

Izvori jednosmernog napona

- Stabilizatori - regulatori napona (nastavak)

1



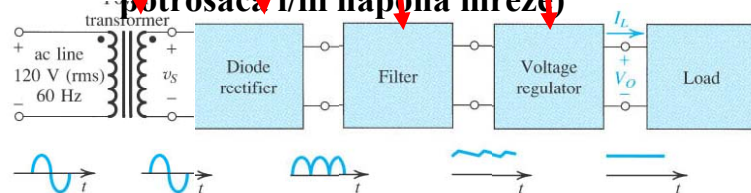
Sadržaj

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
 - 4.1.2 Paralelni stabilizatori
 - 4.1.3 Redni stabilizatori napona
 - 4.2 Prekidački stabilizatori napona
 - 4.2.1 Spuštači napona
 - 4.2.2 Podizači napona
 - 4.2.3 Invertori

2

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

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



10. januar 2012.

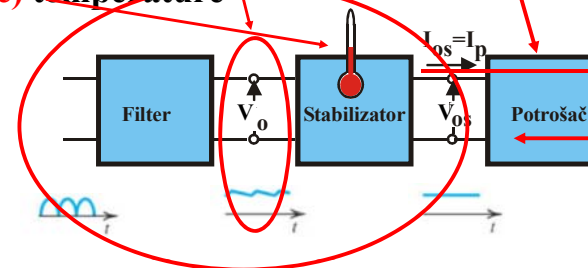
Prof. dr Predrag Petković

3



Napon na izlazu stabilizatora ne treba da zavisi od promena:

- a) ulaznog napona (napona na izlazu iz filtra)
- b) otpornosti potrošača (struje kroz potrošač)
- c) temperature



10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

4



Da se podsetimo

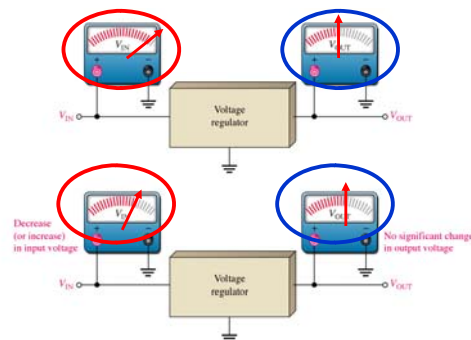
Stabilizatori - regulatori napona



Stabilizator je idealan ako je *faktor stabilizacije* $=0$

Stabilizator je dobar ako je *faktor stabilizacije* mali

$$S=(\Delta V_{os}/\Delta V_o) < 0.1\%$$



10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

5



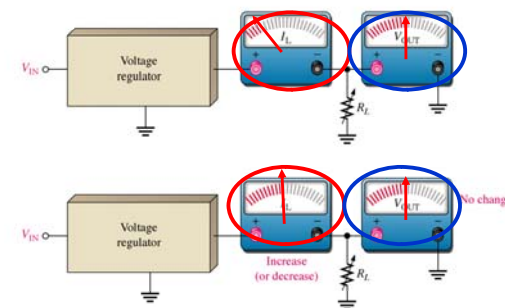
Da se podsetimo

Stabilizatori - regulatori napona



Kvalitet stabilizatora određuje osetljivost izlaznog napona na promene:

- **b)** otpora potrošača (napona na izlazu iz filtra)



10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

6



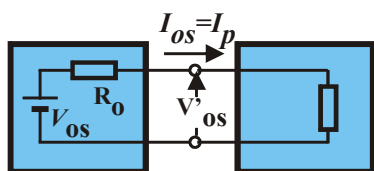
Da se podsetimo

Stabilizatori - regulatori napona



Stabilizator je idealan ako je $R_o=0$

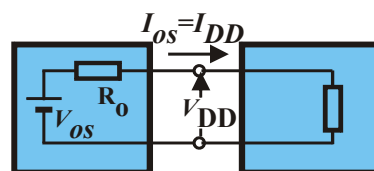
Stabilizator je dobar ako je $R_o < 10\Omega$



Stabilizator

Potrošač

$$V'_{os} = V_p = V_{os} - I_{os} \cdot R_o$$



Stabilizator

Potrošač

$$V_{DD} = V_{os} - I_{DD} \cdot R_o$$

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

7



Stabilizatori - regulatori napona



Realizacija stabilizatora napona

U osnovi postoje dva tipa realizacije stabilizatora

4.1. Linearni stabilizatori - regulatori napona

4.1.1 Sa Zener diodom

4.1.2 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

4.2.1 Spuštači napona

4.2.2 Podizači napona

4.2.3 Invertori

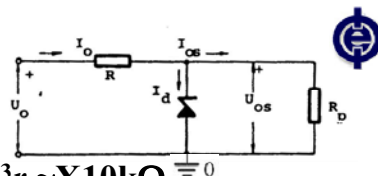
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

8



Karakteristike stabilizatora sa Zener diodom



-za $S < 0.1\%$, potrebno je $R = 10^3 r_z \approx X10k\Omega$
to znači da će za $I_{os} = I_P = 10mA$ pad napona
na R biti reda veličine X100V!!!
Za toliko treba da bude veći napon V_o od
 V_{os} .

Ako se ograniči vrednost R, povećaće se S!

Kako dobiti bolji stabilizator?

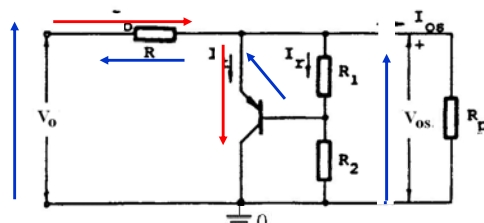


Sadržaj

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



4.1.2 Paralelni stabilizatori - regulatori napona



$$V_{os} = V_o - RI_o$$

$$I_o = I_t + I_r + I_{os}$$

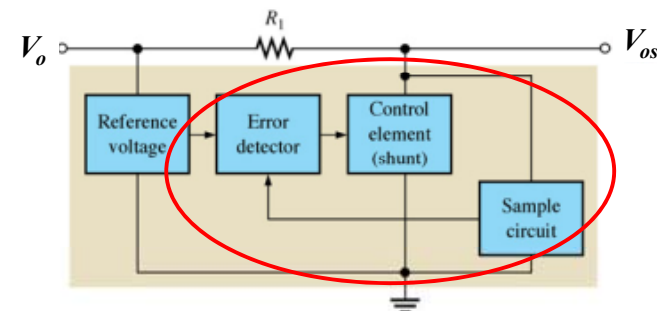
Porast V_o za ΔV_o teži da izazove porast ΔV_{os} ;
tada raste V_{BE} i to približno za $\Delta V_{BE} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \Delta V_{os}$

To izaziva porast struje kroz tranzistor I_t ,
što dovodi do povećanja I_o ,
a time i do većeg pada napona na R (RI_o),
čime se napon V_{os} smanjuje. ($V_{os} = V_o - RI_o$)



4.1.2 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

Integrirani paralelni stabilizatori - regulatori napona

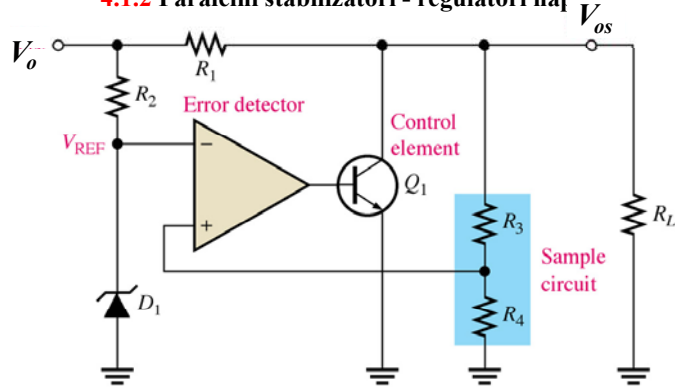


Da bi se ostvarila bolja stabilizacija, potrebno je
“ubrzati” reagovanje na promenu V_{os} .

Za dobru stabilizaciju napona potrebno je uvesti
dodatnu negativnu povratnu spregu.



4.1.2 Paralelni stabilizatori - regulatori napajanja



- Q_1 je kontrolni element vezan paralelno sa potrošačem.
- Deo izlaznog napona vraća se preko razdelnika R_3 , R_4 .
- Referentni napon dobijen preko D_1 .
- Regulacija se postiže kontrolom struje kroz Q_1 .

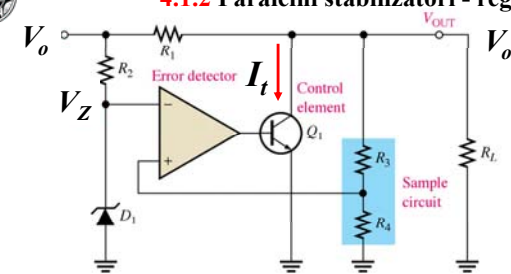
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

13



4.1.2 Paralelni stabilizatori - regulatori napona



$$V_{os} \cong \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V_Z$$

Preko Zener diode na invertujući ulaz dovodi se referentni napon.

Svaka promena izlaznog napona prenosi se preko R_3 i R_4 na neinvertujući ulaz operacionog pojačavača.

Razlikom ovih napona kontroliše se V_{BE} tranzistora, a time i struja kroz tranzistor I_t .

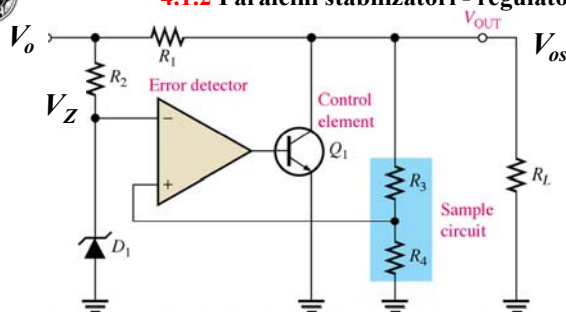
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

14



4.1.2 Paralelni stabilizatori - regulatori napona



$$V_o \cong \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) V_Z$$

- R_1 je redno vezan sa potrošačem i na njemu se "ublažavaju" sve promene napona ΔV_o .
- R_2 služi da definiše struju diode $I_D = (V_o - V_Z)/R_2$.
- Na operacionom pojačavaču poredi se referentni napon V_Z sa naponom iz razdelnika $(R_4 V_{os})/(R_3 + R_4)$.

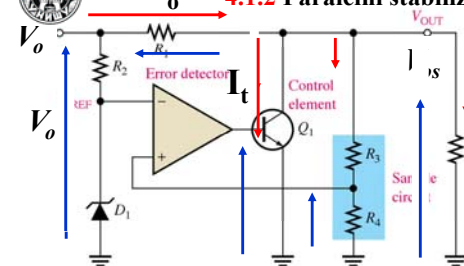
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

15



4.1.2 Paralelni stabilizatori - regulatori napona



Porast V_o za ΔV_o teži da izazove porast ΔV_{os} ;

tada raste V_+ i to za

$$\Delta V_+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \Delta V_{os} ;$$

zato raste napon na izlazu OpAmp, a time i V_{BE} ;

to izaziva porast struje kroz tranzistor I_t ,

što dovodi do povećanja I_o ,

a time i do većeg pada napona na R (RI_o),

čime se napon V_{os} smanjuje: $V_{os} = V_o - RI_o$.

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

16



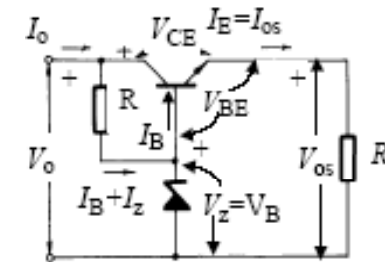
Sadržaj

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

17



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



$$V_{os} = V_o - V_{CE}$$

$$V_{BE} = V_z - V_{os}$$

$$I_z = (V_o - V_z)/R$$

Redni tranzistor koristi se kao izvor konstantne struje; radi u konfiguraciji sa zajedničkom bazom, tako da mu je izlazna otpornost mala.

Sve varijacije napona V_o , kompenzuju se preko V_{CE} , pri konstantnoj struji baze.

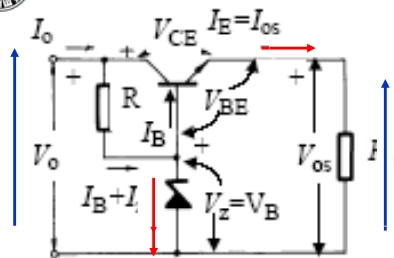
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

18



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



$$V_{os} = V_o - V_{CE}$$

$$V_{BE} = V_z - V_{os}$$

$$I_o = I_t + I_r + I_{os}$$

Porast V_o za ΔV_o teži da izazove porast V_{os} ; usled rasta V_o raste I_z , a I_B i I_C ostaju konstantne, tako da se sprečava promena V_{os} .

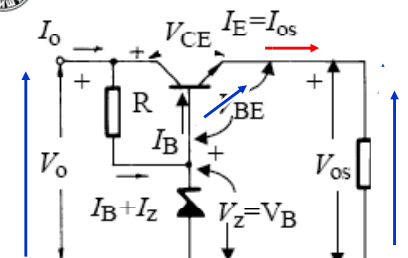
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

19



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



$$V_{os} = V_o - U_{CE}$$

$$V_{BE} = V_z - V_{os}$$

Ukoliko postoji težnja da se V_{os} poveća usled promena u kolu potrošača (dok se V_o ne menja)

to izaziva i smanjenje napona V_{BE} ,

što dovodi do pada I_{os} ,

čime se napon V_{os} smanjuje.

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

20



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

Znajući da je $I_B \ll I_z$

$$V_B \approx \frac{R}{R+r_z} V_z + \frac{r_z}{R+r_z} V_o$$

$$V_B \approx V_z + \frac{r_z}{R} V_o$$

$$V_{os} = V_B - V_{BE}$$

$$V_{os} \approx V_z + \frac{r_z}{R} V_o - V_{BE}$$

$$S = \frac{\partial V_{os}}{\partial V_o} \approx \frac{r_z}{R};$$

Iako je izraz za S isti kao kod stabilizatora sa zener diodom, R može da bude mnogo veće, jer I_z kontroliše samo baznu struju, tako da se ostvaruje **mного manji faktor stabilnosti**

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

21



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

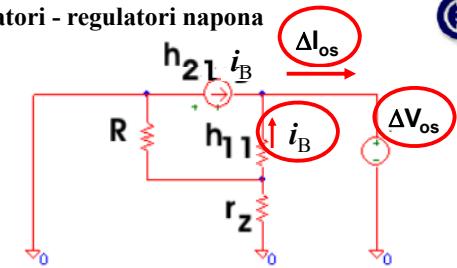
Model za naizmenični signal

$$R_o = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta I_{os}}$$

$$i_B = -\frac{V_{os}}{h_{11} + R \parallel r_z} \approx -\frac{V_{os}}{h_{11} + r_z} \approx -\frac{V_{os}}{h_{11}}$$

$$\Delta I_{os} = -(h_{21} + 1) i_B = -(h_{21} + 1) \left(-\frac{\Delta V_{os}}{h_{11}} \right)$$

$$R_o = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta I_{os}} \approx \frac{h_{11}}{h_{21} + 1}$$



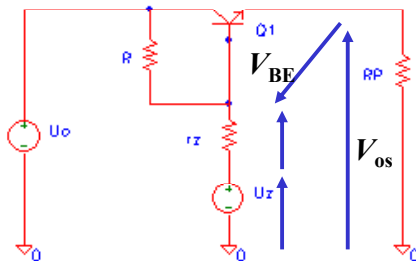
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

22



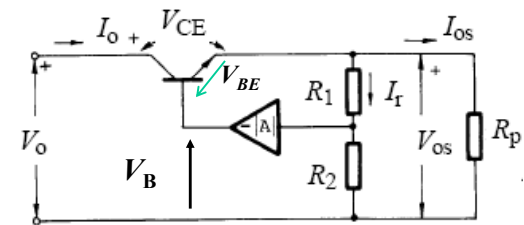
4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



$$V_{os} \approx V_z + \frac{r_z}{R} V_o - V_{BE}$$

$$S_T = \frac{\partial V_{os}}{\partial T} \approx \frac{\partial V_z}{\partial T} - \frac{\partial V_{BE}}{\partial T}$$

Karakteristike rednog stabilizatora mogu da se poboljšaju ako se “ubrza” reagovanje rednog tranzistora



$$V_B = -A \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{os}$$

$$V_{BE} = V_B - V_{os} = -\left(A \frac{R_2}{R_1 + R_2} + 1 \right) V_{os}$$

10. januar 2012.

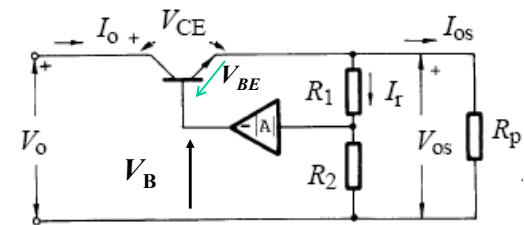
Prof. dr Predrag Petković

23



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

Karakteristike rednog stabilizatora mogu da se poboljšaju ako se “ubrza” reagovanje rednog tranzistora



$$V_B = -A \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{os}$$

$$V_{BE} = V_B - V_{os} = -\left(A \frac{R_2}{R_1 + R_2} + 1 \right) V_{os}$$

10. januar 2012.

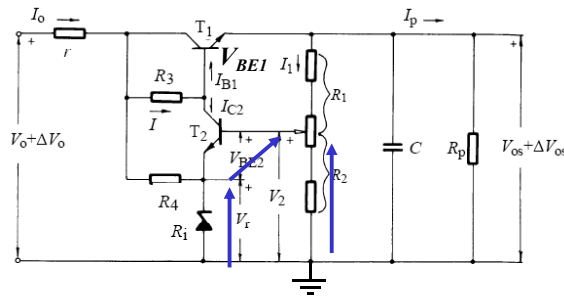
Prof. dr Predrag Petković

24



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

Praktična realizacija u diskretnoj tehnici



Promene za ΔV_{os} pojačavaju se tranzistorom T2 i prenose na ΔV_{BE1} ;

$$V_{BE2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{os} - V_z$$

$$V_{os} = (V_{BE2} + V_z) \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \approx V_z \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

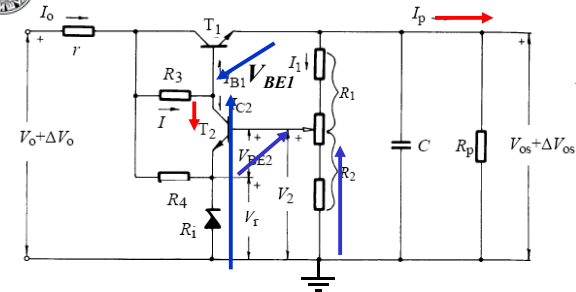
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

25



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Porast V_{os} izazvaće porast V_{B2} , odnosno V_{BE2} ; tada raste I_{C2} i smanjuje se V_{C2} , tako da se smanjuje napon V_{BE1} , što dovodi do pada I_c , a time i I_p , čime se napon V_{os} smanjuje.

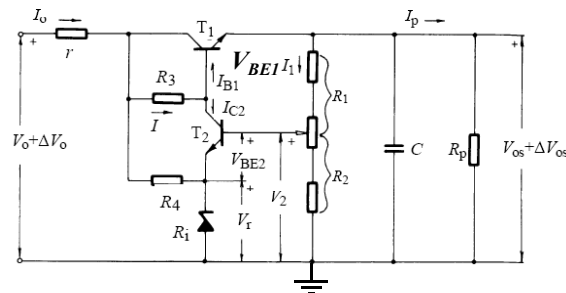
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

26



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



$$S \approx \frac{R_1}{h_{21E} R_3}$$

$$R_o \approx \frac{R_1}{h_{21E}^2}$$

$$S_T \approx \left(\frac{\partial V_{BE2}}{\partial T} + \frac{\partial V_z}{\partial T} \right) \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

27



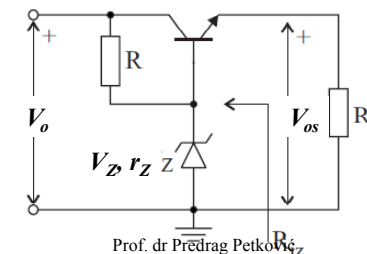
4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

Domaći 13.1:

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



10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

28



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

Domaći 13.2:

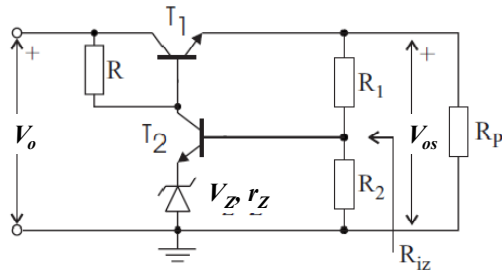
Za kolo rednog stabilizatora prikazanog na slici odrediti:

- 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:

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



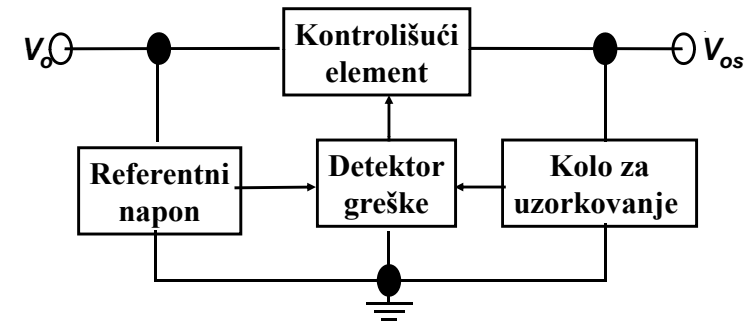
10. januar 2012.

29



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

Integrirani redni stabilizatori - regulatori napona



10. januar 2012.

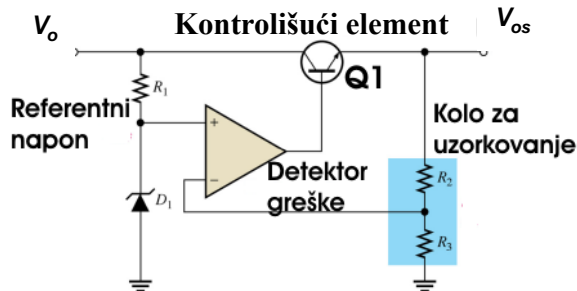
Prof. dr Predrag Petković

30



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

Integrirani redni stabilizatori - regulatori napona



$$V_{OS} \cong \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_Z$$

(izvesti izraz)

- Q_1 je kontrolišući element vezan redno sa potrošačem.
- Deo izlaznog napona vraća se preko razdelnika R_2, R_3 .
- Referentni napon dobijen preko D_1 .
- Regulacija se postiže kontrolom struje kroz Q_1 .

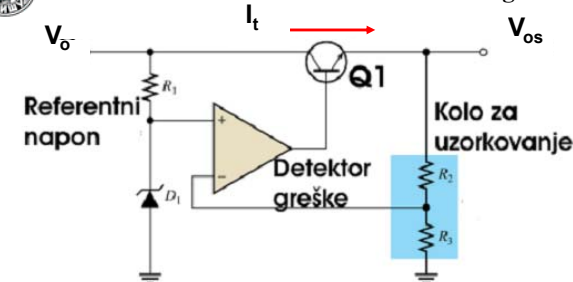
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

31



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



$$V_{OS} \cong \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_Z$$

Preko Zener diode, na neinvertujući ulaz dovodi se referentni napon: V_Z

Svaka promena izlaznog napona V_{OS} prenosi se na invertujući ulaz operacionog pojačavača $V_- = R_3 V_{OS} / (R_2 + R_3)$.

Razlikom ovih napona kontroliše se V_{BE} tranzistora $\{V_B = A(V_Z - V_-)\}$, a time i struja kroz tranzistor I_t .

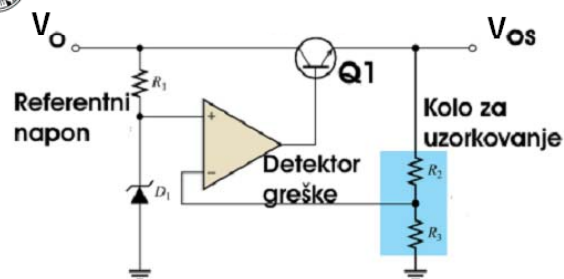
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

32



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



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

- R_1 služi da definiše struju diode $I_D = (V_o - V_z)/R_1$
- Na operacionom pojačavaču poredi se referentni napon V_z sa naponom iz razdelnika:

$$V_- = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_{os}$$

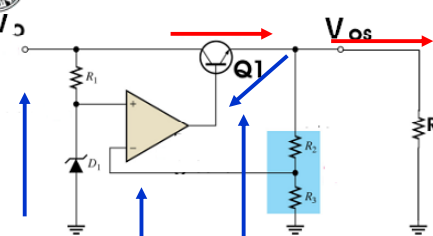
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

33



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Porast V_o za ΔV_o teži da izazove porast ΔV_{os} ;

tada raste V_- i to za

$$\Delta V_- = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \Delta V_{os} ;$$

zato opada napon na izlazu OpAmp,

a onda se smanjuje V_{BE} ;

to izaziva smanjenje struje kroz tranzistor I_T ,

što dovodi do smanjenja I_P ,

čime se napon V_{os} smanjuje: $V_{os} = R_P I_P$.

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

34



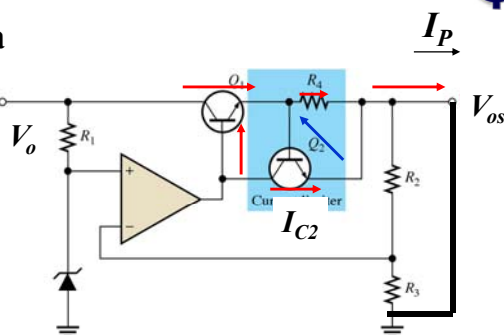
4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Zaštita od kratkog spoja

Tranzistor Q2 počinje da vodi tek kada je pad napona na R_4 dovoljno veliki.

Kada provede Q2, proteče I_{C2} i smanjuje se I_{B1} , a tada se smanjuje i struja I_{C1} , a time i struja potrošača I_P



Maksimalna vrednost struje potrošača ograničena je na

$$I_{P(max)} = 0.7V/R_4$$

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

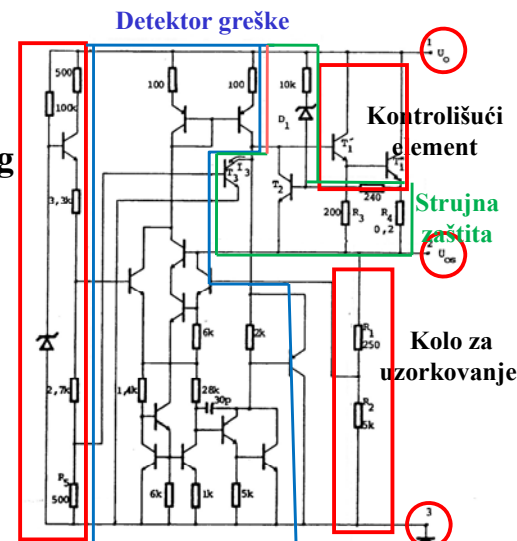
35

4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

Električna šema integrisanog rednog stabilizatora

NIC 7800C

Referentni napon



10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

36

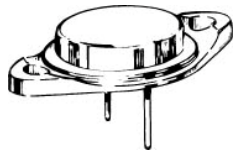


4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Karakteristike integrisanih stabilizatora

- Jednostavna upotreba
- Pakuju se u standardnim kućištima
- TO-3 (20 W)



10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

37

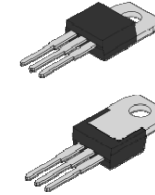
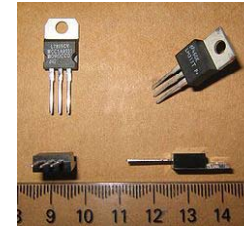


4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Karakteristike integrisanih stabilizatora

- Pakuju se u standardnim kućištima
- TO-220 (15 W)



10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

38

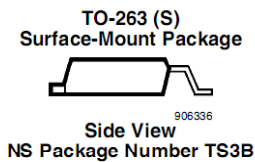
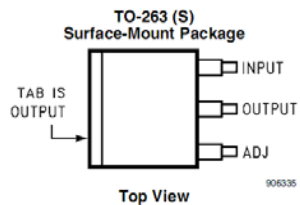
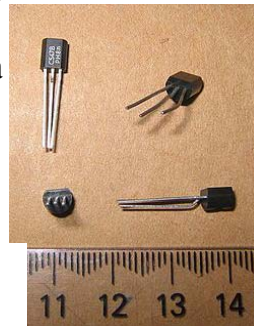


4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Karakteristike integrisanih stabilizatora

- Pakuju se u standardnim kućištima
- TO-92 (1 W)
- TO 263 (S)



http://malaysia.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=centre/sem_techref_semipack

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

39



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Karakteristike integrisanih stabilizatora

- serije 78/79XX stabilizatora prave se obično za izlazne napone od 5, 6, 8, 12, 15, 18, ili 24 V
- Maksimalna struja 0,1A; 1A; 2A; 3A
- Ugrađena zaštita od pregrevanja
- Pad napona na stabilizatoru od 3V (prave se i za manje napone – LDO *Low DropOut* < 1V)
- http://www.analog.com/en/power-management/linear-regulators/products/index.html?gclid=CK_GsZ7or6YCFQY03wod4SIDnw

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

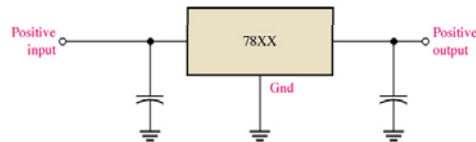
40



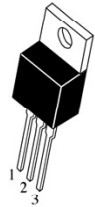
4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Karakteristike integriranih stabilizatora



(a) Standard configuration



TO-220
T SUFFIX
CASE 221A

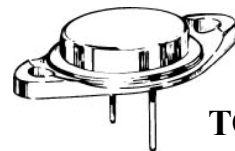
Heatsink surface
connected to Pin 2.

Pin 1. Input
2. Ground
3. Output

(c) Typical packages

Type number	Output voltage
7805	+5.0 V
7806	+6.0 V
7808	+8.0 V
7809	+9.0 V
7812	+12.0 V
7815	+15.0 V
7818	+18.0 V
7824	+24.0 V

(b) The 7800 series



TO-3

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

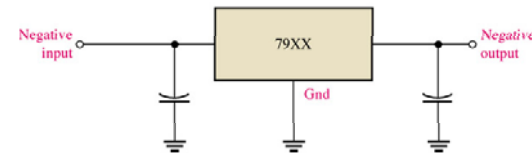
41



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Karakteristike integriranih stabilizatora



TO-220
T SUFFIX
CASE 221A

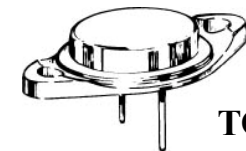
Heatsink surface
connected to Pin 2.

Pin 1. Input
2. Ground
3. Output

(c) Typical packages

Type number	Output voltage
7905	-5.0 V
7905.2	-5.2 V
7906	-6.0 V
7908	-8.0 V
7912	-12.0 V
7915	-15.0 V
7918	-18.0 V
7924	-24.0 V

(b) The 7900 series



TO-3

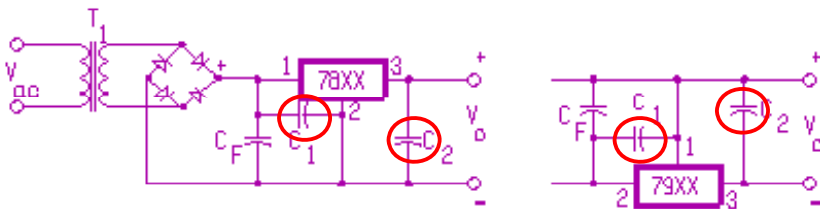
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

42



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



- C_1 i C_2 su opcioni kondenzatori.
- C_1 služi da neutrališe parazitne induktivnosti
- C_2 smanjuje šum (filtrira).

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

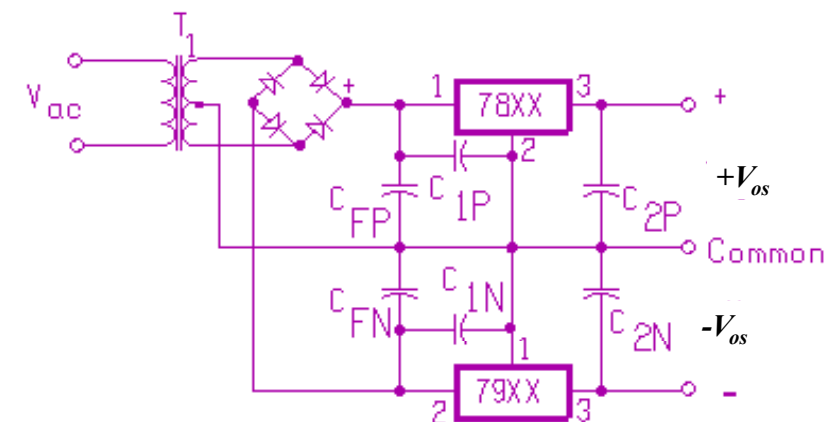
43



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Realizacija simetričnog napajanja uz pomoć integriranih stabilizatora



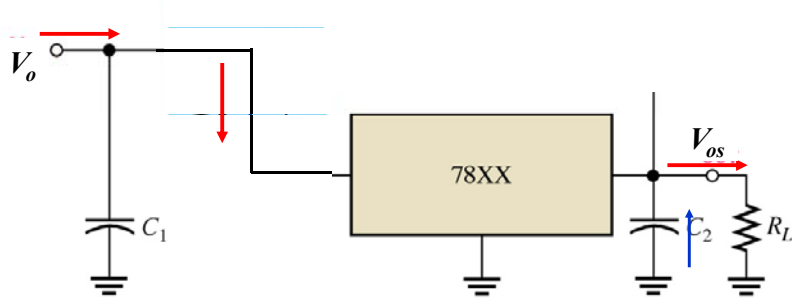
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

44



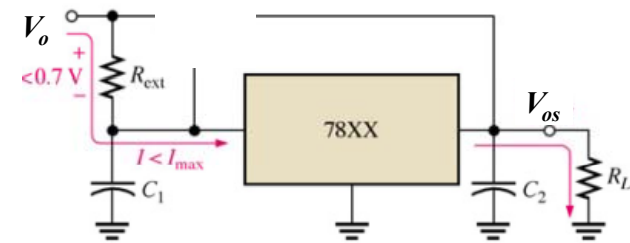
Povećanje struje potrošača



$$R_{\text{ext}} = 0.7 \text{ V}/I_{\text{max}}$$



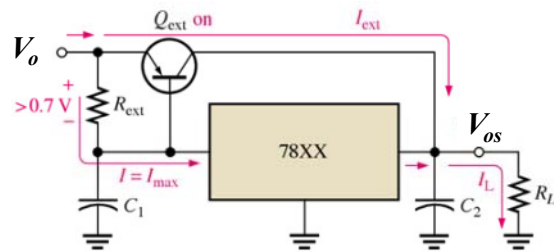
Povećanje struje potrošača



- U režimu malih struja kroz potrošač, Q_{ext} je zakočen



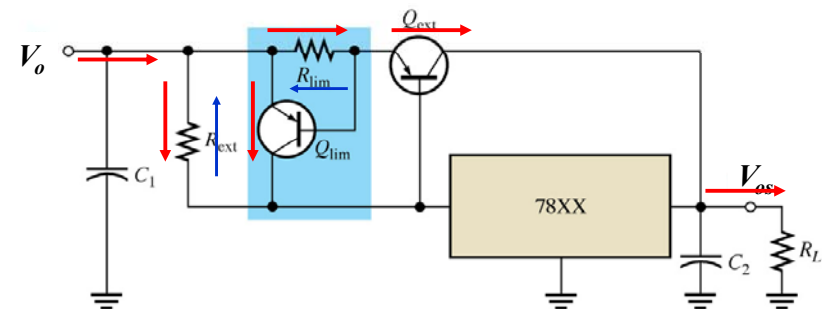
Povećanje struje potrošača



- Q_{ext} počinje da vodi kada je $V_{R_{\text{ext}}} > 0.7 \text{ V}$.
- vrednost R_{ext} bira se tako da je $I_{R_{\text{ext}}} = I_{\text{max}} \approx 0.1 \text{ A}$ (najveća struja kroz IC).
- Disipacija na Q_{ext} je $P = (V_o - V_{os})I_{\text{ext}}$.



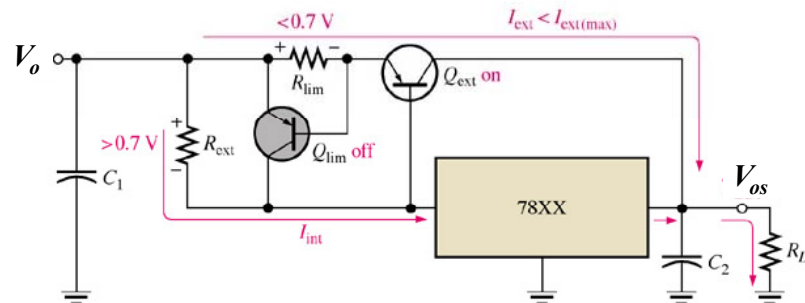
Zaštita od kratkog spoja



- Q_{lim} služi za zaštitu od kratkog spoja.



Zaštita od kratkog spoja



- Q_{lim} počinja da vodi pri , $V_{Rlim} > 0.7 \text{ V}$.

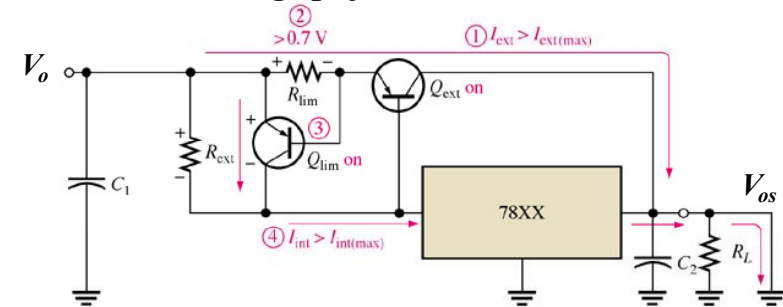
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

49



Zaštita od kratkog spoja



- Cilj je da Q_{lim} počne da vodi tek kada struja kroz Q_{ext} premaši maksimalnu dozvoljenu vrednost.
 - Tada se struja kroz Q_{ext} smanjuje i usmerava kroz stabilizator.
10. oktobra 2019. Prof. dr Predrag Petković

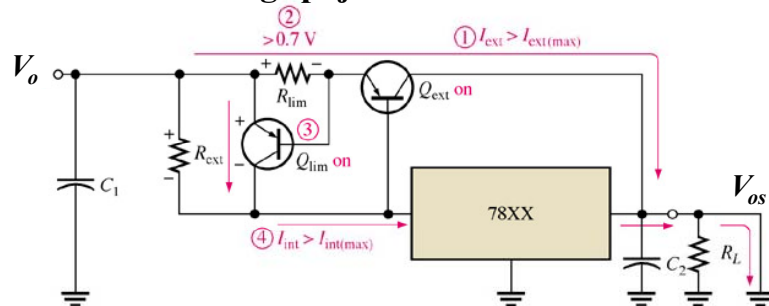
10 **kroZs**

• Prof. dr Predrag Petković

50



Zaštita od kratkog spoja



- Stabilizator ima internu zaštitu od pregrevanja
- Maksimalni $V_{CElim} < 1.4 \text{ V}$.

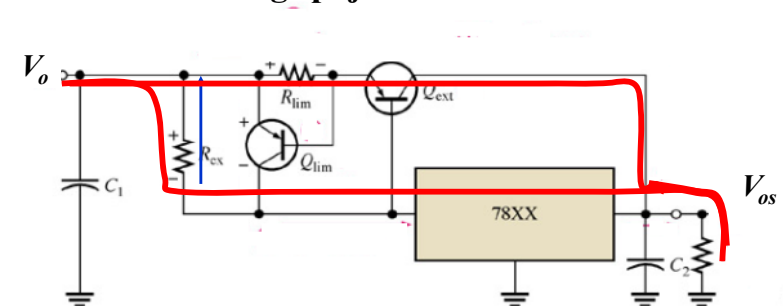
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

51



Zaštita od kratkog spoja



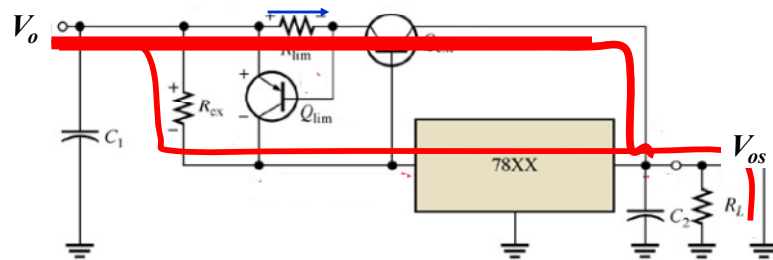
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

52



Zaštita od kratkog spoja



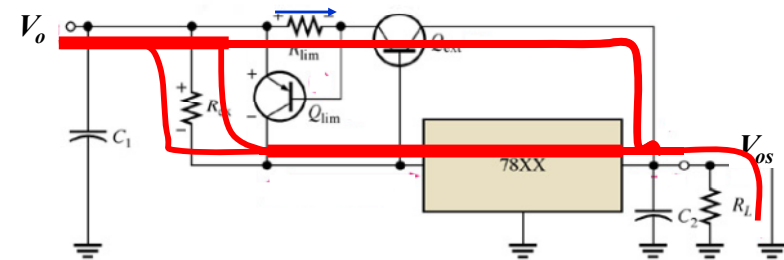
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

53



Zaštita od kratkog spoja



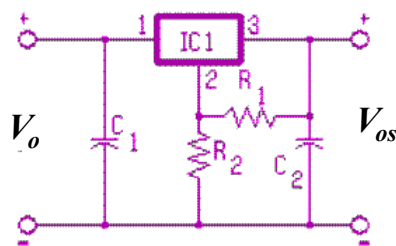
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

54



Povećanje izlaznog napona na potrošaču



- R_1 se bira tako da je $R_1 \approx 0.1 V_{ref}/I_Q$, gde je I_Q mirna struja stabilizatora (neopterećenog).

- V_{os} može da bude i veći od nominalnog napona stabilizatora V_{ref}

$$V_{os} = V_{ref} + \left(\frac{V_{ref}}{R_1} + I_Q \right) R_2$$

odnosno

$$R_2 = \frac{R_1 (V_{os} - V_{ref})}{V_{ref} + I_Q R_1}$$

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

55



Stabilizatori - regulatori napona promenljivog napona

- Moguće je realizovati stabilizator promenljivog napona ako se R_2 zameni potenciometrom. Međutim:
 - Minimalni izlazni napon je V_{ref} (a ne 0 V).
 - I_Q je relativno veliko.
 - Disipacija na R_2 može da bude velika tako da zahteva glomazan potenciometar.
- Postoji više tipova IC stabilizatora namenjenih za promenljive napone n.p.r. LM317 (za pozitivne) ili LM 337 (za negativne napone).

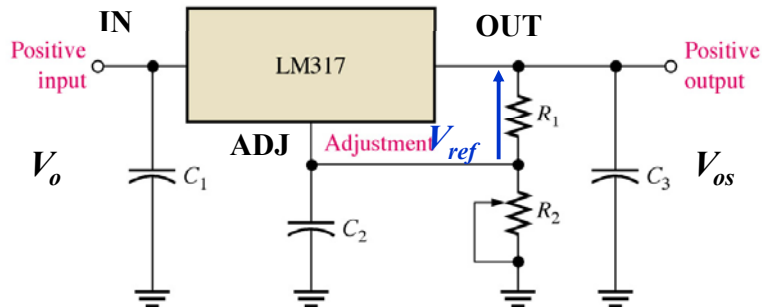
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

56



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Između OUT i ADJ pinova postoji referentni napon od $V_{ref}=1.25V$ (na $R_I=100-240\Omega$)

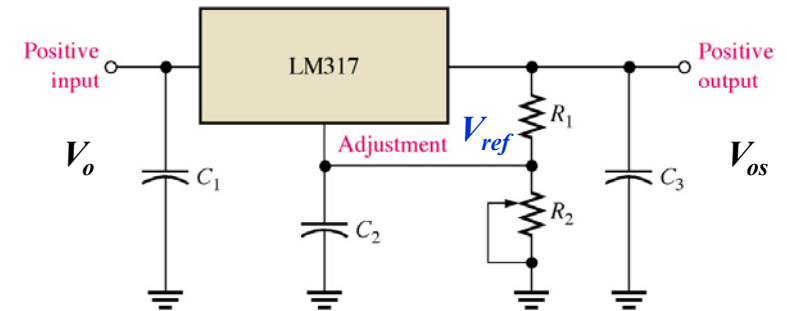
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

57



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Izborom R_2 moguća regulacija u opsegu 1.25V-30V

$$V_{os} = V_{ref} + \left(\frac{V_{ref}}{R_1} + I_{adj} \right) R_2$$

$$I_{adj}=50\mu A$$

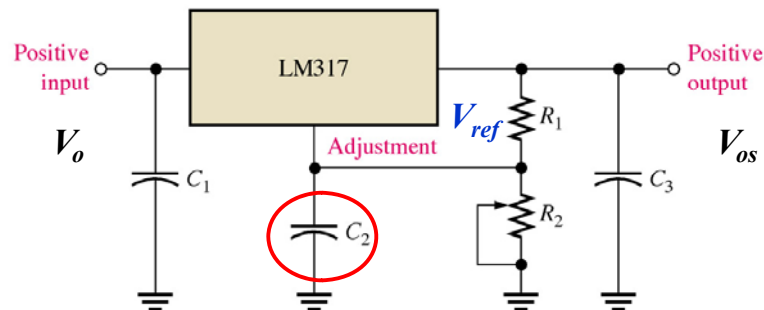
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

58



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Kondenzator C_2 smanjuje šumove (10 μF)

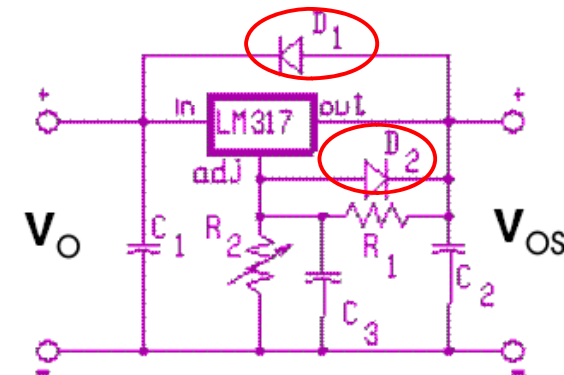
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

59



4.1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



D_1 i D_2 štite kolo od prenapona u primenama sa većim strujama i naponima

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

60



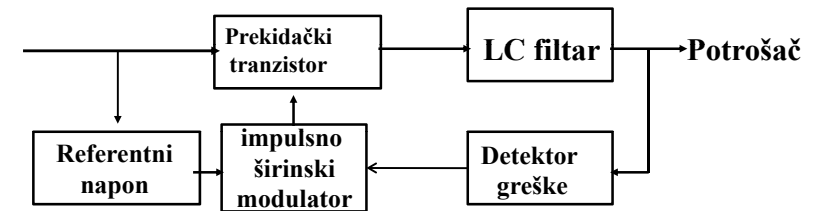
Sadržaj

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
 - 4.1.2 Paralelni stabilizatori
 - 4.1.3 Redni stabilizatori napona
 - 4.2 Prekidački stabilizatori napona
 - 4.2.1 Spuštači napona
 - 4.2.2 Podizači napona
 - 4.2.3 Invertori

61



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 $V_{CE}=V_{CES} \approx 0.2V$.

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

62



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.

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

63



4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona



Nedostaci

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

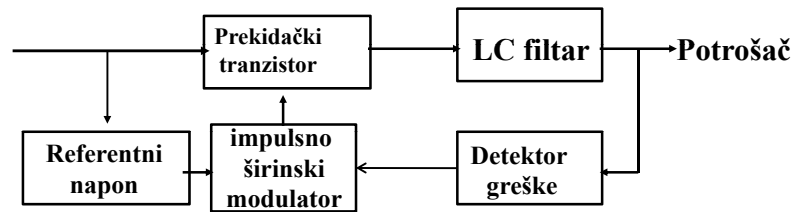
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

64



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*)

10. januar 2012.

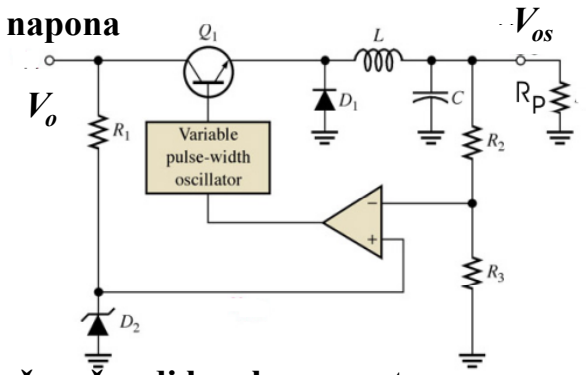
Prof. dr Predrag Petković

65



4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

4.2.1 Spuštači napona



- Operacioni pojačavač radi kao komparator.
- Referentni napon obezbeđuje D_z .
- Razdelnik R_2 i R_3 definiše izlazni napon u odnosu na V_z .

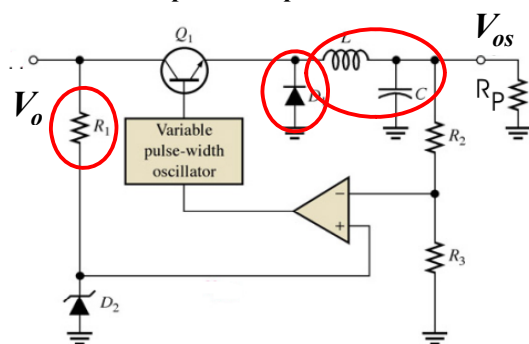
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

66



4.2.1 Spuštači napona



- R_1 služi da polarise D_z .
- L i C čine filter.
- D_1 sprečava da napon na emitoru bude $V_E < 0$.

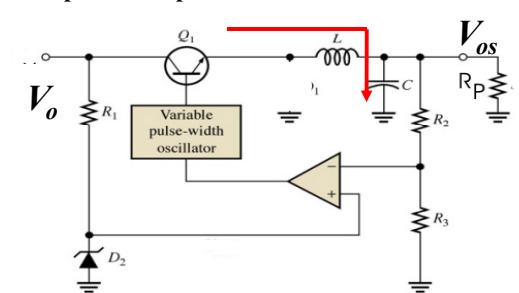
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

67



4.2.1 Spuštači napona



- Kada je $V_{R3} < V_z$, izlaz OP je u pozitivnom zasićenju ($+V_{CC}$) i tranzistor vodi, a D_1 zakočena.

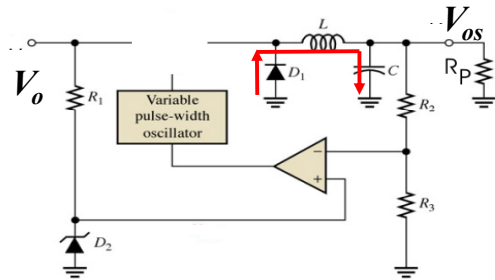
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

68



4.2.1 Spuštači napona



- Kada je $V_{R3} > V_z$, izlaz OP je u negativnom zasićenju ($-V_{CC}$) i tranzistor je zakočen, kondenzator se prazni. Kada D1 provede, kroz kalem se dopunjuje C.

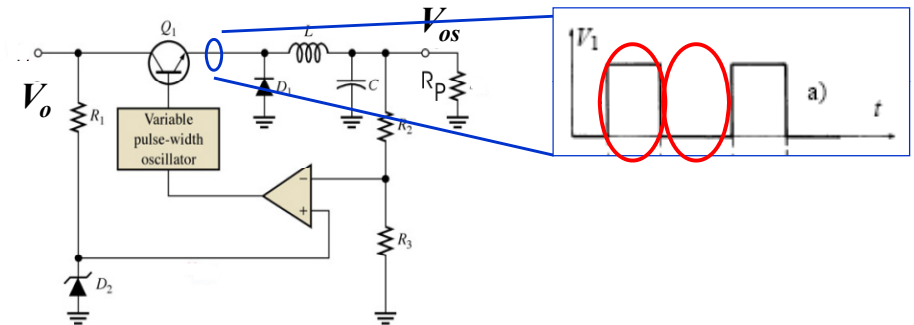
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

69



4.2.1 Spuštač napona



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

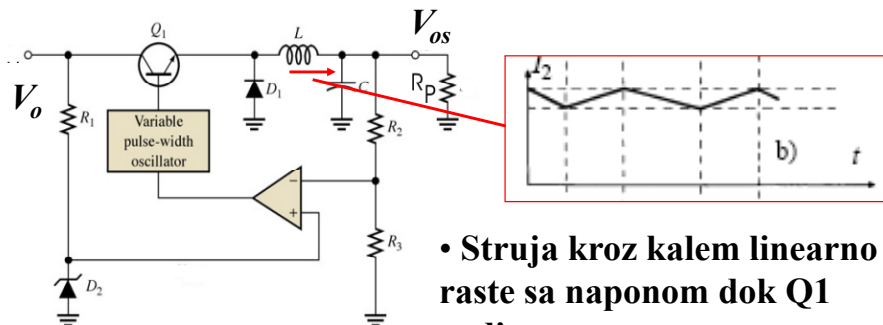
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

70



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.

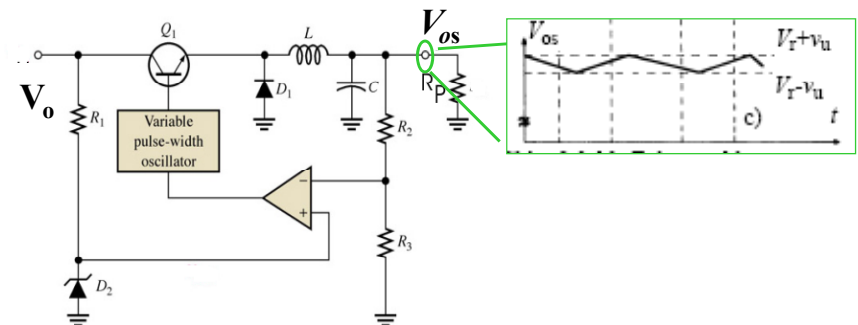
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

71



4.2.1 Spuštač napona



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

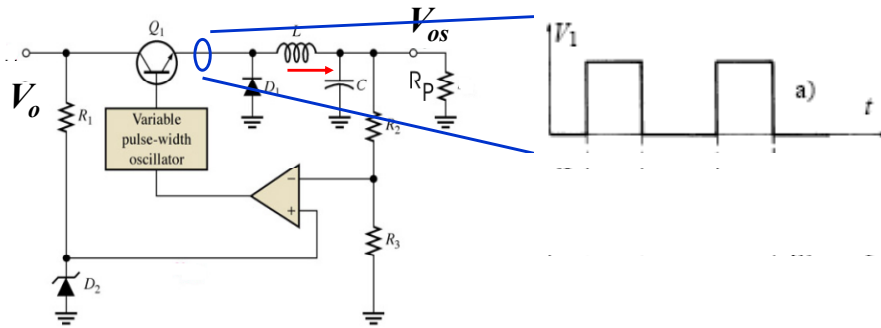
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

72



4.2.1 Spuštač napona



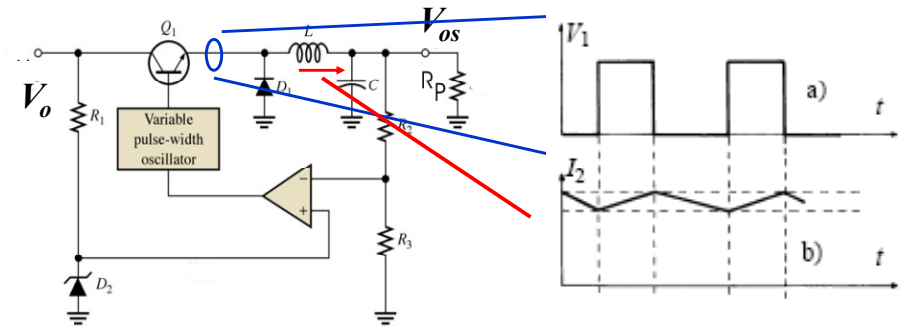
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

73



4.2.1 Spuštač napona



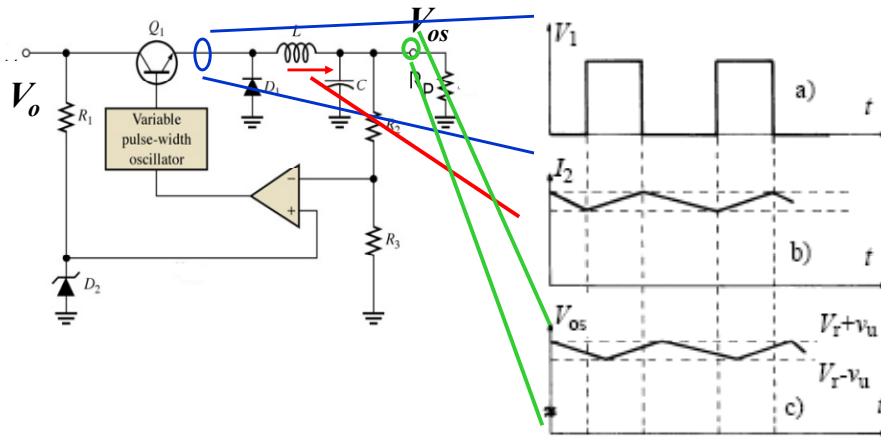
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

74



4.2.1 Spuštač napona



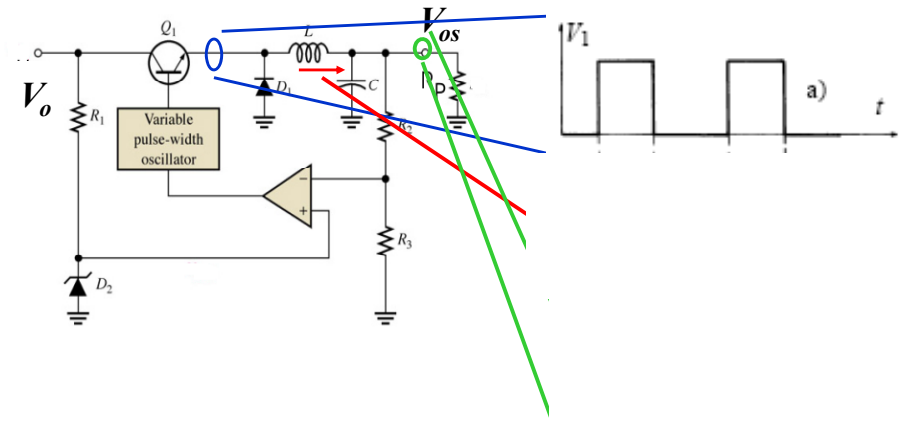
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

75



4.2.1 Spuštač napona



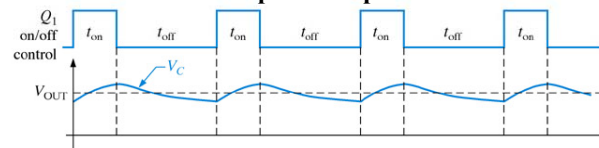
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

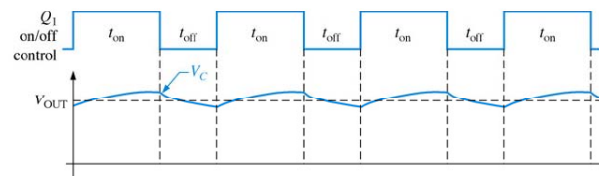
76



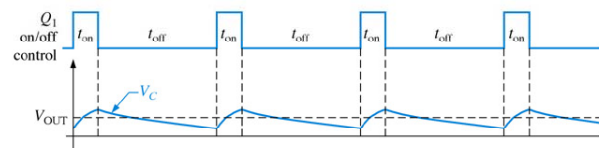
4.2.1 Spuštač napona



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



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



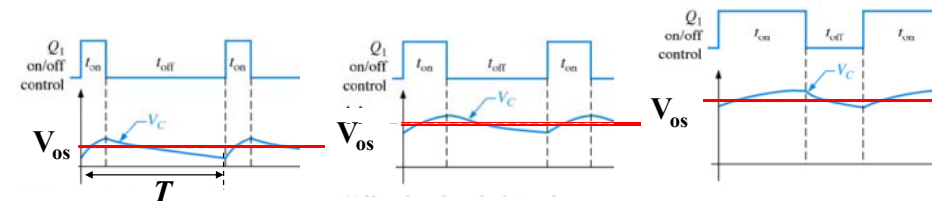
10. januar 2012. (c) Decrease the duty cycle and V_{OUT} decreases.



77



4.2.1 Spuštač napona



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

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

78



Izvori jednosmernog napajanja

Sadržaj

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

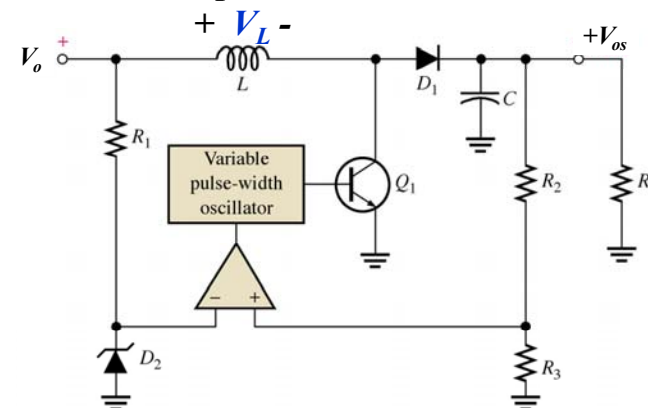


79



4.2 Prekidački stabilizatori - regulatori napona

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 .

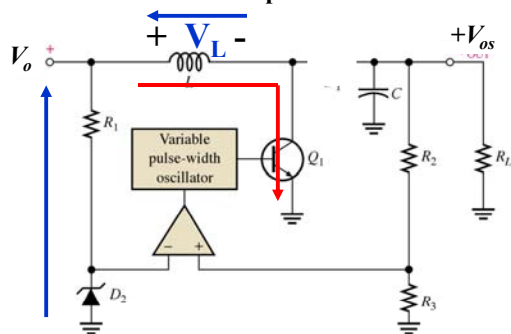
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

80



4.2.2 Podizači napona



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

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

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

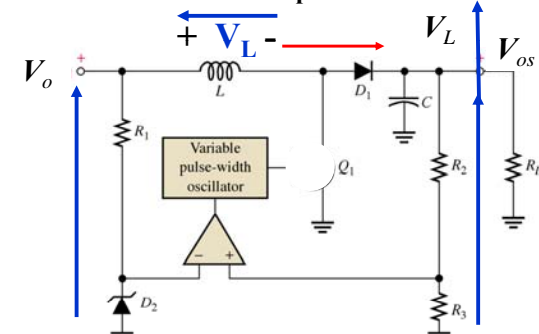
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

81



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.

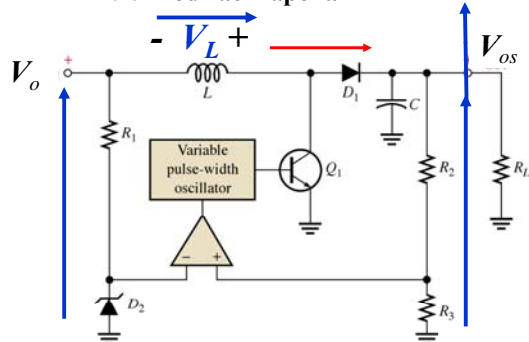
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

82



4.2.2 Podizači napona



- Napon na C :

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

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

83



Izvori jednosmernog napajanja

Sadržaj

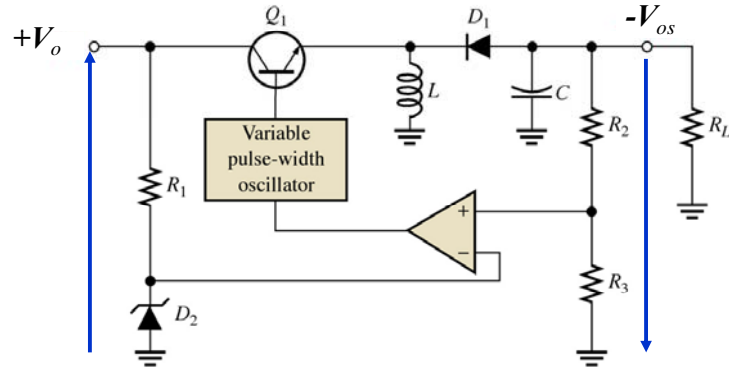
1. Uvod
2. Usmerači napona
 - 2.1 Jednostrano usmeravanje
 - 2.2 Dvostrano usmeravanje
 - 2.3 Umnožavačavači napona
4. Filtriranje usmerenog napona
4. Stabilizatori – regulatori napona
 - 4.1 Linearni stabilizatori napona
 - 4.1.1 Stabilizatori sa Zener diodom
 - 4.1.2 Paralelni stabilizatori
 - 4.1.3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

84



4.2 Prekidački stabilizatori - regulatori napona

4.2.3 Invertori napona



- Izlazni napon ima suprotan polaritet od ulaznog

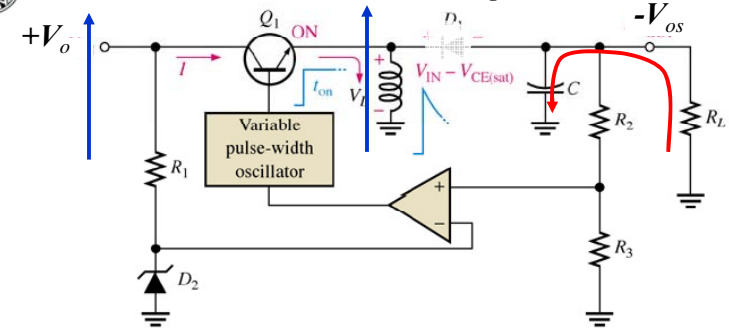
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

85



4.2.3 Invertori napona



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

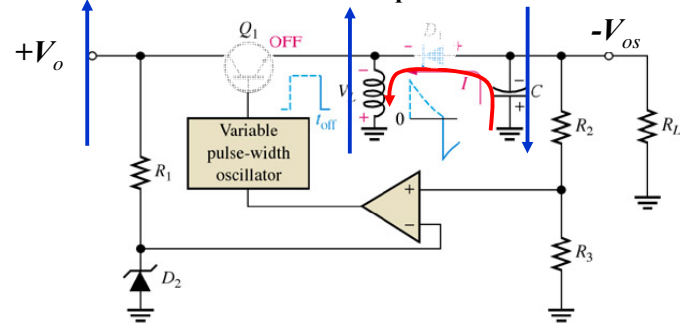
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

86



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 $V_L = -V_{os}$

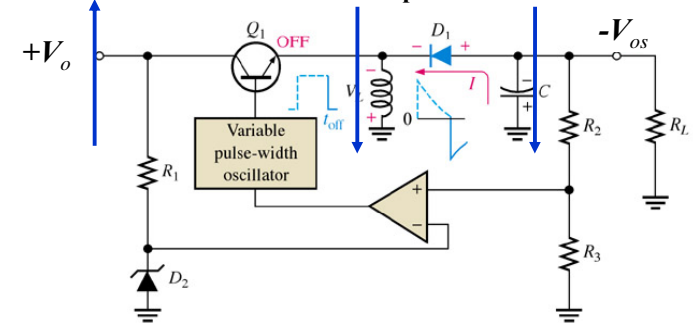
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

87



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, $(t_{on}/T) = 0.5$

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

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

88



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

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

89

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.

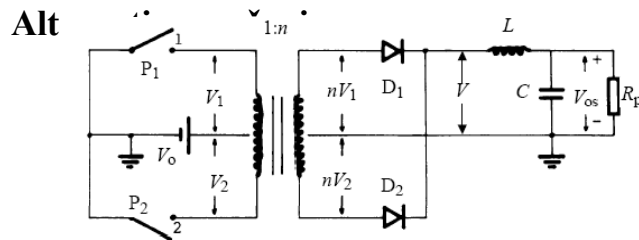
10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

90



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



Više o ovoj temi na kursu “Energetska elektronika”

10. januar 2012.

Prof. dr Predrag Petković

91

Šta smo naučili?



- **Uporediti karakteristike linearnih i prekidačkih stabilizatora (regulatora) napona.**
- Skicirati el. šemu stabilizatora sa rednim tranzistorom i objasniti kako se ostvaruje stabilizacija (regulacija) napona..
- Skicirati osnovnu el. šemu stabilizatora (regulatora) napona realizovanog sa integriranim stabilizatorom 78XX
- Osnovna blok šema i klasifikacija prekidačkih stabilizatora (regulatora) napona.

10. januar 2012.

Izvori jednosmernog napajanja 2

92

92



1. Princip rada paralelnog stabilizatora (regulatora) napona.
2. Princip rada i faktor stabilizacije rednog stabilizatora (regulatora) napona.
3. Blok šema i princip rada integrisanog rednog stabilizatora (regulatora) napona.
4. Princip povećanja struje potrošača kod integrisanog stabilizatora (regulatora) napona.
5. Princip zaštite integrisnih stabilizatora (regulatora) napona od kratkog spoja.
6. Električna šema realizacije simetričnog napajanja na osnovu integrisanih stabilizatora (regulatora) napona 78XX i 79XX.
7. Princip rada prekidačkih stabilizatora/regulatora spuštača napona.
8. Princip rada prekidačkih stabilizatora/regulatora podizača napona.
9. Princip rada prekidačkih stabilizatora/regulatora invertora napona.



Sledi:

-Šumovi

-Rekapitulacija (pitanja/odgovori)

Rešenje 12.1:

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:

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

$$a) \Delta V_0 = \frac{V_m - 2V_d}{2 \cdot f \cdot R \cdot C} \Rightarrow C = \frac{V_m - 2V_d}{2 \cdot f \cdot R \cdot \Delta V_0} = \frac{12 - 1,6}{2 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 1} = 1,04 \mu F$$

$$b) V_0 = \frac{V_m'}{\left(1 + \frac{\pi}{\omega RC}\right)} = \frac{(V_m - 2V_d)}{\left(1 + \frac{1}{2fRC}\right)} = \frac{10,4}{\left(1 + \frac{1}{2 \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 100 \Omega \cdot 1,04 \mu F}\right)} =$$

$$V_0 = (V_m - 2V_d) - \frac{\Delta V_0}{2} = 12 - 1,6 - 1 = 9,4V$$

$$c) I_0 = \frac{V_0}{R} = 94mA$$

Rešenje 12.2:

4. Filtriranje usmerenog napona

Za usmerač sa kapacitivnim filtrom iz prethodnog primera odrediti:

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

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

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

$$b) I_D \approx I_0 \left(1 + \pi \sqrt{\frac{V_m'}{2\Delta V}}\right) = I_0 \left(1 + \pi \sqrt{\frac{(V_m - 2V_d)}{2\Delta V}}\right) = 94mA \cdot 7,16 = 673,4mA$$

$$c) I_{D\max} \approx I_0 \left(1 + 2\pi \sqrt{\frac{V_m'}{2\Delta V}}\right) = I_0 \left(1 + 2\pi \sqrt{\frac{(V_m - 2V_d)}{2\Delta V}}\right) = 94mA \cdot 15,33 = 1,53A$$

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 $I_{FRM} = 10A > 1,53A$

97

Rešenje 12.3: 4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom

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

$R_{pmin} = 200\Omega$ bude 5V, a $\Delta V_{Cmax} = 0.5V$. Upotrebiti zener diodu 1N5231B iz Tabele 1. Usvojiti da je efektivna vrednost napona na izlazu transformatora 2x12V i da je na diodama 1N4148 pad napona $V_D = 0,7V$ kada vode.

$$V_{Z0} = 5.1V @ I_{Z0} = 20mA$$

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

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

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

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

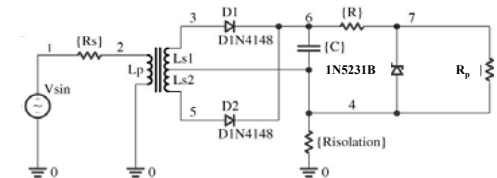
$$I_{pmax} = \frac{V_{os}}{R_{pmin}} = \frac{5V}{200\Omega} = 25mA$$

$$R = \frac{V_{Cmin} - V_{os}}{I_{Zmin} + I_{pmax}} = \frac{(V_m - V_D) - \Delta V - V_{os}}{I_{Zmin} + I_{pmax}}$$

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

10. januar 2012.

Izvori jednosmernog napajanja



Dvostranusmeravanj:

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

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

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

98