promenom ulaznog napona, opterećenja i temperature. Zbog toga je potrebna regulacija izlaznog napona, a to se postiže pomoću kontrolnog kola koje se uvodi u povratnu spregu (*feedback*) konvertora, kao što je ilustrovano na sl. 1.19. Kontrolno kolo prati vrednost



Slika 1.19: Tranzistor kao prekidač i kontrolno kolo u povratnoj sprezi kod prekidačkog spuštača napona.

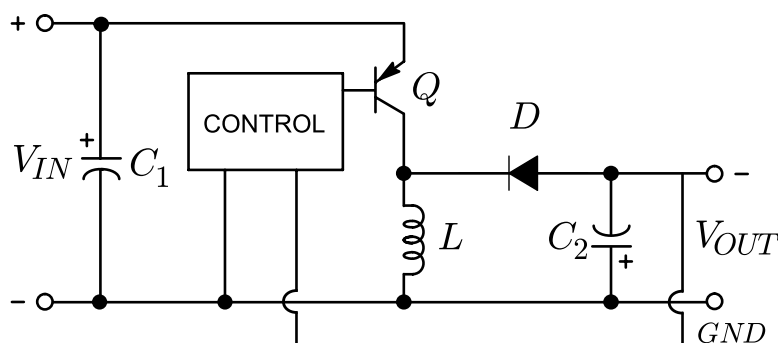
izlaznog napona upoređujući je sa internim referentnim naponom. U slučaju da dođe do odstupanja vrši se korekcija tako što se menja odnos t_{on}/T i time kontroliše prekidačka funkcija tranzistora. To znači da kontrolno kolo koristi PWM tehniku (videti str. 8).

Realizacija povratne sprege kod step-up konvertora prikazana je na sl. 1.20, a kod inverznog regulatora na sl. 1.21.



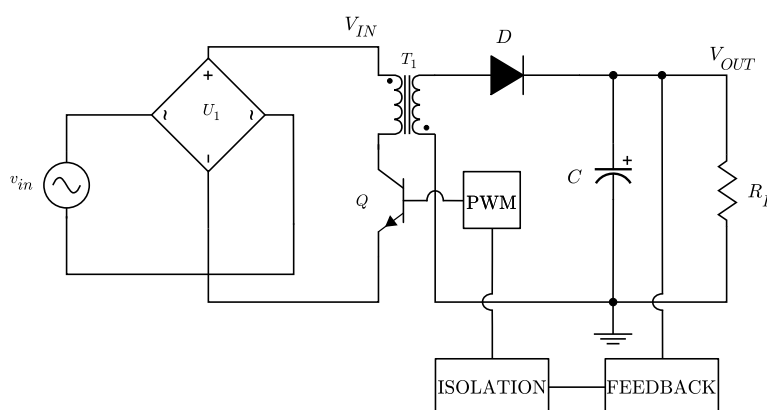
Slika 1.20: Tranzistor kao prekidač i kontrolno kolo u povratnoj sprezi kod prekidačkog podizača napona.

Kod prekidačkog blokirnog pretvarača se koristi izolacija između re-



Slika 1.21: Tranzistor kao prekidač i kontrolno kolo u povratnoj sprezi kod prekidačkog invertora napona.

gulisanog DC izlaza i neregulisanog DC ulaza. Na taj način se izbegava neželjeni uticaj jednog dela izvora na drugi. U suštini, kontrolno kolo je „podeljeno“ na dva bloka koja su međusobno izolovana. Jedan blok predstavlja detektor promene izlaznog napona koji inicijalizuje povratnu spregu, a drugi blok je PWM blok, kao što je ilustrovano na sl. 1.22. Za izolaciju se najčešće koristi optokapler.



Slika 1.22: Tranzistor kao prekidač i povratna sprega kod prekidačkog blok-kirnog pretvarača.

Treba istaći da su svi prekidački izvori napajanja, zbog učestanosti na kojima rade, potencijalni generatori elektromagnetne interferencije (EMI). Zbog toga mogu postati emitori radijacionih smetnji. Pored toga, mogu biti i osetljivi na učestanosti koje emituju drugi uređaji u njihovoj blizini, kao i na konduktivne smetnje koje se šire preko električne mreže. Zbog toga se pri projektovanju posebna pažnja posvećuje elektromagnetnoj kompatibilnosti (EMC), kako u oblasti konduktivnih, tako i u oblasti radijacionih smetnji.

Osnovne karakteristike prekidačkih izvora napajanja date su u Tab. 1.2.

Parametar	Vrednost	Jedinica
faktor stabilizacije napona	0,05–0,1	%
faktor regulacije opterećenja	0,1–1	%
Ripple	10–100	mV RMS
Opseg ulaznog napona	± 20	%
Efikasnost	60–95	%
Vreme održanja	34	ms
Vreme oporavka	300	μs

Tabela 1.2: Osnovne karakteristike prekidačkih izvora napajanja.

1.2.6 Realizacija prekidačkog izvora napajanja

Na sl. 1.23 prikazan je realni prekidački izvor napajanja u konfiguraciji flyback konvertora. U principu, kolo se može podeliti na tri stepena:

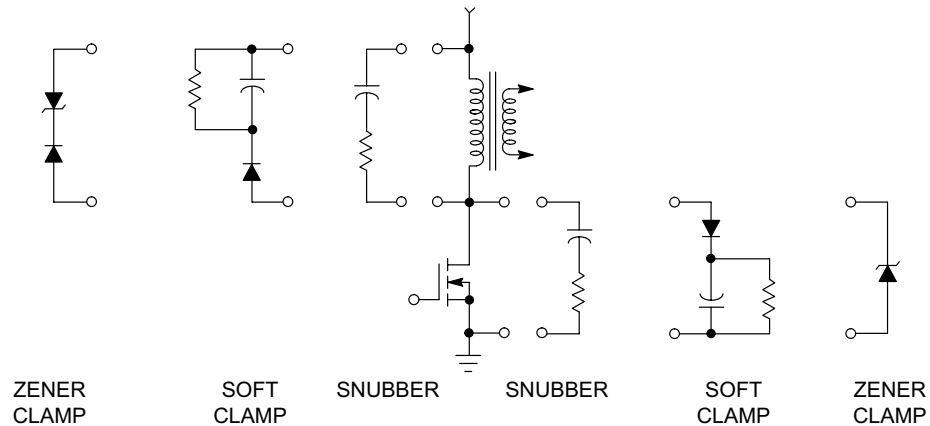
1. ulazni stepen;
2. centralni (prekidački) stepen;
3. izlazni stepen.

U ulaznom stepenu se, odmah iza priključka za dovođenje naizmjeničnog mrežnog napona J_1 , nalazi NTC termistor RT_1 . Termistor ima ulogu da ograniči struju u kolu koja je najveća neposredno po uključenju uređaja. Ova struja naziva se *inrush current* ili *surge current*⁶. U prvom trenutku je otpornost termistora najveća, a smanjuje se sa njegovim zagrevanjem koje je posledica protoka struje kroz kolo, sve do uspostavljanja kvazi-stacionarnog stanja. Kondenzatori C_1 i C_{11} , zajedno sa prigušnicom L_1 , čine ulazni linijski filter. Uloga filtra je minimizacija uticaja elektromagnetne (EMI) i radio (RFI) interferencije na rad kola. Treba obratiti pažnju na to da su kondenzatori označeni kao „X2“, što znači da se radi o linijskim kondenzatorima koji se mogu priključiti na naizmjenični napon. Prigušnica L_1 pripada tipu koji se naziva *choke* i služi za prigušenje konduktivnih smetnji. Naizmjenični napon se ispravlja preko Grecovog spoja D_2 i filtrira na kondenzatoru C_2 .

Ispravljeni naizmjenični napon uvodi se u centralni stepen preko primara transformatora T_1 . U kolu primara se takođe nalazi prekidačka komponenta U_1 . U ovom slučaju je to PWM prekidač TOP227 [10]. Između njegovog izlaza, koji je u stvari drejn MOS tranzistora snage, i linije ispravljenog

⁶Detaljnije o definiciji i merenju ove struje može se naći npr. u [9].

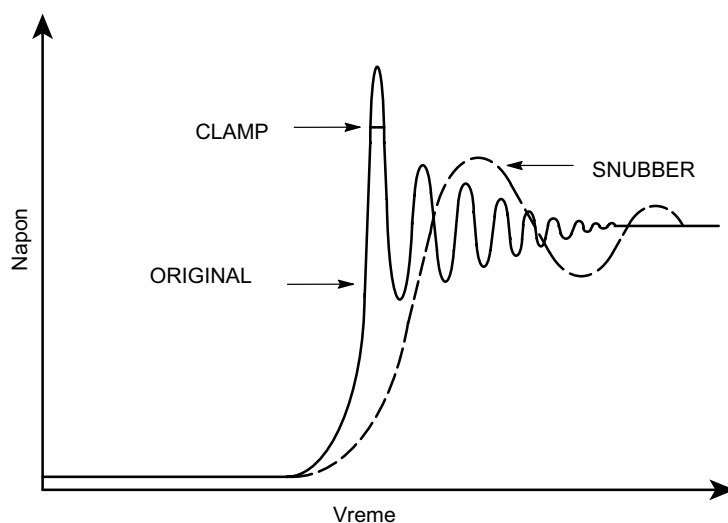
naizmeničnog napona nalazi se kolo za odsecanje naponskih premašenja koje čine diode D_1 i D_3 . Kada se prekidač isključi, na krajevima primara se indukuje napon koji može da ošteti TOP227, pa se odsecanje njegove amplitude vrši pomoću Zener diode D_1 prema kojoj provodni put otvara direktno polarisana dioda D_3 . Ovo kolo se naziva (*clamp*) kolo, a koristi se u više varijanti, kao što je ilustrovano na Sl 1.24. Kada se u kolu na-



Slika 1.24: Tehnike naponskog odsecanja [10].

laze pasivne komponente, kolo se naziva *snubber* kolo. Ilustracija efekta naponskog odsecanja prikazana je na sl. 1.25.

Izlazni napon flyback konvertora se dobija na sekundaru transformatora T_1 , uz pomoć diode D_2 i kondenzatora C_3 (videti sl. 1.18). Linijska prigušnica L_2 predstavlja EMI prigušivač [11]. Na pomoćnom (*auxiliary*) namotaju transformatora nalazi se dioda D_4 koja, zajedno sa kondenzatorom C_6 čini kolo za napajanje prekidača U_1 , preko optokaplera U_2 . Povratna sprega se ostvaruje korišćenjem šant regulatora U_3 . Referentni napon ovog regulatora je 2.5V i određen je naponskim razdelnikom koji čine otpornici R_3 i R_4 . Struja kroz regulator ograničena je otpornikom R_5 . Kondenzator C_5 je tzv. *decoupling* kondenzator koji odvaja DC delove kola. Otpornik R_2 ograničava struju kroz LED diodu optokaplera. Promena izlaznog napona se detektuje na šant regulatoru i preko optokaplera prenosi na kontrolni pin prekidača U_1 , koji sadrži kontrolno PWM kolo i izlazni prekidački tranzistor. Primenom PWM tehnike se vrši korekcija odnos t_{on}/T i izlazni napon vraća na nominalni. Kondenzator C_7 i otpornik R_1 deo su referentnog dizajna koji preporučuje proizvođač prekidača i služe kao filter na kontrolnom pinu, određuju učestanost za auto-restart i kompenzuju kontrolnu petlju [10]. Blok kondenzator C_8 (*safety capacitor*) obezbeđuje sigurnosnu zaštitu od naponskih pikova na liniji zajedničkog signala koji se mogu pojaviti kao posledica tzv. cureće induktivnosti primara transformatora izazvane radom prekidača.



Slika 1.25: Ilustracija efekta naponskog odsecanja [10].

Izlazni stepen sadrži filtarski kondenzator C_4 , kao i EMI filtar koji čine kondenzatori C_9 , C_{10} i prigušnica L_3 . Na kraju se nalazi osigurač F_1 .

Treba napomenuti da je ovde predstavljeni dizajn samo jedna varijacija realizacije off-line izvora napajanja u konfiguraciji flyback konvertora. Postoji veliki broj integrisanih kola različitih proizvođača koja obavljaju funkcije prekidača i PWM kontrole i za svako od njih postoji referentni dizajn koji treba koristiti kao polaznu osnovu prilikom projektovanja izvora napajanja.

Bibliografija

- [1] "Introduction to power supplies," Application note, National Semiconductor, 2002, AN-556. [Online]. Available: www.national.com
- [2] S. Ristić, *RLC Komponente*. Niš: Prosveta, 2005.
- [3] "MB1S-MB8S," Datasheet, Fairchild Semiconductor, 2001. [Online]. Available: www.fairchildsemi.com
- [4] "LM78XX/LM78XXA," Datasheet, Fairchild Semiconductor, May 2006. [Online]. Available: www.fairchildsemi.com
- [5] "LT1763 series," Datasheet, Linear technology, 1999. [Online]. Available: www.linear.com
- [6] Z. Prijić, "Naizmenični signali," Predavanja. [Online]. Available: <http://mikroelektronika.elfak.ni.ac.yu/>
- [7] "Switching regulator inductor design," Application note 4/06, Cooper Bausmann, 2006. [Online]. Available: <http://www.cooperet.com/library/products/Inductors%20App%20Notes.pdf>
- [8] *SWITCHMODE Power Supply Reference Manual*, ON Semiconductor, April 2000, rev. 2. [Online]. Available: www.onsemi.com
- [9] "Basic facts about power supplies," Nemic Lambda Articles Index. [Online]. Available: http://www.nemic.co.il/doc/PS_3.pdf
- [10] "TOPSwitch II family," Datasheet, Power Integrations, Inc., 2001. [Online]. Available: <http://www.powerint.com/PDFFiles/top221-227.pdf>
- [11] "Chip bead cores," Datasheet, Panasonic (Matsushita Electrical Industrial Co.). [Online]. Available: <http://industrial.panasonic.com>