

Osnovi elektronike

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



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

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

Osnovi elektronike

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



Izračunajte umanjene broja poena posle I kolokvijuma:

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

II Kolokvijum

SUBOTA 21. 01. 2017.

Izvori jednosmernog napona (nastavak)

- Stabilizatori - regulatori napona
- 1. deo - linearni regulatori



Sadržaj

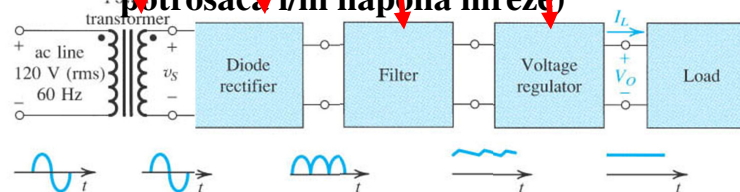
- 1. Uvod
- 2. Usmerači napona
 - 2.1 Jednostrano usmeravanje
 - 2.2 Dvostrano usmeravanje
 - 2.3 Umnožavača napona
- 3. Filtriranje usmerenog napona
- 4. Stabilizatori – regulatori napona
 - 4.1 Linearni stabilizatori napona
 - 4.1.1 Stabilizatori sa Zener diodom
 - 4.1.2 Redni stabilizatori
 - 4.1.3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



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

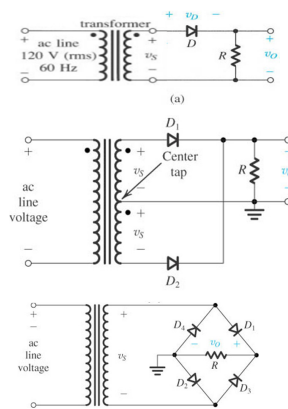
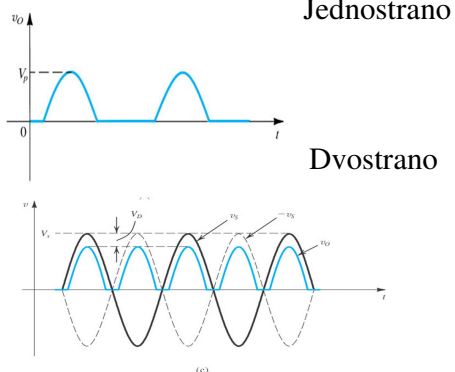
1. smanjiti njegovu vrednost
2. usmeriti ga (napraviti jednosmerni napon)
3. ukloniti naizmeničnu komponentu (“ispeglati”)
4. stabilisati – regulisati ga

(učiniti nezavisnim od promena uslova rada potrošača i/ili napona mreže)



2. Usmerači napona

Realizacija:

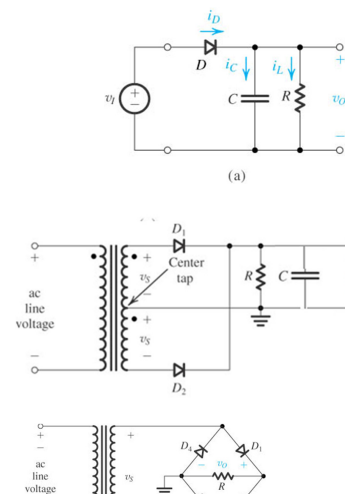
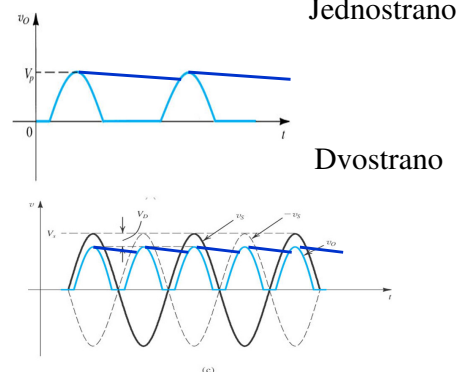


ZAKLJUČAK Pogledajte:

<https://www.youtube.com/watch?v=cyhzpFqXwdA>

2. Usmerači napona + C filter

Realizacija:



ZAKLJUČAK Pogledajte:

<https://www.youtube.com/watch?v=cyhzpFqXwdA>

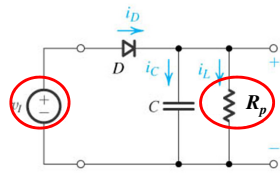


4. Stabilizatori - regulatori napona

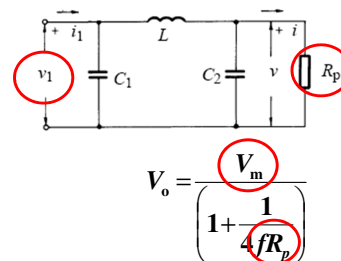


Napon na izlazu usmerača i filtra zavisi od:

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



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



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

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

9

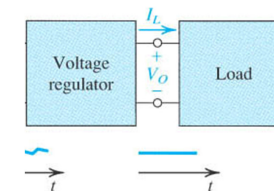


4. Stabilizatori - regulatori napona



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).



12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

10

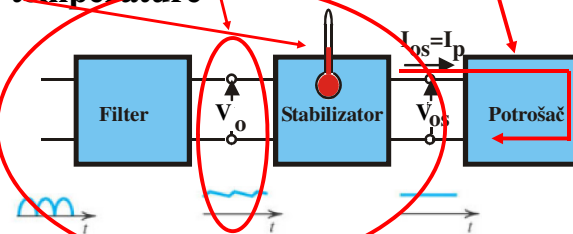


4. Stabilizatori - regulatori napona



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



12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

11



4. Stabilizatori - regulatori napona



Kvalitet stabilizatora određuje osetljivost izlaznog napona na promene:

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

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

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

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

12



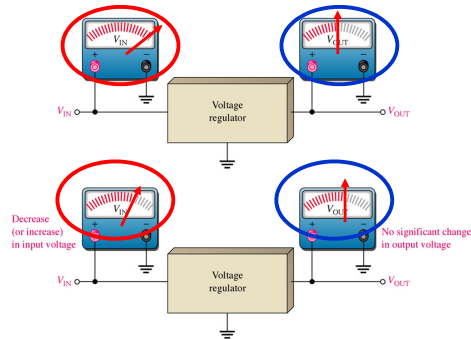
4. Stabilizatori - regulatori napona



Stabilizator je idealan ako je faktor stabilizacije=0

Stabilizator je dobar ako je faktor stabilizacije mali

$$S < 0.1\%$$



12. januar 2017.

Iz Vrednotenje i Prikazanja

13



4. Stabilizatori - regulatori napona



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*

12. januar 2017.

Iz Vrednotenje i Prikazanja

14

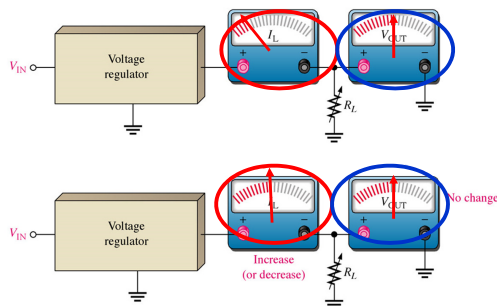


4. Stabilizatori - regulatori napona



Kvalitet stabilizatora određuje osetljivost izlaznog napona na promene:

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



12. januar 2017.

Iz Vrednotenje i Prikazanja

15

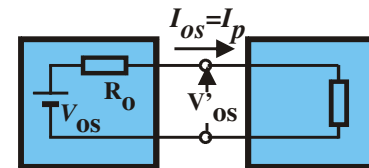


4. Stabilizatori - regulatori napona



Stabilizator je idealan ako je $R_o=0$

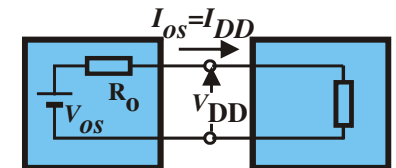
Stabilizator je dobar ako je $R_o < 10\Omega$



Stabilizator

Potrošač

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



Stabilizator

Potrošač

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

12. januar 2017.

Iz Vrednotenje i Prikazanja

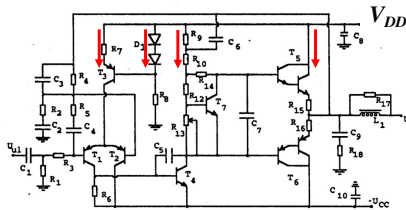
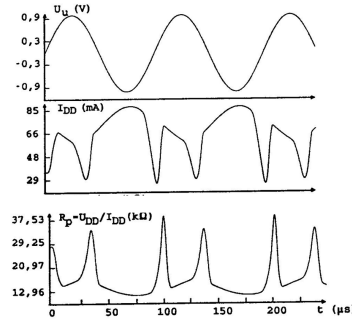
16



4. Stabilizatori - regulatori napona



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



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

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

17



4. Stabilizatori - regulatori napona



Alternativno se definiše faktor opterećenja (load regulation)

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

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

18



Stabilizatori - regulatori napona



Kvalitet stabilizatora određuje i osetljivost izlaznog napona na promene

- c) temperature

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

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

19



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

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

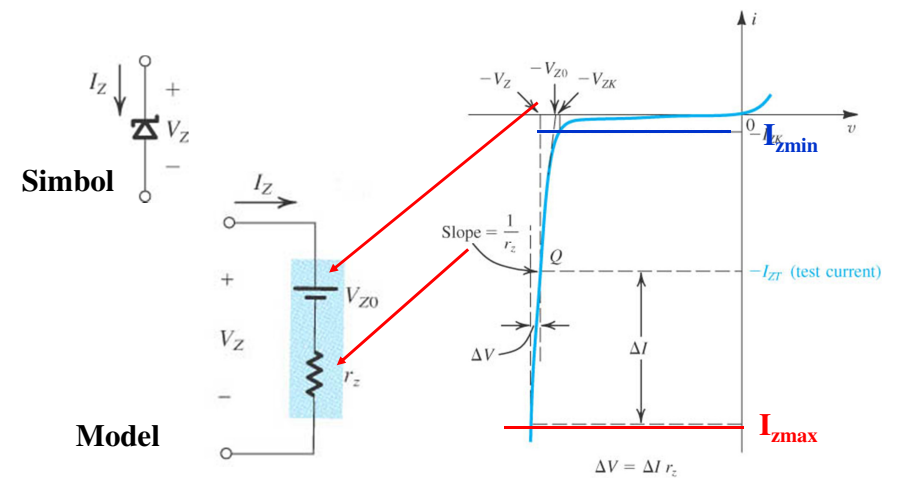
20



Sadržaj

1. Uvod
2. Usmerači napona
 - 2.1 Jednostrano usmeravanje
 - 2.2 Dvostrano usmeravanje
 - 2.3 Umnožavača napona
4. Filtriranje usmerenog napona
4. Stabilizatori – regulatori napona
 - 4.1 Linearni stabilizatori napona
 - 4.1.1 Stabilizatori sa Zener diodom
 - 4.1.2 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

21

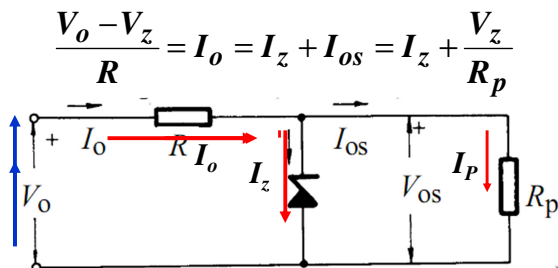


Karakteristika pri inverznoj polarizaciji

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

22



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.

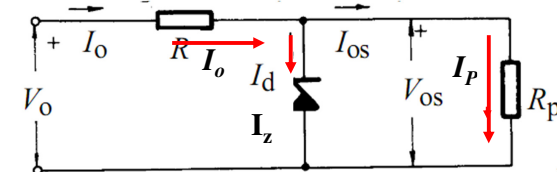
12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

23



$$\frac{V_o - V_z}{R} = I_o = I_z + I_{os} = I_z + \frac{V_z}{R_p}$$



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.

12. januar 2017.

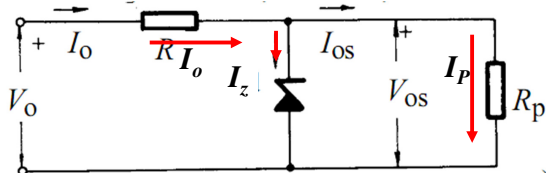
Izvori jednosmernog napajanja

24



4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom

$$\frac{V_o - V_z}{R} = I_o = I_z + I_{os} = I_z + \frac{V_z}{R_p}$$

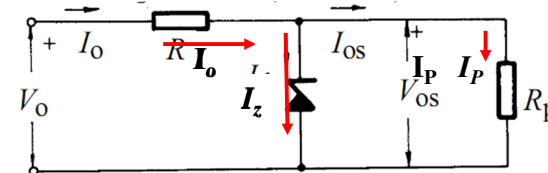


Kroz diodu će proticati minimalna struja kada je struja kroz potrošač maksimalna.



4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom

$$\frac{V_o - V_z}{R} = I_o = I_z + I_{os} = I_z + \frac{V_z}{R_p}$$

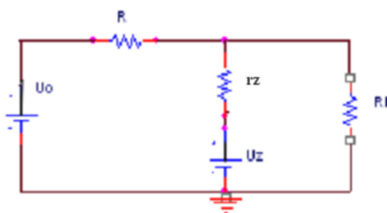
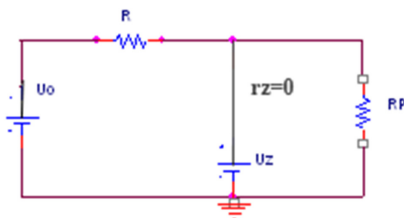
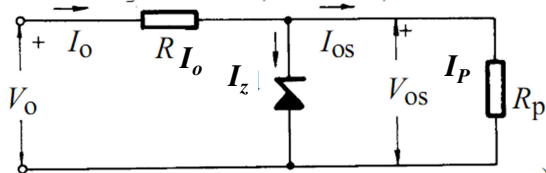


Kroz diodu će proticati maksimalna struja kada je struja kroz potrošač minimalna.

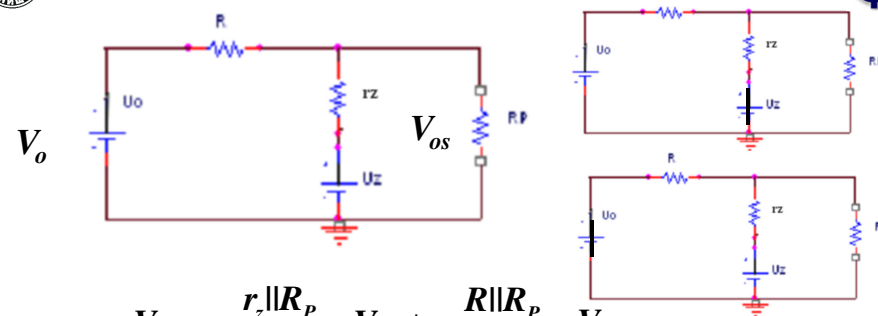


4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom

$$\frac{V_o - V_z}{R} = I_o = I_z + I_{os} = I_z + \frac{V_z}{R_p}$$



4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



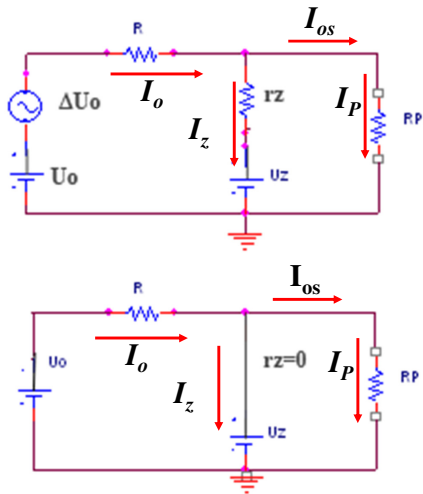
$$V_{os} = \frac{r_z \parallel R_p}{r_z \parallel R_p + R} V_o + \frac{R \parallel R_p}{R \parallel R_p + r_z} V_z$$

Za $r_z \ll R_p$ i $R_p \ll R$

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



4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



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

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

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

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

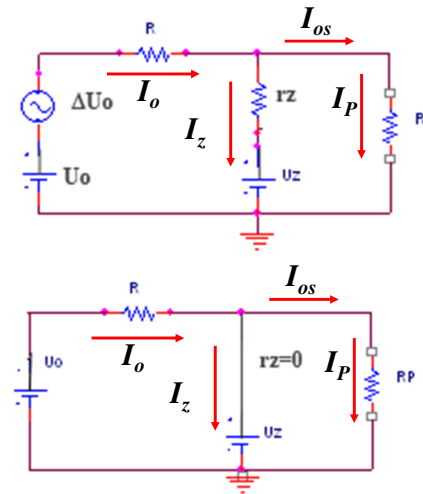
12. januar 2017.

Iz Vredn. jednog. Osnovnog. Otkrivanja

29



4.1.1 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, $r_z=0$:
 $R_o=0$

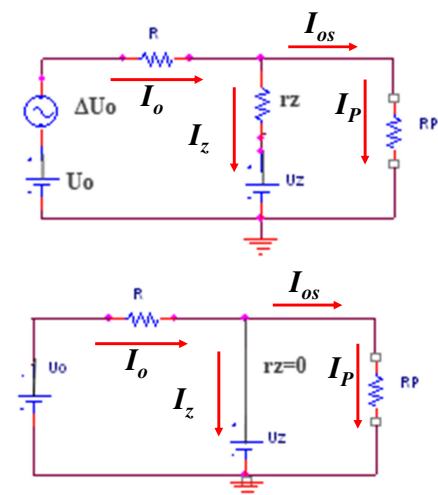
12. januar 2017.

Iz Vredn. jednog. Osnovnog. Otkrivanja

30



4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



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

Za idealnu diodu:
 $S_T=0$

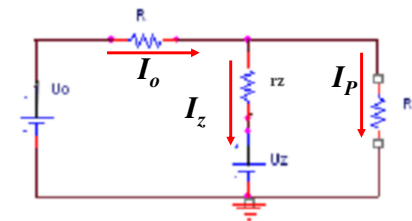
12. januar 2017.

Iz Vredn. jednog. Osnovnog. Otkrivanja

31



4.1.1 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.

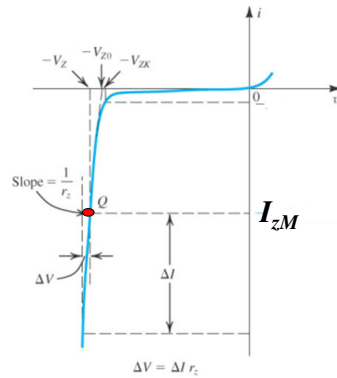
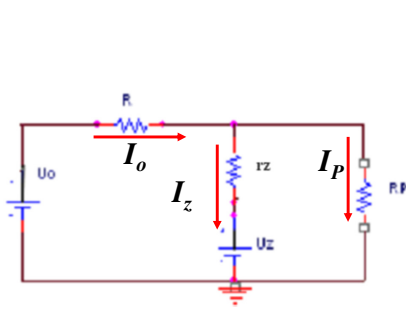
12. januar 2017.

Iz Vredn. jednog. Osnovnog. Otkrivanja

32



4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



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

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

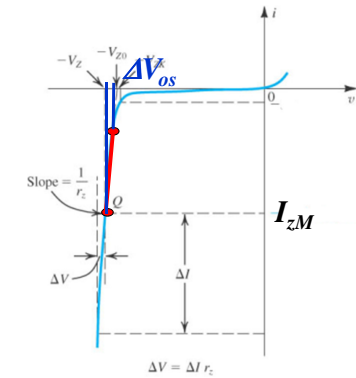
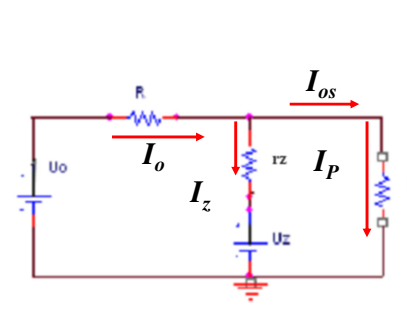
12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

33



4.1.1 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}

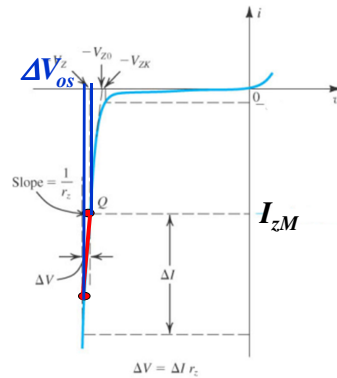
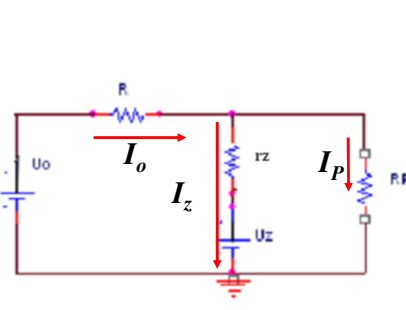
12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

34



4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Ako se otpornost potrošača poveća, smanjiće se struja I_p , a povećaće se struja I_z

Napon V_{os} povećaće se za ΔV_{os}

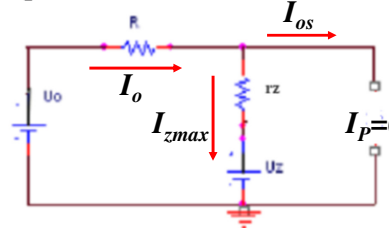
12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

35



4.1.1 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} .

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

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja
Prof. dr Predrag Petković

36



4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom

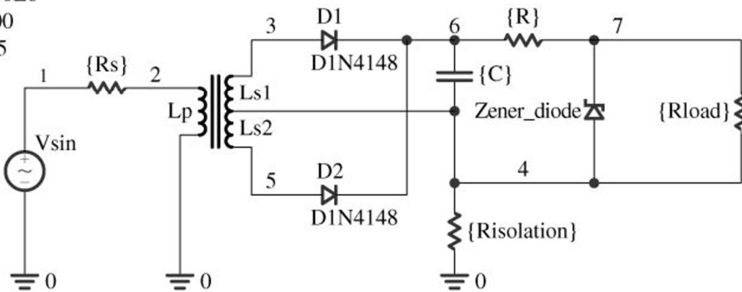


Primer:

PARAMETERS:

$C = 520\mu$
 $R = 191$
 $R_{load} = 100E6$
 $R_{load} = 200$
 $R_s = 0.5$

$V_{OFF} = 0$
 $V_{AMPL} = 169$
 $FREQ = 60$



12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

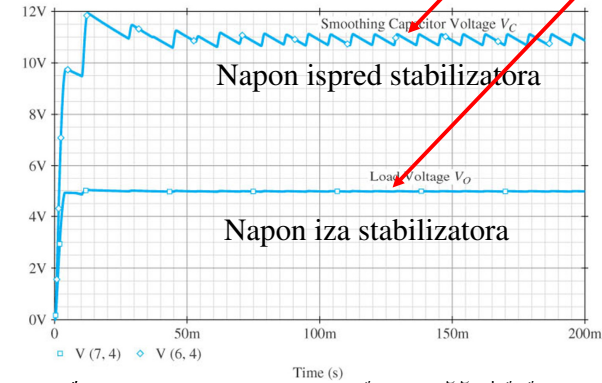
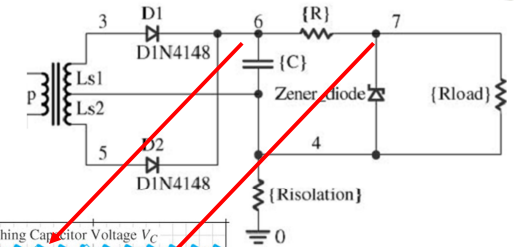
37



4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Primer:



Napon ispred stabilizatora

Napon iza stabilizatora

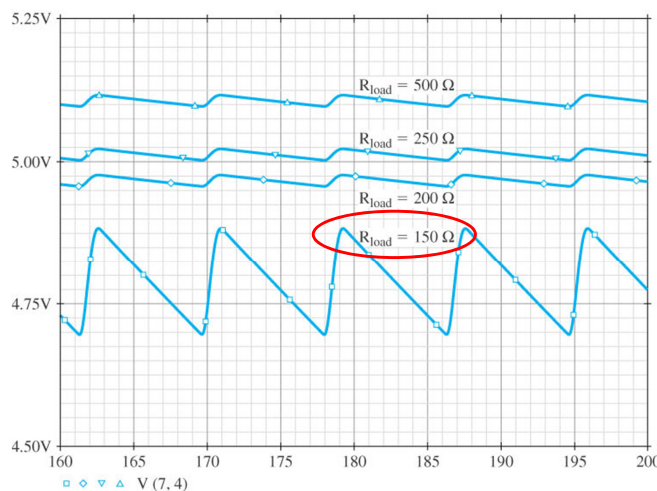
38



4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Primer:



Regulacija se izgubila pri otpornosti potrošača od 150 Ω.

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

39



4.1.1 Stabilizatori - regulatori napona sa Zener diodom



Karakteristike Zener dioda



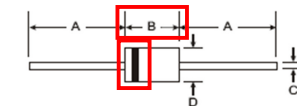
1N5221B - 1N5267B

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: 1 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

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

40



Karakteristike Zener dioda

Tabela 1

Type Number	Zener Voltage Range (Note 2)			Test Current	Maximum Zener Impedance		Maximum Reverse Current		Maximum Temperature Coefficient @ I _{ZT}
	V _Z @ I _{ZT}				Z _{ZT} @ 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

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja



Karakteristike Zener dioda

Tabela 1 nastavak

Type Number	Zener Voltage Range (Note 2)			Test Current	Maximum Zener Impedance		Maximum Reverse Current		Maximum Temperature Coefficient @ I _{ZT}
	V _Z @ I _{ZT}				Z _{ZT} @ I _{ZT}	Z _{ZK} @ I _{ZK} = 0.25mA	I _R	@V _R	
	Nom (V)	Min (V)	Max (V)	mA	Ω	Ω	μA	V	%/°C
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

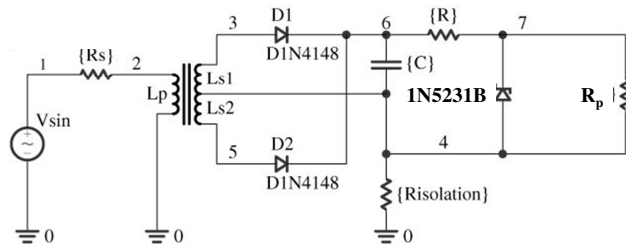
12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja



Domaći 13.1:

Odrediti R i C u stabilizatoru sa slike tako da jednosmerni napon na potrošaču R_{pmin} = 200Ω bude 5V, a ΔV_{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.

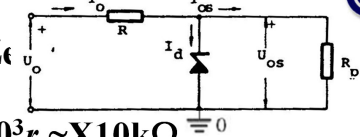


12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja



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?

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2



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

45

Šta smo naučili?



- **Uloga i osnovne karakteristike stabilizatora (regulatora) napona.**
- **Skicirati el. šemu stabilizatora sa Zener diodom i objasniti kako se ostvaruje stabilizacija (regulacija) napona.**

15. januar 2013.

Izvori jednosmernog napajanja 2

46

46

Ispitna pitanja



1. **Stabilizator jednosmernog napona (namena, princip rada, parametri i njihove idealne vrednosti).**
2. **Faktor stabilizacije.**
3. **Stabilizator sa Zenerovom diodom (šema, princip rada, jednosmerni napon, faktor stabilizacije, izlazna otpornost i dimenzionisanje otpornika).**

12. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja 2

47

47