

# 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%



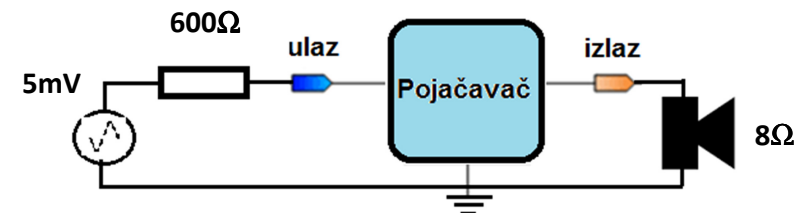
Izračunajte umanjenje broja poena posle I kolokvijuma:

$(100 - \text{broj\_poena\_na\_I\_kolokvijumu}) * 0.5$

## II Kolokvijum

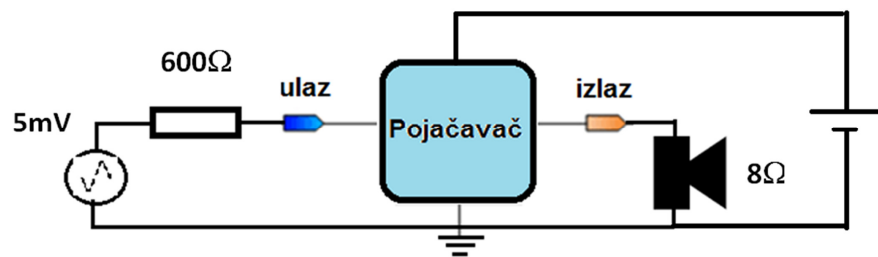
**SUBOTA 21. 01. 2017.**

# Osnovi elektronike



Šta nedostaje da bi pojačavač radio?

# Osnovi elektronike



Izvor jednosmernog napona za polarizaciju

Kako se realizuje?

## Izvori jednosmernog napona



### Izvori jednosmernog napajanja



#### Sadržaj

1. Uvod
2. Usmerači napona
  - 2.1 Jednostrano usmeravanje
  - 2.2 Dvostrano usmeravanje
  - 2.3 Umnožavač napona
3. 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

### Izvori jednosmernog napajanja

#### 1. Uvod

Ni jedno od navedenih elektronskih kola ne bi moglo da radi ako se ne obezbedi jednosmerni napon za polarisanje aktivnih komponenata.

*Perpetuum mobile ne postoji !!! [perpetuum\\_mobile.wmv](http://perpetuum_mobile.wmv)*

Da bi pojačavač pojačao neki signal, mora da utroši određenu snagu. Ta snaga dolazi iz izvora jednosmernih napona.

Vrednost izvora za napajanje definiše maksimalni mogući dinamički opseg signala (sem kod transformatorske sprege).

U mobilnim uređajima koriste se baterije, dok je za napajanje stacionarnih uređaja racionalnije da se koristi mrežni napon.



1. Uvod

Karakteristike mrežnog napona?

To je naizmenični napon

prostoperiodični, frekvencije  $f = 50 \text{ Hz}$

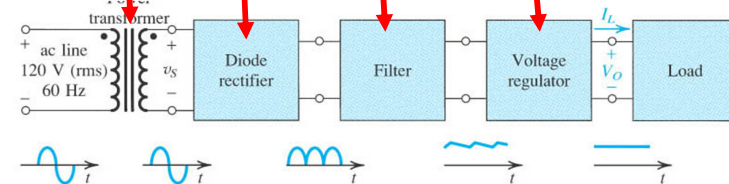
efektivna vrednost  $V = 230 \text{ V}$

maksimalna vrednost  $V_m = 324 \text{ V}$

1. Uvod

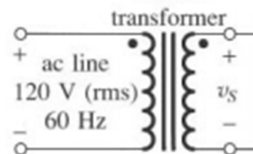
Da bi se od mrežnog napona dobio jednosmerni, željene vrednosti, potrebno je

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



1. Uvod

1. Transformator smanjuje vrednost mrežnog napona



Galvanski odvaja izvor jednosmernog napona od napona mreže.

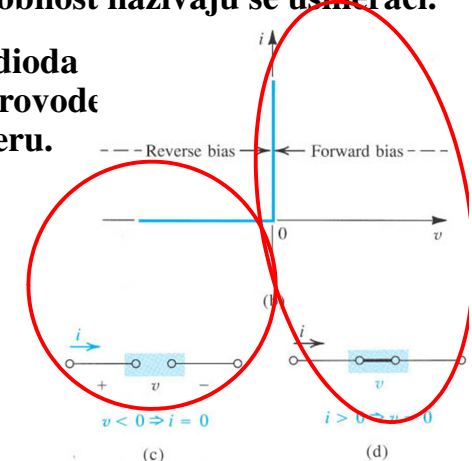
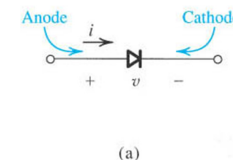
Time se sprečava međusobni uticaj mreže na uređaj i obrnuto.

2. Usmeravanje naizmeničnog napona

2. Usmeravanjem se od naizmeničnog napona pravi jednosmerni

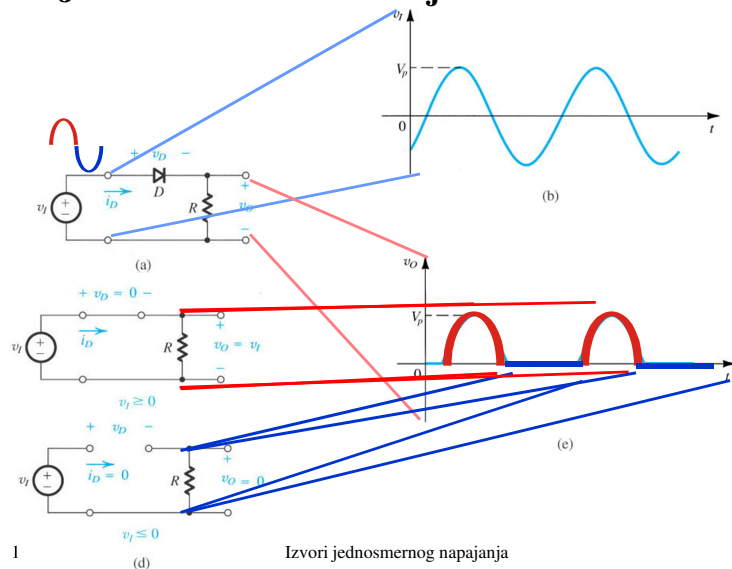
Kola koja imaju ovu sposobnost nazivaju se usmerači.

Zasnovani su na primeni dioda zbog njihove osobine da provode struju samo u jednom smeru.



## 2. Usmeravanje naizmeničnog napona

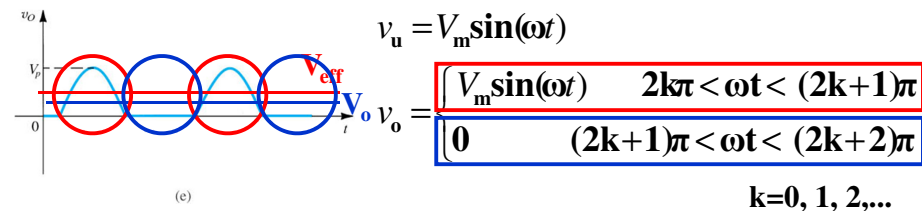
### 2.1 Jednostrano usmeravanje



13

## 2. Usmeravanje naizmeničnog napona

### 2.1 Jednostrano usmeravanje



Napon na potrošaču ima jednosmernu komponentu (srednja vrednost signala)

$$V_o = V_m / \pi$$

ukupnu efektivnu vrednost

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{2}$$

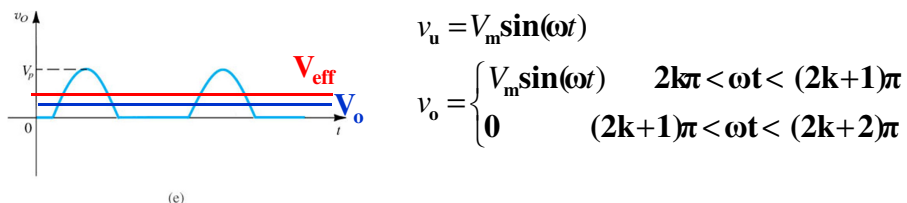
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

14

## 2. Usmeravanje naizmeničnog napona

### 2.1 Jednostrano usmeravanje



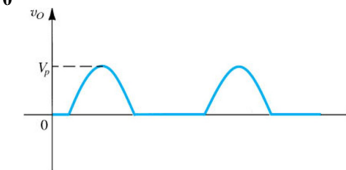
Trenutna vrednost vremenski promenljivog napona, bez jednosmerne komponente iznosi  $v = v_o - V_o$ , a njegoa efektivna vrednost je

$$V_{\text{eff}}' = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\int_0^{2\pi} (v_o - V_o)^2 d\omega t} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\int_0^{2\pi} (v_o^2 - 2v_o V_o + V_o^2) d\omega t}$$

### 2.1 Jednostrano usmeravanje

$$V_{\text{eff}}' = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\int_0^{2\pi} v_o^2 d\omega t - \int_0^{2\pi} 2v_o V_o d\omega t + \int_0^{2\pi} V_o^2 d\omega t} = \sqrt{V_{\text{eff}}'^2 - V_o^2}$$

$$V_{\text{eff}}' = V_o \sqrt{\frac{\pi^2}{4} - 1} \approx 1,21 V_o$$



Faktor talasnosti je mera sadržaja naizmenične komponente u usmerenom signalu i izračunava se kao količnik efektivne vrednosti naizmenične komponente napona na potrošaču  $V_{\text{eff}}'$  i jednosmernog napona  $V_o$

$$\gamma = \frac{V_{\text{eff}}'}{V_o} \approx \sqrt{\frac{\pi^2}{4} - 1} \approx 1.21$$

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

15

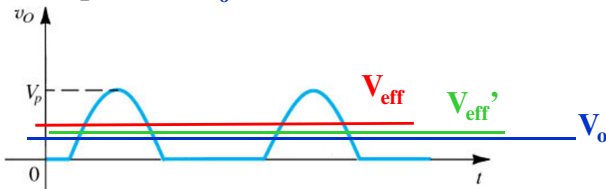
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

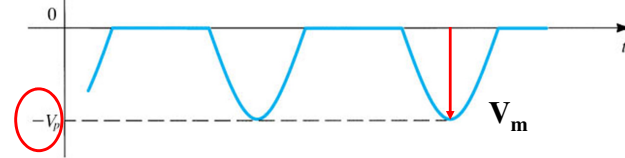
16

## 2.1 Jednostrano usmeravanje

Pri jednostranom usmeravanju vremenski promenljiva komponenta napona  $V_{eff}'$  veća je od jednosmerne komponente,  $V_o$ !



Probijni napon diode ( $V_p$ ) mora da bude veći od  $V_m$ ! Inače će dioda da izgori.



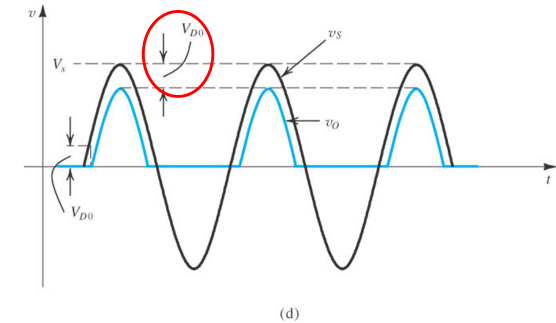
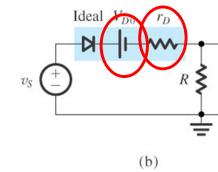
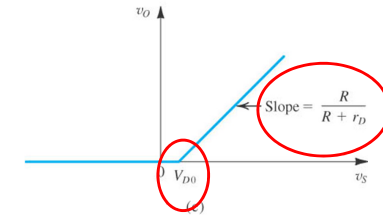
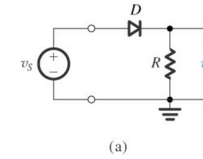
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

17

## 2.1 Jednostrano usmeravanje

### Realni model diode

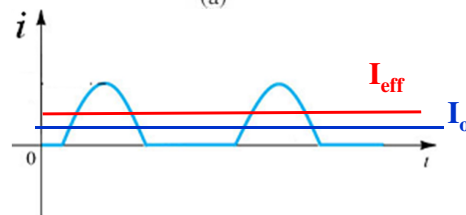
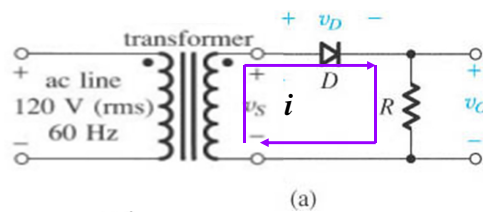


10. januar 2017.

18

## 2.1 Jednostrano usmeravanje

Kroz sekundar transformatora protiče i jednosmerna struja, čime se kvare performanse transformatora usled pojave premagnećenja jezgra



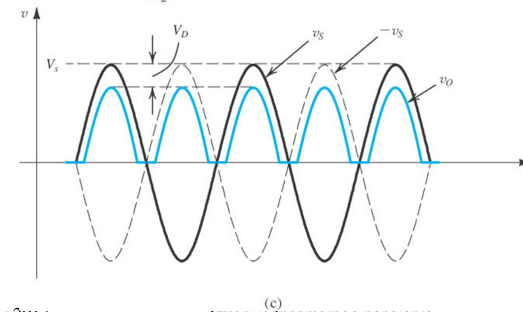
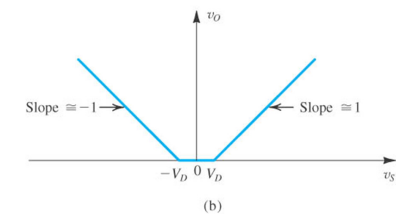
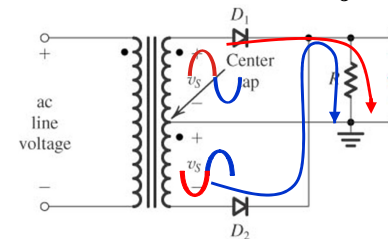
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

19

## 2. Usmeravanje naizmeničnog napajanja

### 2.2 Dvostrano usmeravanje



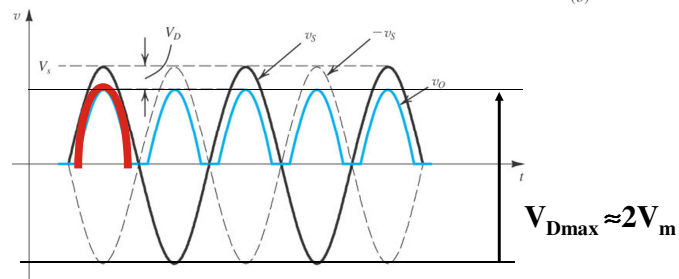
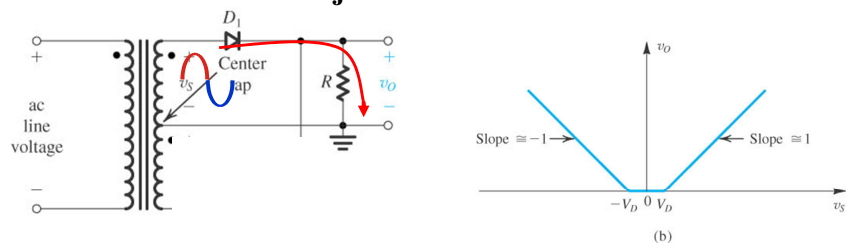
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

20

## 2. Usmeravanje naizmeničnog napajanja

### 2.2 Dvostrano usmeravanje



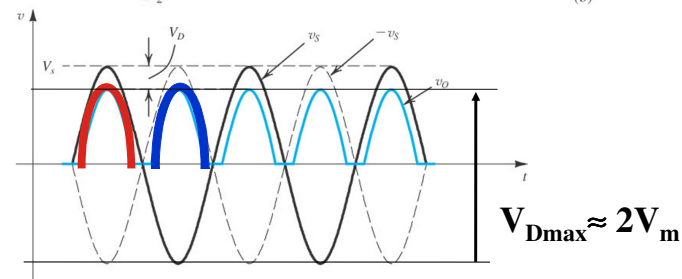
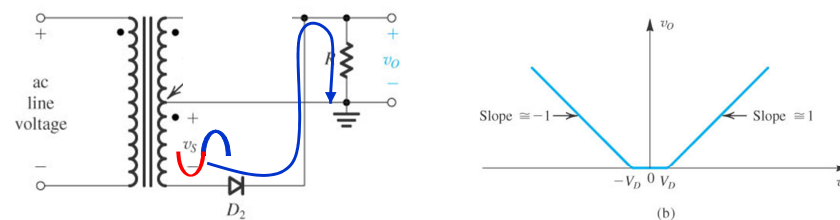
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

21

## 2. Usmeravanje naizmeničnog napajanja

### 2.2 Dvostrano usmeravanje

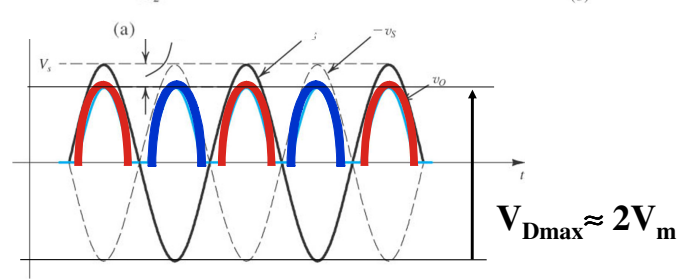
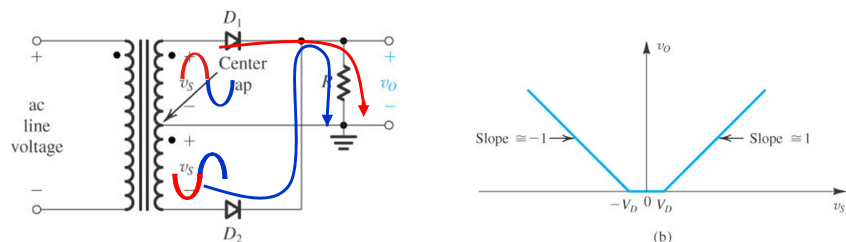


10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

22

### 2.2 Dvostrano usmeravanje

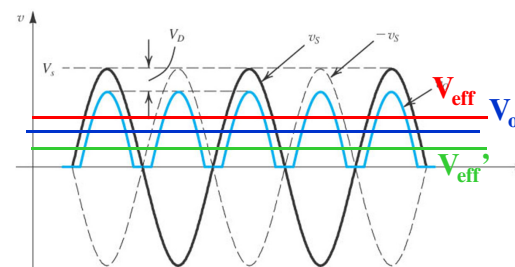


10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

23

### 2.2 Dvostrano usmeravanje



Jednosmerna komponenta napona na potrošaču  $V_o$  (dva puta veća od jednostranog)

$$V_o \approx \frac{2}{\pi} V_m = \frac{V_m}{1.57}$$

Ukupna efektivna vrednost napona na potrošaču  $V_{eff}$  ( $\sqrt{2}$  puta veća od jednostranog)

$$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Efektivna vrednost naizmenične komponente napona na potrošaču  $V_{eff}'$  je

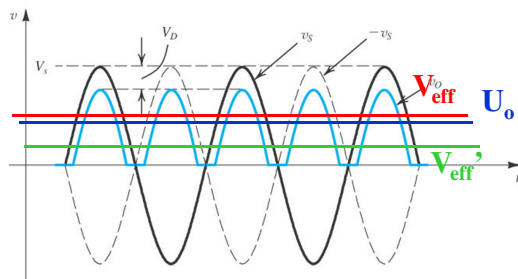
$$V_{eff}' = V_o \sqrt{\frac{\pi^2}{8} - 1}$$

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

24

## 2.2 Dvostrano usmeravanje



(c)

Faktor talasnosti kod dvostranog usmeravanja iznosi

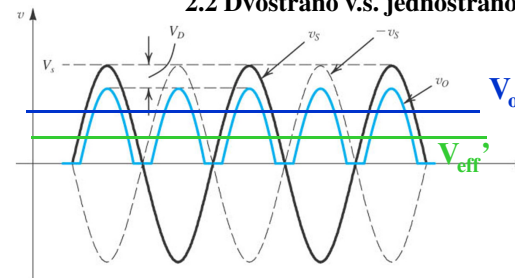
$$\gamma = \frac{V_{\text{eff}}'}{V_o} = \sqrt{\frac{\pi^2}{8} - 1} \approx 0.48$$

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

25

## 2.2 Dvostrano v.s. jednostrano usmeravanje

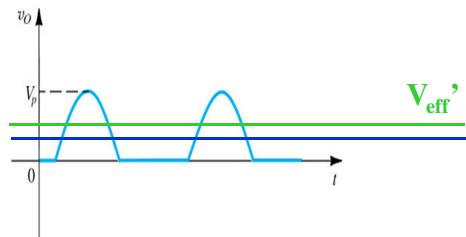


(c)

$$V_o \approx \frac{2}{\pi} V_m = \frac{V_m}{1.57}$$

$$V_{\text{eff}}' = V_o \sqrt{\frac{\pi^2}{8} - 1} \approx 0.48 V_o$$

$$\gamma = \frac{V_{\text{eff}}'}{V_o} = \sqrt{\frac{\pi^2}{8} - 1} \approx 0.48$$



(e)

$$V_o \approx \frac{V_m}{\pi} = \frac{V_m}{3.14}$$

$$V_{\text{eff}}' = V_o \sqrt{\frac{\pi^2}{4} - 1} \approx 1.21 V_o$$

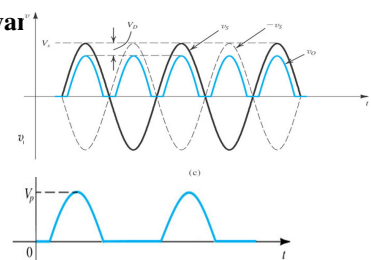
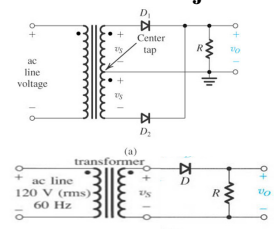
$$\gamma = \frac{V_{\text{eff}}'}{V_o} \approx \sqrt{\frac{\pi^2}{4} - 1} \approx 1.21$$

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

26

## 2.2 Dvostrano v.s. jednostrano usmeravanje



(c)

- 😊 + Ukupna jednosmerna komponenta udvostručena
- 😊 + Na potrošaču samo parni harmonici napona
- 😊 + Kroz sekundar ne protiče jednosmerna komponenta struje
- 😞 - Sekundar mora da ima simetrični izlaz
- 😞 = Najveći inverzni napon na diodi je  $\approx 2V_m$ !!!

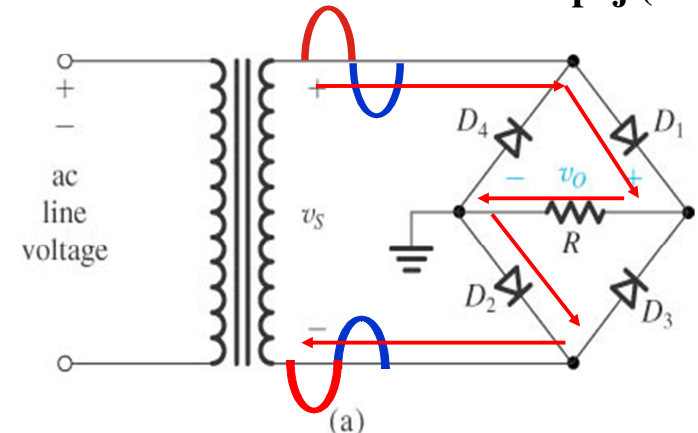
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

27

## 2.2 Dvostrano usmeravanje

### Grecov spoj (Gretz)



(a)

10. januar 2017.

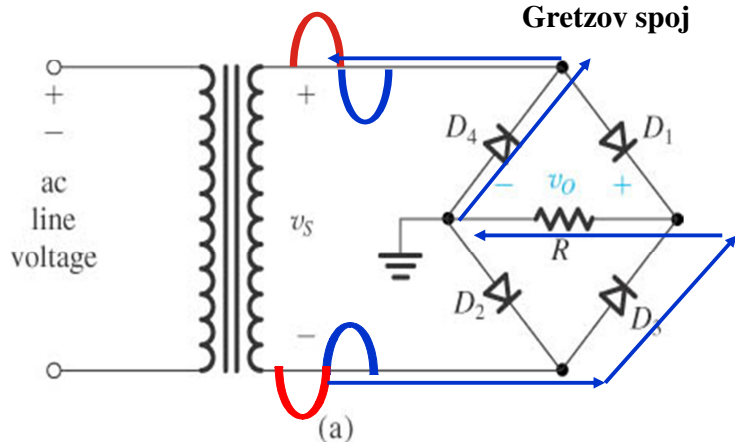
Izvori jednosmernog napajanja

28



## 2.2 Dvostrano usmeravanje

### Gretzov spoj



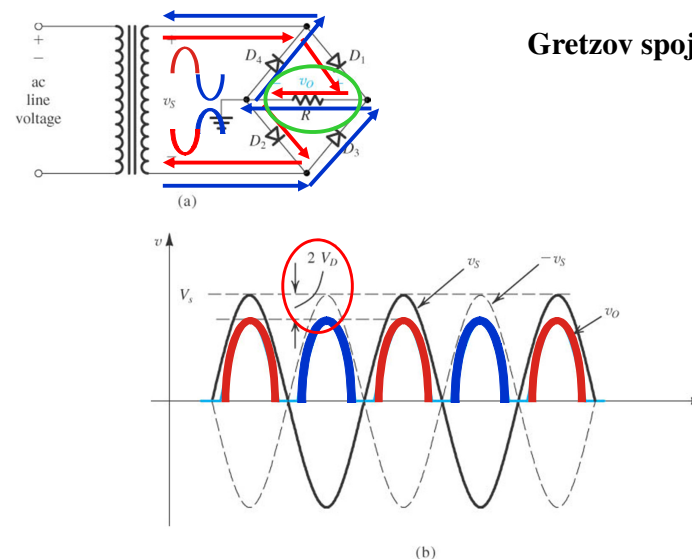
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

29

## 2.2 Dvostrano usmeravanje

### Gretzov spoj

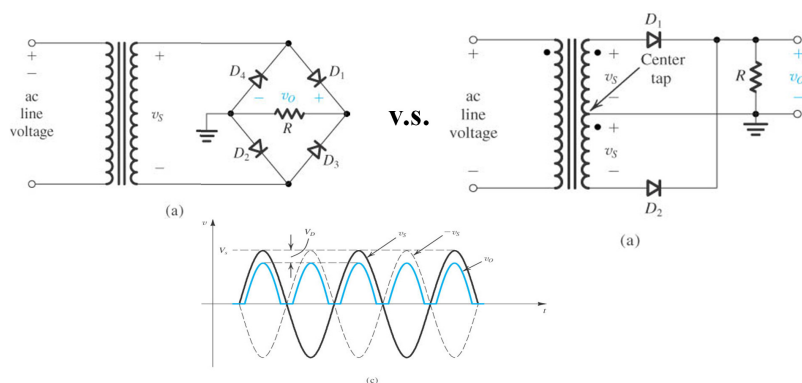


10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

30

## 2.2 Dvostrano usmeravanje



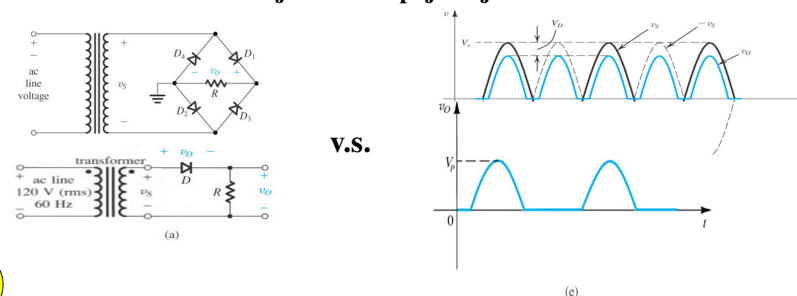
- ☺ + Sekundar NE mora da ima simetrični izlaz
- ☺ + Najveći inverzni napon na diodi je  $V_m$  a ne  $2 V_m$  !!!

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

31

## 2.2 Dvostrano usmeravanje Gretzov spoj v.s. jednostrano



- ☺ + Ukupna jednosmerna komponenta udvostručena
- ☺ + Na potrošaču samo parni harmonici napona
- ☺ + Kroz sekundar ne protiče DC komponenta struje
- ☺ + Sekundar ne mora da ima simetrični izlaz
- ☺ + Najveći inverzni napon na diodi je takođe  $V_m$

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

32

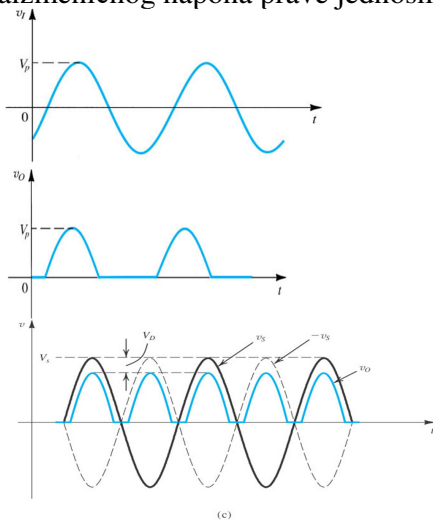


**2. Usmrači napona  
ZAKLJUČAK**

Funkcija: Od naizmeničnog napona prave jednosmerni

Jednostrano

Dvostrano



10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

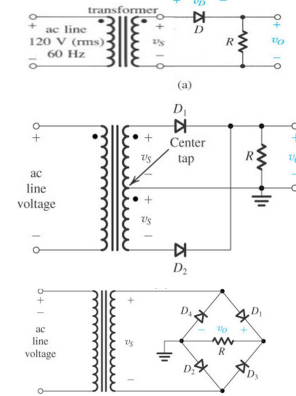
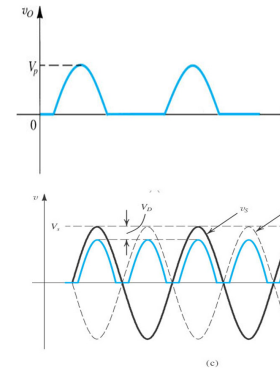
**2. Usmrači napona**

**ZAKLJUČAK**

Realizacija:

Jednostrano

Dvostrano



**ZAKLJUČAK Pogledajte:**

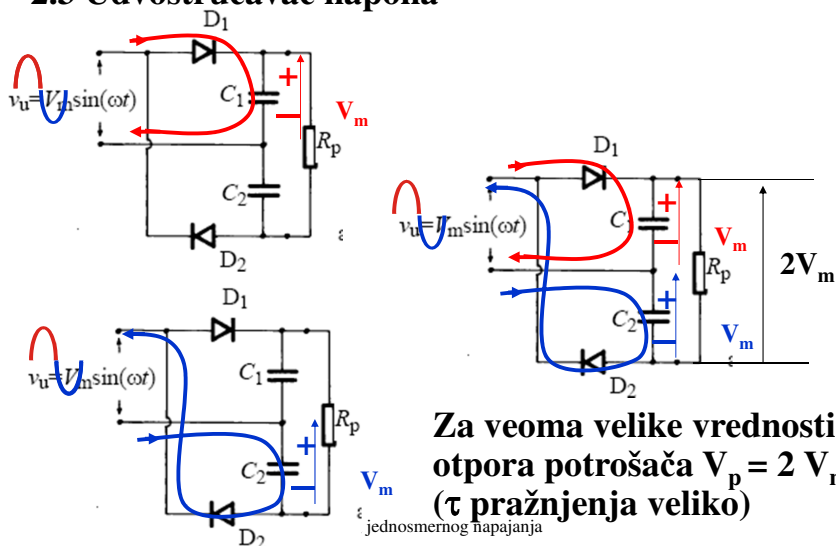
<https://www.youtube.com/watch?v=cyhzpFqXwdA>

10. januar 2017.

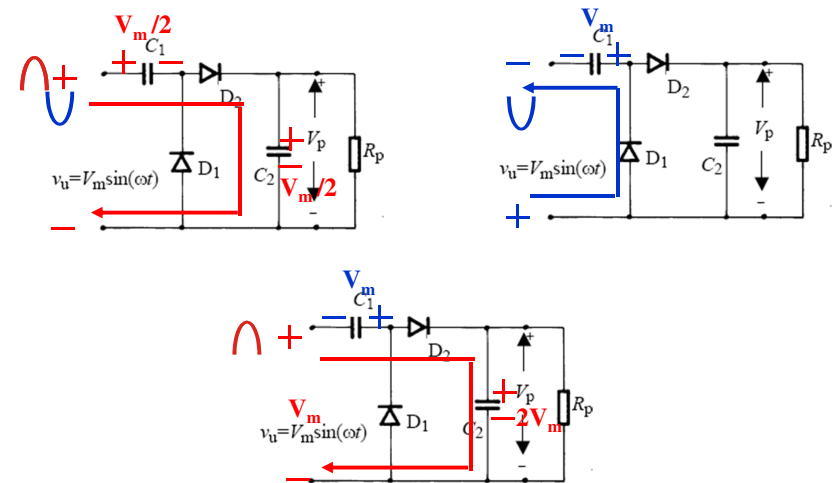
Izvori jednosmernog napajanja

**2. Usmerači naizmeničnog napona**

**2.3 Udvostručavač napona**



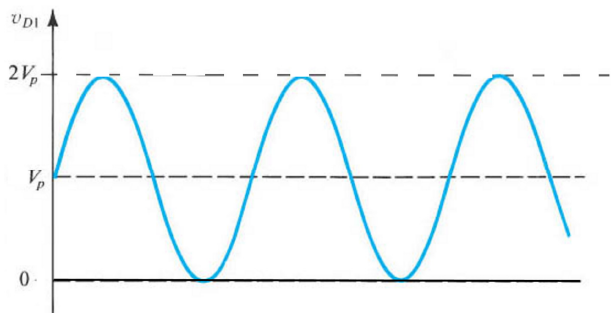
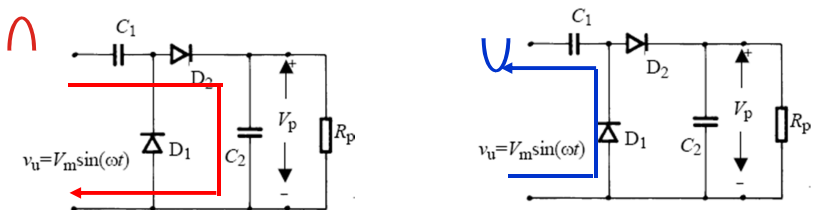
**2.3 Udvostručavač napona**



10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

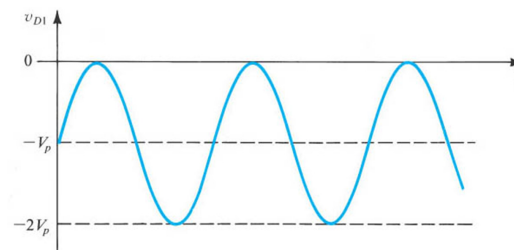
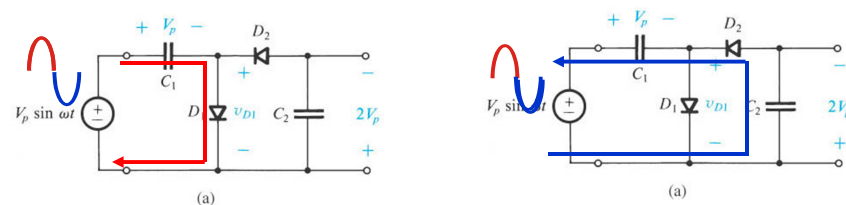
### 2.3 Udvostručavač napona



10. januar

37

### 2.3 Udvostručavač napona



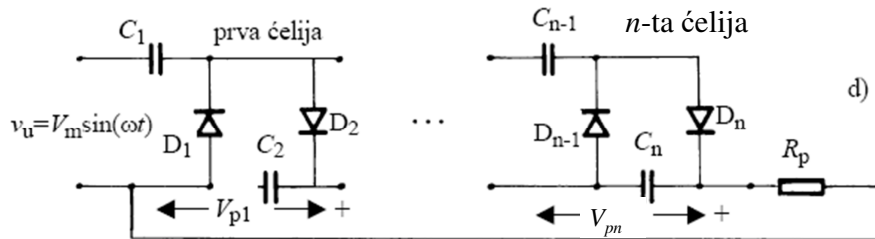
(b)

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

38

### 2.3 Umnožavač napona



Za veoma velike vrednosti otpora potrošača  $V_p = 2nV_m$ , gde je  $n$  broj sekcija

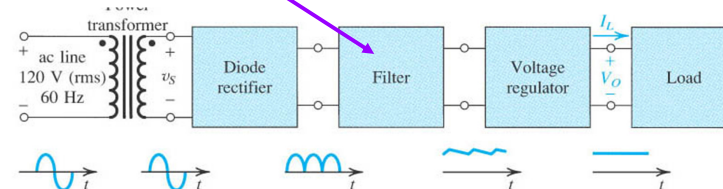
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

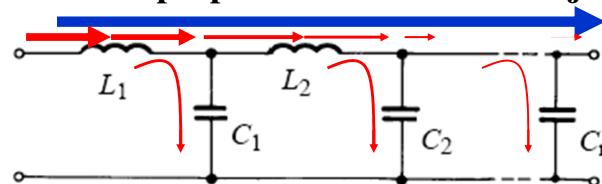
39

### Izvori jednosmernog napajanja

#### 3. Filtriranje usmerenog napona



Treba da eliminiše **naizmeničnu** komponentu napona  
Zato se koristi propusnik niskih frekvencija



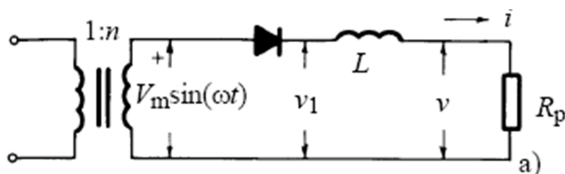
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

40

### 3. Filtriranje usmerenog napona

Induktivni filter



Posle zakočenja diode, akumulirana energija u kalemu dopušta protok struje u istom smeru u kome je i ranije proticala.

Potrošač i L čine naponski razdelnik za naizmenični signal dok DC komponenta nije oslabljena jer je  $Z_L=0$ .

$$v = R_p v_1 / (Z_L + R_p)$$

Slabljenje će biti veće ako je L veće ili  $R_p$  manje.

Veće je slabljenje viših harmonika jer pri višim frekvencijama  $Z_L$  ima veću vrednost.

10. januar 2017.

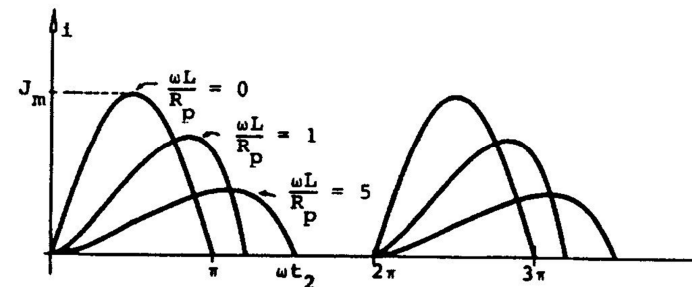
Izvori jednosmernog napajanja

41

### 3. Filtriranje usmerenog napona

Induktivni filter

Za one koji žele da nauče više



Zavisnost struje kroz potrošač od odnosa  $(\omega L)/R_p$

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

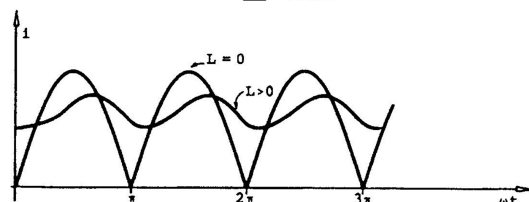
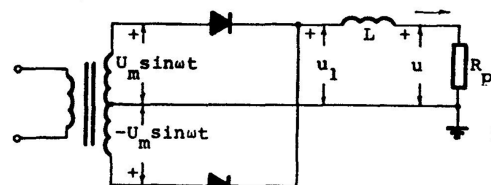
42

### 3. Filtriranje usmerenog napona

Induktivni filter

Za one koji žele da nauče više

Priključivanje induktivnog filtra na dvostrani umerać.



10. januar 2017.

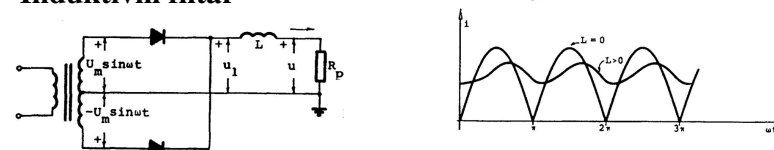
Izvori jednosmernog napajanja

43

### 3. Filtriranje usmerenog napona

Induktivni filter

Za one koji žele da nauče više



Faktor talasnosti

$$\gamma = \frac{1}{3\sqrt{2}} \frac{R_p}{\omega L}$$

DC napon na potrošaču ne zavisi od otpornosti potrošača ako se zanemare otpornosti dioda i kalema.

$$V_o = \frac{2V_m}{\pi} = 0.637 \cdot V_m$$

Relativno mala poboljšanja postignuta.

Racionalna je jedino primena pri velikim strujama.

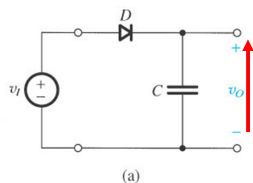
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

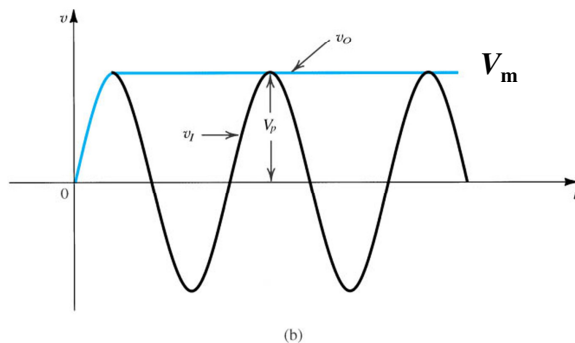
44

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter



U idealnom slučaju jednosmerna komponenta napona na kondenzatoru  $V_o = V_p = V_m$ .



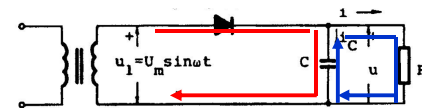
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

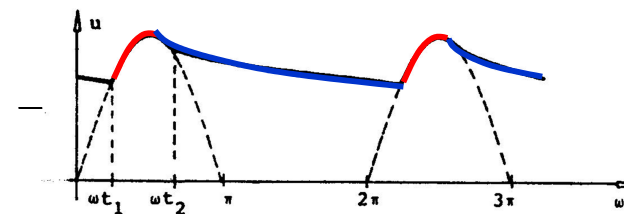
45

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter



U realnim uslovima kondenzator se puni preko male otpornosti diode koja vodi, a prazni preko otpora  $R_p$ .



10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

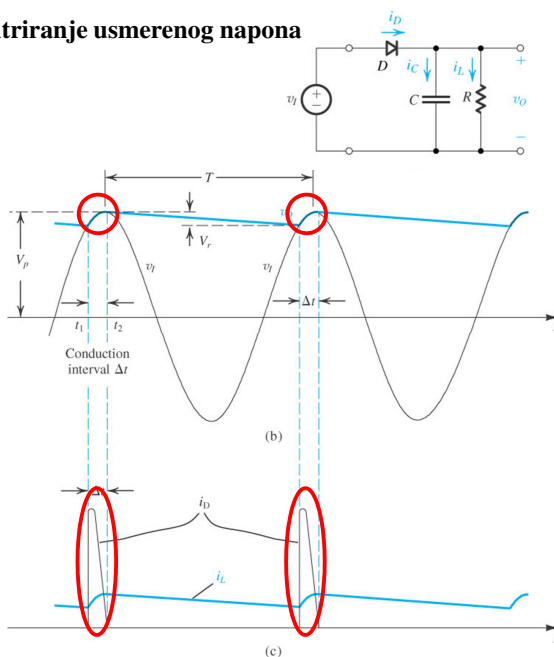
46

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter

Dioda vodi samo u kratkom intervalu kada je anoda na višem potencijalu od katode.

Tada se dopunjuje naelektrisanje na C koje se izgubilo tokom intervala T, kada je dioda bila zakočena.

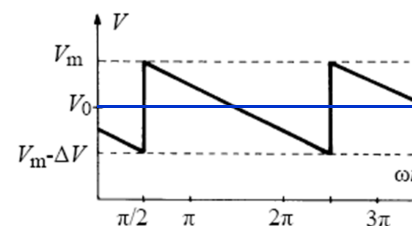


10. januar 2017.

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter

Analiza rada na osnovu pojednostavljenog talasnog oblika signala na potrošaču.



$$V_o = V_m - \Delta V / 2.$$

$$V_m - \Delta V = V_m e^{-T/(CR)}$$

za  $CR \gg T$ ,

$$e^{-T/(CR)} \approx 1 - T/(CR)$$

tako da je

$$\Delta V \approx V_m T / (CR) = V_m / (fCR)$$

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

48

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter

Ugao provođenja diode

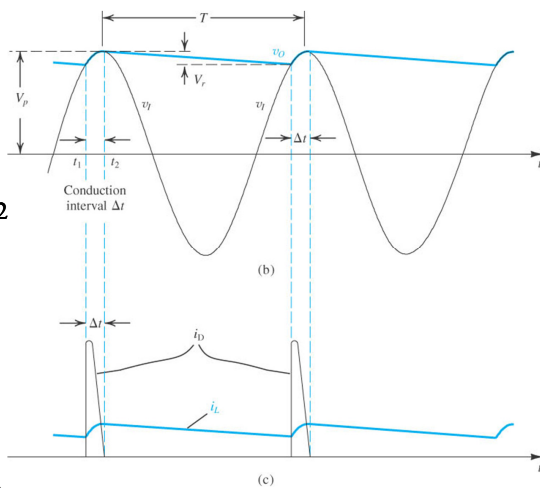
$$V_m \cos(\omega \Delta t) = V_m - \Delta V$$

za malo  $\omega \Delta t$  važi

$$\cos(\omega \Delta t) \approx 1 - (1/2) (\omega \Delta t)^2$$

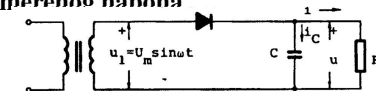
$$\omega \Delta t \approx \sqrt{2\Delta V / V_m}$$

Srednja vrednost struje kroz diodu računa se analizom količine naelektrisanja na kondenzatoru



### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter



$$Q_+ = I_C \Delta t = Q_- = C \Delta V, \text{ znajući da je}$$

$I_C = I_d - I_o$  dobija se srednja vrednost struje kroz diodu od

$$I_d \approx I_o (1 + \pi \sqrt{2V_m / \Delta V})$$

(Za  $V_m = 10V, \Delta V = 0.2V, I_d = 32.14 I_o$ )

Srednja vrednost struje kroz diodu mnogo je veća od jednosmerne struje kroz potrošač

jer je

$$V_m \gg \Delta V!!!$$

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter

Rešavanjem diferencijalne jednačine

$i_d = C(du/dt) + i$ , za  $t = t_1 = -\Delta t$ , dobija se maksimalna vrednost struje kroz diodu od

$$I_{dmax} \approx I_o (1 + 2\pi \sqrt{2V_m / \Delta V})$$

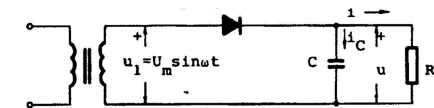
Za  $V_m \gg \Delta V$ , što je obično ispunjeno:

$$I_{dmax} \approx 2I_o (1/2 + \pi \sqrt{2V_m / \Delta V}) \approx 2I_d \gg 2I_o$$

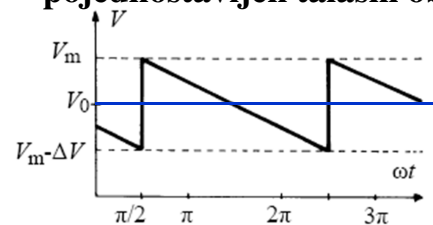
Voditi računa kada se bira dioda!!!

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter



Da bi se odredio faktor talasnosti posmatra se pojednostavljen talasni oblik signala na potrošaču.



$$V_o \approx V_m - \Delta V / 2.$$

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

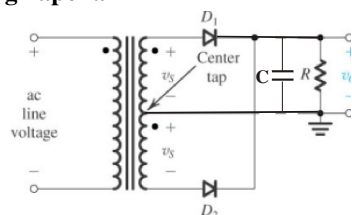
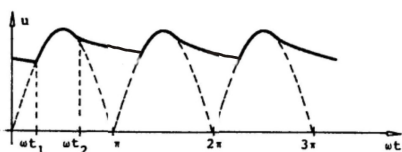
Faktor talasnosti

$$\gamma = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \frac{1}{\omega R_p C} \Big|_{\omega=100\pi} \approx \frac{1}{171 R_p C}$$

Za one koji žele da nauče više

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter – dvostrano



Perioda je smanjena na T/2 tako da je

$$\Delta V \approx V_m T / (2CR) = V_m / (2fCR)$$

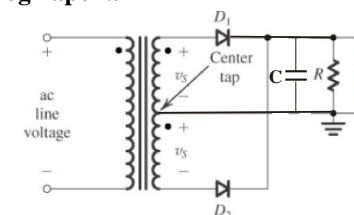
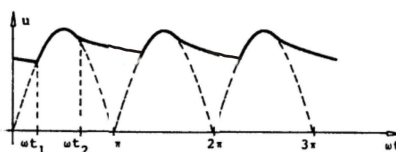
Dva puta manje za isto C i R!!!

ili

Da bi se dobilo isto  $\Delta V$ , može da se upotrebi dva puta manje C (!!! dimenzije !!!)

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter – dvostrano



Jednosmerni napon na potrošaču kod dvostranog usmerača

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

Faktor talasnosti dva puta manji nego kod jednostranog za isto R i C

$$\gamma = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \frac{1}{\omega R_p C} \Big|_{\omega=100\pi} \approx \frac{1}{346} \frac{1}{R_p C}$$

Za one koji žele da nauče više

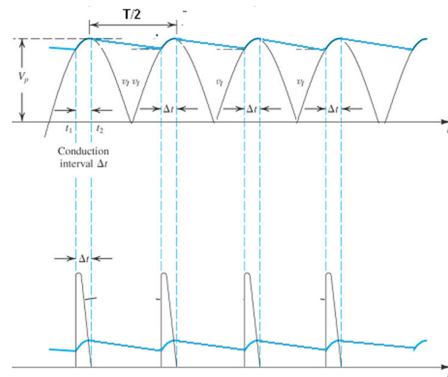
### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter - dvostrano

Ugao provođenja diode  $V_m \cos(\omega\Delta t) = V_m - \Delta V$  za malo  $\omega\Delta t$  važi  $\cos(\omega\Delta t) \approx 1 - (1/2)(\omega\Delta t)^2$

$$\omega\Delta t \approx \sqrt{2\Delta V/V_m}$$

Isti izraz kao kod jednostranog



Za one koji žele da nauče više

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Kapacitivni filter - dvostrano (srednja vrednost struje kroz diodu)

$Q_+ = I_C \Delta t = Q_- = C \Delta V$ , znajući da je  $I_C = I_d - I_o$  dobija se srednja vrednost struje kroz diodu od

$$I_d \approx I_o \left(1 + \pi \sqrt{\frac{V_m}{2\Delta V}}\right)$$

Srednja vrednost struje kroz diodu veća je od jednosmerne struje kroz potrošač,

ali je skoro 2x manja nego kod jednostranog usmerača!!!

(Za  $V_m=10V$ ,  $\Delta V=0.2V$ ,  $I_d=16.7I_o$ )

3. Filtriranje usmerenog napona **Za one koji žele da nauče više**

Kapacitivni filter - dvostrano (maksimalna struja kroz diode)

Rešavanjem diferencijalne jednačine

$i_d = C(du/dt) + i$ , za  $t = t_1 = -\Delta t$ , dobija se maksimalna vrednost struje kroz diodu od

$$I_{dmax} \approx I_o \left( 1 + 2\pi \sqrt{\frac{V_m}{2\Delta V}} \right)$$

Za  $V_m \gg \Delta V$  što je obično ispunjeno, dobija se

$$I_{dmax} \approx 2I_d \gg I_o$$

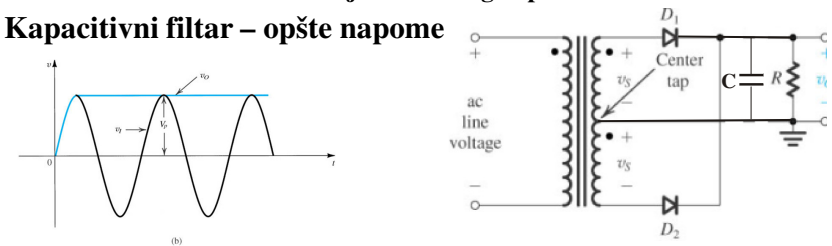
Maksimalna struja kroz diode kod dvostranog, približno 2x je manja od one kod jednostranog **usmeravanja**.

Izvori jednosmernog napajanja

57

3. Filtriranje usmerenog napona

Kapacitivni filter – opšte napome



**Jednosmerna komponenta napona na potrošaču kada je primenjen kapacitivni filter približno je jednaka maksimalnoj vrednosti ulaznog naizmeničnog napona: 1.41 puta veća od efektivne vrednosti.**

Kapacitivni filter ima relativno mali faktor talasnosti pri velikim otpornostima potrošača

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

58

3. Filtriranje usmerenog napona

Kapacitivni filter

**Domaći 12.1:**



Potrošač  $R=100\Omega$  priključen je preko usmerača sa Grecovim spojem na naizmenični napon frekvencije 50Hz i amplitude 12V. Ako je pad napona na diodama  $V_d=0.8V$  odrediti:

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

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

59

3. Filtriranje usmerenog napona

Kapacitivni filter

**Domaći 12.2:**



Za usmerač sa kapacitivnim filtrom iz prethodnog primera odrediti:

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

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

60



### 3. Filtriranje usmerenog napona

	Induktivni	v.S.	kapacitivni filter
Faktor talasnosti	$\gamma = \frac{1}{3\sqrt{2}} \frac{R_p}{\omega L}$		$\gamma = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \frac{1}{\omega R_p C}$
Jednosmerni napon	$V_o = \frac{2V_m}{\pi} = 0.637V_m$	v.S.	$V_o = \frac{V_m}{\left(1 + \frac{\pi}{2\omega R_p C}\right)}$
Sa stanovišta $R_p$	Bolji za manje $R_p$		Bolji za veće $R_p$

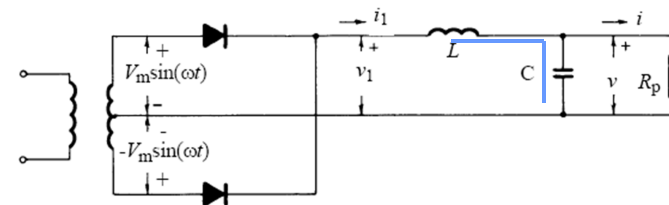
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

61

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### L - filter



**Kompromis između induktivnog i kapacitivnog.**

**U intervalu kada se kondenzator prazni, induktivnost nadoknađuje gubitke.**

**Pri malim strujama dominira kapacitivni, a pri velikim induktivni deo.**

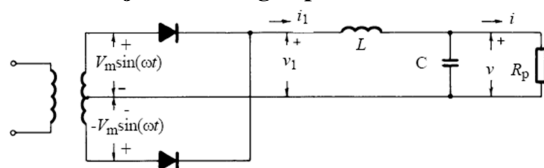
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

62

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### L - filter



**Postoji vrednost induktivnosti pri kojoj napon ne zavisi od struje potrošača.**

**To je kritična induktivnost  $L_k = R_p / (3\omega)$**

**Za velike vrednosti  $R_p$ ,  $L_k$  je veliko.**

**Ekvivalentno  $R_p$  redukuje se vezivanjem dodatne otpornosti paralelno sa potrošačem.**

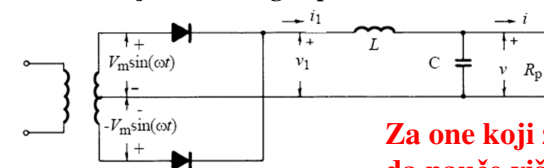
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

63

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### L - filter



**Za one koji žele da nauče više**

**Faktor talasnosti**

$$\gamma = \frac{1}{6\sqrt{2}} \frac{1}{\omega^2 LC}$$

**Projektuje se tako što se odredi  $L_k$ , a zatim se, na osnovu željene vrednosti za  $\gamma$ , određuje C.**

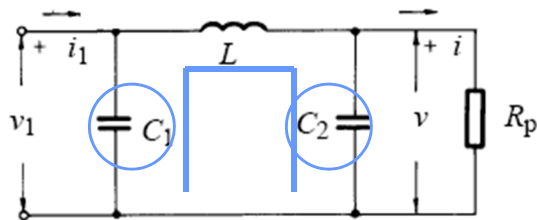
10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

64

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Π - filter



Daje veći napon na potrošaču i manji faktor talasnosti.

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

Faktor talasnosti

**Za one koji žele da nauče više**

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\omega^3 C_1 C_2 L R_p}$$

**jednostrano**

$$\gamma = \frac{1}{4\sqrt{2}} \frac{1}{\omega^3 C_1 C_2 L R_p}$$

**dvostrano**

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

65

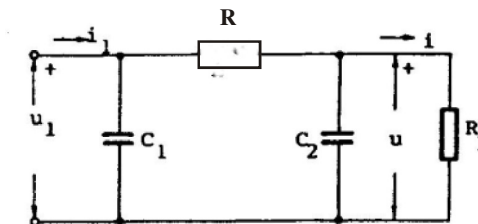
### 3. Filtriranje usmerenog napona

**Za one koji žele da nauče više**

#### Π - filter

Može umesto L da se stavi R koji bi zamenio  $\omega L$ .

Da bi se zamenilo  $L=10H$ , treba  $R=6280\Omega$  !!!



Faktor talasnosti za jednostrano

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\omega^2 C_1 C_2 R R_p}$$

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

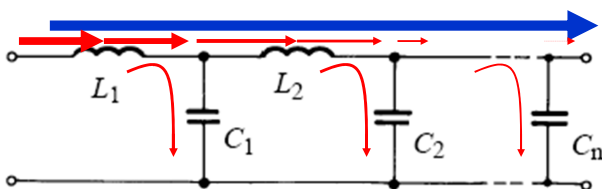
66

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Zaključak

#### Funkcija:

Smanjuju talasnost usmernog napona time što smanjuju **naizmjeničnu komponentu** uz što manje slabljenje **jednosmerne komponente**



10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

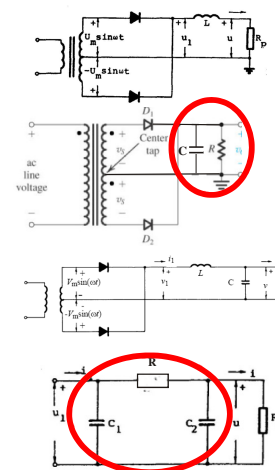
67

### 3. Filtriranje usmerenog napona

#### Zaključak

#### Realizacija:

- Induktivni,
- Kapacitivni
- Kombinacija
- RC



10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

68

## Šta smo naučili?



- **Nacrtati blok šemu sistema pomoću koga se iz mrežnog napona dobija stabilisani jednosmerni napon i talasne oblike napona za izlazu svakog bloka.**
- Skicirati električnu šemu i talasni oblik napona na izlazu usmerača napona sa Grecovim spojem bez i sa kondenzatorom priključenim paralelno potrošaču.
- Koliki je jednosmerni napon na izlazu usmerača sa kapacitivnim filtrom ako efektivna vrednost napona ispred usmerača iznosi 10 V? Zašto?

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

69

69

## Ispitna pitanja



1. Jednostrano usmeravanje (el. šema, talasni oblici, jednosmerni napon i faktor talasnosti).
2. Dvostrano usmeravanje (el. šema, talasni oblici, jednosmerni napon i faktor talasnosti).
3. Usmerač za udvostručavanje napona.
4. Induktivni filter (el. šema, princip rada, jednosmerni napon i zavisnost faktora talasnosti od otpornosti potrosaca).
5. Kapacitivni filter (el. šema, princip rada, jednosmerni napon i zavisnost faktora talasnosti od otpornosti potrosaca).
6. II-filtar (el. šema i osobine).

10. januar 2017.

Izvori jednosmernog napajanja

70

70

## Rešenje Domaći 11.1: POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA



Bipolarni tranzistor karakteriše snaga disipacije od  $P_{d0\max}=2W$ , pri  $T_{O0}=25^{\circ}C$  i maksimalna temperatura spoja  $T_{S\max}=150^{\circ}C$ .

Odrediti termičku otpornost tranzistora i maksimalnu snagu koju tranzistor može da disipira pri temperaturi okoline  $T_O=50^{\circ}C$ .

$$T_{S\max} - T_o = R_{th} \cdot P_{d\max} \Rightarrow R_{th} = \frac{T_{S\max} - T_o}{P_{d\max}} = \frac{150^{\circ} - 25^{\circ}}{2W} = 62,5^{\circ}C/W$$

$$P_{d\max}(T_o = 50^{\circ}C) = \frac{T_{S\max} - T_o}{R_{th}} = \frac{150^{\circ}C - 50^{\circ}C}{62,5^{\circ}C/W} = 1,6W$$

10. januar 2017.

Pojačavači velikih signala

71

71

## Rešenje Domaći 10.2: POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA



Za pojačavač sa slike koji radi u klasi B, odrediti

a) vrednost  $V_{CC}$ , tako da bude za 5V veći od maksimalnog napona na potrošaču od  $8\Omega$ , kada se na njemu ostvaruje korisna snaga od 20W.

$$a) P_k = \frac{1}{2} \frac{V_{im}^2}{R_p} \Rightarrow V_{im} = \sqrt{2R_p P_k} = \sqrt{2 \cdot 8\Omega \cdot 20W} = 17,88V$$

$$V_{CC} > V_{im} + 5V = 22,88V \text{ usvajamo } V_{CC} = 23V.$$

b) maksimalnu struju svakog tranzistora,

$$b) I_{C1\max} = I_{p\max} = \frac{V_{p\max}}{R_p} = \frac{17,88}{8} = 2,24A$$

c) ukupnu snagu izvora napajanja,

$$c) P_{CC1} = I_{C1} \cdot V_{CC} = \frac{1}{\pi} I_{C\max} \cdot V_{CC} = \frac{1}{\pi} 2,24 \cdot 23 = 16,4W \Rightarrow P_{CC} = 2P_{CC1} = 32,8W$$

d) stepen korisnog dejstva

$$d) \eta = \frac{P_k}{P_{CC}} 100 = \frac{20}{32,8} 100 = 60,98\%$$

e) maksimalnu disipiranu snagu na svakom tranzistoru.

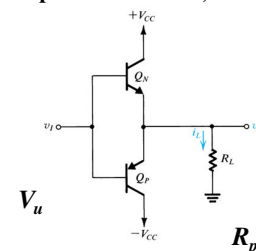
$$e) P_{d1} = I_{C1} \cdot V_{CE\max1} = \frac{1}{\pi} I_{C\max} \cdot \frac{1}{\pi} V_{CE\max} = \frac{1}{\pi^2} I_{C\max} \cdot V_{CC} = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{V_{CC}^2}{R_p} = 6,7W$$

Pojačavači velikih signala

10. januar 2017.

72

72



**Rešenje Domaći 11.3:****POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Za pojačavač sa slike koji radi u klasi B poznato je:  $V_{CC} = 6V$ ,  $R_p = 4\Omega$  i  $\beta_N = \beta_P = 50$ . Iz  $V_{pmax} = 4.5V$ . Odrediti:



a) Snagu na potrošaču

$$a) P_k = \frac{1}{2} \frac{V_{pmax}^2}{R_p} = \frac{1}{2} \frac{4.5^2}{4} = 2,53W$$

b) Snagu svakog izvora

$$b) P_{CC1} = I_{CC1} \cdot V_{CC} = \frac{1}{\pi} \frac{V_{pmax}}{R_p} \cdot V_{CC} = \frac{1}{3.14} \cdot \frac{4.5}{4} \cdot 6 = 2,15W$$

c) Stepen iskorišćenja

$$c) \eta = \frac{P_k}{2P_{CC1}} \cdot 100 = \frac{1}{2} \frac{2,53}{2,15} \cdot 100 = 58,8\%$$

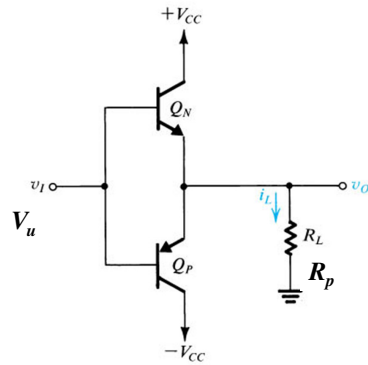
d) Maksimalnu ulaznu struju

$$d) I_{u,max} = \frac{I_{C,max}}{\beta} = \frac{1}{\beta+1} \frac{V_{pmax}}{R_p} = \frac{1}{51} \frac{4.5}{4} = 22,1mA$$

e) Snagu disipacije svakog tranzistora.

$$e) P_{d1} = I_{C1} \cdot V_{C1} = \frac{1}{\pi} \frac{V_{CE,max}}{R_p} \cdot \frac{1}{\pi} V_{CE,max} = \frac{1}{\pi^2} \frac{V_{CC}}{R_p} \cdot \frac{1}{\pi} V_{CC}$$

$$P_{d1} = \frac{1}{3.14^2} \cdot \frac{6}{4} = 0,91W$$



10. januar 2017.

Pojačavači velikih signala

73

73

**Rešenje Domaći 11.4:****POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Za pojačavač sa slike koji radi u klasi AB poznato je:  $V_{CC} = 15V$ ,  $R_p = 100\Omega$ ; tranzistori su upareni sa  $I_s = 0.1pA$  i  $\beta = 50$ , dok za diode važi da je  $I_{sd} = 2I_s$ . Odrediti:



a) Struju  $I$  tako da kroz diode u najnepovoljnijem slučaju protiče struja od 1mA;

$$a) I = I_{d,min} + I_{B,max} = I_{d,min} + \frac{I_{C,max}}{\beta} = I_{d,min} + \frac{I_{p,max}}{\beta} = I_{d,min} + \frac{V_{CC}}{\beta R_p}$$

$$I = 1mA + \frac{15}{50 \cdot 100} = 1mA + 3mA = 4mA$$

b) Lenju struju ( $I_{Cmin}$ );

$$b) I = I_d + I_{B,min}$$

za  $V_u = 0$ ,  $V_d = V_{BE}$ , a odatle sledi da je  $I_d = (I_{ds}/I_s) I_{B,min} = 21 I_{B,min}$

$$I = I_{d,max} + I_{B,min} = 22 I_{B,min} \Rightarrow I_{B,min} = I / 22 = 4 / 22 = 0,18mA; I_{C,min} = \beta I_{B,min} = 50 \cdot 0,18 = 9mA$$

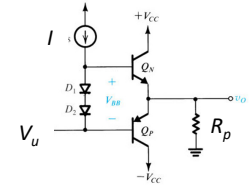
c) Disipaciju svakog tranzistora i

$$c) P_{do} \approx 2(I_{C,min} V_{CC}) = 2 \cdot 9mA \cdot 15V = 270mW$$

d) Jednosmerni napon  $V_{BB}$  u odsustvu ulaznog signala.

$$d) I_{d,max} = I_{ds} (e^{V_d/V_T} - 1) \Rightarrow (V_d/V_T) = \ln(I_{d,max}/I_{ds}) + 1$$

$$V_{BB} = 2V_d = 2V_T (\ln(21 \cdot 0,18mA / 0.1pA) + 1) = 2 \cdot 0.026(24.4 + 1) = 1,32V$$



10. januar 2017.

Pojačavači velikih signala

74

74