

Izvori jednosmernog napona

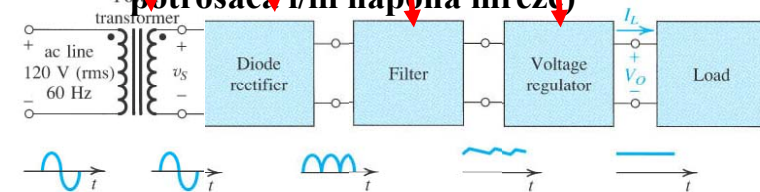
- Stabilizatori - regulatori napona

1



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

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



11. januar 2010.

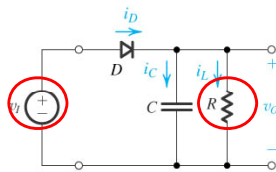
Prof. dr Predrag Petković

2

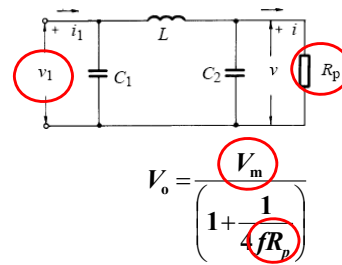


Napon na izlazu usmerača i filtra zavisi od:

- amplitude naizmeničnog napona kojim se pobuđuju (na izlazu transformatora).
- Otpornosti potrošača



$$V_o = \frac{V_m}{\left(1 + \frac{\pi}{2\omega R_p C}\right)}$$



$$V_o = \frac{V_m}{\left(1 + \frac{1}{4fR_p C}\right)}$$

11. januar 2010.

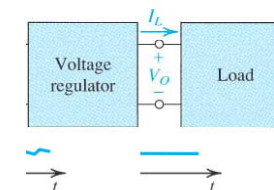
Prof. dr Predrag Petković

3



Cilj je da jednosmerni napon bude konstantan, odnosno *stabilan*, nezavisan od promene napona na ulazu i/ili otpora potrošača

Elektronsko kolo koje obezbeđuje stabilan izlazni napon naziva se *stabilizator* ili *regulator napona* (voltage regulator).



11. januar 2010.

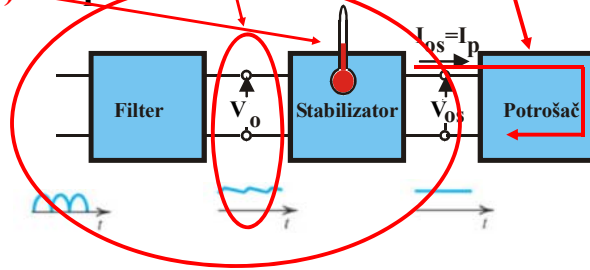
Prof. dr Predrag Petković

4



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**



11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

5



Kvalitet stabilizatora određuje osetljivost izlaznog napona na promene:

- **a) ulaznog napona** (napona na izlazu iz filtra)

$$S = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta V_o} \bigg|_{\substack{I_{os}=C^{ta} \\ T=C^{ta}}}$$

ova veličina naziva se *faktor stabilizacije*
(line regulation)

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

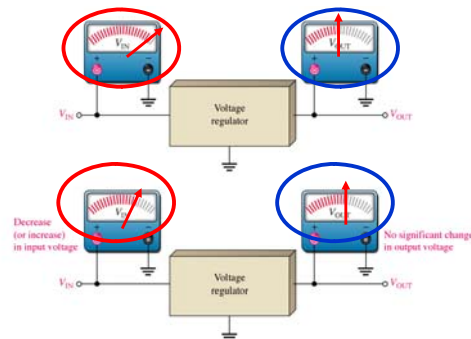
6



Stabilizator je idealan ako je *faktor stabilizacije*=0

Stabilizator je dobar ako je *faktor stabilizacije* mali

$$S < 0.1\%$$



11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

7



Kvalitet stabilizatora određuje osetljivost izlaznog napona na promene:

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

$$R_o = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta I_{os}} \bigg|_{\substack{V_o=C^{ta} \\ T=C^{ta}}} = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta I_p} \bigg|_{\substack{V_o=C^{ta} \\ T=C^{ta}}}, \text{ jer je } I_{os} = I_p$$

ova veličina naziva se *dinamička izlazna otpornost*

11. januar 2010.

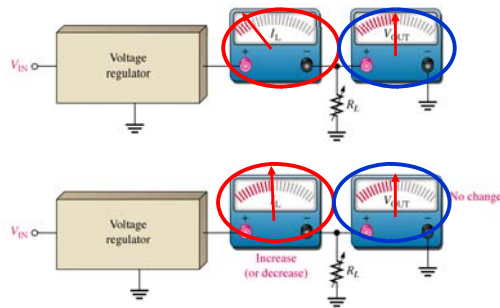
Prof. dr Predrag Petković

8



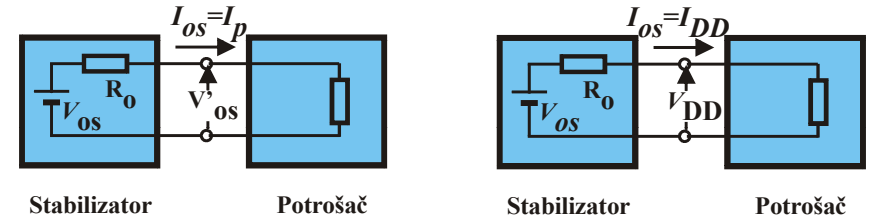
Kvalitet stabilizatora određuje osetljivost izlaznog napona na promene:

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



Stabilizator je idealan ako je $R_o = 0$

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

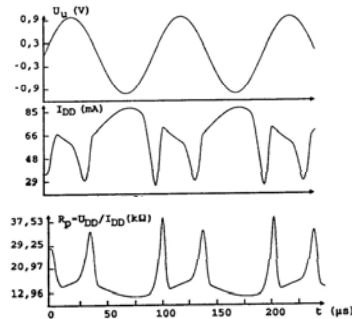
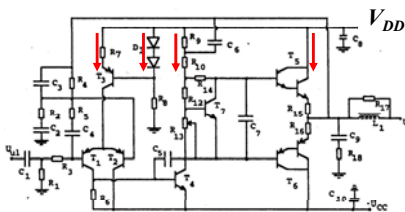


$$V'_{os} = V_p = V_{os} - I_{os} \cdot R_o$$

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



Ako je potrošač operacioni pojačavač, $I_{DD} = \sum I_{DDi}$, gde su I_{DDi} struje kroz svaku granu vezanu za V_{DD}



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



Alternativno se definiše *faktor opterećenja* (load regulation)

$$S_P = \frac{V_{os} - V'_{os \min}}{V'_{os \min}} = \frac{V_{os} - V'_{os} |_{I_{os} = I_{os \max}}}{V'_{os} |_{I_{os} = I_{os \max}}}$$



Kvalitet stabilizatora određuje i osetljivost izlaznog napona na promene

- **c)** temperature

$$S_T = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta T} \left| \begin{array}{l} I_{os} = C^{ta} \\ V_{os} = C^{ta} \end{array} \right.$$



Realizacija stabilizatora napona

U osnovi postoje dva tipa realizacije stabilizatora

1. Linearni stabilizatori - regulatori napona

1.1 Sa Zener diodom

1.2 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

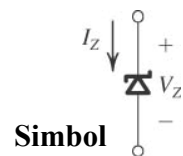
2.1 Spuštači napona

2.2 Podizači napona

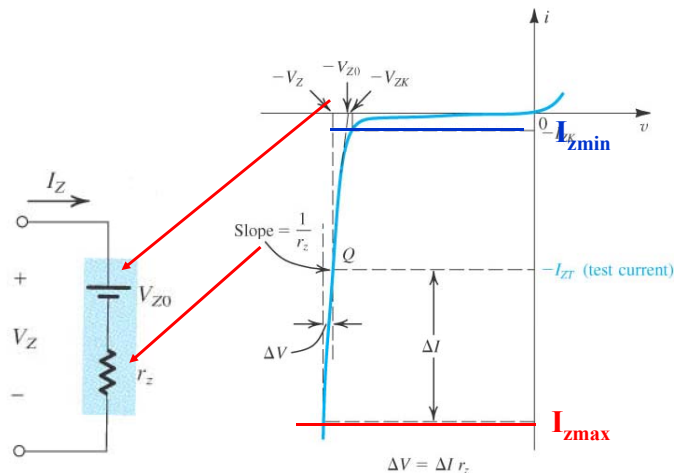
2.3 Invertori



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



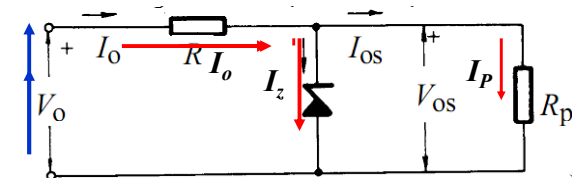
Model



Karakteristika pri inverznoj polarizaciji



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



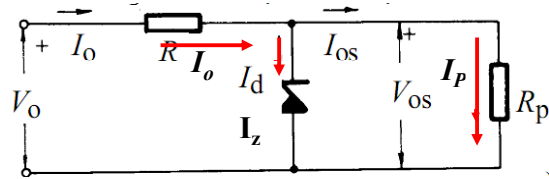
Pretpostavimo da napon V_O poraste.

Tada će struja I_O da poraste.

Ako je dioda idealna, biće $V_{os} = V_z$,
zato će struja kroz potrošač ostati ista
 $I_{os} = I_P = V_z / R_P$,
jer će “višak” struje da ide kroz diodu.



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Pretpostavimo da struja I_P poraste zato što se smanji R_P .

Ako je dioda idealna, biće $V_{os}=V_z$.

Tada će struja I_o da zadrži vrednost, ali će struja kroz diodu da se smanji.

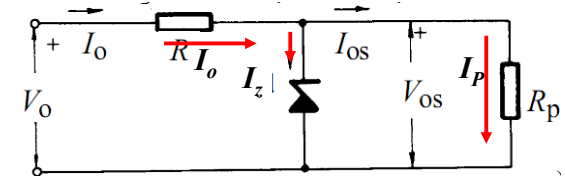
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

17



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Kroz diodu će proticati minimalna struja kada je struja kroz potrošač maksimalna.

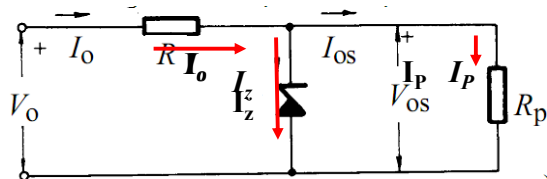
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

18



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Kroz diodu će proticati maksimalna struja kada je struja kroz potrošač minimalna.

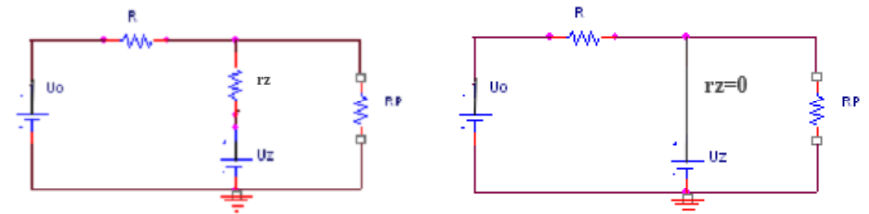
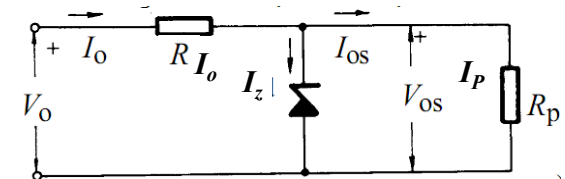
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

19



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



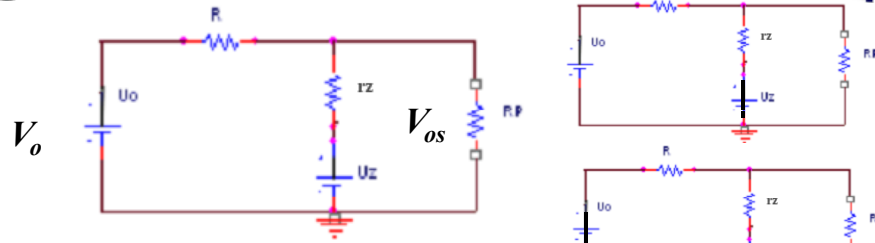
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

20



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



$$V_{os} = \frac{r_z || R_P}{r_z || R_P + R} V_o + \frac{R || R_P}{R || R_P + r_z} V_z$$

Za $r_z \ll R_P$ i $R_P \ll R$

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

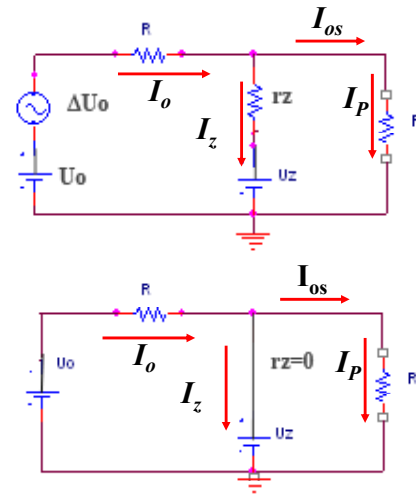
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

21



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



$$\Delta V_{os} = \frac{r_z || R_P}{r_z || R_P + R} \Delta V_o$$

$$\Delta V_{os} \approx \frac{r_z}{r_z + R} \Delta V_o \approx \frac{r_z}{R} \Delta V_o$$

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

Za idealnu diodu, $r_z=0$:
 $S=0$

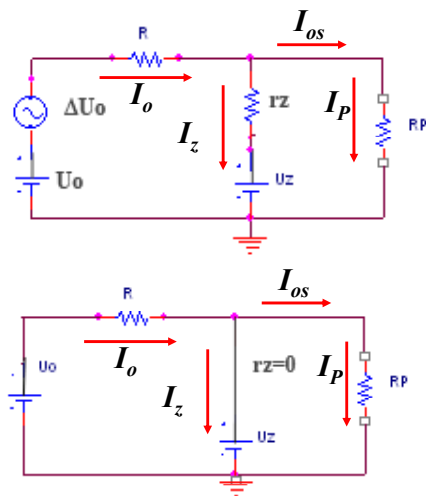
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

22



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



$$R_o = \frac{\Delta V_{os}}{\Delta I_{os}} = \frac{r_z R}{r_z + R}$$

$$R_o \approx r_z$$

Za idealnu diodu, $r_z=0$:
 $R_o=0$

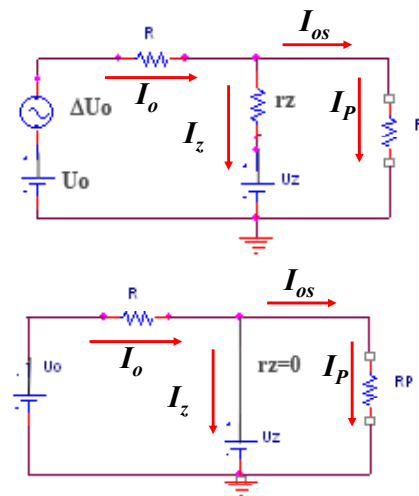
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

23



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



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

Za idealnu diodu:
 $S_T=0$

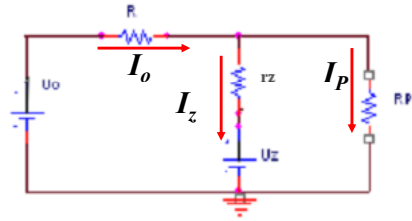
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

24



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Izbor diode za zadate
vrednosti V_o , V_{os} i
opseg promene R_P

Izabere se vrednost R tako da radna tačka diode bude
na sredini dinamičkog opsega između I_{zmin} i I_{zmax} .

Pri tome je $I_{zmax} = P_d / V_z$;

I_{zmin} , P_d i V_z dati su u katalogu.

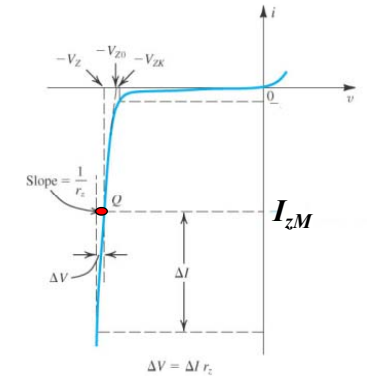
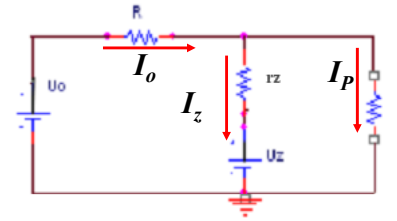
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

25



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



$$I_{zM} = (I_{zmin} + I_{zmax})/2 \approx I_{zmax}/2$$

$$R = (V_o - V_z) / I_{zM}$$

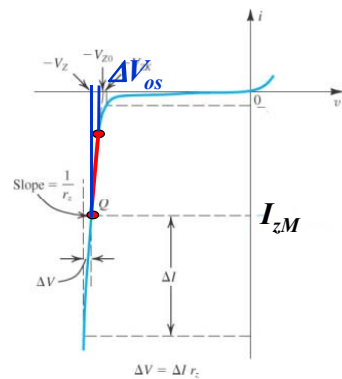
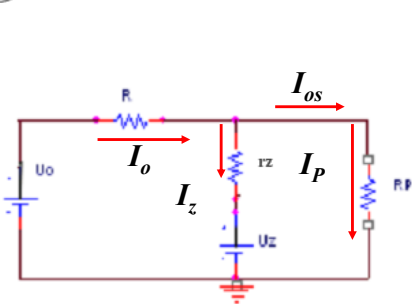
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

26



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Ako se otpornost potrošača smanji,
povećaće se struja I_P , a smanjiće se strja I_z .

Napon V_{os} smanjiće se za ΔV_{os}

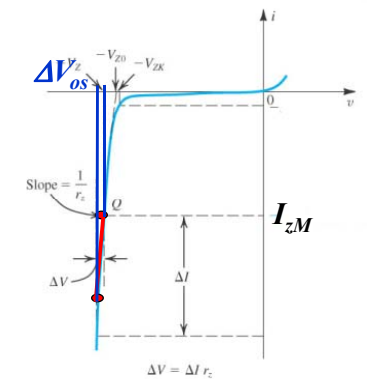
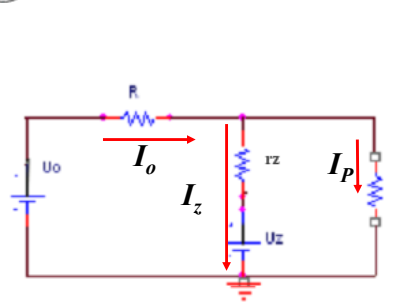
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

27



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Ako se otpornost potrošača poveća,
smanjiće se struja I_P , a povećaće se sturja I_z

Napon V_{os} povećaće se za ΔV_{os}

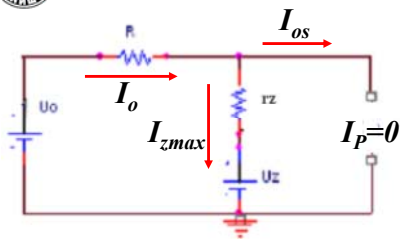
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

28



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Da bi se zaštitila dioda od pregorevanja, R može da se izabere tako da pri najnepovoljnijim uslovima, struja kroz diodu ne bude veća od I_{zmax} :

$$R = (V_o - V_z) / I_{zmax}$$

Tada postoji realna opasnost da se pri malim otpornostima potrošača izgubi stabilizaciono dejstvo, jer će struja kroz diodu da opadne ispod I_{zmin} .

$$R_{pmin} = V_z / (I_{zmax} - I_{zmin}) \approx V_z / I_{zmax}$$

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

29



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Primer:

PARAMETERS:

$C = 520\mu$

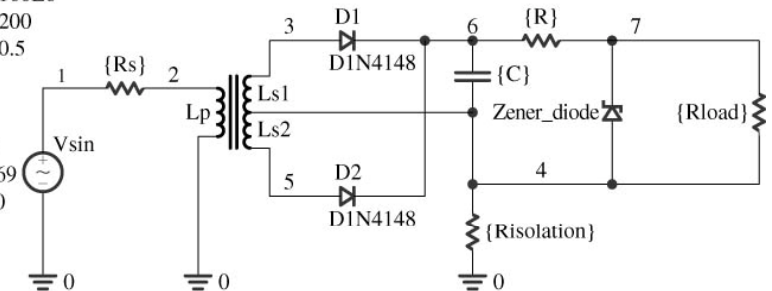
$R = 191$

Resolution = 100E6

$R_{load} = 200$

$R_s = 0.5$

VOFF = 0
VAMPL = 169
FREQ = 60



11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

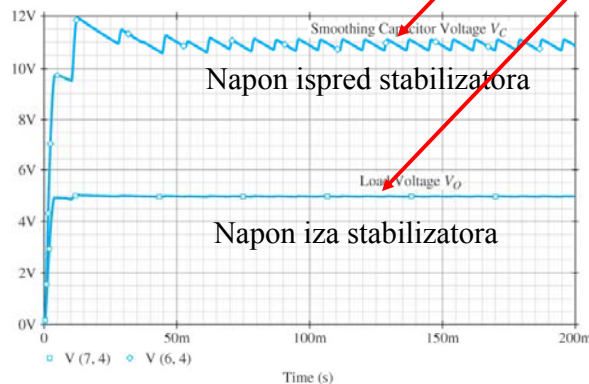
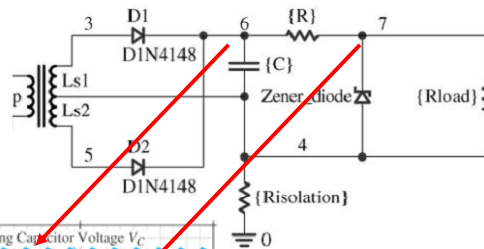
30



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Primer:



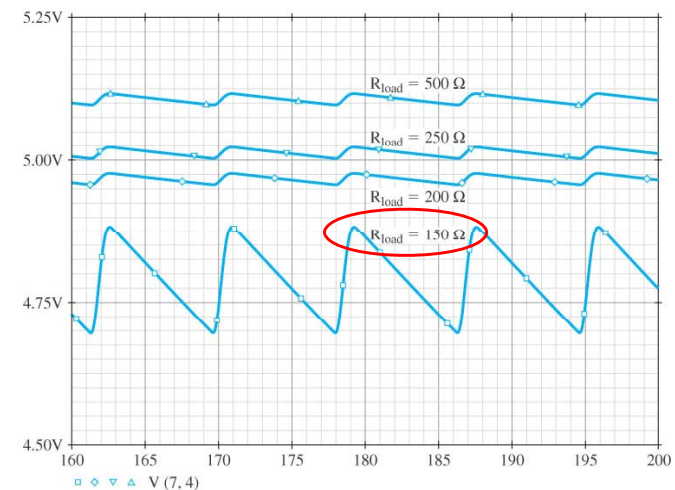
31



1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Primer:



Regulacija se izgubila pri otpornosti potrošača od 150 Ω .

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

32



Karakteristike Zener dioda



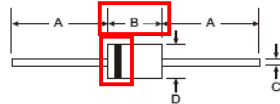
1N5221B - 1N5267B

500mW EPITAXIAL ZENER DIODE

SPICE MODELS: 1N5221B 1N5231B 1N5233B 1N5235B 1N5239B 1N5241B

Features

- 500mW Power Dissipation
- High Stability
- Low Noise
- Surface Mount Equivalents Available
- Hermetic Package
- V_Z - Tolerance $\pm 5\%$



Mechanical Data

- Case: DO-35, Glass
- Terminals: Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Marking: Type Number
- Weight: 0.13 grams (approx.)

DO-35		
Dim	Min	Max
A	25.40	—
B	—	4.00
C	—	0.60
D	—	2.00
All Dimensions in mm		

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

33



Karakteristike Zener dioda

Type Number	Zener Voltage Range (Note 2)			Test Current	Maximum Zener Impedance		Maximum Reverse Current		Maximum Temperature Coefficient @ I _{ZT}
	V _Z @ I _{ZT}			I _{ZT}	Z _{TT} @ I _{ZT}	Z _{ZK} @ I _{ZK} = 0.25mA	I _R	@V _R	
	Nom (V)	Min (V)	Max (V)	mA	Ω	Ω	μA	V	%/°C
1N5221B	2.4	2.28	2.52	20	30	1200	100	1.0	-0.085
1N5227B	3.6	3.42	3.78	20	24	1700	15	1.0	-0.065
1N5228B	3.9	3.71	4.10	20	23	1900	10	1.0	-0.060
1N5229B	4.3	4.09	4.52	20	22	2000	5.0	1.0	+0.055
1N5230B	4.7	4.47	4.94	20	19	1900	5.0	2.0	+0.030
1N5231B	5.1	4.85	5.36	20	17	1600	5.0	2.0	+0.030
1N5232B	5.6	5.32	5.88	20	11	1600	5.0	3.0	+0.038
1N5233B	6.0	5.70	6.30	20	7.0	1600	5.0	3.5	+0.038
1N5234B	6.2	5.89	6.51	20	7.0	1000	5.0	4.0	+0.045
1N5235B	6.8	6.46	7.14	20	5.0	750	3.0	5.0	+0.050
1N5236B	7.5	7.13	7.88	20	6.0	500	3.0	6.0	+0.058
1N5237B	8.2	7.79	8.61	20	8.0	500	3.0	6.5	+0.062
1N5238B	8.7	8.27	9.14	20	8.0	600	3.0	6.5	+0.065
1N5239B	9.1	8.65	9.56	20	10	600	3.0	7.0	+0.068
1N5240B	10	9.50	10.50	20	17	600	3.0	8.0	+0.075

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

34



Karakteristike Zener dioda

Type Number	Zener Voltage Range (Note 2)			Test Current	Maximum Zener Impedance		Maximum Reverse Current		Maximum Temperature Coefficient @ I _{ZT}
	V _Z @ I _{ZT}			I _{ZT}	Z _{TT} @ I _{ZT}	Z _{ZK} @ I _{ZK} = 0.25mA	I _R	@ V _R	
	Nom (V)	Min (V)	Max (V)	mA	Ω	Ω	μA	V	
1N5262B	51	48.45	53.55	2.5	125	1100	0.1	39	+0.096
1N5263B	56	53.20	58.80	2.2	150	1300	0.1	43	+0.096
1N5264B	60	57.00	63.00	2.1	170	1400	0.1	46	+0.097
1N5265B	62	58.90	65.10	2.0	185	1400	0.1	47	+0.097
1N5266B	68	64.60	71.40	1.8	230	1600	0.1	52	+0.097
1N5267B	75	71.25	78.75	1.7	270	1700	0.1	56	+0.098

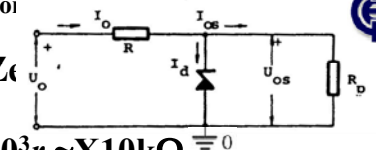
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

35



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?

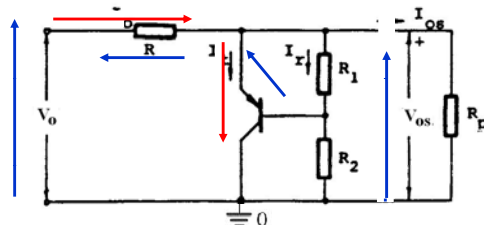
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

36



1.2 Paralelni stabilizatori - regulatori napona



$$V_{os} = V_o - R I_o$$

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

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 ($R I_o$), čime se napon V_{os} smanjuje. ($V_{os} = V_o - R I_o$)

11. januar 2010.

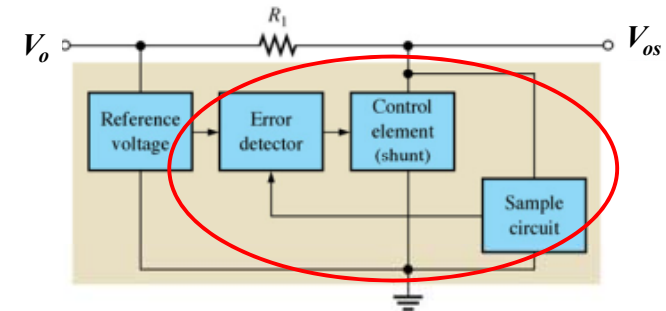
Prof. dr Predrag Petković

37



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.

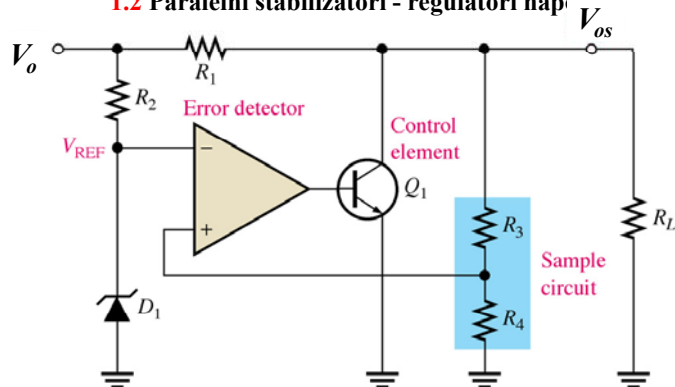
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

38



1.2 Paralelni stabilizatori - regulatori napona



- Q_1 je kontrolišući 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 .

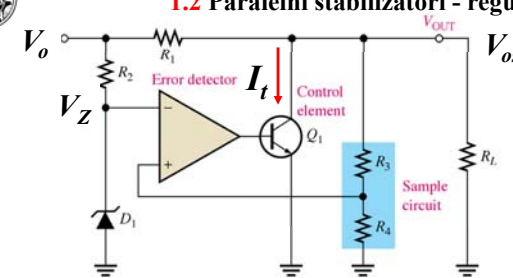
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

39



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 .

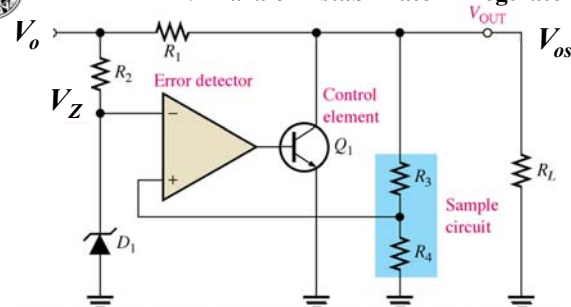
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

40



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 $(R_4 V_{os})/(R_3 + R_4)$.

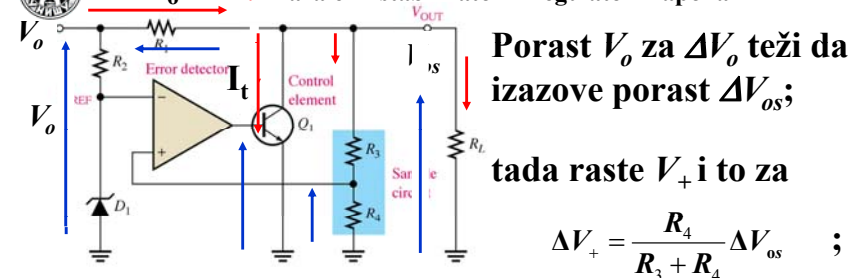
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

41



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

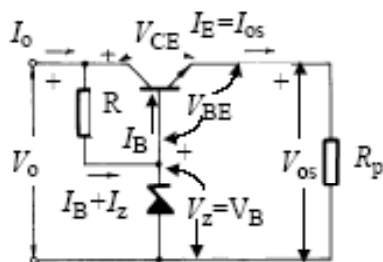
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

42



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.

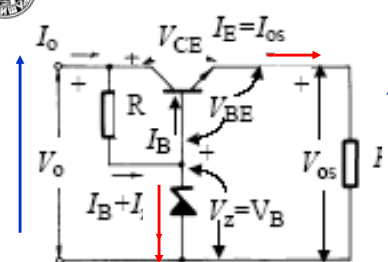
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

43



1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



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

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

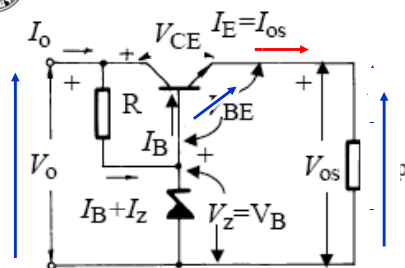
$$I_o = I_t + I_r + I_{os}$$

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} .

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

44



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

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

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.

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

45

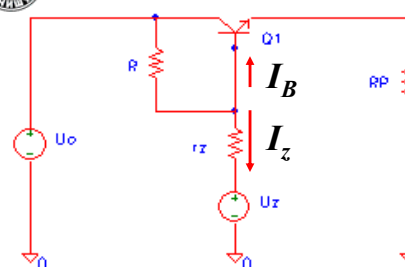


Znajući da je $I_B \ll I_z$

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

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

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



$$V_{os} \approx V_z + \frac{\mathbf{r}_z}{\mathbf{R}} V_o - V_{BE}$$

$$\mathbf{S} = \frac{\partial V_{\text{os}}}{\partial V_0} \approx \frac{\mathbf{r}_z}{R};$$

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**

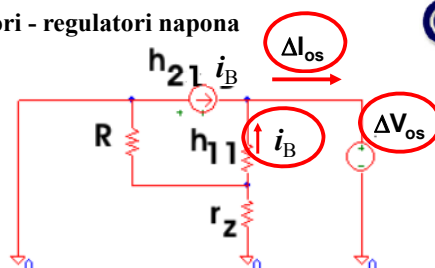
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

46



Model za naizmenični signal



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

$$\textcircled{i_B} = -\frac{V_{os}}{h_{j1} + R||r_z} \approx -\frac{V_{os}}{h_{j1} + r_z} \approx -\frac{V_{os}}{h_{j1}}$$

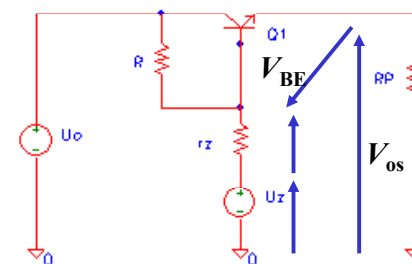
$$\Delta I_{os} = -(h_{21} + 1)\mathbf{i}_B = -(h_{21} + 1)\left(-\frac{\Delta V_{os}}{h_{11}}\right)$$

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

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

47



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

$$\mathbf{S}_T = \frac{\partial V_{os}}{\partial \mathbf{T}} \approx \frac{\partial V_z}{\partial \mathbf{T}} - \frac{\partial V_{BE}}{\partial \mathbf{T}}$$

11. januar 2010.

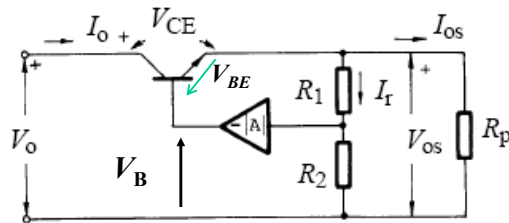
Prof. dr Predrag Petković

48



1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

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



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

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

11. januar 2010.

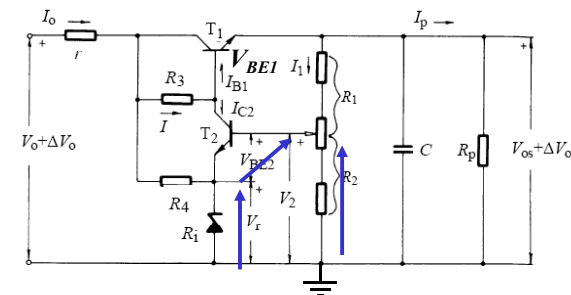
Prof. dr Predrag Petković

49



1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

Praktična realizacija u diskretnoj tehnici



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

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

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

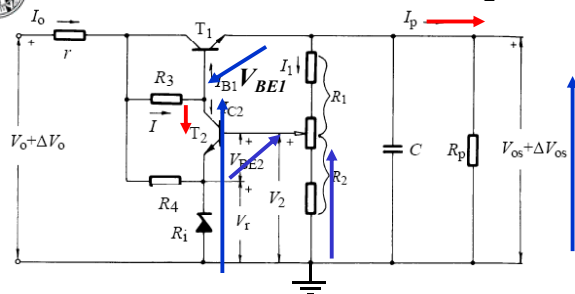
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

50



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.

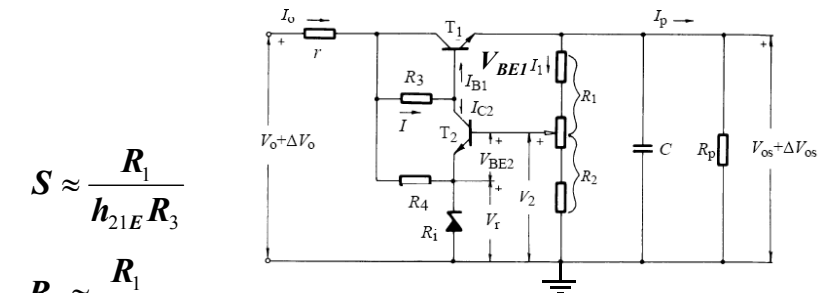
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

51



1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



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

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

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

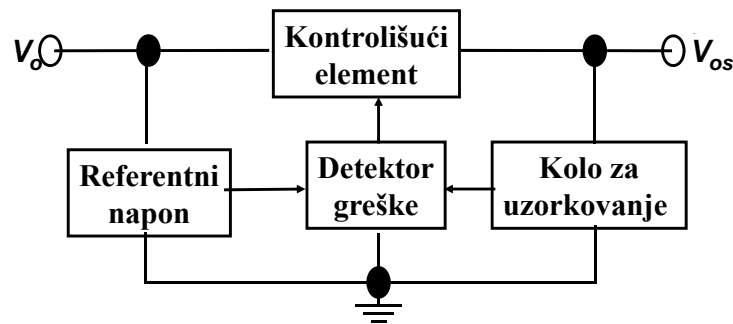
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

52



Integrirani redni stabilizatori - regulatori napona



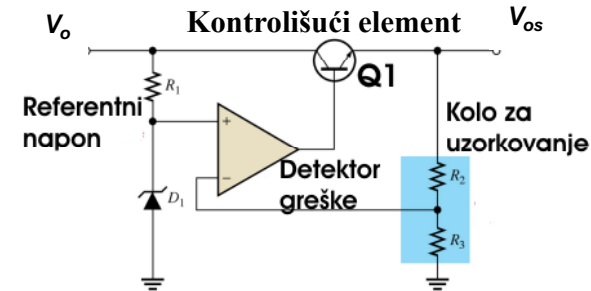
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

53



Integrirani redni stabilizatori - regulatori napona



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

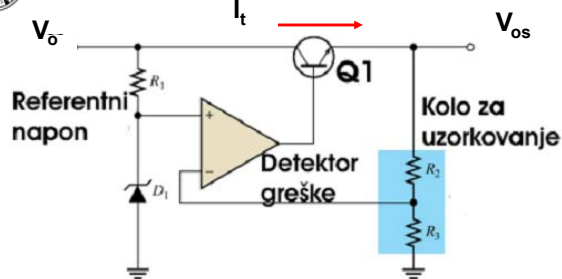
(izvesti izraz)

- 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 .

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

54



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

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

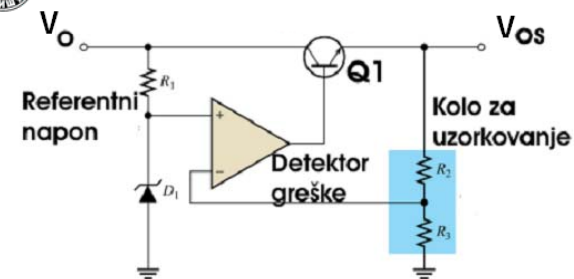
Svaka promena izlaznog napona V_{os} prenosi se na invertujući ulaz operacionog pojačavača $V_- = R_3 V_{os} / (R_2 + R_3)$.

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

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

55



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

- 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:

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

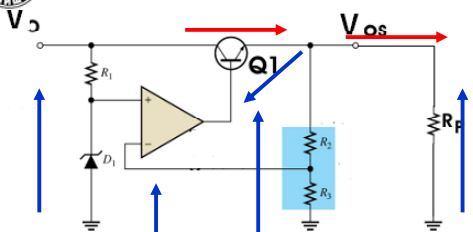
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

56



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: $V_{os} = R_P I_P$.

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

57



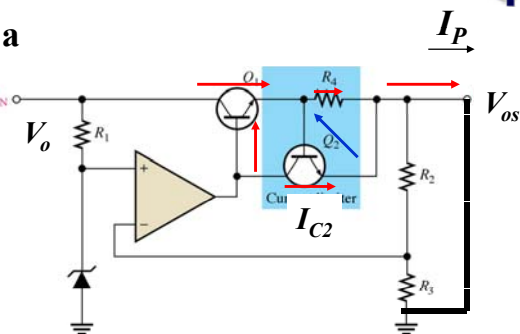
1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



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

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

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

58

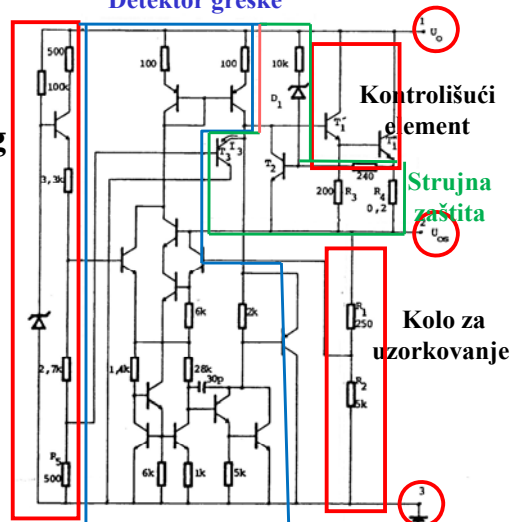
1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona

Detektor greške

Električna šema integrisanog rednog stabilizatora

NIC 7800C

Referentni napon



11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

59

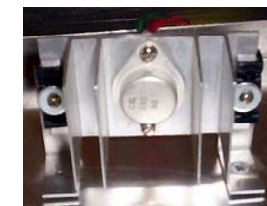
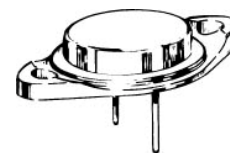


1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Karakteristike integrisanih stabilizatora

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



11. januar 2010.

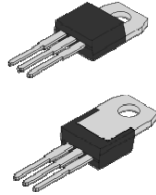
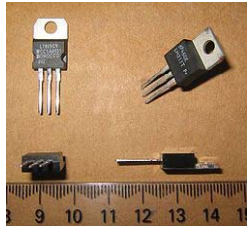
Prof. dr Predrag Petković

60



Karakteristike integrisanih stabilizatora

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



11. januar 2010.

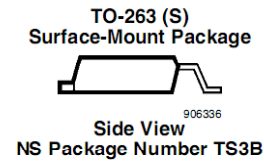
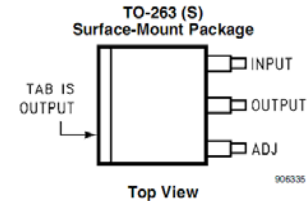
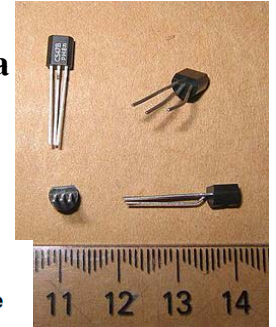
Prof. dr Predrag Petković

61



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

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

62



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

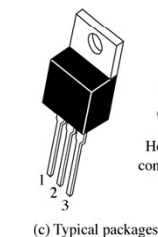
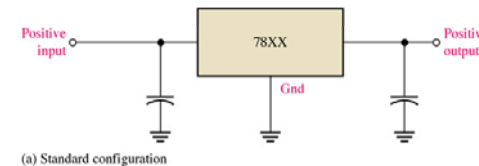
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

63



Karakteristike integrisanih stabilizatora



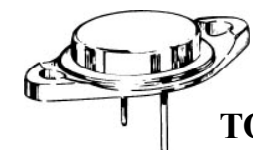
Pin 1. Input
2. Ground
3. Output

Heatsink surface connected to Pin 2.

(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

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

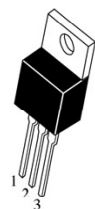
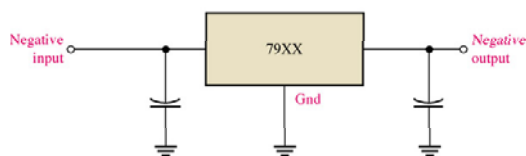
64



1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Karakteristike integrisanih stabilizatora



TO-220
T SUFFIX
CASE 221A

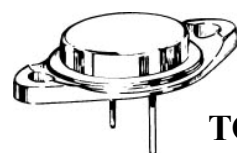
Pin 1. Input
2. Ground
3. Output

Heatsink surface
connected to Pin 2.

(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

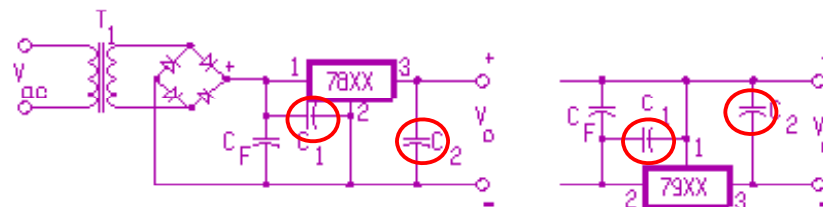
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

65



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).

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

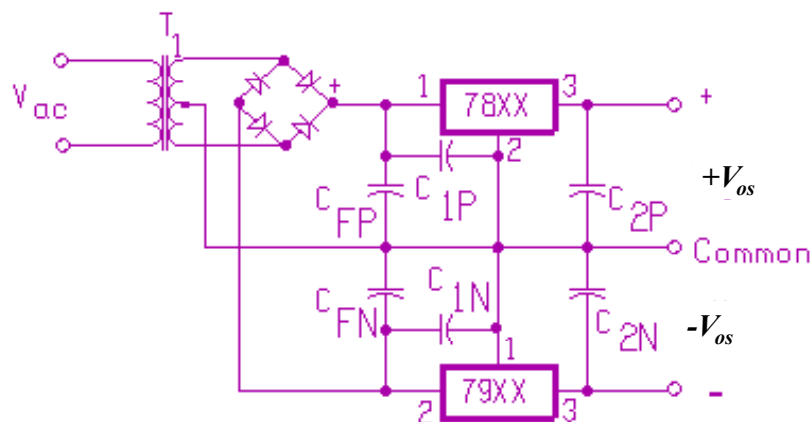
66



1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Realizacija simetričnog napajanja uz pomoć integrisanih stabilizatora



11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

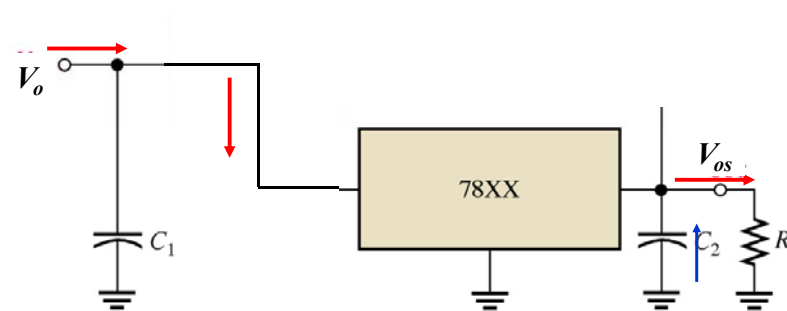
67



1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Povećanje struje potrošača



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

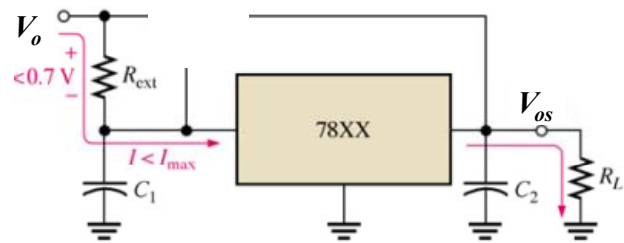
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

68



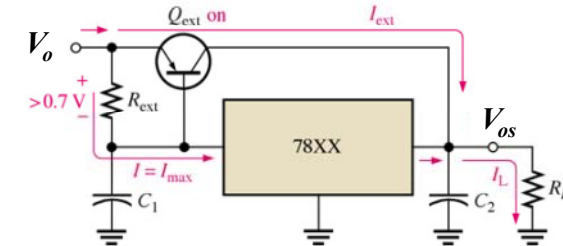
Povećanje struje potrošača



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



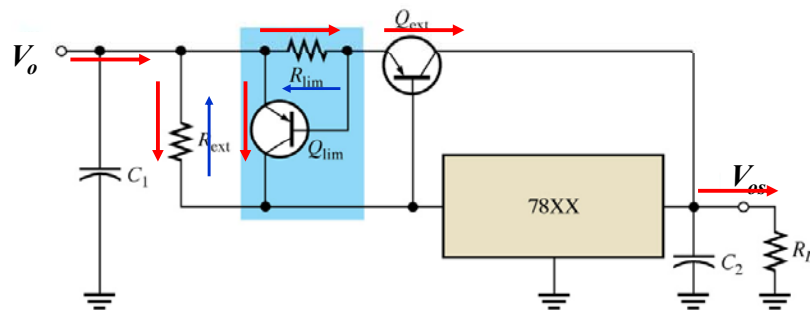
Povećanje struje potrošača



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



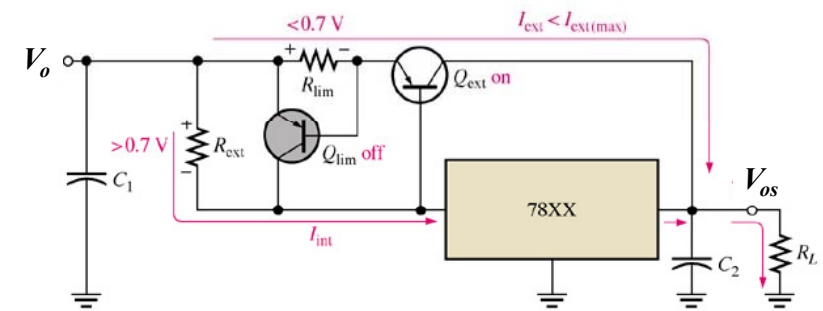
Zaštita od kratkog spoja



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



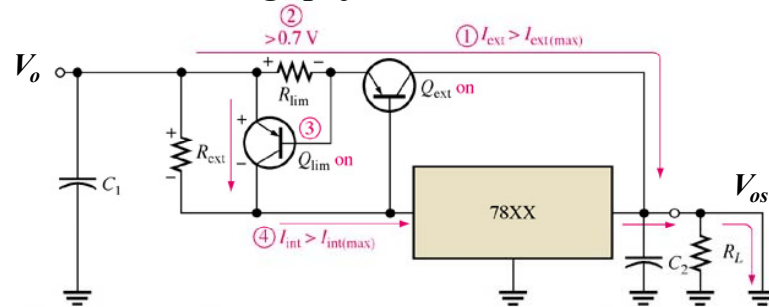
Zaštita od kratkog spoja



- Q_{lim} počinje da vodi pri $V_{R_{lim}} > 0.7 \text{ V}$.



Zaštita od kratkog spoja



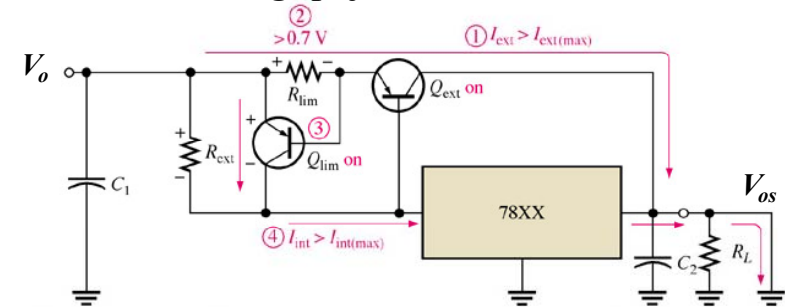
- Cilj je da Q_{lim} počne da vodi tek kada struja kroz Q_{ext} premaši maksimalnu dozvoljenu vrednost.
- Tada se struja kroz Q_{ext} smanjuje i usmerava kroz stabilizator.

11. januar 2010. Prof. dr Predrag Petković

73



Zaštita od kratkog spoja



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

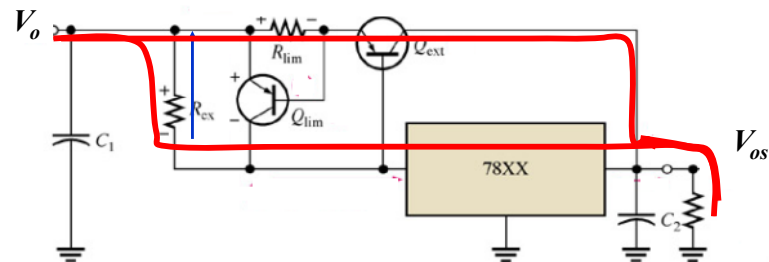
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

74



Zaštita od kratkog spoja



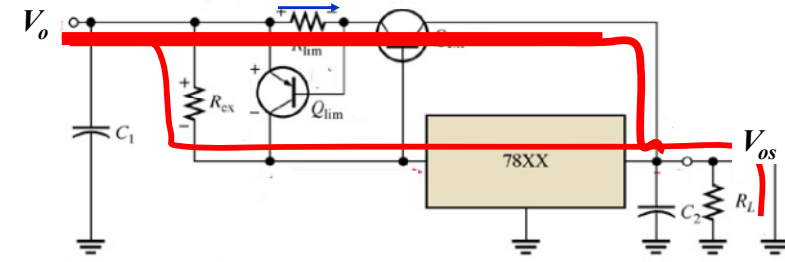
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

75



Zaštita od kratkog spoja



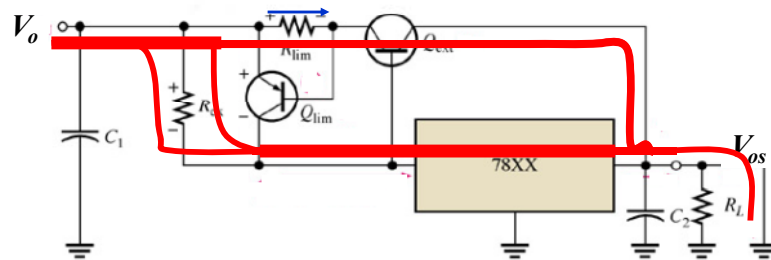
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

76



Zaštita od kratkog spoja



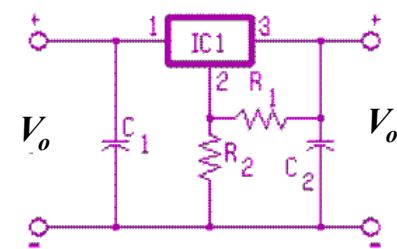
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

77



Povećanje izlaznog napona na potrošaču



- 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

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

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

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

78



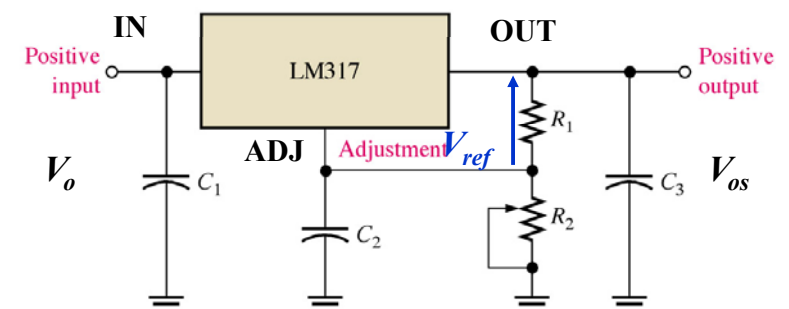
Stabilizatori - regulatori napona promenljivog napona

- Moguće je realizovati stabilizator promenljivog napona ako se R_2 zameni potencijometrom. Međutim:
 - Minialni 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 potencijometar.
- Postoji više tipova IC stabilizatora namenjenih za promenljive napone n.p.r. LM317 (za pozitivne) ili LM 337 (za negativne napone).

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

79



Između OUT i ADJ pinova postoji referentni napon od $V_{ref}=1.25V$ (na $R_1=100-240\Omega$)

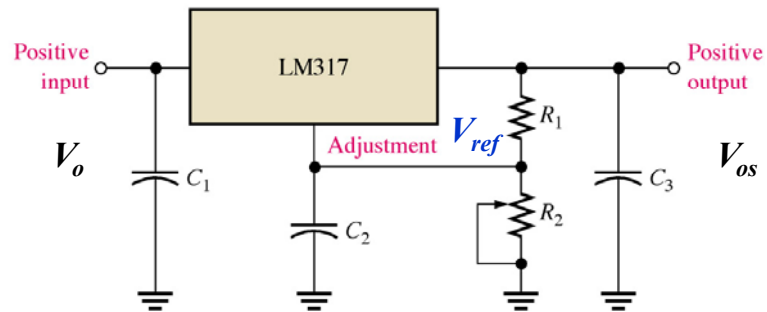
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

80



1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Izborom R_2 moguća regulacija u opsegu 1.25V-30V

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

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

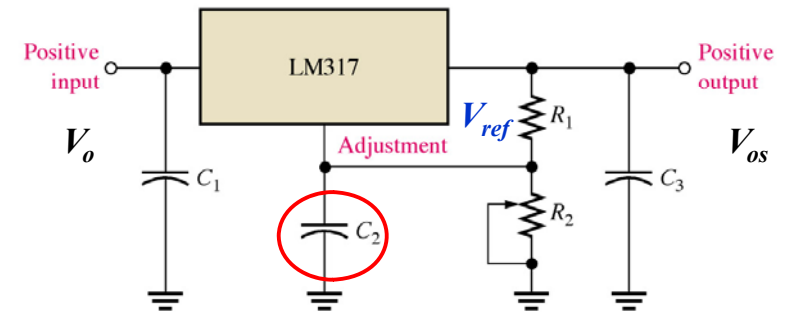
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

81



1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



Kondenzator C_2 smanjuje šumove (10 μ F)

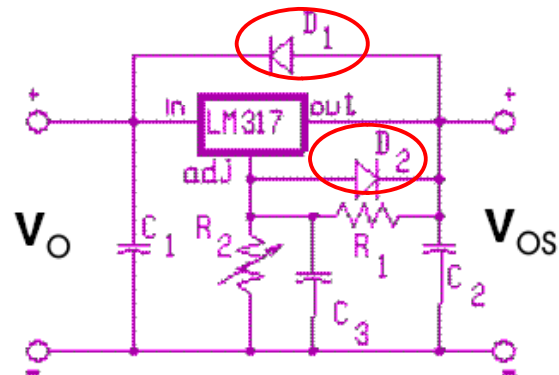
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

82



1.3 Redni stabilizatori - regulatori napona



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

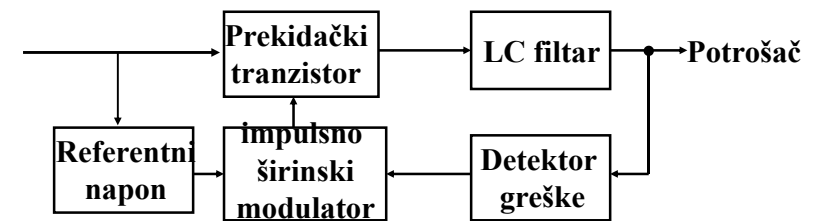
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

83



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

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

84



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
- Realizacija ne zahteva glomazne komponente.

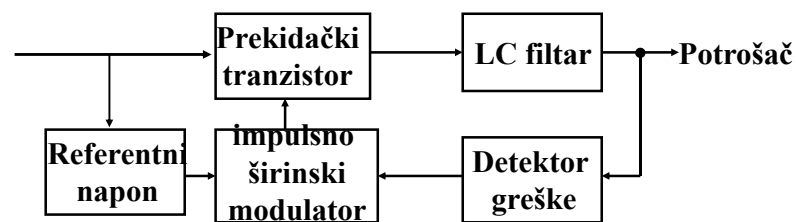


Nedostaci

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



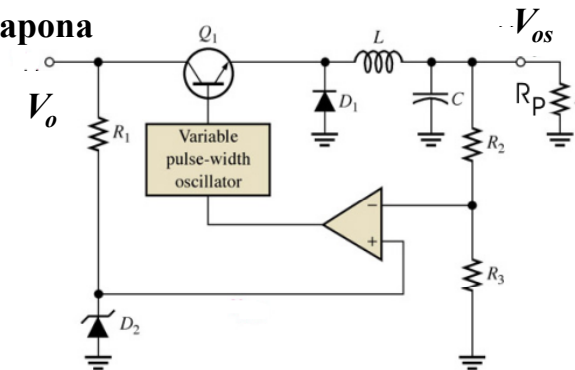
2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona



- 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*)



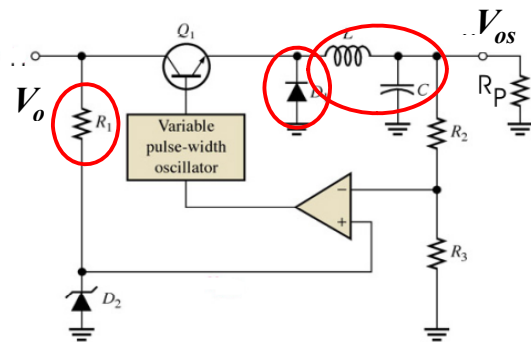
2.1 Spuštači napona



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



2.1 Spuštači napona



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

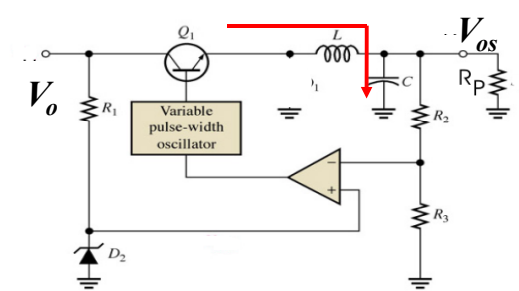
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

89



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.

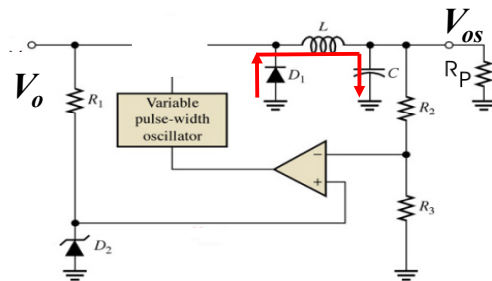
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

90



2.1 Spuštači napona



- Kada je $V_{R3} > V_z$, izlaz OP je u negativnom zasićenju ($-V_{CC}$) i tranzistor je zakočen, a D_1 vodi.

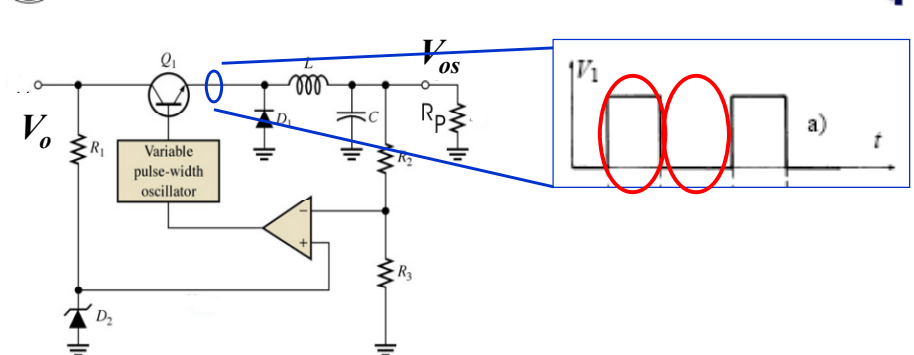
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

91



2.1 Spuštač napona



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

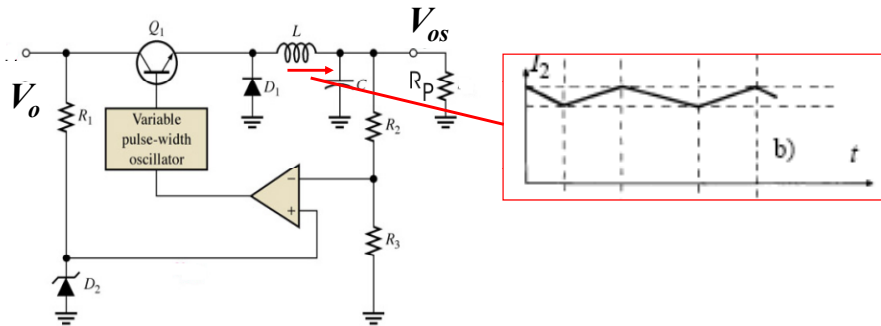
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

92



2.1 Spuštač napona



- Struja kroz kalem nastavlja da teče i kada tranzistor prestane da vodi, jer D1 provede i dopunjuje C.

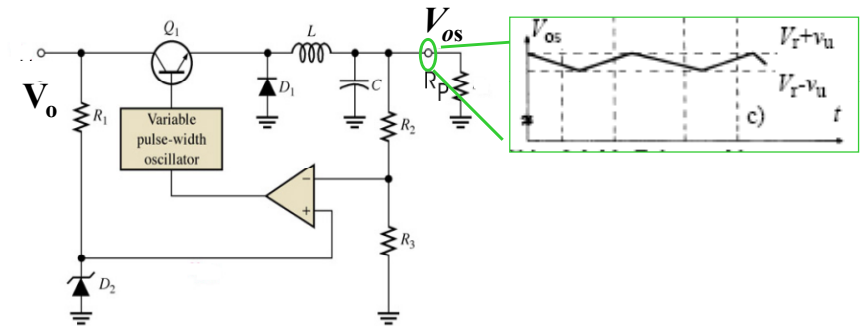
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

93



2.1 Spuštač napona



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

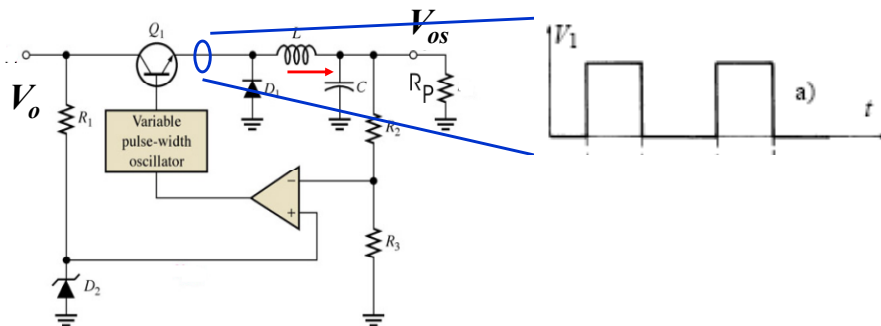
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

94



2.1 Spuštač napona



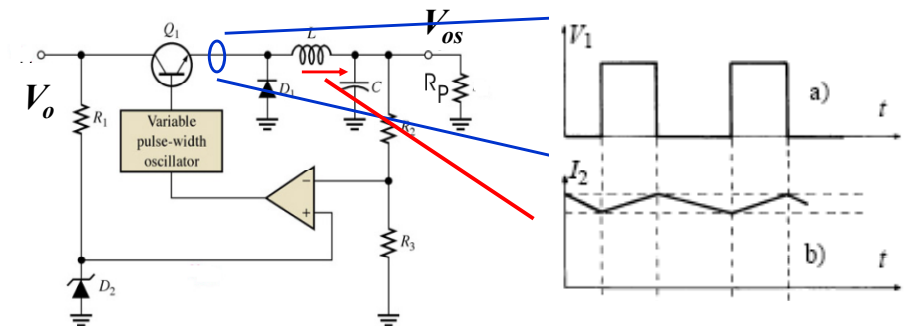
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

95



2.1 Spuštač napona



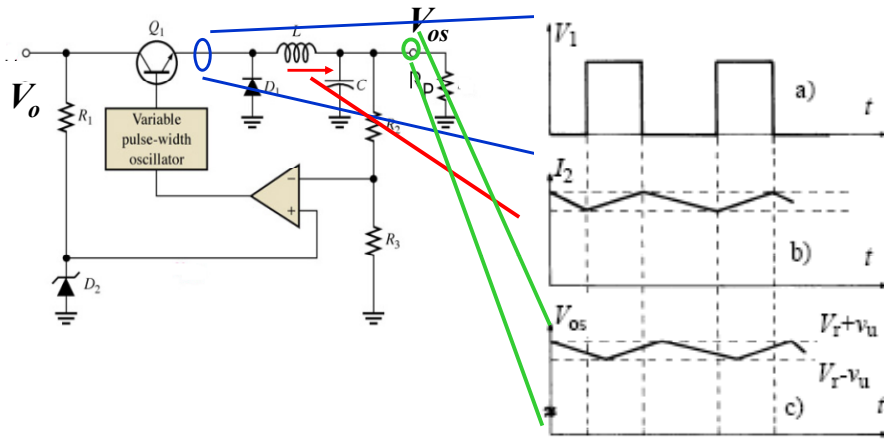
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

96



2.1 Spuštač napona



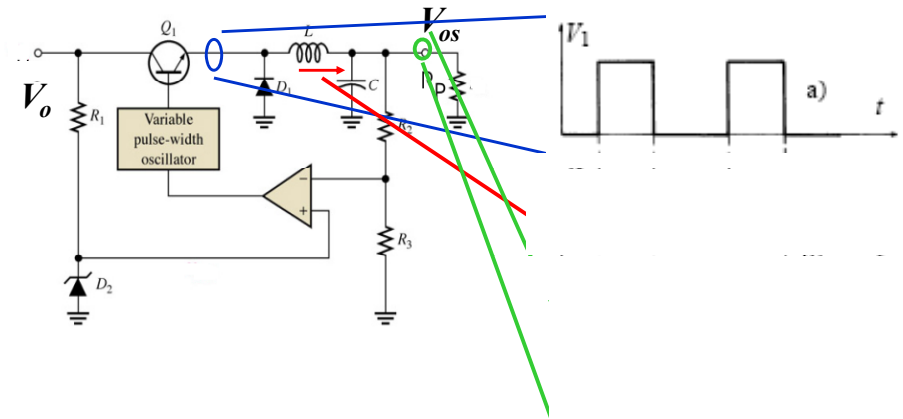
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

97



2.1 Spuštač napona



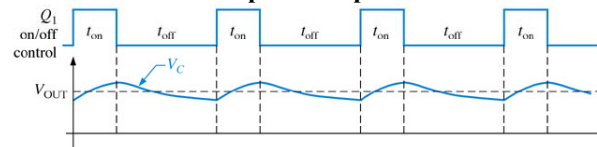
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

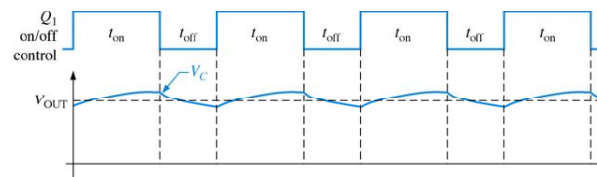
98



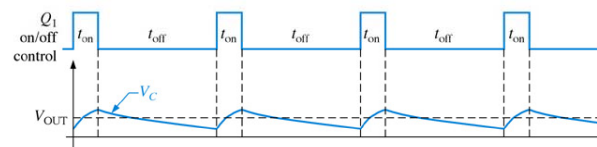
2.1 Spuštač napona



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



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



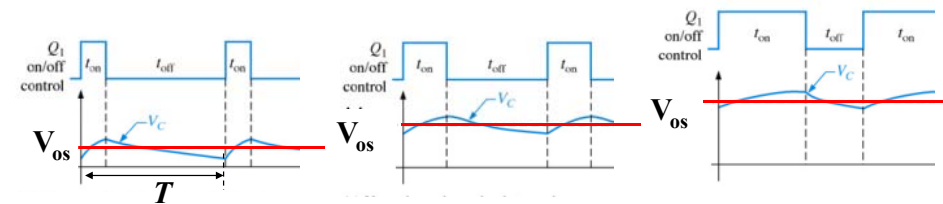
(c) Decrease the duty cycle and V_{OUT} decreases.

11. januar 2010.

99



2.1 Spuštač napona



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

11. januar 2010.

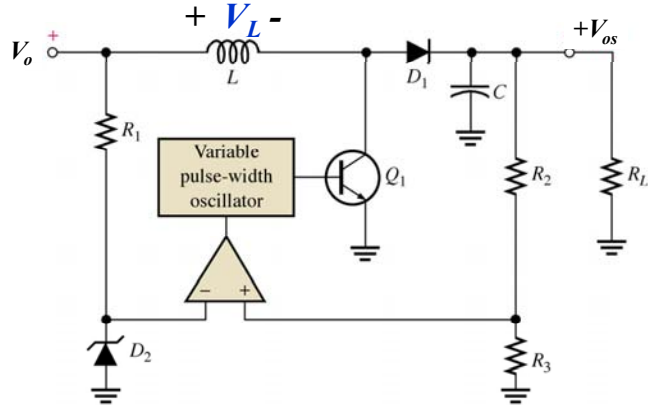
Prof. dr Predrag Petković

100



2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

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 .

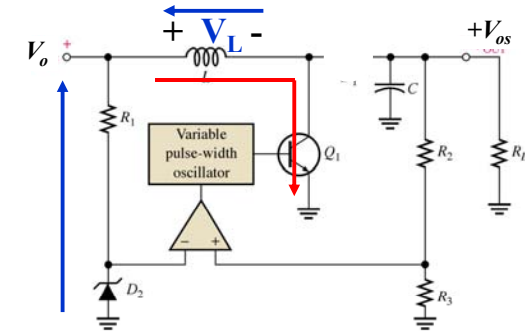
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

101



2.2 Podizači napona



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

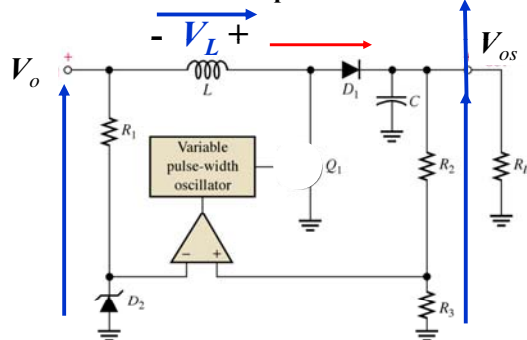
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

102



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.

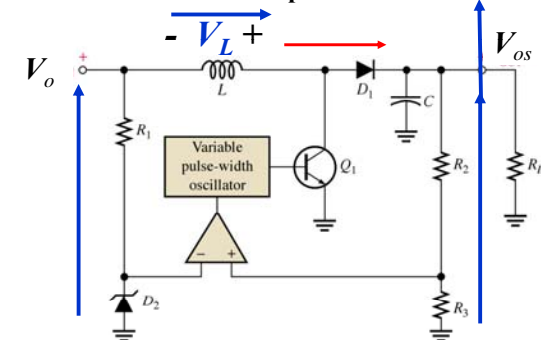
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

103



2.2 Podizači napona



- Napon na C :

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

11. januar 2010.

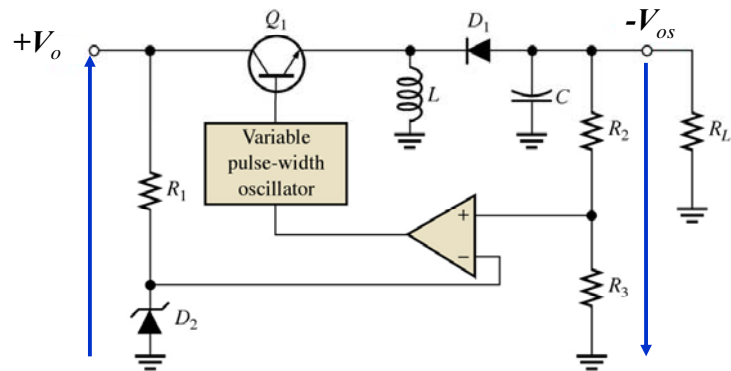
Prof. dr Predrag Petković

104



2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

2.3 Invertori napona



- Izlazni napon ima suprotan polaritet od ulaznog

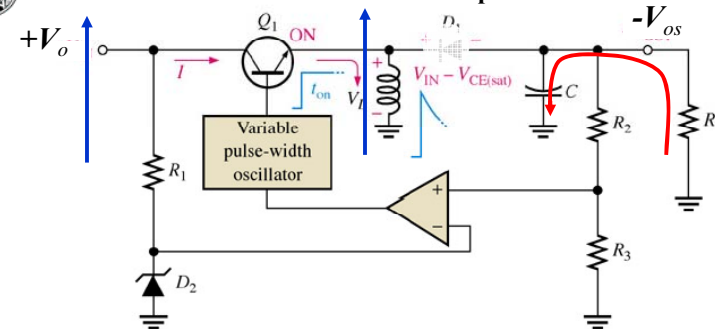
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

105



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)

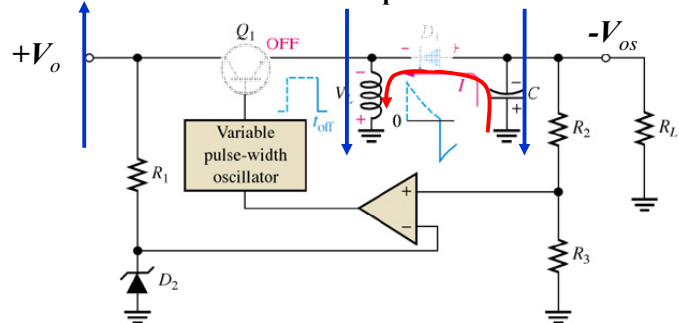
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

106



2.3 Invertori napona



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

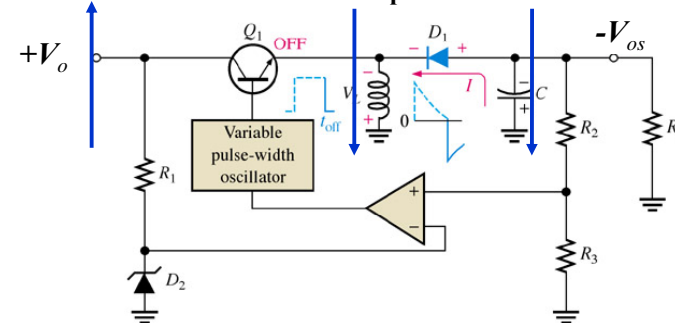
11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

107



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

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

11. januar 2010.

Prof. dr Predrag Petković

108



Stabilizatori - regulatori napona napona

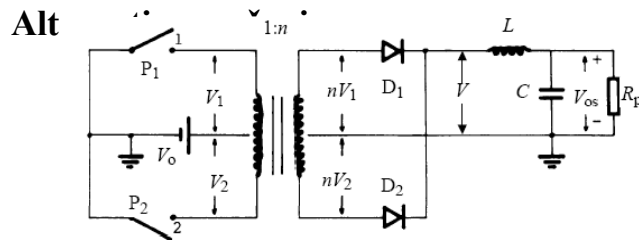
- Obezbeđuju konstantni DC napon na izlazu, nezavisno od **promena napona na ulazu** i **struje kroz potrošač**.
- Osnovni tipovi stabilizatora su **linearni** i **prekidački**
- Linearni se realizuju kao **redni** i **paralelni**
- Prekidački mogu biti **spuštači**, **podizači** ili **invertori** napona

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 integriranoj tehnici
- Postoje *integrirani* stabilizatori – regulatori napona za *fiksne* i *promenljive* pozitivne ili negativne napone
- Mogućnosti integriranih stabilizatora mogu da se prošire ubacivanjem spoljašnjih tranzistora.



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”



Sledi:

- Šumovi
- Rekapitulacija (pitanja/odgovori)

