

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

	U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (26.11.2016.)	50%	20%
Kolokvijum II (21.01.2017.)	50%	20%



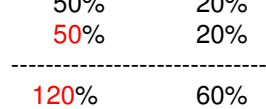
Ko nije izašao na I kolokvijum ima 70% (još nije kasno) i

ako ne ide na predavanja ima 60% (skoro da je kasno, jer da bi ih zardžao mora da uradi II kolokvijum sa 100%)

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

	U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (26.11.2016.)	50%	20%
Kolokvijum II (21.01.2017.)	50%	20%



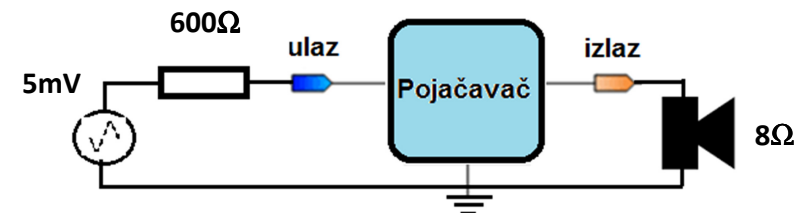
Izračunajte umanjene broja poena posle I kolokvijuma:

$(100 - \text{broj_poena_na_I_kolokvijumu}) * 0.5$

II Kolokvijum

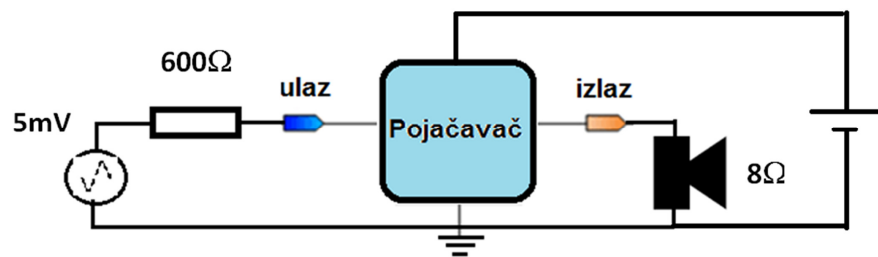
SUBOTA 21. 01. 2017.

Osnovi elektronike



Šta nedostaje da bi pojačavač radio?

Osnovi elektronike



Izvor jednosmernog napona za polarizaciju

Kako se realizuje?

Izvori jednosmernog napona (nastavak)

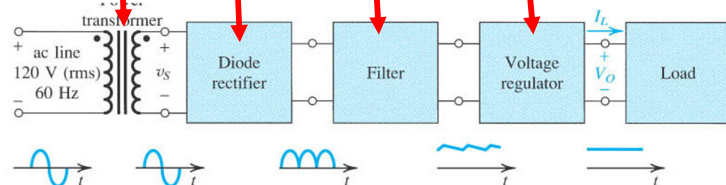
- Stabilizatori - regulatori napona
- 3. deo - prekidački regulatori

Izvori jednosmernog napajanja

1. Uvod

Da bi se od mrežnog napona dobio jednosmerni, željene vrednosti, potrebno je

1. smanjiti njegovu vrednost
2. usmeriti ga (napraviti jednosmerni napon)
3. ukloniti naizmeničnu komponentu ("ispeglati")
4. stabilisati ga (učiniti nezavisnim od promena uslova rada potrošača i/ili napona mreže)



Sadržaj

Izvori jednosmernog napajanja



1. Uvod
2. Usmerači [napona](#)
<https://www.youtube.com/watch?v=cyhpfqXwdA>
 - 2.1 Jednostrano usmeravanje
 - 2.2 Dvostrano usmeravanje
 - 2.3 Umnožavačavači napona
3. Filtriranje usmerenog napona
4. Stabilizatori – regulatori napona
 - 4.1 [Linearni stabilizatori napona](#)
https://www.youtube.com/watch?v=GSzVs7_aW-Y
https://www.youtube.com/watch?v=BZmn_HKPx7Y&spfreload=10
 - 4.1.1 Stabilizatori sa Zener diodom
 - 4.1.2 Redni stabilizatori napona
 - 4.1.3 Paralelni stabilizatori
 - 4.2 Prekidački stabilizatori napona
 - 4.2.1 Spuštači napona
 - 4.2.2 Podizači napona
 - 4.2.3 Invertori



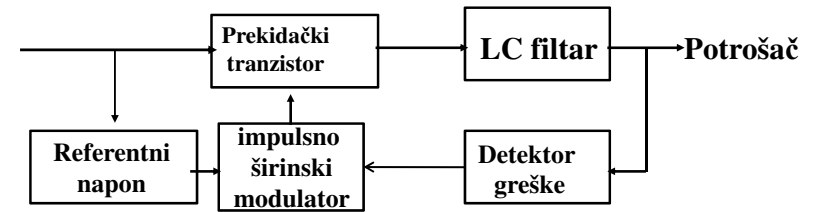
Sadržaj

1. Uvod
2. Usmerači napona
 - 2.1 Jednostrano usmeravanje
 - 2.2 Dvostrano usmeravanje
 - 2.3 Umnožavača napona
3. Filtriranje usmerenog napona
4. Stabilizatori – regulatori napona
 - 4.1 Linearni stabilizatori napona
 - 4.1.1 Stabilizatori sa Zener diodom
 - 4.1.2 Redni stabilizatori napona
 - 4.1.3 Paralelni stabilizatori
 - 4.2 Prekidački stabilizatori napona
 - 4.2.1 Spuštači napona
 - 4.2.2 Podizači napona
 - 4.2.3 Invertori

9



4.2 Prekidački stabilizatori - regulatori napona



- Kontrolišući element (**tranzistor**) radi u **prekidačkom režimu** tako da je disipacija na njemu mala
- Kada je tranzistor zakočen $I_C=0A$, a kada vodi, onda radi u zasićenju sa $V_{CE}=V_{CES} \approx 0.2V$.

19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

10



4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona



Prednosti

- Bar dva puta **efikasniji** od linearnih, stepen iskorišćenja **70%-90%**.
- Idealni su za primene u kojima se traže velike struje (zbog male disipacije).
- Izlazni napon može biti i veći od ulaznog
- Mogu da invertuju ulazni napon ($V_{os}=-kV_o$)
- Realizacija ne zahteva glomazne komponente.

19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

11



4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona



Nedostaci

- Znatno su složeniji.
- Unose VF šum.
- Problemi sa EMC
- “Zagađuju” mrežni napon harmonicima

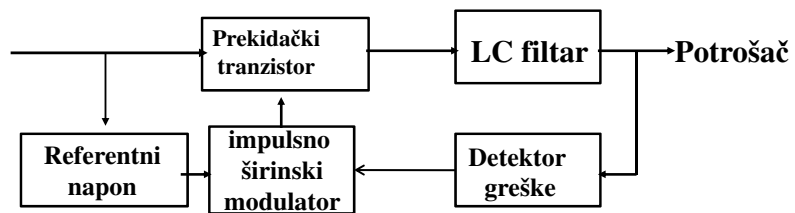
19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

12



4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona



- Mogu da se realizuju kao
 - spuštači napona $V_{os} < V_o$ (*Step-Down*)
 - podizači napona $V_{os} > V_o$ (*Step-Up, boost*)
 - invertori napona $V_{os} = -V_o$ (*Inverter, fly-back; podizači/spuštači*)

19. januar 2017.

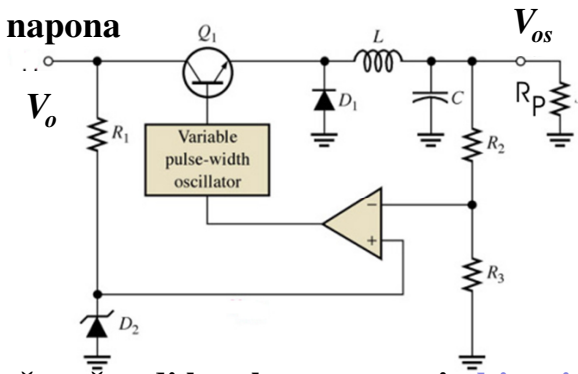
Izvori jednosmernog napajanja 2

13

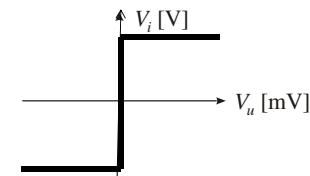


4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

4.2.1 Spuštači napona



- Operacioni pojačavač radi kao komparator! **objasniti**



19. januar 2017.

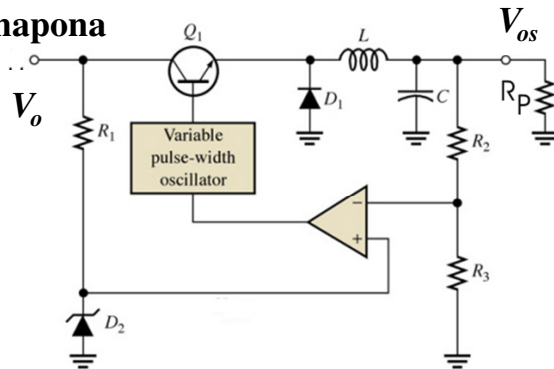
Izvori jednosmernog napajanja 2

14



4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

4.2.1 Spuštači napona



- Referentni napon obezbeđuje D_z .
- Razdelnik R_2 i R_3 definiše izlazni napon u odnosu na V_z .

$$V_{os} \cong \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_z$$

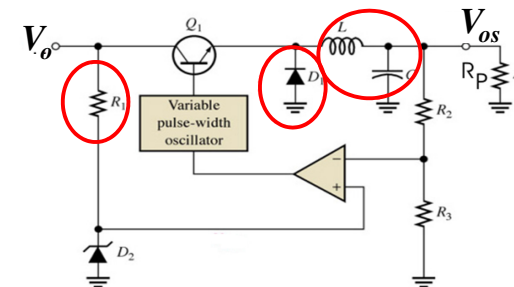
19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

15



4.2.1 Spuštači napona



- R_1 služi da polariše D_z .
- L i C čine filtar. **Kako radi kalem u prekidačkom režimu** i na <https://www.youtube.com/watch?v=LXGtE3X2k7Y>
- D_1 sprečava da napon na emitoru bude $V_E < < 0$ kada se tranzistor zakoči (napon na L menja polaritet), jer bi tranzistor tada proveo ($V_{BE} > V_\gamma$); **obezbeđuje put struji kada je T zakočen.**

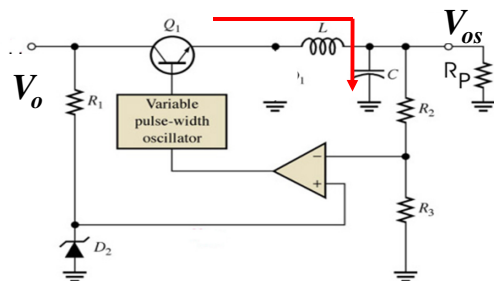
19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

16



4.2.1 Spuštači napona



- Kada je $V_{R3} < V_z$, izlaz OP je u pozitivnom zasićenju ($+V_{CC}$) i tranzistor vodi, a D1 zakočena.

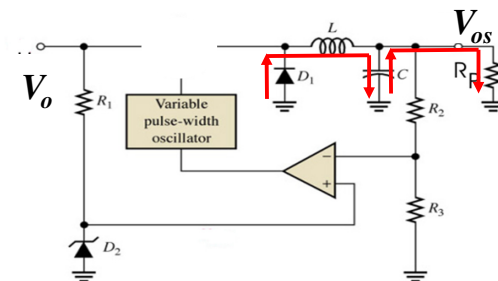
19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

17



4.2.1 Spuštači napona



- Kada je $V_{R3} > V_z$, izlaz komparatora (OP) je u negativnom zasićenju ($-V_{CC}$) i tranzistor je zakočen, kondenzator se prazni. Kroz kalem nastavlja da teče struja (lencov zakon) i kada je T zakočen. Polaritet se menja na kalemu i D1 provede, a kroz kalem se dopunjuje C.

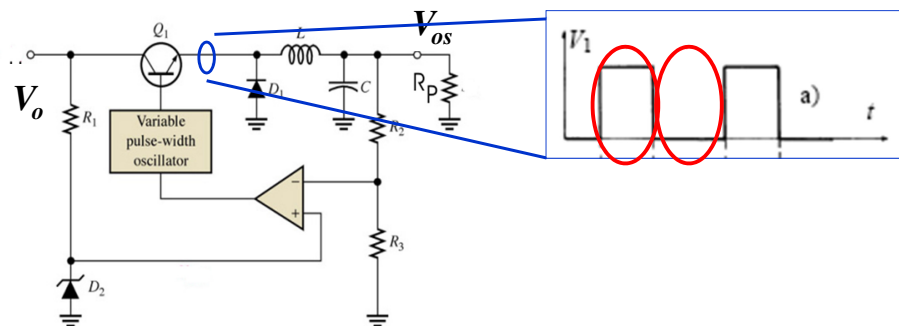
19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

18



4.2.1 Spuštač napona



- Napon na emitoru biće $V_E = V_o - V_{CES} \approx V_o$ kada tranzistor radi u zasićenju ili $V_{DI} \approx 0$, kada tranzistor ne vodi.

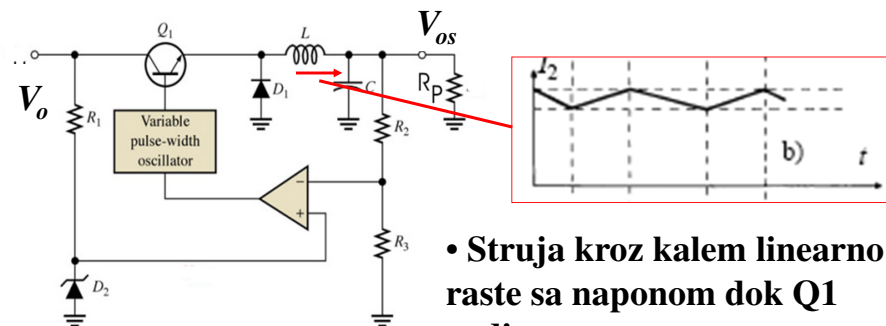
19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

19



4.2.1 Spuštač napona



- Struja kroz kalem linearno raste sa naponom dok Q1 vodi:

$$i_L \approx \frac{1}{L} \int (V_o - V_{os}) \cdot dt = \frac{(V_o - V_{os})}{L} t$$
- Struja kroz kalem nastavlja da teče i kada tranzistor prestane da vodi, jer D1 provede i dopunjuje C.

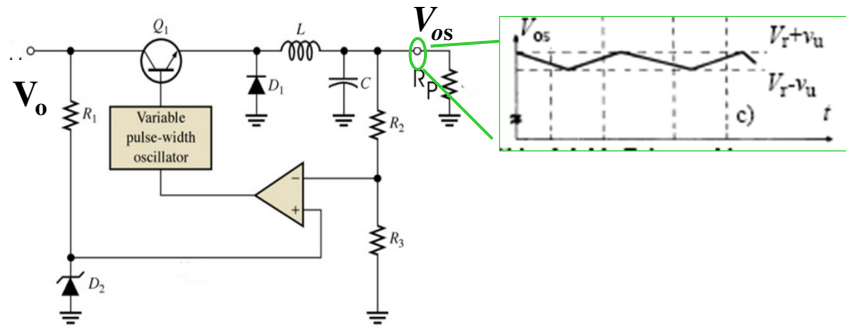
19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

20



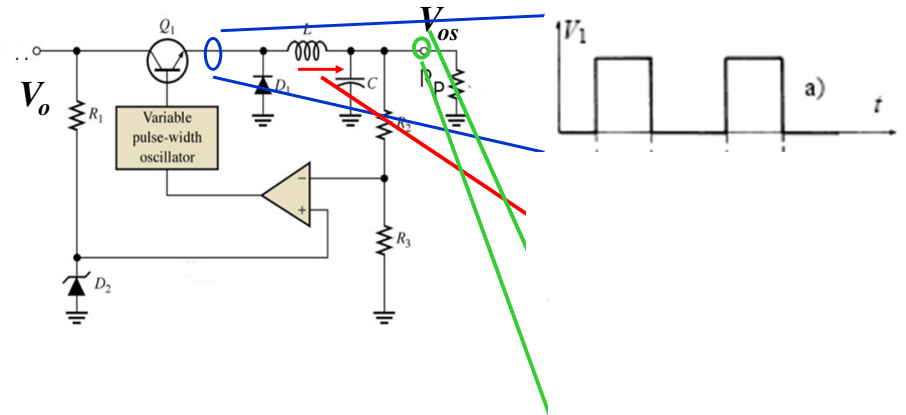
4.2.1 Spuštač napona



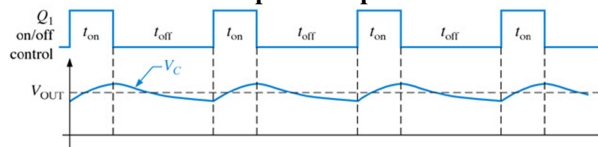
• Napon na izlazu nalazi se u granicama $V_{ref} \pm v_u$



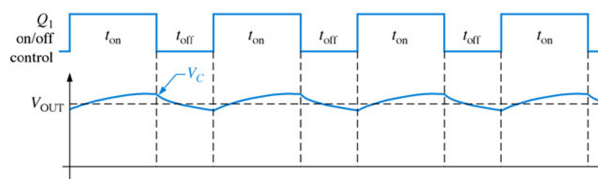
4.2.1 Spuštač napona



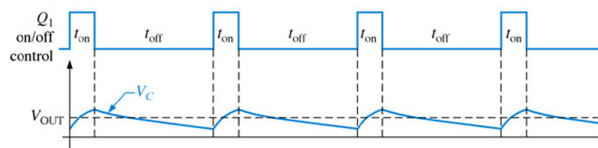
4.2.1 Spuštač napona



(a) V_{OUT} depends on the duty cycle.



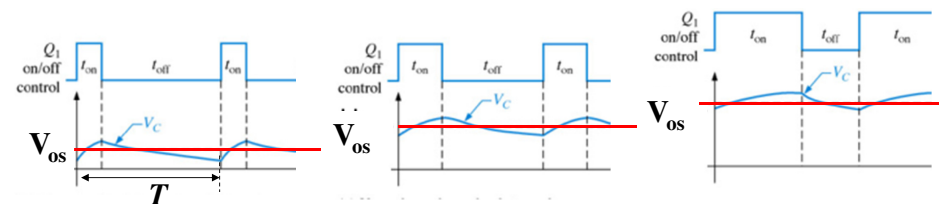
(b) Increase the duty cycle and V_{OUT} increases.



19. januar 2017 (c) Decrease the duty cycle and V_{OUT} decreases.



4.2.1 Spuštač napona



$$V_{os} = \frac{t_{on}}{T} V_o < V_o$$

[videti](#)



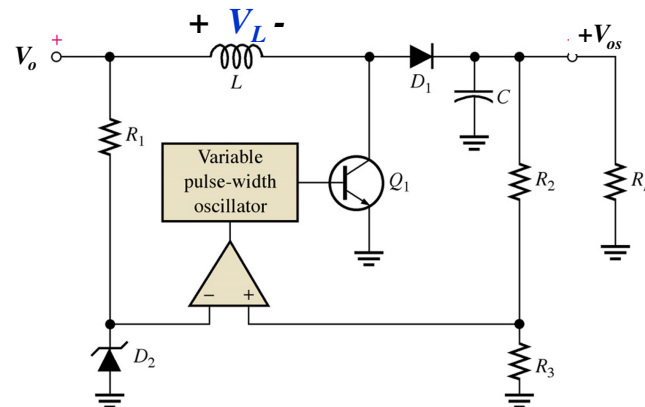
Sadržaj

1. Uvod
2. Usmerači napona
 - 2.1 Jednostrano usmeravanje
 - 2.2 Dvostrano usmeravanje
 - 2.3 Umnožavača napona
4. Filtriranje usmerenog napona
4. Stabilizatori – regulatori napona
 - 4.1 Linearni stabilizatori napona
 - 4.1.1 Stabilizatori sa Zener diodom
 - 4.1.3 Paralelni stabilizatori
 - 4.1.2 Redni stabilizatori napona
 - 4.2 Prekidački stabilizatori napona
 - 4.2.1 Spuštači napona
 - 4.2.2 Podizači napona
 - 4.2.3 Invertori

25



4.2.2 Podizači napona



- Napon na izlazu veći je od ulaznog napona za V_L .
- Osnovna razlika odnosi se na funkciju Q_1 i L .

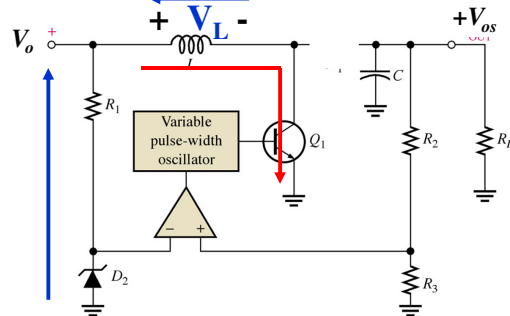
19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

26



4.2.2 Podizači napona



- Kada Q_1 vodi (u zasićenju) $\Rightarrow D_1$ je zakočena.

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow i_L = \frac{1}{L} \int (V_o - V_{CES}) \cdot dt = \frac{(V_o - V_{CES})}{L} t$$

$$V_L \approx V_o \cdot \frac{t_{on}}{T}$$

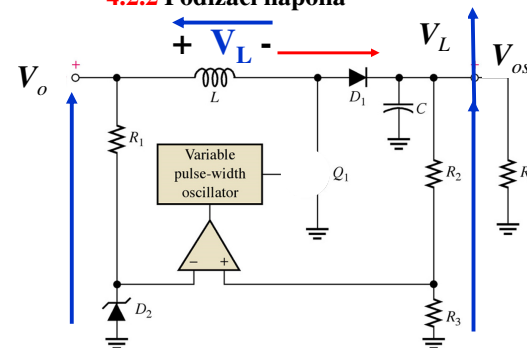
19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

27



4.2.2 Podizači napona



- Kada je Q_1 zakočen $\Rightarrow D_1$ vodi,
- energija se iz L prenosi u C .
- Napon na C veći je za V_L od ulaznog napona.

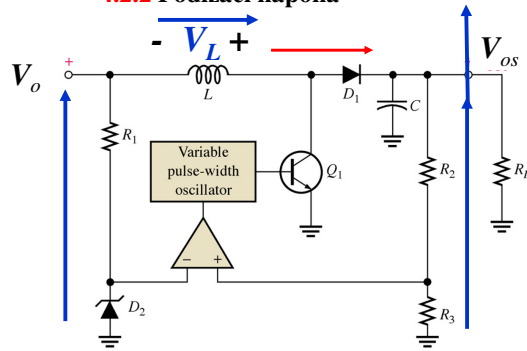
19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

28



4.2.2 Podizači napona



• Napon na C:

$$V_{os} = \frac{V_o}{1 - \frac{t_{on}}{T}} > V_o$$



Izvori jednosmernog napajanja

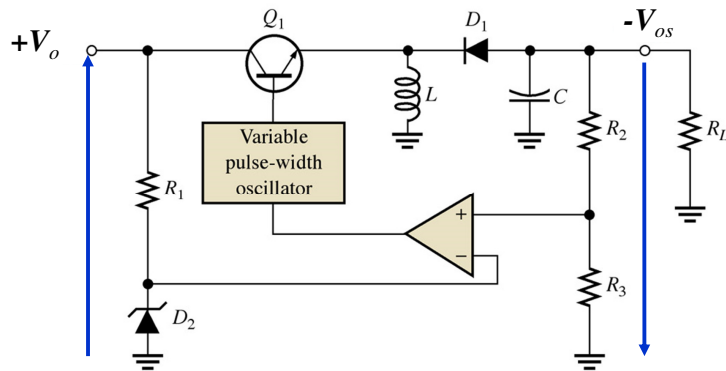
Sadržaj

1. Uvod
2. Usmerači napona
 - 2.1 Jednostrano usmeravanje
 - 2.2 Dvostrano usmeravanje
 - 2.3 Umnožavačavači napona
4. Filtriranje usmerenog napona
4. Stabilizatori – regulatori napona
 - 4.1 Linearni stabilizatori napona
 - 4.1.1 Stabilizatori sa Zener diodom
 - 4.1.3 Paralelni stabilizatori
 - 4.1.2 Redni stabilizatori napona
 - 4.2 Prekidački stabilizatori napona
 - 4.2.1 Spuštači napona
 - 4.2.2 Podizači napona
 - 4.2.3 Invertori



4.2 Prekidački stabilizatori - regulatori napona

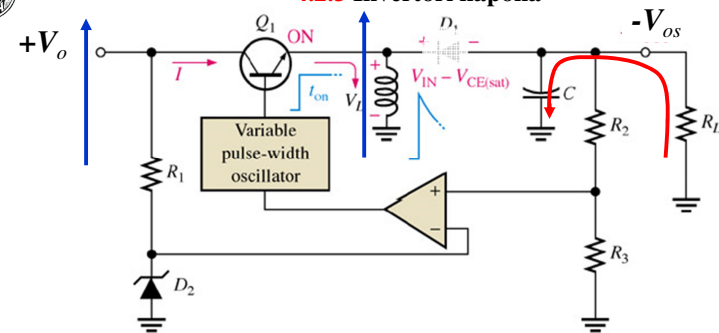
4.2.3 Invertori napona



• Izlazni napon ima suprotan polaritet od ulaznog



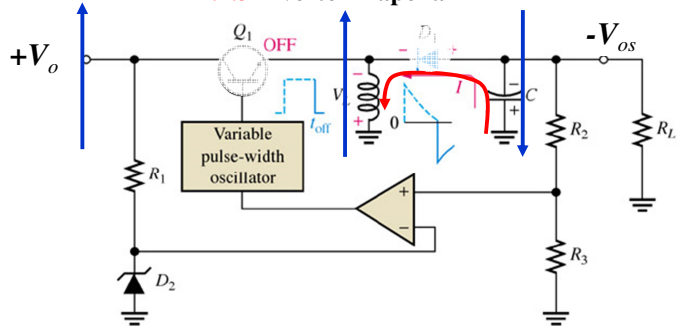
4.2.3 Invertori napona



- Kada Q_1 vodi,
- D_1 je inverzno polarisana
- napon na klemu jednak je ulaznom naponu (umanjenom za V_{CES}),
- napon na C zadržava vrednost (sporo se prazni kroz R_L)



4.2.3 Invertori napona



- Kada je Q_1 zakočen,
- napon na L menja polaritet,
- D_1 vodi,
- C se preko r_d puni na $V_L = -V_{os}$

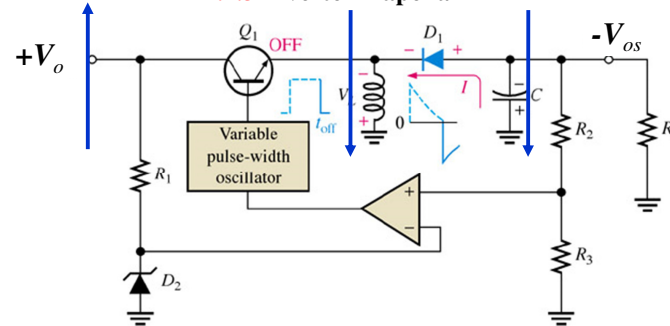
19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

33



4.2.3 Invertori napona



- Zavisno od odnosa vremena uključivanja tranzistora napon na izlazu može biti (po apsolutnoj vrednosti)

- manji, $(t_{on}/T) < 0.5$
- veći, $(t_{on}/T) > 0.5$ ili
- jednak ulaznom naponu, $(t_{on}/T) = 0.5$

$$V_{os} = - \frac{\left(\frac{t_{on}}{T}\right)}{1 - \left(\frac{t_{on}}{T}\right)} V_o$$

19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

34



Integrirani stabilizatori - regulatori napona napona Zaključak

Stabilizatori - regulatori napona napona

- Obezbeđuju konstantni DC napon na izlazu, nezavisno od promena napona na ulazu i struje kroz potrošač.
- Osnovni tipovi stabilizatora su linearni i prekidački
- Linearni se realizuju kao redni i paralelni
- Prekidački mogu biti spuštači, podizači ili invertori napona

19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

35



Integrirani stabilizatori - regulatori napona napona Zaključak

- Prekidački stabilizatori - regulatori napona znatno su efikasniji od linearnih i pogodni za primene koje zahtevaju veće struje
- Prekidački i linearni stabilizatori-regulatori napona realizuju se u integrisanoj tehnici
- Postoje integrirani stabilizatori – regulatori napona za fiksne i promenljive pozitivne ili negativne napone
- Mogućnosti integriranih stabilizatora mogu da se prošire ubacivanjem spoljašnjih tranzistora.

19. januar 2017.

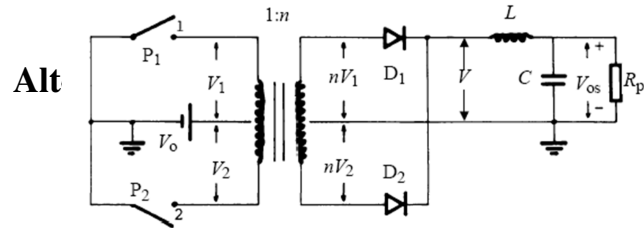
Izvori jednosmernog napajanja 2

36



Pretvarači jednosmernog u jednosmerni napon (DC to DC converter) mogu se realizovati na istim principima kao prekidački stabilizatori - regulatori napona.

https://www.youtube.com/watch?v=CEhBN5_fO5o&spfpreload=10
 Pretvarači jednosmernog u jednosmerni napon



Više o ovoj temi na kursu “Energetska elektronika”



Sledi:

-Rekapitulacija (pitanja/odgovori)

Šta smo naučili?



- **Uporediti karakteristike linearnih i prekidačkih stabilizatora (regulatora) napona.**
- **Osnovna blok šema i klasifikacija prekidačkih stabilizatora (regulatora) napona.**

Ispitna pitanja



1. **Princip rada prekidačkih stabilizatora/regulatora spuštača napona.**
2. **Princip rada prekidačkih stabilizatora/regulatora podizača napona.**
3. **Princip rada prekidačkih stabilizatora/regulatora invertora napona.**

Domaći 12.1:

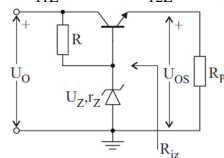


Za kolo rednog stabilizatora prikazanog na slici odrediti:

- Izlazni napon V_{OS}
- Faktor stabilizacije
- Izlaznu otpornost R_{iz}

Poznato je: $R = 200\Omega$; $R_p = 50\Omega$; $V_O = 10V$. Parametri diode su: $V_Z = 6,8V$; $r_Z = 10\Omega$.

Parametri tranzistora su: $V_{BE} = 0,7V$; $h_{11E} = 1k\Omega$; $h_{12E} = 0$; $h_{21E} = \beta = 100$; $h_{22E} = 0..$



Rešenje 12.1:



Videti: Zadatak 6.1 u „Računske vežbe II deo“ na

<http://leda.elfak.ni.ac.rs/?page=education/elektronika/elektronika.htm>

Domaći 12.2:

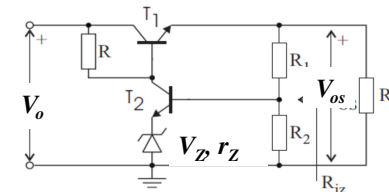


Za kolo rednog stabilizatora prikazanog na slici odrediti:

- Izlazni napon V_{OS}
- Faktor stabilizacije
- Izlaznu otpornost R_{iz}

Poznato je: $R_1 = R_2 = 4k\Omega$; $R_p = 2\Omega$; $R = 10k\Omega$, $V_O = 40V$. Parametri diode su: $V_Z = 10V$;

$r_Z = 0\Omega$. Parametri tranzistora su: $V_{BE} = 0,7V$; $h_{11E} = 1k\Omega$; $h_{12E} = 0$; $h_{21E} = \beta = 100$; $h_{22E} = 0..$



Rešenje 12.2:



Videti: Zadatak 6.2 u „Računske vežbe II deo“ na

<http://leda.elfak.ni.ac.rs/?page=education/elektronika/elektronika.htm>

Rešenje 11.1:

4. Filtriranje usmerenog napona



Potrošač $R=100\Omega$ priključen je preko usmerača sa Grecovim spojem na naizmenični napon frekvencije 50Hz i amplitude 12V. Ako je pad napona na diodama $V_d=0,8V$ odrediti:

- vrednost C kapacitivnog filtra priključenog paralelno potrošaču koja će obezbediti odstupanje napona $\Delta V < 1V$;
- vrednost jednosmernog napona na potrošaču;
- vrednost jednosmerne struje kroz potrošač;

$$a) \Delta V_o = \frac{V_m - 2V_d}{2 \cdot f \cdot R \cdot C} \Rightarrow C = \frac{V_m - 2V_d}{2 \cdot f \cdot R \cdot \Delta V_o} = \frac{12 - 1,6}{2 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 1} = 1,04 \mu F$$

$$b) V_o = \frac{V_m'}{\left(1 + \frac{\pi}{\omega RC}\right)} = \frac{(V_m - 2V_d)}{\left(1 + \frac{1}{2fRC}\right)} = \frac{10,4}{\left(1 + \frac{1}{2 \cdot 50 \text{Hz} \cdot 100\Omega \cdot 1,04 \mu F}\right)}$$

$$V_o = (V_m - 2V_d) \cdot \frac{\Delta V_o}{2} = 12 - 1,6 - 1 = 9,4V$$

$$c) I_o = \frac{V_o}{R} = 94mA$$

Rešenje 11.2:

4. Filtriranje usmerenog napona



Za usmerač sa kapacitivnim filtrom iz prethodnog primera odrediti:

- ugao provođenja diode i iskazati ga u % u odnosu na periodu ulaznog signala (50Hz);
- srednju struju kroz diodu;
- maksimalnu struju kroz diodu;
- maksimalni inverzni napon na diodi;
- predložiti tip diode koji se može primeniti za ovu namenu

$$a) \omega \Delta t \approx \sqrt{2\Delta V / V_m'} \Rightarrow \Delta t = \frac{\sqrt{2\Delta V / V_m'}}{\omega} = \frac{\sqrt{2\Delta V / V_m'}}{2\pi} T$$

$$\frac{\Delta t}{T} = \frac{\sqrt{2\Delta V / (V_m - 2V_d)}}{2\pi} \cdot 100 = \frac{\sqrt{2 \cdot 1 / 10,4}}{2 \cdot 3,14} \cdot 100 = 5,9\%$$

$$b) I_D \approx I_o \left(1 + \pi \sqrt{\frac{V_m'}{2\Delta V}}\right) = I_o \left(1 + \pi \sqrt{\frac{(V_m - 2V_d)}{2\Delta V}}\right) = 94mA \cdot 7,16 = 673,4mA$$

$$c) I_{Dmax} \approx I_o \left(1 + 2\pi \sqrt{\frac{V_m'}{2\Delta V}}\right) = I_o \left(1 + 2\pi \sqrt{\frac{(V_m - 2V_d)}{2\Delta V}}\right) = 94mA \cdot 15,33 = 1,53A$$

Rešenje 12.2:

4. Filtriranje usmerenog napona

Za usmerač sa kapacitivnim filtrom iz prethodnog primera odrediti:

- ugao provođenja diode i iskazati ga u % u odnosu na periodu ulaznog signala (50Hz);
- srednju struju kroz diodu;
- maksimalnu struju kroz diodu;
- maksimalni inverzni napon na diodi;
- predložiti tip diode koji se može primeniti za ovu namenu

$$d) -V_{d\max} = \frac{V_m - 2V_d - (-V_m)}{2} = \frac{2V_m - 2V_d}{2} = V_m - V_d = 11,2V > 12V$$

$$e) P_d = V_d I_D = 0,8V \cdot 673,4mA = 538,7mW$$

Videti: pod Silicon Rectifier Diodes na

<http://www.fagorelectronica.com/semi/pdf/producto/1n4000.pdf>

1N4001 zadovoljava jer je

Peak recurrent reverse voltage (V) $V_{RRM} = 30V > 12V$

Forward current at $T_{amb} = 75^\circ C$ $I_{F(AV)} = 1A > 0,673A$

Recurrent peak forward current $I_{FRM} = 10A > 1,53A$



45

Rešenje 12.3:

Odrediti R i C u stabilizatoru sa slike tako da jednosmerni napon na potrošaču

$R_{p\min} = 200\Omega$ bude 5V, a $\Delta V_{C\max} = 0,5V$. Upotrebiti zener diodu 1N5231B iz Tabele 1. Usvojiti da je efektivna vrednost napona na izlazu transformatora $2 \times 12V$ i da je na diodama 1N4148 pad napona $V_D = 0,7V$ kada vode.

$$V_{Z0} = 5,1V @ I_{Z0} = 20mA$$

$$r_z = 17\Omega @ I_{Z0} = 20mA$$

$$\Delta V_Z = V_{Z0} - V_{os} = 5,1 - 5 = 0,1V$$

$$\Delta I_Z = \frac{\Delta V_Z}{r_z} = \frac{0,1V}{17\Omega} = 5,88 \approx 6mA$$

$$I_Z \min = I_{Z0} - \Delta I_Z = 20 - 6 = 14mA$$

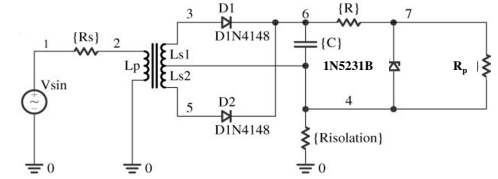
$$I_{p\max} = \frac{V_{os}}{R_{p\min}} = \frac{5V}{200\Omega} = 25mA$$

$$R = \frac{V_{C\min} - V_{os}}{I_Z \min + I_{p\max}} = \frac{(V_m - V_D) - \Delta V - V_{os}}{I_Z \min + I_{p\max}}$$

$$R = \frac{(\sqrt{2} \cdot 12 - 0,7) - 0,5 - 5}{14mA + 25mA} = \frac{10,77V}{39mA} = 276\Omega \approx 280\Omega$$

19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja



Dvostranomeravanj:

$$\Delta V_{C\max} = \frac{V_m - V_D}{2fCR}$$

$$C = \frac{V_m - V_D}{2f \cdot R \cdot \Delta V}$$

$$C = \frac{\sqrt{2} \cdot 12 - 0,7}{2 \cdot 50 \cdot 276 \cdot 0,5} = \frac{16,27}{1380} = 1,18mF \approx 1,2mF$$



46

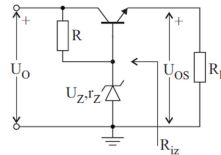
Domaći 12.1:

Za kolo rednog stabilizatora prikazanog na slici odrediti:

- Izlazni napon V_{OS}
- Faktor stabilizacije
- Izlaznu otpornost R_{iz}

Poznato je: $R = 200\Omega$; $R_p = 50\Omega$; $V_O = 10V$. Parametri diode su: $V_Z = 6,8V$; $r_Z = 10\Omega$.

Parametri tranzistora su: $V_{BE} = 0,7V$; $h_{11E} = 1k\Omega$; $h_{12E} = 0$; $h_{21E} = \beta = 100$; $h_{22E} = 0$.



Rešenje 12.1:

Videti: Zadatak 6.1 u „Računske vežbe II deo“ na

<http://leda.elfak.ni.ac.rs/?page=education/elektronika/elektronika.htm>



19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

47

Domaći 12.2:

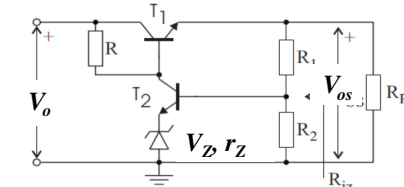
Za kolo rednog stabilizatora prikazanog na slici odrediti:

- Izlazni napon V_{OS}
- Faktor stabilizacije
- Izlaznu otpornost R_{iz}

Poznato je: $R_1 = R_2 = 4k\Omega$; $R_p = 2\Omega$; $R = 10k\Omega$, $V_O = 40V$. Parametri diode su: $V_Z = 10V$;

$r_Z = 0\Omega$. Parametri tranzistora su: $V_{BE} = 0,7V$; $h_{11E} = 1k\Omega$; $h_{12E} = 0$; $h_{21E} = \beta = 100$;

$h_{22E} = 0$.



Rešenje 12.2:

Videti: Zadatak 6.2 u „Računske vežbe II deo“ na

<http://leda.elfak.ni.ac.rs/?page=education/elektronika/elektronika.htm>



19. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

48