


Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

	U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe.	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (Kasno za kajanje)	50%	20%
Kolokvijum II (13.01.2020.)	50%	20%

120% 60%



Ukupan skor u januaru može biti 120% PRE ISPITA

Savet: Učite, konstantno po malo, MNOGO JE LAKŠE da POLOŽITE preko KOLOKVIJUMA!


08. januar 2020. 1

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

	U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe.	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (Kasno za kajanje)	50%	20%
Kolokvijum II (13.01.2020.)	50%	20%

120% 60%



Ko nije izašao na I kolokvijum, a ide na lab i predavanja od 120, ima 70% (još nije kasno); ako ne ide na predavanja ima 60% (nije kasno); ali, ako na drugom kolokvijumu ima < 80% imaće <50% (e, tada je kasno)

08. januar 2020. 2

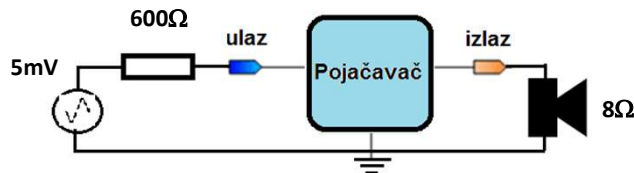
II Kolokvijum

PONEDELJAK 13. 01. 2020.

08. januar 2020. 3

Izvori jednosmernog napajanja

Osnovi elektronike



Šta nedostaje da bi pojačavač radio?

08. januar 2020. 4

Osnovi elektronike

Izvor jednosmernog napona za polarizaciju

Kako se realizuje?

08. januar 2020.5

Izvori jednosmernog napona (nastavak)

- Stabilizatori - regulatori napona
- 2. deo - redni regulatori

6

Izvori jednosmernog napajanja

1. Uvod

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

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

08. januar 2020.Izvori jednosmernog napajanja7

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

8

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

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

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

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

Redni tranzistor koristi se kao izvor konstantne struje; radi u konfiguraciji sa zajedničkom bazom: ulaz pojačavača (emitor) je na izlazu stabilizatora, tako da je izlazna otpornost stabilizatora mala. Sve varijacije napona V_o , kompenzuju se preko V_{CE} , pri konstantnoj struji baze.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

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

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

$$I_o = I_R + I_C$$

$$I_o = I_z + I_B + I_C = I_z + I_E = I_z + I_{os}$$

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} .

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2

4.1.2 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.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Znajući da je $I_B \ll I_z$

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

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

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

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 stabilizacije**

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

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Model za naizmenični signal

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

$$i_b = -\frac{v_{OS}}{h_{11} + R || r_z} \approx -\frac{v_{OS}}{h_{11} + r_z} \approx -\frac{v_{OS}}{h_{11}} = -\frac{\Delta V_{OS}}{h_{11}}$$

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

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 13

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

$$V_{OS} \approx V_Z + \frac{r_z}{R} V_{OS} - V_{BE}$$

$$S_T = \frac{\partial V_{OS}}{\partial T} \approx \frac{\partial V_Z}{\partial T} - \frac{\partial V_{BE}}{\partial T}$$

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 14

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 15

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 16

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

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

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

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Praktična realizacija u diskretnoj tehnici

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

Za one koji žele da nauče više

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

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2

4.1.2 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_{C1} , a time i I_p ,

čime se napon V_{os} smanjuje.

Za one koji žele da nauče više

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

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

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

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

Za one koji žele da nauče više

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 21

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 22

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

Za one koji žele da nauče više

08. januar 2020. 23

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Integrirani redni stabilizatori - regulatori napona

Strukturalna blok šema

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 24

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Integrirani redni stabilizatori - regulatori napona

Osnovna šema

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

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

(izvesti izraz)

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 25

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Integrirani redni stabilizatori - regulatori napona

Osnovna šema

- Q₁ je kontrolišući element vezan redno sa potrošačem.
- Deo izlaznog napona vraća se preko razdelnika R₂, R₃.
- Referentni napon dobijen preko D₁.
- Regulacija se postiže kontrolom struje kroz Q₁.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 26

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Osnovna šema

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

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 .

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 27

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Osnovna šema

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

- R₁ 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:

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 28

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Princip rada

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_P , što dovodi do smanjenja I_P , čime se napon V_{os} smanjuje: $V_{os} = R_P I_P$.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2

4.1.2 Integrirani redni stabilizatori - regulatori napona

08. januar

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Integrirani v.s. diskretni regulatori

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2

4.1.2 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

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Električna šema integrisanog rednog stabilizatora NIC 7800C

Referentni napon

Kolo za uzorkovanje

Strujna zaštita

Kontrolnišći element

Detektor greške

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 33

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Karakteristike integrisanih stabilizatora

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

https://www.youtube.com/watch?v=GSzVs7_aW-Y

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 34

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Karakteristike integrisanih stabilizatora

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

LM317

Adjust

V_{out}

I_{in}

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 35

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Karakteristike integrisanih stabilizatora

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

TO-263 (S) Surface-Mount Package

TO-263 (S) Surface-Mount Package

Side View

NS Package Number TS3B

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 36

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Karakteristike integriranih stabilizatora

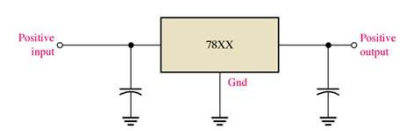
- serije 78/79XX stabilizatora prave se obično za izlazne napone od 5, 6, 8, 12, 15, 18, ili 24 V
- **Maksimalna struja 0,1A; 1A; 2A; 3A**
- **Ugrađena zaštita od pregrevanja**
- **Pad napona na stabilizatoru od 3V (prave se i za manje napone – LDO *Low DropOut* < 1V)**

• http://www.analog.com/en/power-management/linear-regulators/products/index.html?clid=CK_GsZ7or6YCFQY03wod4SIDnw

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 37

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

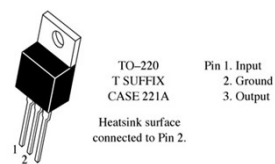
Karakteristike integriranih stabilizatora



(a) Standard configuration

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

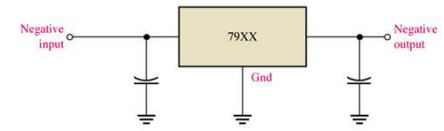


(c) Typical packages
https://www.youtube.com/watch?v=GSzVs7_aWjY **TO-3**

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 38

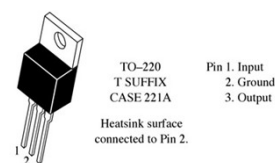
4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Karakteristike integriranih stabilizatora



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

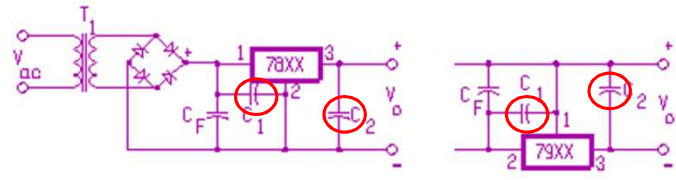
(b) The 7900 series



(c) Typical packages **TO-3**

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 39

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona



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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 40

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Realizacija simetričnog napajanja uz pomoć integriranih stabilizatora

The diagram shows a transformer with primary voltage V_{ac} connected to a bridge rectifier. The positive output of the rectifier is connected to the input of a 78XX positive voltage regulator. The negative output is connected to the input of a 79XX negative voltage regulator. Both regulators have their ground pins connected to the center tap of the transformer. Output capacitors C_{1P} and C_{2P} are connected to the positive and negative outputs, respectively. Input capacitors C_{FN} and C_{1N} are connected to the inputs of the 78XX and 79XX regulators. The output voltages are $+V_{os}$ and $-V_{os}$.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 41

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Povećanje struje potrošača

The diagram shows a 78XX positive voltage regulator. The input is connected to a transformer secondary through a capacitor C_1 . The output is connected to a load resistor R_L through a capacitor C_2 . The output voltage is V_{os} . A red box highlights the equation $R_{ext} = 0.7 \text{ V}/I_{max}$.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 42

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Povećanje struje potrošača

The diagram shows a 78XX positive voltage regulator. The input is connected to a transformer secondary through a capacitor C_1 and an external resistor R_{ext} . The output is connected to a load resistor R_L through a capacitor C_2 . The output voltage is V_{os} . The current through the load is $I < I_{max}$.

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 43

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Povećanje struje potrošača

The diagram shows a 78XX positive voltage regulator. The input is connected to a transformer secondary through a capacitor C_1 and an external resistor R_{ext} . The output is connected to a load resistor R_L through a capacitor C_2 . The output voltage is V_{os} . The current through the load is I_L . A red arrow indicates the current I_{ext} through the external transistor Q_{ext} on.

- 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 $P = (V_o - V_{os})I_{ext}$

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 44

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Zaštita od kratkog spoja

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 45

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Zaštita od kratkog spoja

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 46

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

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.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 47

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Zaštita od kratkog spoja

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 48

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Zaštita od kratkog spoja

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 49

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Zaštita od kratkog spoja

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 50

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Zaštita od kratkog spoja

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 51

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

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).

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 52

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Stabilizatori - regulatori napona promenljivog napona

- Moguće je realizovati stabilizator promenljivog napona ako se R_2 zameni potenciometrom.

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 potenciometar.

Postoji više tipova IC stabilizatora namenjenih za promenljive napone n.p.r. LM317 (za pozitivne) ili LM 337 (za negativne napone).

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 53

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Za one koji žele da nauče više

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 54

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Izborom R_2 moguća regulacija u opsegu 1.25V-30V

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

$I_{adj}=50\mu A$

Za one koji žele da nauče više

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 55

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Za one koji žele da nauče više

Kondenzator C_2 smanjuje šumove (10 μF)

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 56

4.1.2 Redni stabilizatori - regulatori napona

Za one koji žele da nauče više

D₁ i D₂ štite kolo od prenapona u primenama sa većim strujama i naponima

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 57

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 58

4.1.3 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

$V_{os} = V_o - RI_o$

$I_o = I_z + I_C + I_{os}$

Porast V_o za ΔV_o izaziva porast struje kroz Zener diodu $I_z = I_B$, što dovodi do povećanja $I_C = \beta I_B$, a time i I_o , što izaziva veći pad napona na R: (RI_o), čime se napon V_{os} smanjuje. ($V_{os} = V_o - RI_o$)

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 59

4.1.3 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

-1.3 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 60

4.1.3 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

4.1.3 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 61

4.1.3 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

Integrirani paralelni stabilizatori - regulatori napona

Za one koji žele da nauče više

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.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 62

4.1.3 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

Za one koji žele da nauče više

- 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 .

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 63

4.1.3 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

Za one koji žele da nauče više

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

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 .

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 64

4.1.3 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

Za one koji žele da nauče više

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

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 65

4.1.3 Paralelni stabilizatori - regulatori napona

Za one koji žele da nauče više

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_p ,
što dovodi do povećanja I_o ,
a time i do većeg pada napona na R (RI_o),
čime se napon V_{os} smanjuje: $V_{os} = V_o - RI_o$.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 66

Izvori jednosmernog napajanja

Sadržaj

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 67

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 68

4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

Prednosti

- Bar dva puta **veća efikasnost** 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.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 69

4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

Nedostaci

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 70

4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

Referentni napon → impulsno širinski modulator → Prekidački tranzistor → LC filter → Potrošač

Potrošač → Detektor greške → impulsno širinski modulator

- 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*)

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 71

4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

4.2.1 Spuštači napona

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 72

4.2. Prekidački stabilizatori - regulatori napona

4.2.1 Spuštači napona

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

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 73

4.2.1 Spuštači napona

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 74

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.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 75

4.2.1 Spuštači napona

- Kada je $V_{R3} > V_z$, izlaz komparatora (OP) je u negativnom zasićenju ($-V_{CC}$) i tranzistor je zakočen, kondenzator se prazni. Kroz kalem nastavlja da teče struja (lencov zakon) i kada je T zakočen. Polaritet se menja na kalemu i D_1 provede, a kroz kalem se dopunjuje C .

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 76

4.2.1 Spuštač napona

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 77

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.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 78

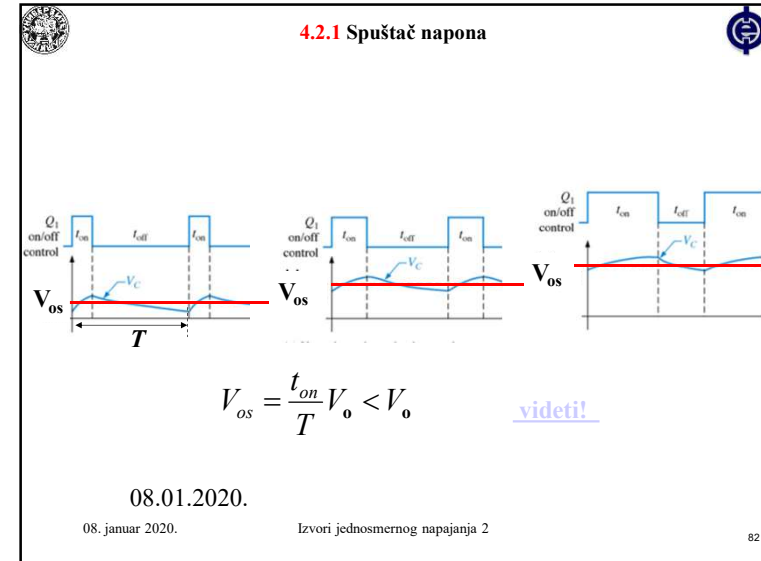
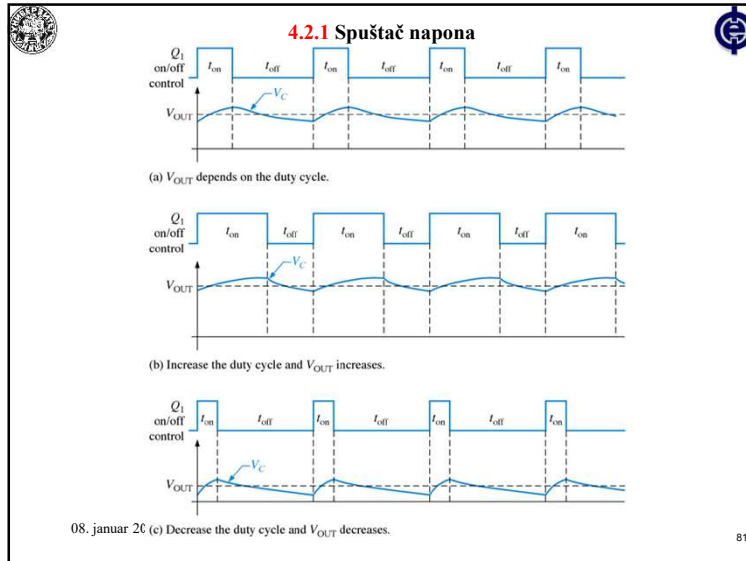
4.2.1 Spuštač napona

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 79

4.2.1 Spuštač napona

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 80

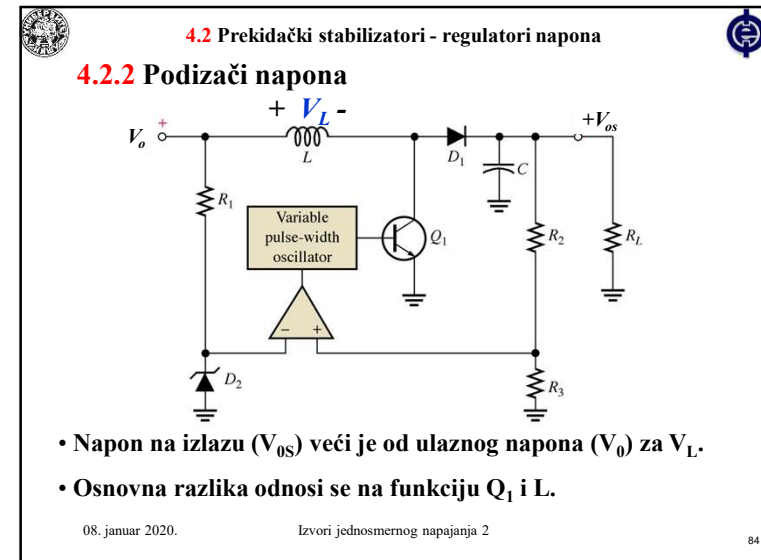


Izvori jednosmernog napajanja

Sadržaj

1. Uvod
2. Usmeraći 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 Podizajući napona**
 - 4.2.3 Invertori

83



4.2.2 Podizači napona

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

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

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 85

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.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 86

4.2.2 Podizači napona

• Napon na C :

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 87

Izvori jednosmernog napajanja

Sadržaj

1. Uvod
2. Usmeraći 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

88

4.2 Prekidački stabilizatori - regulatori napona

4.2.3 Invertori napona

- Izlazni napon ima suprotan polaritet od ulaznog

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 89

4.2.3 Invertori napona

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 90

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 $V_L = -V_{os}$

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 91

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

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

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 92

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**

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 93

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 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.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 94

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

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

Za one koji žele da nauče više

Alt

Više o ovoj temi na kursu “Energetska elektronika”

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 95

Sledi:
-Rekapitulacija (pitanja/odgovori)

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 96

Šta smo naučili?

- **Uloga i osnovne karakteristike stabilizatora (regulatora) napona.**
- Skicirati strukturnu blok šemu integrisanog rednog stabilizatora (regulatora) napona i objasniti kako se ostvaruje stabilizacija (regulacija) napona.
- Skicirati osnovnu el. šemu stabilizatora (regulatora) napona realizovanog sa integrisanim stabilizatorom 78XX
- Osnovna blok šema i klasifikacija prekidačkih stabilizatora (regulatora) napona.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 97

Ispitna pitanja

1. Uporediti faktor stabilizacije stabilizatora (regulatora) sa zener diodom rednog stabilizatora (regulatora) napona
2. Osnovna šema integrisanog rednog stabilizatora (regulatora) napona
3. Princip rada integrisanog rednog stabilizatora (regulatora) napona
4. Skicirati osnovnu el. šemu stabilizatora (regulatora) napona realizovanog sa integrisanim stabilizatorom 79XX
5. Električna šema realizacije simetričnog napajanja na osnovu integrisanih stabilizatora (regulatora) napona 78XX i 79XX.
6. Princip povećanja struje potrošača kod integrisanog stabilizatora (regulatora) napona.
7. Princip zaštite integrisanih stabilizatora (regulatora) napona od kratkog spoja.
8. Osnovna šema i princip rada paralelnih stabilizatora (regulatora) napona.
9. Princip rada prekidačkih stabilizatora/regulatora spuštača/podizača/invertora napona.

08. januar 2020. Izvori jednosmernog napajanja 2 98

Rešenje Domaći 13.1:

Odrediti R i C u stabilizatoru sa slike tako da jednosmerni napon na potrošaču R_{pmin} bude 5V, a $\Delta V_{Cmax}=0.5V$. Upotrebiti zener diodu 1N5231B iz Tabele 1. Usvoji da je efektivna vrednost napona na izlazu transformatora 2x12V i da je na diodama 1N4148 pad napona $V_D=0.7V$ kada vode.

Dvostranusmeravanj:

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

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

$$C = \frac{\sqrt{2} \cdot 12 - 0.7}{2 \cdot 50 \cdot 276 \cdot 0.5} = \frac{16.27}{1380} = 1.18mF \approx 1.2mF$$

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

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

$$\Delta V_Z = V_{Z0} - V_{os} = 5.1 - 5 = 0.1V$$

$$\Delta I_Z = \frac{\Delta V_Z}{r_z} = \frac{0.1V}{17\Omega} = 5.88 \approx 6mA$$

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

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

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

$$R = \frac{(\sqrt{2} \cdot 12 - 0.7) - 0.5 - 5}{14mA + 25mA} = \frac{10.77V}{39mA} = 276\Omega \approx 280\Omega$$

17. januar 2018. Izvori jednosmernog napajanja 99