

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%



Ukupan skor u januaru može biti 120% PRE ISPITA

Savet: Izadite na kolokvijum MNOOOOGO JE LAKŠE!

Sadržaj

1. Uvod

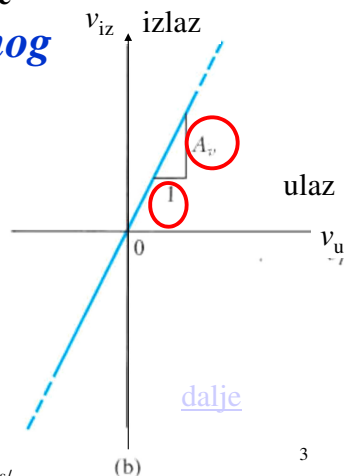
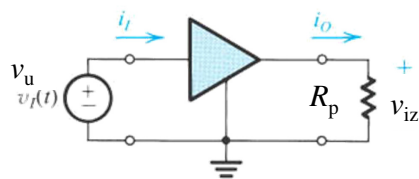
- Definicija pojačanja
- Osobine pojačavača
- Simbol pojačavača
- Klasifikacija pojačavača prema tipu signala
- Modeli pojačavača
- Uzroci izobličenja signala
- Prenosna karakteristika pojačavača
- Frekvencijske karakteristike
- Polarizacija pojačavača
- Klasifikacija pojačavača prema nameni, tipu aktivnog elementa, konfiguraciji, položaju radne tačke, strukturi.

Da se podsetimo: Pojačanje signala

Prenosna karakteristika pojačavača

Prenosna karakteristika predstavlja grafičku interpretaciju zavisnosti **izlazne** od **ulazne** veličine

Prenosna karakteristika **linearnog** pojačavača napona je prava = linearna funkcija



Da se podsetimo: Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno)

Električne veličine na izlazu pojačavača kompleksne (V_p, I_p).

Funkcija koja povezuje izlaznu i ulaznu veličinu i određuje ponašanje odziva na frekvenciji ω zove se

PRENOSNA FUNKCIJA pojačavača, $T(j\omega)$:

$$X_i(j\omega) = T(j\omega) \cdot X_u(j\omega).$$

$$T(j\omega) = |T(j\omega)| e^{j\varphi(\omega)}$$

Da se podsetimo: Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno) $|T(j\omega)|$; $\angle T(j\omega)$.

Grafička interpretacija zavisnosti od frekvencije

- modula prenosne funkcije naziva se
AMPLITUDSKA KARAKTERISTIKA

- argumenta prenosne funkcije naziva se
FAZNA KARAKTERISTIKA pojačavača

Zajedno, one predstavljaju

FREKVENCIJSKE KARAKTERISTIKE
pojačavača

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

5

Da se podsetimo: Pojačanje signala

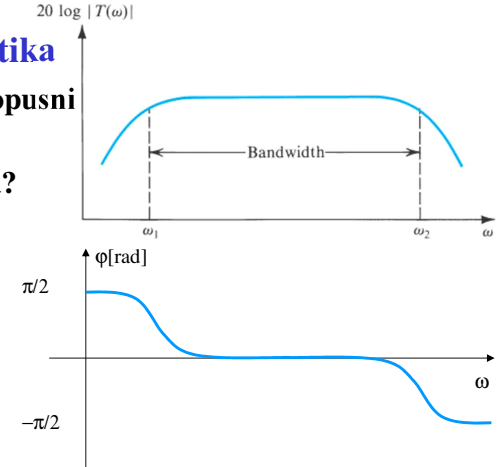
Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

Amplitudska karakteristika

Šta je i kako se određuje propusni opseg?

Šta je dekada? Šta je oktava?

Nagib po dekadi/oktavi?



Fazna karakteristika

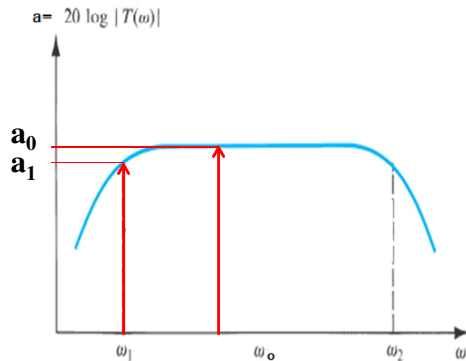
22. oktobar 2015.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

6

Da se podsetimo: Pojačanje signala

Amplitudska karakteristika (veoma važno)



Amplitudska karakteristika realnog pojačavača nije konstantna.

To znači da signali različitih frekvencija neće biti podjednako pojačani.

Posledica?

Linearna amplitudska izobličenja.

25. oktobar 2016.

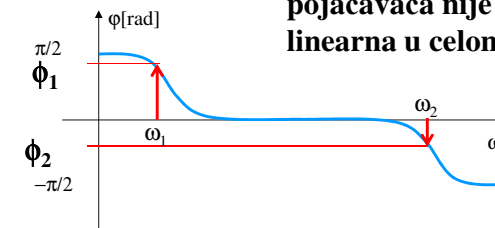
Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

7

Da se podsetimo: Pojačanje signala

Realna fazna karakteristika (važno)

Fazna karakteristika realnog pojačavača nije konstantna ni linearna u celom opsegu.



To znači da signali različitih frekvencija neće biti podjednako zakašnjeni.

Posledica?

Linearna fazna izobličenja

23. oktobar 2014.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

8

Da se podsetimo: Pojačanje signala

Da se podsetimo:

Uloga pojačavača:

Da *pojača* ulazni signal *bez izobličenja*

Očekujemo da snaga signala na izlazu bude veća nego na ulazu.

Da li je to realno?



Pojačanje signala

ODAKLE se dobija pojačanje?

Na izlazu veći napon nego na ulazu!

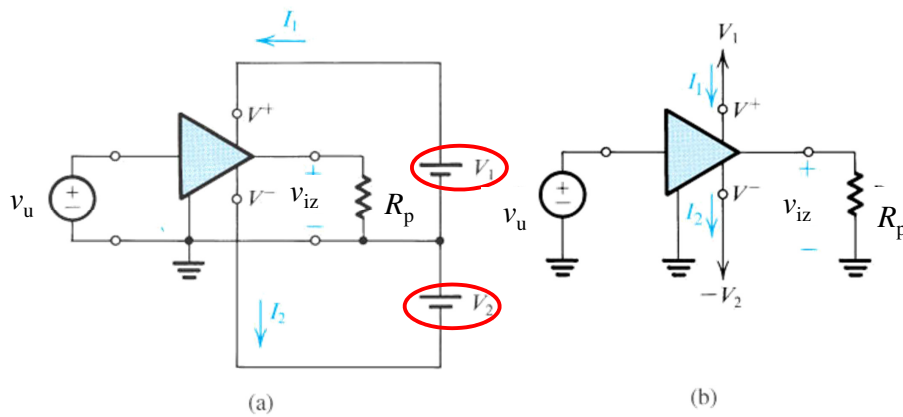
Da li je prekršen zakon o očuvanju energije?



Neophodno je obezbediti *jednosmerne izvore za napajanje pojačavača* (do sada ih nismo prikazivali)

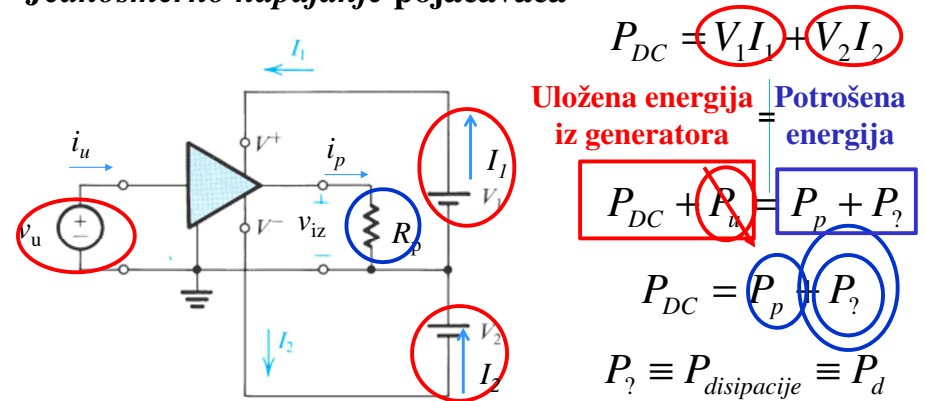
Pojačanje signala

Napajanje pojačavača – jednosmernim naponom



Pojačanje signala

Jednosmerno napajanje pojačavača



$$P_{DC} = V_1 I_1 + V_2 I_2$$

Uložena energija iz generatora | **Potrošena energija**

$$P_{DC} + P_u = P_p + P_?$$

$$P_{DC} = P_p + P_?$$

$$P_? \equiv P_{disipacije} \equiv P_d$$

Efikasnost – stepen iskorišćenja pojačavača

$$\eta = \frac{P_p}{P_{DC}} \cdot 100 [\%]$$

Pojačanje signala



Primer 3.1 Pojačavač koji se napaja sa +/-10V i pobuđuje sinusnim naponom amplitude 1V, daje napon amplitude 9 V na potrošaču od 1k. Izmerena je struja kroz svaki izvor napajanja od po 9,5mA i ulazna struja amplitude 0.1mA.

Odrediti:

- pojačanje napona,
- Pojačanje struje,
- pojačanje snage,
- snagu DC izvora napajanja,
- disipiranu snagu i
- stepen iskorišćenja

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

13

Pojačanje signala



Rešenje :

a) pojačanje napona, $A_v = \frac{9}{1} = 9 \text{ V/V}$
 $A_v = 20 \log 9 \approx 19.1 \text{ dB}$

b) pojačanje struje,

$$I_i = \frac{V_i}{R_p} = \frac{9 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 9 \text{ mA}$$
$$A_s = \frac{I_i}{I_u} = \frac{9 \text{ mA}}{0.1 \text{ mA}} = 90 \text{ A/A}$$
$$A_s = 20 \log 90 \approx 39.1 \text{ dB}$$

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

14

Pojačanje signala



Rešenje : c) pojačanje snage

Aktivna snaga na potrošaču

$$P_p = V_{ieff} I_{ieff} = \frac{V_i}{\sqrt{2}} \frac{I_i}{\sqrt{2}} = \frac{9 \text{ V}}{\sqrt{2}} \frac{9 \text{ mA}}{\sqrt{2}} = 40.5 \text{ mW}$$

Aktivna snaga na ulazu

$$P_u = V_{ueff} I_{ueff} = \frac{V_u}{\sqrt{2}} \frac{I_u}{\sqrt{2}} = \frac{1 \text{ V}}{\sqrt{2}} \frac{0.1 \text{ mA}}{\sqrt{2}} = 0.05 \text{ mW}$$

Pojačanje snage

$$A_p = \frac{P_p}{P_u} = \frac{40.5}{0.05} = 810 \text{ W/W}$$

$$A_p = 10 \log 810 \approx 29.1 \text{ dB}$$

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

15

Pojačanje signala



Rešenje :

d) snaga izvora za napajanje

$$P_{DC} = 10 \text{ V} \cdot 9.5 \text{ mA} + 10 \text{ V} \cdot 9.5 \text{ mA} = 190 \text{ mW}$$

e) snaga disipacije

$$P_d = P_{DC} + P_u - P_p =$$
$$= 190 \text{ mW} + 0.05 \text{ mW} - 49.5 \text{ mW}$$
$$= 149.6 \text{ mW}$$

f) stepen iskorišćenja

$$\eta = \frac{P_p}{P_{DC}} 100 = 21.3\%$$

80% snage potroši se van potrošača – na pojačavaču

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

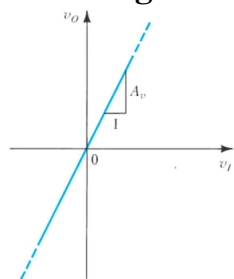
16

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Praktično, čak i idealizovani pojačavač je linearan samo u ograničenom opsegu ulaznog, odnosno izlaznog napona.

Da nije tako, napon na izlazu rastao bi neograničeno sa porastom ulaznog napona.



(b)

25. oktobar 2016.

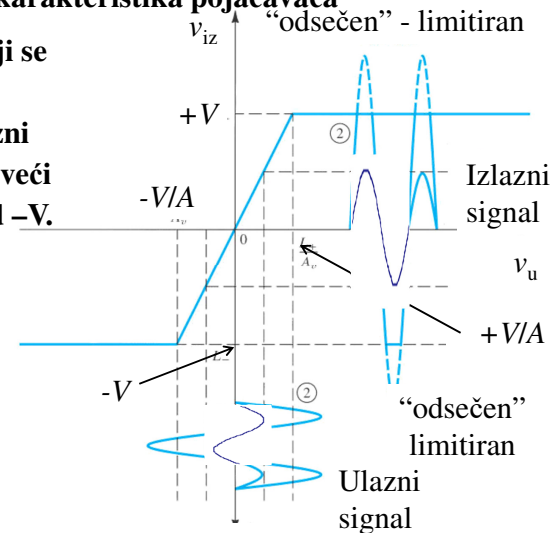
Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

17

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Kod pojačavača koji se napaja simetričnim naponom $\pm V$, izlazni napon ne može biti veći od $+V$, niti manji od $-V$.



***Objasniti talasne oblike**

25. oktobar 2016.

<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

18

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

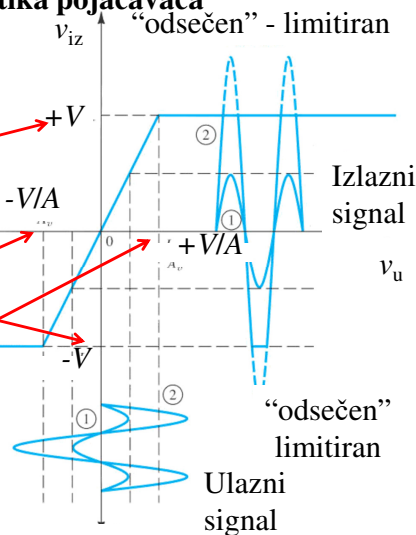
Obično je izlaz limitiran na vrednost $L < V$

$+V > V_i > -V$

a ulaz limitiran na

$-V/A < V_u < +V/A$

***Objasniti talasne oblike**



25. oktobar 2016.

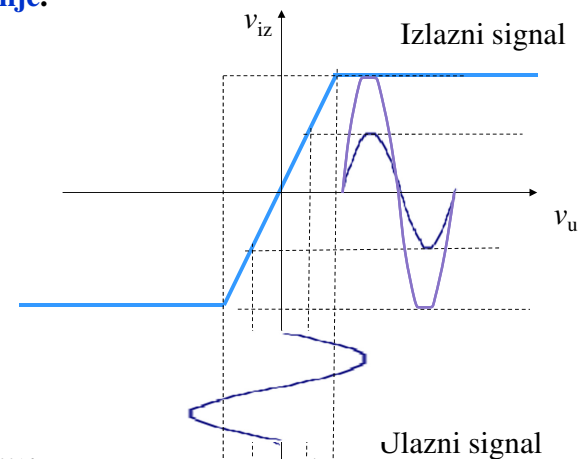
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

19

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Limitiranje signala izobličenje.



25. oktobar 2016.

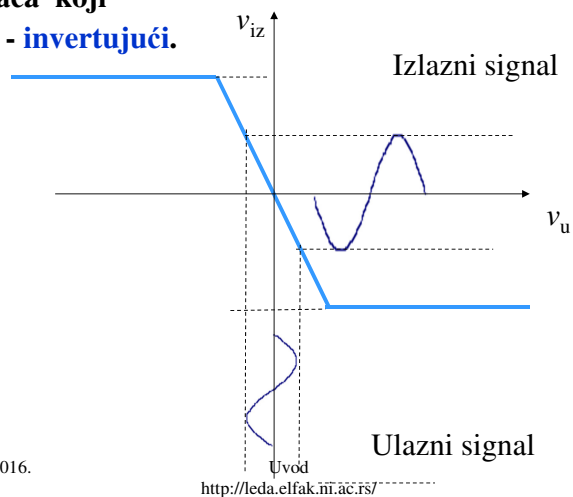
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

20

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Prenosna karakteristika
pojačavača koji
obrću fazu - **invertujući**.



25. oktobar 2016.

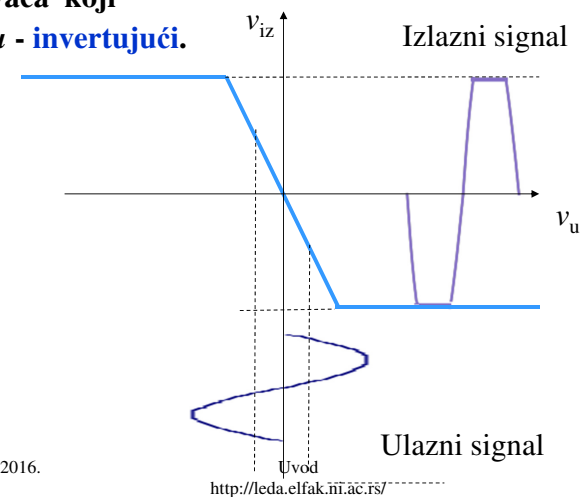
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

21

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Prenosna karakteristika
pojačavača koji
obrću fazu - **invertujući**.



25. oktobar 2016.

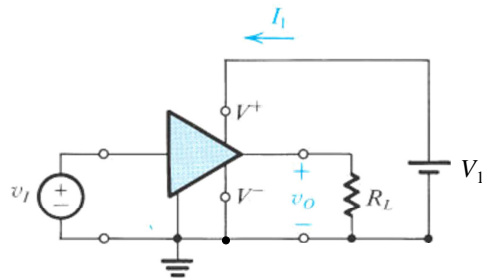
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

22

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Pojačavači se napajaju i asimetrično, sa $+V$ i 0 .



25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

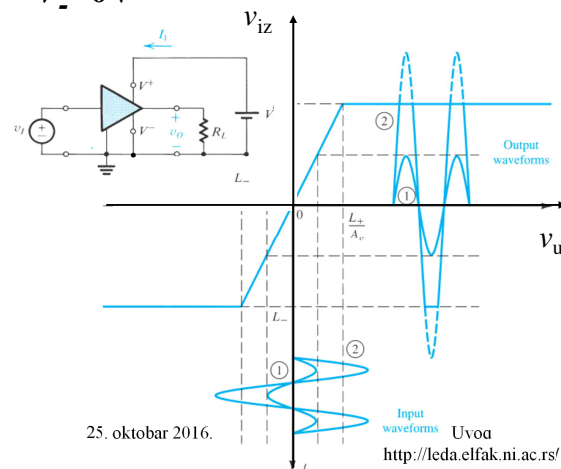
23

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Asimetrično napajanje utiče na prenosnu karakteristiku

$V_- = 0V$



25. oktobar 2016.

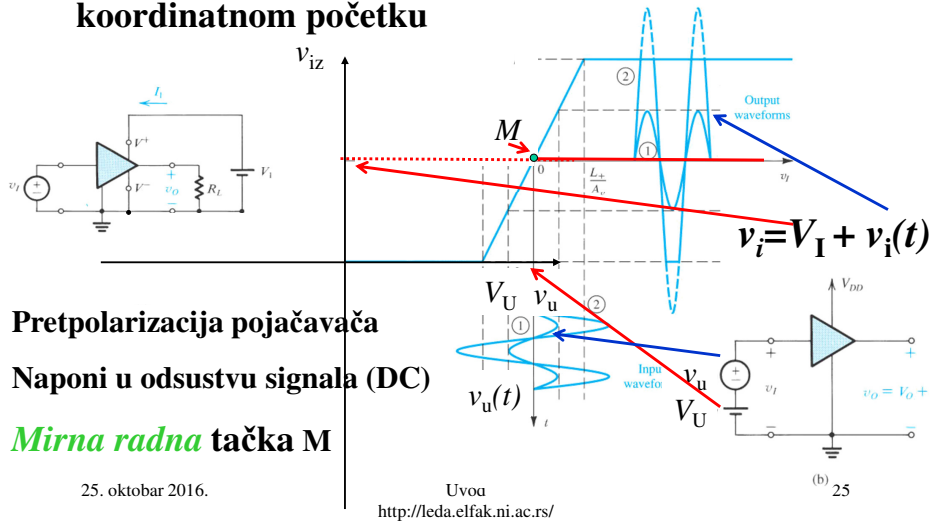
Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

24

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Sredina prenosne karakteristika više nije u koordinatnom početku



Pretpolarizacija pojačavača

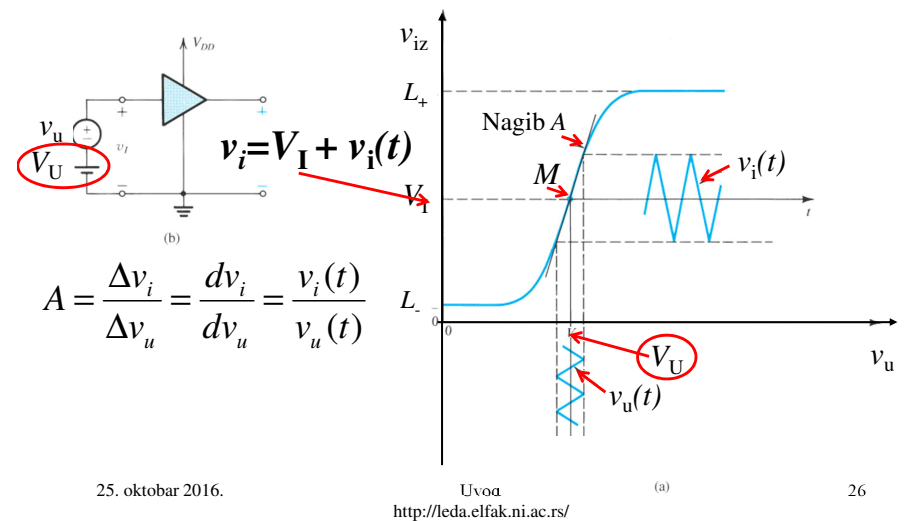
Naponi u odsustvu signala (DC)

Mirna radna tačka M

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Prenosna karakteristika realnih pojačavača je *nelinearna*



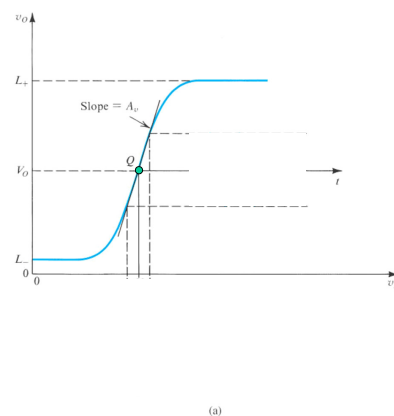
Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Realna prenosna karakteristika

može da se tretira kao linearna samo za male signale.

Po pravilu radna tačka se podešava tamo gde je karakteristika najlinearnija, gde je nagib najveći a to je na sredini prenosne karakteristike.



Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

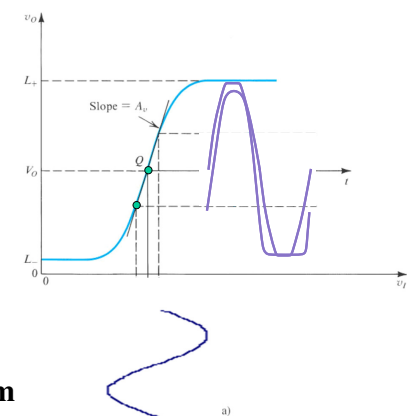
Nelinearnost je veća kada je

signal veći

i radna tačka dalja od sredine prenosne karakteristike.

Tada je signal više izobličen.

Kao što je ranije rečeno na izlazu pojačavača sa nelinearnom prenosnom karakteristikom javljaju se nelinearna amplitudska izobličenja.

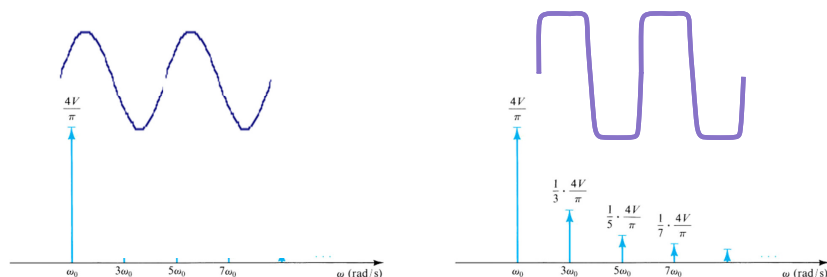


Pojačanje signala

Nelinearna amplitudska izobličenja

Zašto nelinearna izobličenja nisu poželjna?

Uticao na prostoperiodični signal => harmonici



Harmonijska izobličenja

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

29

Pojačanje signala

Kako odrediti i kvantifikovati izobličenje signala?



25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

30

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Izobličenje se meri veličinom koja se naziva *klir faktor* i označava se sa *k*.

Klir faktor *n*-tog harmonika signala *x*, definiše se kao odnos amplitude *n*-tog i amplitude osnovnog harmonika

$$k_n = X_{nm} / X_{1m}$$

Ukupan klir faktor

$$k = \frac{\sum_{i=2}^N X_{im}}{X_{1m}}$$

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

31

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Danas se za merenje izobličenja češće koristi *ukupni faktor izobličenja* koji se označava sa *THD Total Harmonic Distortion*:

Napona $THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_m^2}}{V_1}$

gde je V_i efektivna vrednost *i*-tog harmonika

Struje $THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_m^2}}{I_1}$

gde je I_i efektivna vrednost *i*-tog harmonika

30. oktobar 2014.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

32

Pojačanje signala

Uticaj nelinearnih izobličenja na složenoperiodični signal

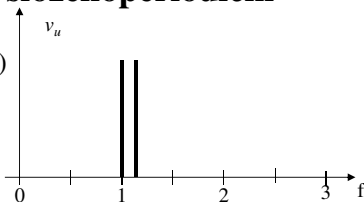
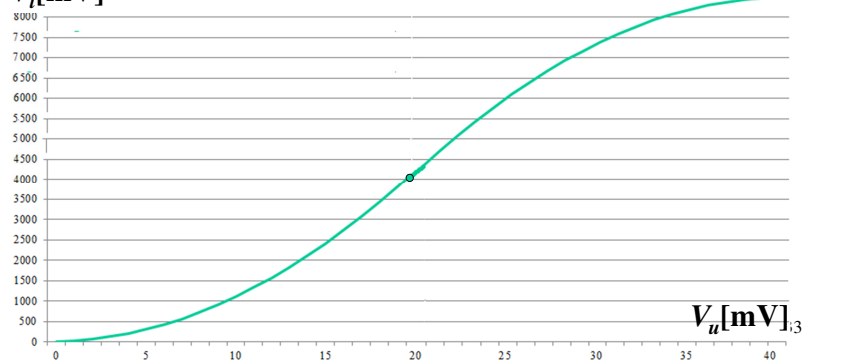
signal

$$v_u = V_{u1} \cos(\omega_1 t) + V_{u2} \cos(\omega_2 t)$$

$$\omega_2 = 1.1 \cdot \omega_1$$

$$v_i = V_{IM} + Av_u + Av_u^2$$

V_i [mV]



Pojačanje signala

Uticaj nelinearnih izobličenja na složenoperiodični signal

$$v_u = V_{u1} \cos(\omega_1 t) + V_{u2} \cos(\omega_2 t)$$

$$\omega_2 = 1.1 \cdot \omega_1$$

$$v_i = V_{IM} + Av_u + Av_u^2$$

$$v_i = V_{IM} + A(V_{u1} \cos(\omega_1 t) + V_{u2} \cos(\omega_2 t)) + A(V_{u1} \cos(\omega_1 t) + V_{u2} \cos(\omega_2 t))^2$$

$$v_i = V_{IM} + A(V_{u1} \cos(\omega_1 t) + V_{u2} \cos(\omega_2 t)) + A(V_{u1} \cos(\omega_1 t))^2 + 2A(V_{u1} \cos(\omega_1 t) \cdot V_{u2} \cos(\omega_2 t)) + A(V_{u2} \cos(\omega_2 t))^2$$

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

34

Pojačanje signala

Uticaj nelinearnih izobličenja na složenoperiodični signal

$$v_u = V_{u1} \cos(\omega_1 t) + V_{u2} \cos(\omega_2 t)$$

$$\omega_2 = 1.1 \cdot \omega_1$$

$$v_i = V_{iM} + Av_u + Av_u^2$$

$$v_i = V_{iM} + \frac{A}{2}(V_{u1}^2 + V_{u2}^2) +$$

$$+ A(V_{u1} \cos(\omega_1 t) + V_{u2} \cos(\omega_2 t)) +$$

$$+ (A/2)V_{u1}^2 \cos(2\omega_1 t) +$$

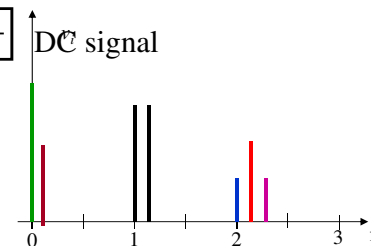
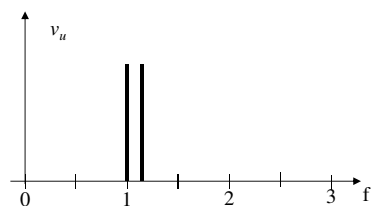
$$+ (A/2)V_{u2}^2 \cos(2\omega_2 t) +$$

$$+ AV_{u1}V_{u2} \cos(\omega_1 + \omega_2)t +$$

$$+ AV_{u1}V_{u2} \cos(\omega_1 - \omega_2)t$$

25. oktobar 2016.

-20dB
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

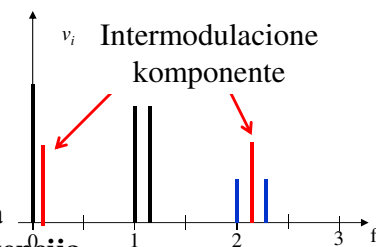


Intermodulacione
komponente

35

Pojačanje signala

Uticaj nelinearnih izobličenja na složenoperiodični signal



Osim harmonijskih komponenti

pojavljuju se i **intermodulacione** na frekvencijama zbira i razlike frekvencija složenog signala!!!

To znači da mogu da se jave

- smetnje u drugom opsegu frekvencija
- preslikavanje smetnji u korisni opseg

25. oktobar 2016.

-20dB
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

36

Klasifikacija pojačavača

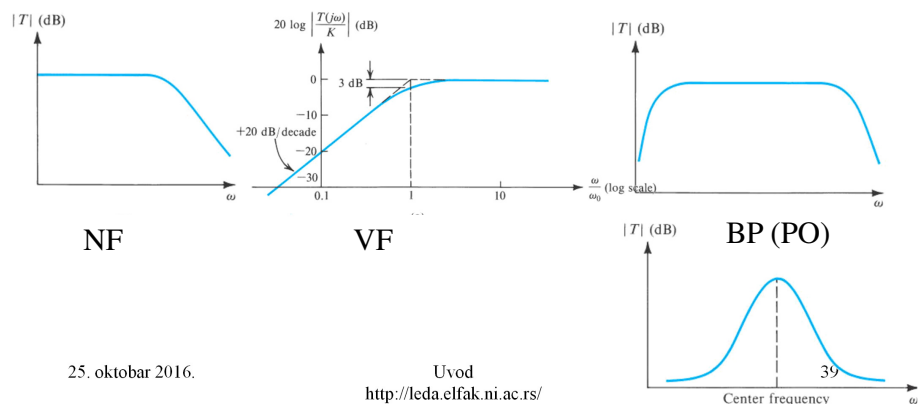
- Prema nameni
- Prema tipu aktivnog elementa (BJT, MOSFET, JFET)
- Prema konfiguraciji (ZE, ZS, ZC, ZD, ZB, ZG)
- Prema radnoj tački (A, B, AB, C, -- D, E,...)
- Prema strukturi (jednostepeni, dvostepeni, višestepeni)

Klasifikacija pojačavača

- Prema nameni
 - Prema tipu signala – videli smo (A, A_s, G_m, R_m)
 - Prema frekvencijskoj karakteristici (NF, VF, BP, širokopojasni, uskopojasni)
 - Prema veličini signala (za male/velike signale)

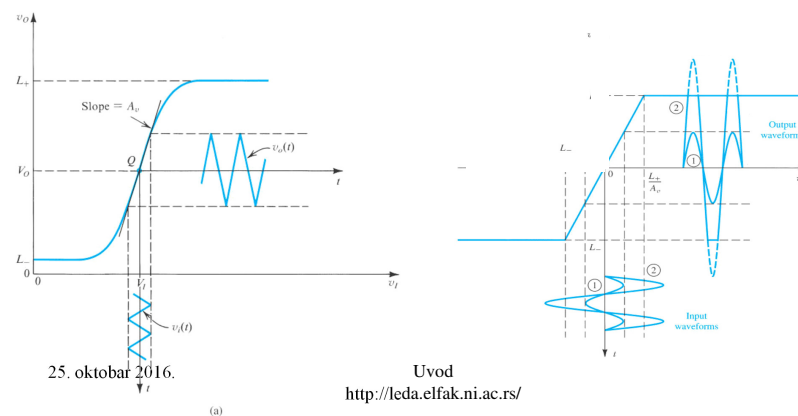
Klasifikacija pojačavača

- Prema nameni
 - Prema frekvencijskoj karakteristici (NF, VF, BP)



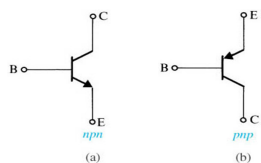
Klasifikacija pojačavača

- Prema nameni
 - Prema veličini signala (za male/velike signale)

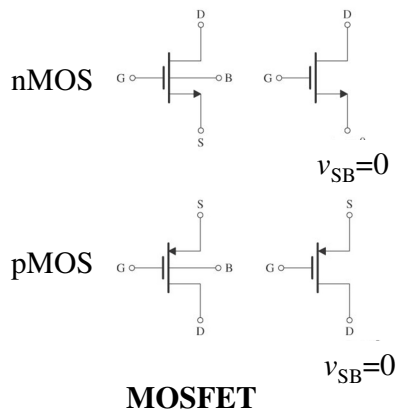


Klasifikacija pojačavača

- Prema tipu aktivnog elementa



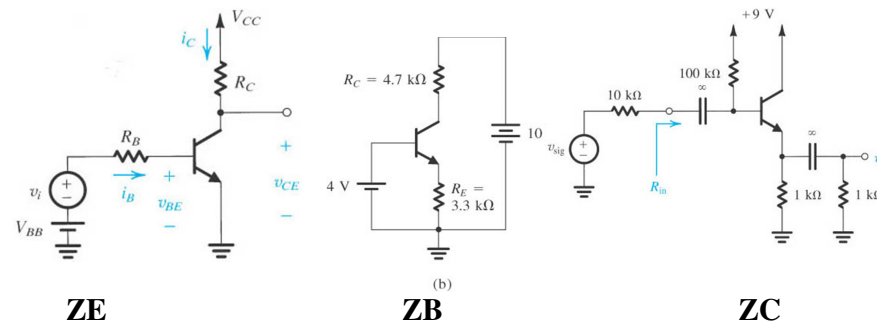
BJT



MOSFET

Klasifikacija pojačavača

- Prema konfiguraciji



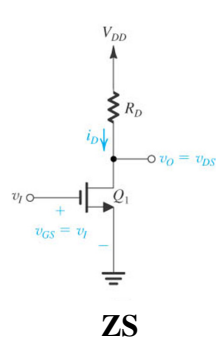
ZE

ZB

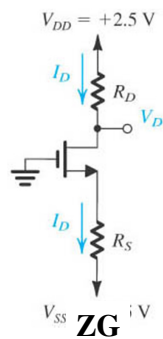
ZC

Klasifikacija pojačavača

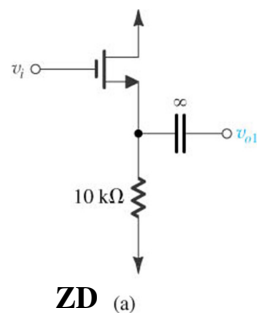
- Prema konfiguraciji



ZS



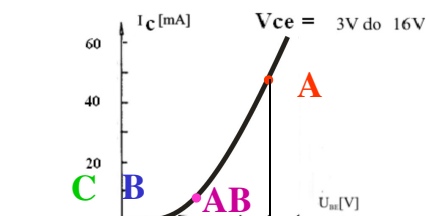
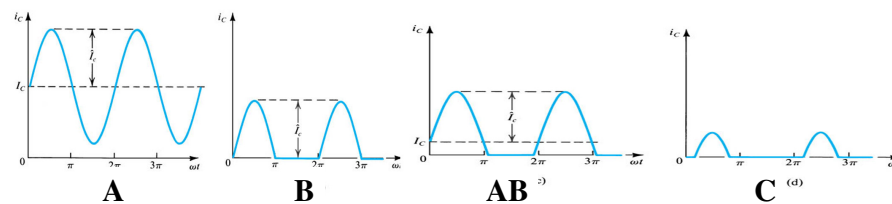
ZG



ZD (a)

Klasifikacija pojačavača

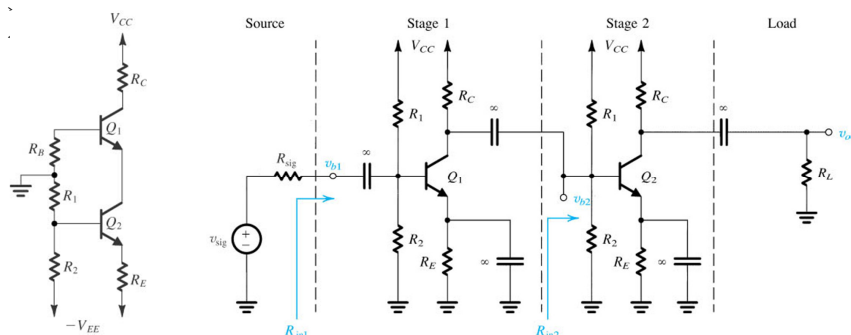
- Prema položaju radne tačke (Detaljno objašnjenje kasnije)



Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

- Prema strukturi (jednostepeni, dvostepeni, višestepeni,



25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

45

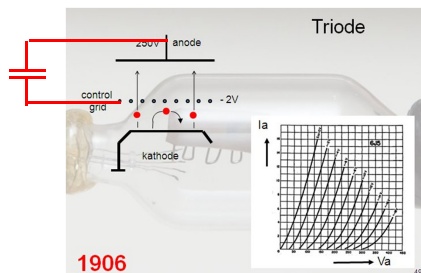
Millerova teorema

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

46

1919 J.M. Miller primetio da ulazna kapacitivnost triode zavisi od otpornosti opterećenja, odnosno pojačanja!



dalje

Veće pojačanje => veća ulazna kapacitivnost

Veća ulazna kapacitivnost => manja granična frekvencija

1968 E. Cherry & D. Hooper dali matematičku vezu između pojačanja i ulazne kapacitivnosti

Definisali pojam **Miller-ova kapacitivnost**.

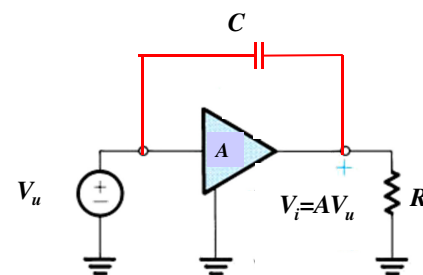
25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

47

1972 generalizacija problema:

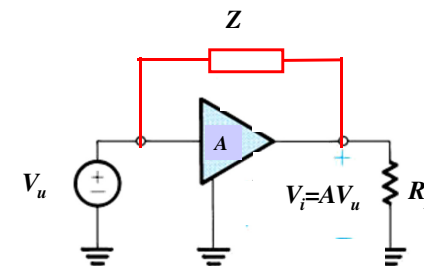
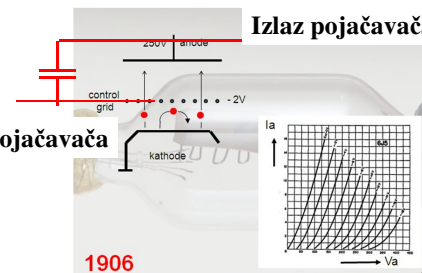
Millerova teorema:



25. oktobar 2016.

Izlaz pojačavača

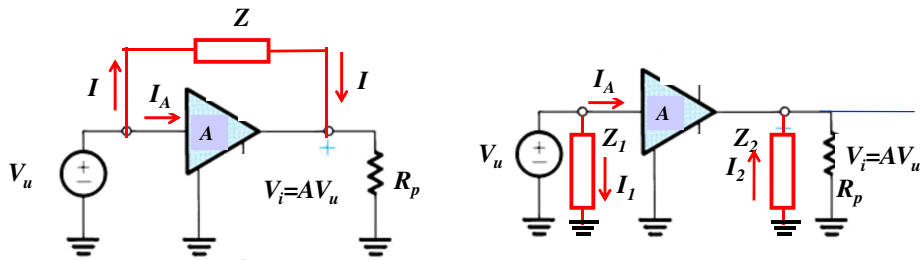
Ulaz pojačavača



Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

48

Millerova teorema:



Dokaz:

$$I = \frac{V_u - V_i}{Z} = \frac{V_u - A \cdot V_u}{Z} = \frac{(1-A)V_u}{Z}$$

$$Z_1 = \frac{Z}{1-A}$$

$$I_1 = \frac{V_u}{Z_1}$$

$$I_2 = -\frac{V_i}{Z_2} = -\frac{A \cdot V_u}{Z_2}$$

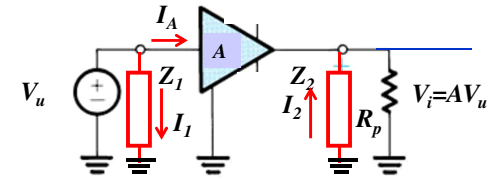
$$Z_2 = \frac{Z}{1-1/A} = \frac{A \cdot Z}{A-1}$$

25. oktobar 2016.

Uvod

<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Millerova teorema:



Dokaz nastavak:

$$I_1 = \frac{V_u}{Z_1} = I = \frac{(1-A)V_u}{Z} \Rightarrow Z_1 = \frac{Z}{1-A}$$

$$I_2 = -\frac{A \cdot V_u}{Z_2} = I = \frac{(1-A) \cdot V_u}{Z} \Rightarrow Z_2 = \frac{Z}{1-1/A} = \frac{A \cdot Z}{A-1}$$

25. oktobar 2016.

Uvod

<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Millerova teorema



Domaći 3.1

Zadatak:

Odrediti elemente ekvivalentnog Millerovog kola za pojačavač sa slike (upotrebljen je idealni pojačavač sa $A=-100$) i ukupno naponsko pojačanje ($A(s)=V_i(s)/V_g(s)$) u slučaju kada je Z :

a) $R=1M$

b) $C=1pF$

c) Šta će biti ako je $Z=1/sC$ i

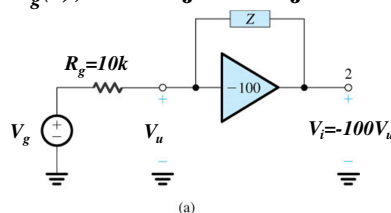
$A>1?$

$A=1?$

$1>A>0?$

$$Z_1 = \frac{Z}{1-A}$$

$$Z_2 = \frac{Z}{1-1/A} = \frac{A \cdot Z}{A-1}$$



25. oktobar 2016.

Uvod

<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

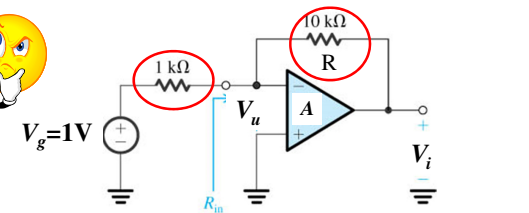
Millerova teorema:



Tema za razmišljanje:

Šta biva kada je $|A| \gg 1?$

Šta ako je $R=100k?$



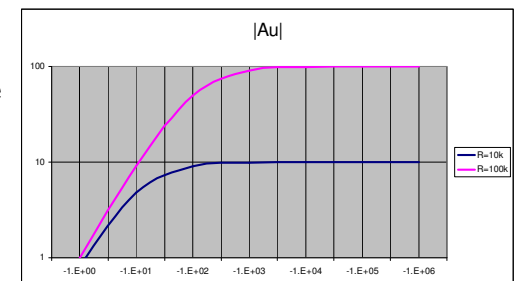
Odrediti vrednost ukupnog pojačanja (V_i/V_g) u slučaju kada je pojačanje pojačavača $A=$

a) -10 V/V

b) -100 V/V

c) -1000 V/V

d) -10000 V/V



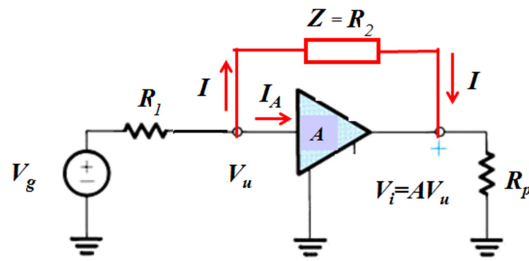
Dalje

25. oktobar 2016.

Uvod

<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Millerova teorema:



$$Z_1 = \frac{Z}{1-A}$$

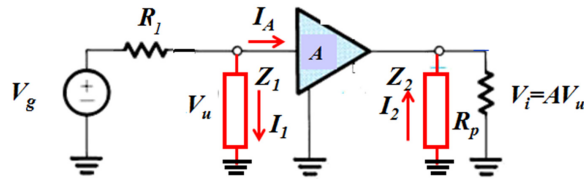
$$\{za A \gg 1\} Z_1 = \frac{Z}{-A} = -\frac{R_2}{-A}$$

$$Z_2 = \frac{A \cdot Z}{A-1}$$

$$\{za A \gg 1\} Z_2 = \frac{A \cdot Z}{A} = Z = R_2$$

$$V_i = -A \cdot V_u$$

$$V_i = -A \cdot \frac{Z_1}{R_1 + Z_1} \cdot V_g$$



$$V_i = -A \cdot \frac{Z / (-A)}{R_1 + Z / (-A)} \cdot V_g$$

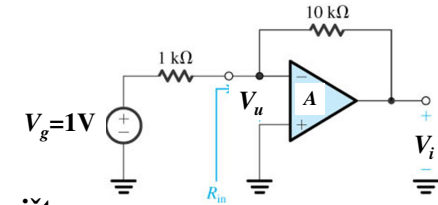
$$V_i = \frac{Z}{R_1 + Z / (-A)} \cdot V_g$$

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

$$\{za A \gg 1\} V_i = \frac{Z}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_g$$

Millerova teorema:



Zašto je važna milerova kapacitivnost sa stanovišta savremenih (CMOS) elektronskih kola?



25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%
Kolokvijum I (26.11.2016.)	50%
Kolokvijum II (21.01.2017.)	50%

**Ko do danas nije dolazio na časove izgubio je 2.1% (120-2.1=117.9%)
Još nije kasno iako mu neće biti jasni mnogi pojmovi koje smo pominjali**

**Savet: Ne budite gubitnici
Ne gubite olako ono što imate!**

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

55

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%
Kolokvijum I (26.11.2016.)	50%
Kolokvijum II (21.01.2017.)	50%

Propušteno predavanje nije samo izgubljenih 0.7% poena – to je izgubljena šansa da se blagovremeno uoči ono što nije jasno.

25. oktobar 2016.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

56

Osnovi elektronike

Šta smo za ove tri uvodne nedelje naučili?

Samo nabrojite nove pojmove koje ste čuli:

Pojačavač napona, struje, snage, transkonduktansni, modeli pojačavača, prenosna karakteristika, prenosna funkcija, frekvencijske karakteristike, definicija dB, oktava, dekada, propusni opseg, granične frekvencije, uzroci izobličenja signala, linearna/nelinearna izobličenja, amplitudska/fazna izobličenja, klir faktor, napajanje pojačavača, stepen iskorišćenja, disipacija snage, simetrično/asimetrično napajanje, mirna radna tačka, klasa A, B, AB, C, klasifikacija pojačavača prema tipu i veličini signala, prema tipu aktivnog elementa, konfiguraciji, strukturi,...

Ako možete da ih definišete - možemo dalje.

U suprotnom, biće teže da pratite ono što sledi.

Šta smo naučili?

- **Pojam jednosmerne radne tačke**
 - **Prenosna karakteristika pojačavača sa asimetričnim napajanjem**
 - **Kako se mere nelinearna izobličenja?**
 - **Klasifikacija pojačavača**

Ispitna pitanja?

1. **Bilans snage kod pojačavača: uložena, potrošena, korisna i snaga disipacije.**
2. **Prenosna karakteristika realnog pojačavača sa simetričnim napajanjem.**
3. **Uticaj položaja mirne radne tačke na talasni oblik signala na izlazu realnog pojačavača napona sa (a)simetričnim napajanjem.**
4. **Objasniti kako nastaju nelinearna izobličenja na izlazu pojačavača.**
5. **Kako nastaju intermodulacione komponente signala na izlazu pojačavača?**
6. **Klasifikacija pojačavača prema frekvencijskom opsegu.**
7. **Klasifikacija pojačavača prema konfiguraciji.**
8. **Klasifikacija pojačavača prema strukturi.**
9. **Milerova teorema**

Sledeće nedelje:

Operacioni pojačavači

Na web adresi <http://leda.elfak.ni.ac.rs>

> EDUCATION > OSNOVI ELEKTRONIKE

slajdovi u pdf formatu

Rešenje 2.1 Pojaćanje signala



Zadatak: Pojaćavač sa pojaćanjem $A_o=40\text{dB}$, $R_u=10\text{k}$,
 $R_{iz}=1\text{k}$, pobuđuje potrošač od $R_p=1\text{k}$.

Izračunati ukupno naponsko pojaćanje i pojaćanje snage iskazano u dB.

$$A_o = 40\text{dB} = 100\text{V/V}$$

$$V_i = \frac{R_p}{R_{iz} + R_p} A_o V_u \Rightarrow A = \frac{V_i}{V_u} = \frac{R_p}{R_{iz} + R_p} A_o = \frac{1\text{k}}{1\text{k} + 1\text{k}} 100 = 50\text{V/V}$$

$$P_i = \frac{V_i^2}{R_p} = \frac{\left(\frac{R_p}{R_{iz} + R_p} \cdot A_o \cdot V_u\right)^2}{R_p} = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot A_o \cdot V_u\right)^2}{R_p}$$

$$P_u = \frac{V_u^2}{R_u}$$

$$A_P = \frac{P_i}{P_u} = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot A_o \cdot V_u\right)^2}{R_p} \cdot \frac{R_u}{V_u^2} = \frac{2500 \cdot 10\text{k}}{1\text{k}} = 25000\text{W/W}$$

$$a_P = 20\log(A_P) \approx 44\text{dB}$$

27. oktobar 2015

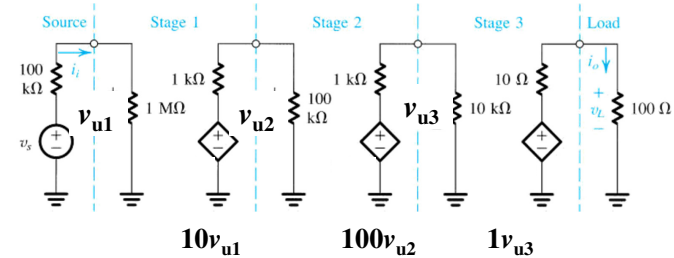
Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

61

Rešenje 2.2 Pojaćanje signala



Zadatak: Izračunati ukupno naponsko i pojaćanje snage trostepenog pojaćavača sa slike pobuđenog izvorom čija je izlazna otpornost 100k i opterećenog potrošačem od 100Ω .



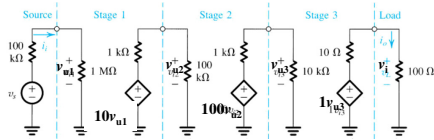
(743,9 V/V; 57,4 dB; 66,9 10^8 W/W; 98,3dB)

27. oktobar 2015

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

62

Rešenje 2.2 Pojaćanje signala



$$A = \frac{v_i}{v_s} = \frac{v_i}{v_s} \cdot \frac{v_{u3}}{v_{u3}} \cdot \frac{v_{u2}}{v_{u2}} \cdot \frac{v_{u1}}{v_s}$$

$$v_i = \frac{100\Omega}{100\Omega + 10\Omega} \cdot (1 \cdot v_{u3}) = \frac{100}{110} \cdot v_{u3}$$

$$v_{u3} = \frac{10\text{k}}{10\text{k} + 1\text{k}} \cdot (100 \cdot v_{u2}) = \frac{10 \cdot 100}{11} \cdot v_{u2}$$

$$v_{u2} = \frac{100\text{k}}{100\text{k} + 1\text{k}} \cdot (10 \cdot v_{u2}) = \frac{100 \cdot 10}{101} \cdot v_{u1}$$

$$v_{u1} = \frac{1\text{M}}{1\text{M} + 0.1\text{M}} \cdot v_s = \frac{1}{1.1} \cdot v_s$$

$$A = \frac{v_i}{v_s} = \frac{100}{110} \cdot \frac{1000}{11} \cdot \frac{1000}{101} \cdot \frac{1}{1.1} = 743.9\text{V/V}$$

$$a = 20\log(A) = 57.4\text{dB}$$

$$v_i = A \cdot v_s = 743.9 \cdot v_s$$

$$P_i = \frac{v_i^2}{R_p} = \frac{(A \cdot v_s)^2}{R_p} = \frac{743.9^2}{100} \cdot v_s^2 = 5.53 \cdot 10^3 \cdot v_s^2$$

$$P_{u1} = \frac{v_{u1}^2}{R_{u1}} = \frac{\left(\frac{R_{u1} \cdot v_s}{R_s + R_{u1}}\right)^2}{R_{u1}} = \frac{R_{u1} \cdot v_s^2}{(R_s + R_{u1})^2}$$

$$P_{u1} = \frac{1}{1.21 \cdot 10^6} \cdot v_s^2 = 8.26 \cdot 10^{-7} \cdot v_s^2;$$

$$A_{P_{u1}} = \frac{P_i}{P_{u1}} = \frac{5.53 \cdot 10^3 \cdot v_s^2}{8.26 \cdot 10^{-7} \cdot v_s^2} = 67 \cdot 10^8\text{W/W}$$

$$a_{P_{u1}} = 10\log(67 \cdot 10^8) = 98.2\text{dB}$$

$$P_s = \frac{v_s^2}{R_s + R_{u1}} = \frac{1}{1.1 \cdot 10^6} \cdot v_s^2 = 0.909 \cdot 10^{-6} \cdot v_s^2$$

$$A_{P_s} = \frac{P_i}{P_s} = \frac{5.53 \cdot 10^3 \cdot v_s^2}{0.909 \cdot 10^6 \cdot v_s^2} = 61 \cdot 10^8\text{W/W}$$

$$a_{P_s} = 10\log(61 \cdot 10^8) = 97.8\text{dB}$$

27. oktobar 2015

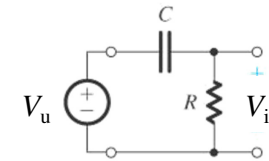
Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

63

Rešenje 2.3 Pojaćanje signala



Zadatak: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.



$$V_i(j\omega) = \frac{R}{Z_C + R} V_u(j\omega) = \frac{R}{1/j\omega C + R} V_u(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} V_u(j\omega)$$

$$T(j\omega) = \frac{V_i(j\omega)}{V_u(j\omega)} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} = \frac{s/\omega_o}{1 + (s/\omega_o)} \Bigg|_{s=j\omega} = \frac{1}{1 + (\omega_o/s)}$$

$\omega_o = 1/\tau = 1/RC$

18. oktobar 2011

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

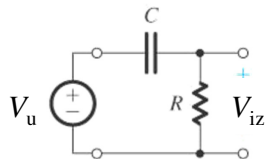
64

Rešenje 2.3

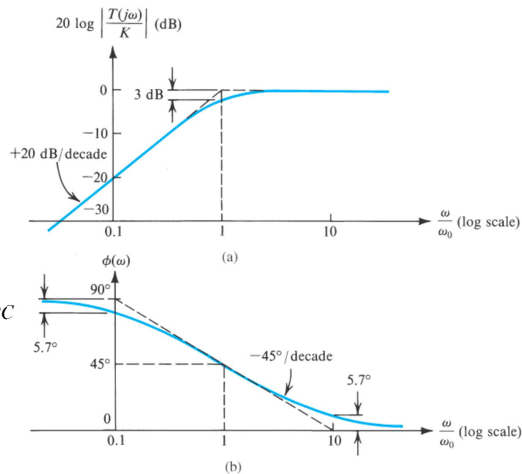
Pojačanje signala



Zadatak: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.



$$T(j\omega) = \frac{s/\omega_o}{1 + (s/\omega_o)} \quad \left| \begin{array}{l} s=j\omega \\ \omega_o=1/\tau=1/RC \end{array} \right.$$



18. oktobar2011

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

65

Rešenje 2.4

Pojačanje signala



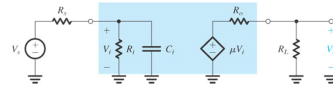
Odrediti prenosnu funkciju (ukupno naponsko pojačanje) kola sa slike.

Ako je $R_s=20k$, $R_i=100k$, $C_i=60pF$, $\mu=144$ V/V, $R_o=200\Omega$ i $R_L=1k$

a) Odrediti pojačanje pri $\omega=0$ rad/s (jednosmerno) ($A=100$ V/V)

b) Graničnu frekvenciju (3dB) ($\omega_0=10^6$ rad/s, $f_0=159,2$ kHz)

c) Odrediti frekvenciju pri kojoj A padne na 0dB (10^8 rad/s)



$$V_i(s) = \frac{Z_i}{Z_i + R_s} V_s(s) = \frac{R_i / (1 + sC_i R_i)}{R_i / (1 + sC_i R_i) + R_s} V_s(s) = \frac{R_i}{R_i + R_s} \frac{1}{1 + sC_i (R_i \parallel R_s)} V_s(s)$$

$$V_o(s) = \frac{R_L}{R_o + R_L} \mu V_i(s) = \frac{R_L}{R_o + R_L} \frac{\mu R_i}{R_i + R_s} \frac{1}{1 + sC_i (R_i \parallel R_s)} V_s(s)$$

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_s(s)} = \mu \frac{R_L}{R_o + R_L} \frac{R_i}{R_i + R_s} \frac{1}{1 + sC_i (R_i \parallel R_s)}$$

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_s(s)} = A_o \frac{1}{1 + sC_i (R_i \parallel R_s)} = A_o \frac{1}{1 + s\tau}$$

$$\tau = C_i (R_i \parallel R_s) = 10^{-6} \text{ s}$$

$$A_o = \mu \frac{R_L}{R_o + R_L} \frac{R_s}{R_i + R_s} = 144 \frac{1k}{1.2k} \frac{100k}{120k} = 100 \text{ V/V}$$

$$|A(j\omega)| = A_o \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}}$$

$$|A(j\omega_{3dB})| = \frac{A_o}{\sqrt{1 + (\omega_{3dB} \cdot \tau)^2}} = \frac{A_o}{\sqrt{2}} \Rightarrow \omega_{3dB} = \frac{1}{\tau}$$

$$\omega_{3dB} = \frac{1}{\tau} = 10^6 \text{ rad/s}$$

$$|A(j\omega_1)| = \frac{A_o}{\sqrt{1 + (\omega_1 \cdot \tau)^2}} = 1 \Rightarrow \omega_1^2 = \frac{A_o^2 - 1}{\tau^2}$$

$$\omega_1 \approx \frac{A_o}{\tau} = A_o \cdot \omega_{3dB} = 100 \cdot 10^6 \text{ rad/s} = 10^8 \text{ rad/s}$$

18. oktobar2011

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>