Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:		U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)		10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe		10%	10%
Kolokvijum I	(poslednja nedelja u novembru)	50%	20%
Kolokvijum II	(poslednja nedelja predavanja)	50%	20%
		120%	60%



Savet: Lakše preko kolokvijuma

Sadržaj

1. Uvod
   a. Definicija pojačanja
   b. Osobine pojačavača
   c. Simbol pojačavača
   d. Klasifikacija pojačavača prema tipu signala
   e. Modeli pojačavača
   f. Uzroci izobličenja signala
   g. Prenosna karakteristika pojačavača
   h. Frekvencijske karakteristike
   i. Polarizacija pojačavača
   j. Klasifikacija pojačavača prema nameni, tipu aktivnog elementa, konfiguraciji, položaju radne tačke, strukturi.

Šta smo do sada naučili? (Elementarno)

- **Uloga pojačavača**
- **Razlika između frekvencijskih i prenosne karakteristike pojačavača**

Šta smo do sada naučili? (Osnovno)

1. **Karakteristike prostoperiodičnog signala u vremenskom i frekvencijskom domenu (amplituda, efektivna vrednost, perioda, faza, frekvencija, kružna frekvencija, frekvencijski spektar).**
2. **Simbol pojačavača**
3. **Model idealnih i realnih pojačavača**
4. **Uzroci izobličenja izlaznog signala pojačavača**
5. **Frekvencijske karakteristike pojačavača**

Ispitna pitanja 1

1. **Šta su transdjuseri?**
2. **Odrediti vrednosti parametara ekvivalentnog Tevenenovog i Nortonovog modela generatora na kome je izmeren napon praznog hoda od 10V i struja kratkog spoja od 500mA.**
3. **Koliki je napon na izlazu neopterećenog realnog generatora nominalnog napona 10V koji ima unutrašnju otpornost 10Ω (praznog hoda)? Koliko iznosi struja kratkog spoja?**
4. **Koliki je napon na izlazu generatora nominalnog napona 10V koji ima unutrašnju otpornost 100Ω , ako je opterećen otpornošću od 100Ω?**
5. **Karakteristike složenoperiodičnog signala u vremenskom i frekvencijskom domenu.**
6. **Karakteristike aperiodičnog signala u vremenskom i frekvencijskom domenu.**

Ispitna pitanja 2

1. **Uticaj konačne ulazne i izlazne otpornosti pojačavača napona na ukupno pojačanje.**
2. **Skicirati prenosnu karakteristiku idealnog pojačavača napona A=-10.**
3. **Nelinearna amplitudska izobličenja. Uzrok i posledice.**
4. **Šta je prenosna funkcija? Kako se određuju moduo i faza?**
5. **Definicija amplitudske karakteristike i načini predstavljanja.**
6. **Linearna amplitudska izobličenja. Uzrok i posledice.**
7. **Fazna karakteristika.**
8. **Linearna fazna izobličenja. Uzrok i posledice.**
9. **Električna šema, prenosna funkcija i frekvencijske karakteristike RC propusnika niskih/visokih frekvencija (granična frekvencija, asimptotski nagib)**

Pitanja za ispit:

Elementarna	**2**
Obavezna	**5**
Ispitna	**15**
U ovom trenutku	**22**
Na kraju ove nedelje biće ih	**32**



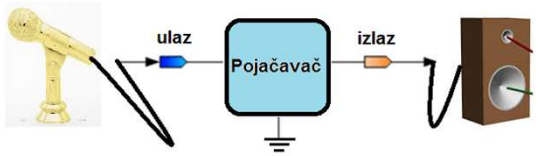
Ukoliko još niste počeli da učite - grešite!!!

Ali još uvek nije suviše kasno

Hajde da se propitamo!!!

Osnovi elektronike

Čemu služe pojačavači?
Kakvi pojačavači postoje?
Koje su im osobine?

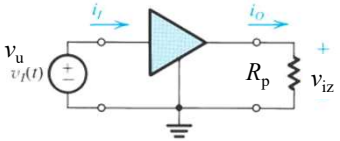


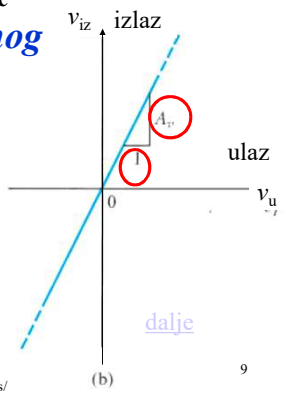
Da se podsetimo: Pojačanje signala

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_i, I_i).

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

Da se podsetimo: Pojačanje signala

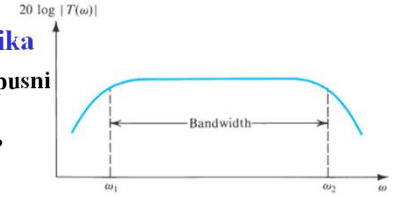
Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

Amplitudska karakteristika

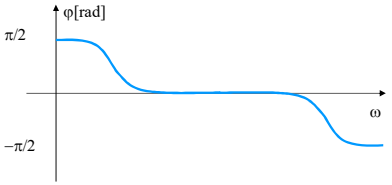
Šta je i kako se određuje propusni opseg?

Šta je dekada? Šta je oktava?

Nagib po dekadi/oktavi?

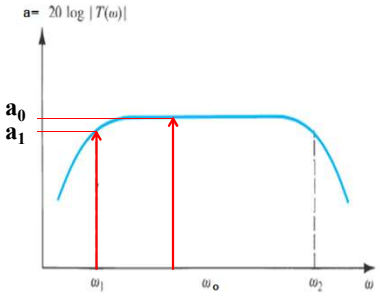


Fazna karakteristika



Da se podsetimo: Pojačanje signala

Amplitudska karakteristika (veoma važno)



Amplitudska karakteristika realnog pojačavača nije konstantna.

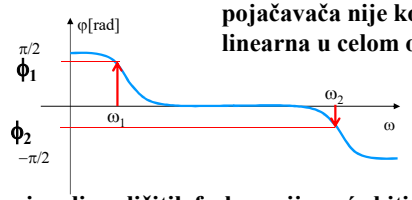
To znači da signali različitih frekvencija neće biti podjednako pojačani.

Posledica?

Linearna amplitudska izobličenja.

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

Da se podsetimo: Pojačanje signala

Uloga pojačavača:

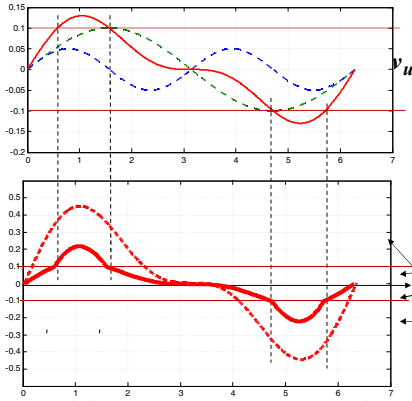
Da *pojača* ulazni signal *BEZ IZOBLIČENJA*

Kako može doći do izobličenja?

1. **Različito pojačanje malih i velikih ulaznih signala (uzrok: *nelinearna prenosna karakteristika*)**
2. **Različito pojačanje na različitim frekvencijama (spektralne komponente) (uzrok: *amplitudska karakteristika nije konstantna*)**
3. **Različito kašnjenje na različitim frekvencijama (spektralne komponente) (uzrok: *fazna karakteristika nije konstantna ni linearna*)**

Da se podsetimo: Pojačanje signala

1. **Različito pojačanje malih i velikih ulaznih signala**



Ulazni signal

$v_u = 0.1 \cdot \sin(\omega t) + 0.05 \cdot \sin(2\omega t)$

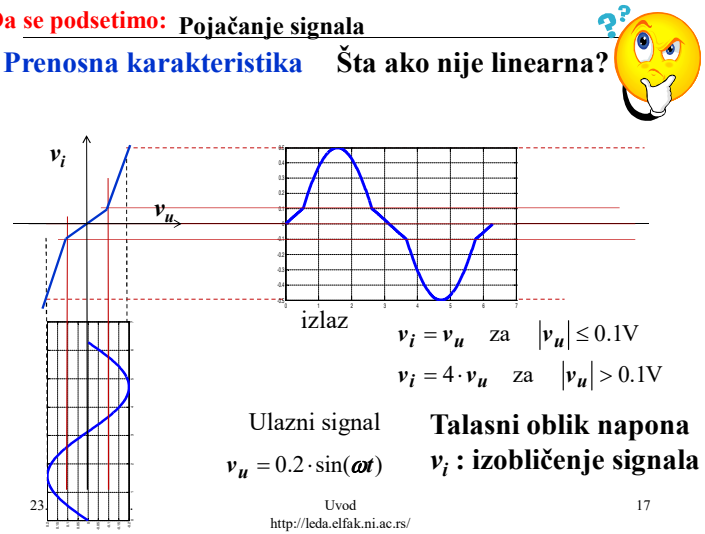
Izlaz

$v_i = v_u$ za $|v_u| \le 0.1\text{V}$

$v_i = 4 \cdot v_u$ za $|v_u| > 0.1\text{V}$

Da se podsetimo: **Pojačanje signala**

Prenosna karakteristika **Šta ako nije linearna?**



$v_i = v_u$ za $|v_u| \le 0.1\text{V}$

$v_i = 4 \cdot v_u$ za $|v_u| > 0.1\text{V}$

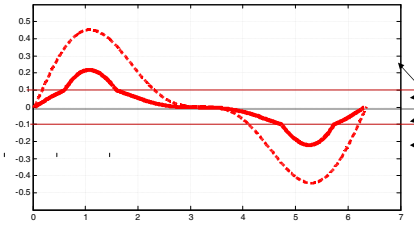
Ulazni signal

$v_u = 0.2 \cdot \sin(\omega t)$

Talasni oblik napona v_i : izobličenje signala

Da se podsetimo: **Pojačanje signala**

1. **Različito pojačanje malih i velikih ulaznih signala**



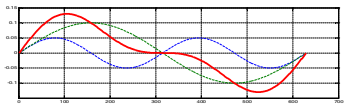
$v_i = v_u$ za $|v_u| \le 0.1\text{V}$

$v_i = 4 \cdot v_u$ za $|v_u| > 0.1\text{V}$

Na izalazu pojačavača koji različito pojačava signale različitih amplituda (ima nelinearnu prenosnu karakteristiku) javljaju se nelinearna amplitudska izobličenja.

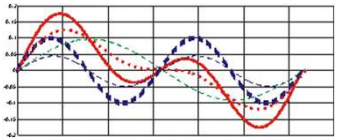
Da se podsetimo: **Pojačanje signala**

2. **Različito pojačanje na različitim frekvencijama**



Ulazni signal

$v_u(\omega t) = 0.1 \cdot \sin(\omega t) + 0.05 \cdot \sin(2\omega t)$



Izlazni signal

$v_i(\omega t) = 1 \cdot v_u(\omega t) + 2 \cdot v_u(2\omega t)$

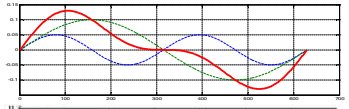
$v_i(\omega t) = 1 \cdot (0.1 \cdot \sin(\omega t)) +$

$+ 2 \cdot (0.05 \cdot \sin(2\omega t))$

Na izalazu linearnog pojačavača koji različito pojačava signale različitih frekvencija javljaju se linearna amplitudska izobličenja.

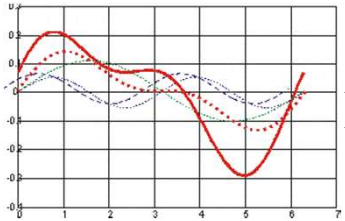
Da se podsetimo: **Pojačanje signala**

3. **Različito kašnjenje na različitim frekvencijama**



Ulazni signal

$v_u = 0.1 \cdot \sin(\omega t) + 0.05 \cdot \sin(2\omega t)$



Izlazni signal

$v_i = 2 \cdot (v_u(\omega t) + v_u(2\omega t + \pi/4))$

$v_i = 2 \cdot (0.1 \cdot \sin(\omega t) + 0.05 \cdot \sin(2\omega t + \pi/4))$

Na izalazu linearnog pojačavača koji različito kasni signale različitih frekvencija javljaju se linearna fazna izobličenja.

Da se podsetimo: **Pojačanje signala**

Uloga pojačavača: Da *pojača* ulazni signal *bez izobličenja*

Kakve karakteristike treba da ima da bi obavio tu ulogu?



a) **Linearnost: izlazni signal *A* puta veći od ulaznog.**
b) **Isto pojačanje na svim frekvencijama** spektar
c) **Zadržati isti odnos faza (kašnjenje) svim spektralnim komponentama (frekvencijama)**

O svemu ovome biće više reči kasnije tokom kursa.

Za početak podrazumevamo da idealizovani pojačavač ispunjava sve navedene zahteve.

Pojačanje signala

Zašto smo ovo ponavljali?



ZATO ŠTO JE VAŽNO

Da se podsetimo: **Pojačanje signala**

Uloga pojačavača:

Da *pojača* ulazni signal *bez izobličenja*

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

Da li je to realno?



Da se podsetimo: **Pojačanje signala**

***Primer 1.1*: Mikrofon koji daje na izlazu napon efektivne vrednosti od 10mV i ima izlaznu otpornost od 600Ω treba priključiti na potrošač od 8Ω. Izračunati naponsko i pojačanje snage kada se priključi:**

a) direktno

b) preko pojačavača sa A_o=100V/V, R_u=10Ω i R_{iz}=1MΩ

c) preko *baferskog pojačavača* sa A_o=1, R_u=1MΩ i R_{iz}=10Ω

$$A_p = \frac{P_p}{P_s} = \frac{2.42\mu W}{10pW} = 242 \quad [\mathrm{W/W}] > 1$$



Pojačanje signala

ODAKLE se dobija pojačanje?

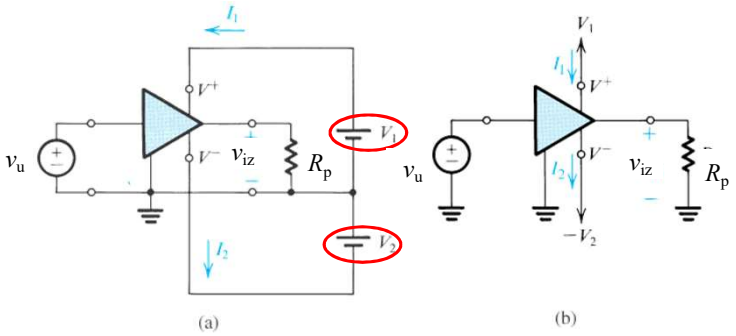
Da li je prekršen zakon o očuvanju energije?



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

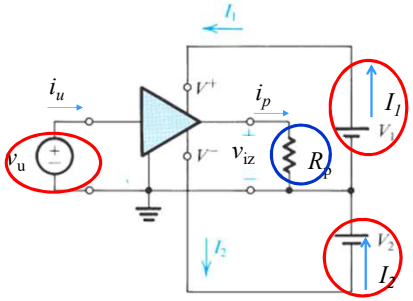
Pojačanje signala

***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

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

Zanemarljivo malo

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

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

Troši se, disipira, (nepotrebno ali neophodno) snaga na samom pojačavaču

***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:

a) **pojačanje napona,**
b) **Pojačanje struje,**
c) **pojačanje snage,**
d) **snagu DC izvora napajanja,**
e) **disipiranu snagu i**
f) **stepen iskorišćenja**

Pojačanje signala

Rešenje **:**

a) pojačanje napona, $A_v = \frac{9}{1} = 9\ \text{V/V}$

$$A_v = 20\log 9 \cong 19.1 \ \ \text{dB}$$

b) pojačanje struje,

$$I_i = \frac{V_i}{R_p} = \frac{9\ \text{V}}{1\text{k}\Omega} = 9\ \text{mA}$$

$$A_s = \frac{I_i}{I_u} = \frac{9\ \text{mA}}{0.1\ \text{mA}} = 90\ \text{A/A}$$

$$A_s = 20\log 90 \cong 39.1 \ \ \text{dB}$$

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

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

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

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

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

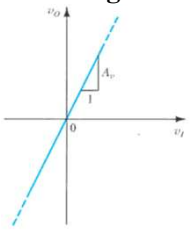
80% snage potroši se van potrošača – na pojačavaču

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.

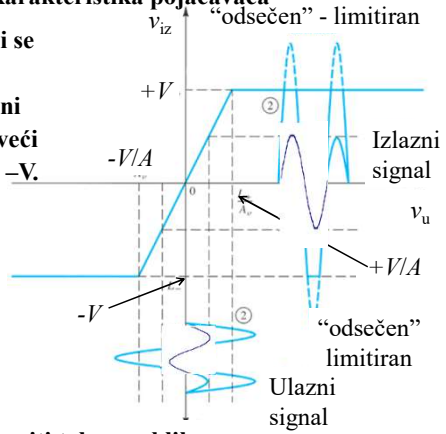


(b)

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

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

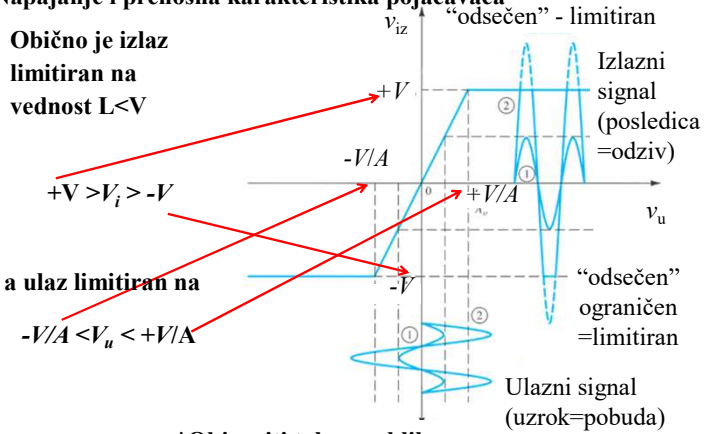


***Objasniti talasne oblike**

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Obično je izlaz limitiran na vednost L<V



$+V > V_i > -V$

a ulaz limitiran na

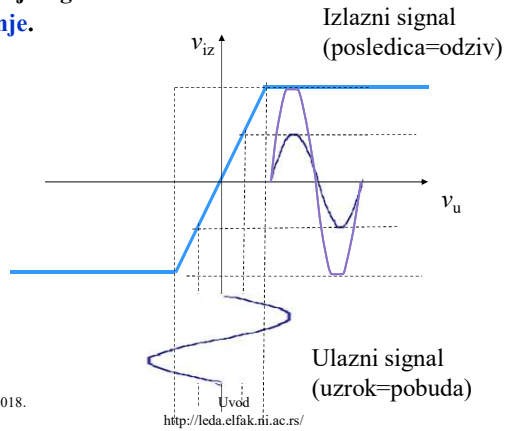
$-V/A < V_u < +V/A$

***Objasniti talasne oblike**

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

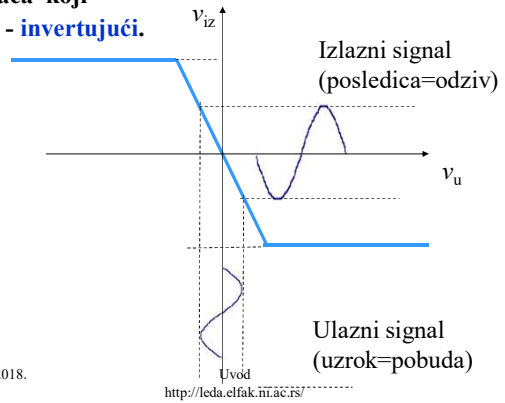
Limitiranje signala izobličenje.



Pojačanje signala

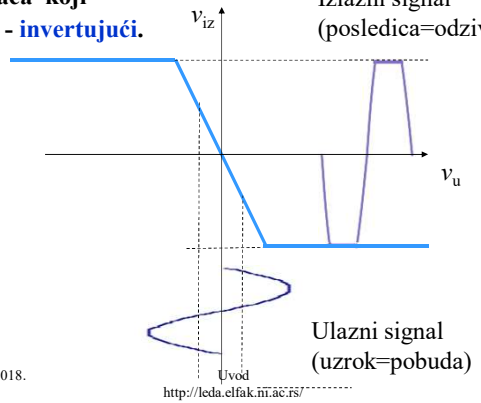
Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Prenosna karakteristika pojačavača koji *obrću fazu* - invertujući.



Pojačanje signala
Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Prenosna karakteristika pojačavača koji *obrću fazu* - invertujući.

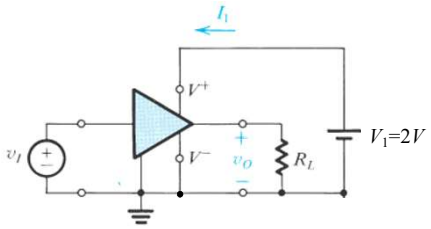


Izlazni signal (posledica=odziv)

Ulazni signal (uzrok=pobuda)

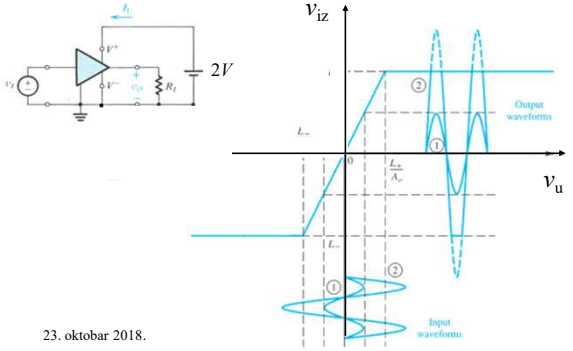
Pojačanje signala
Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

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



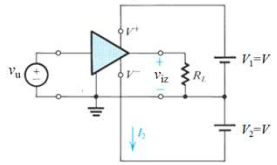
Pojačanje signala
Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

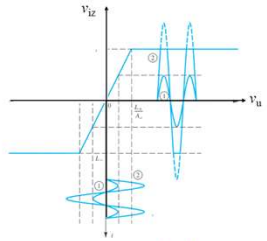
Asimetrično napajanje utiče na prenosnu karakteristiku V^-=0V, V^+=2V



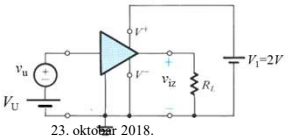
Pojačanje signala
Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

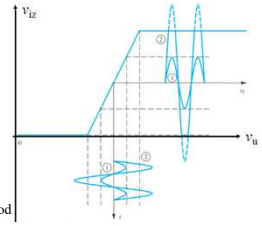
Simetrično napajanje





Asimetrično napajanje

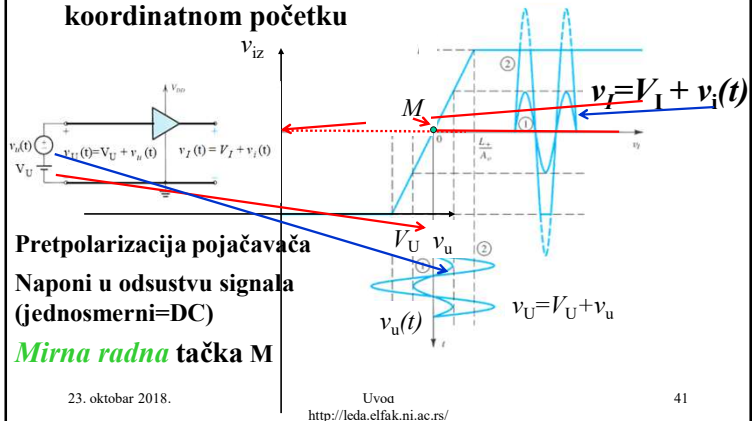




Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Sredina prenosne karakteristika više nije u koordinatnom početku



Pretpolarizacija pojačavača

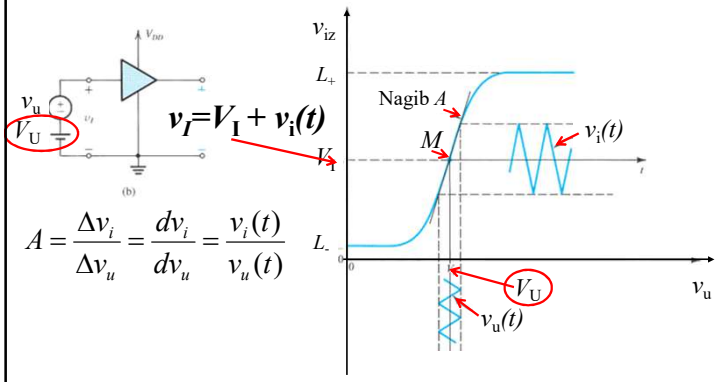
Naponi u odsustvu signala (jednosmerni=DC)

***Mirna radna* tačka M**

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Prenosna karakteristika realnih pojačavača je *nelinearna*

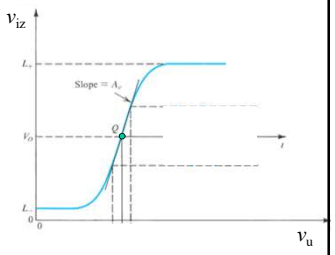


$$A=\frac{\Delta v_i}{\Delta v_u}=\frac{dv_i}{dv_u}=\frac{v_i(t)}{v_u(t)}$$

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.

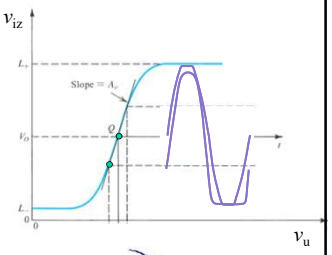
Pojačanje signala

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.





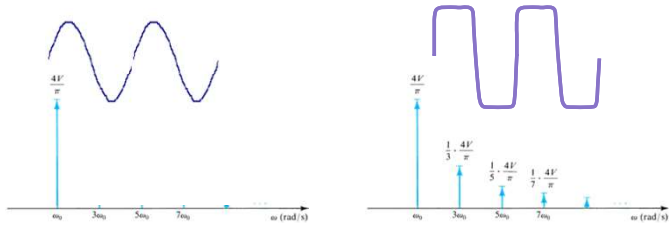
Kao što je ranije rečeno na izalazu pojačavača sa nelinearnom prenosnom karakteristikom javljaju se nelinearna amplitudska izobličenja.

Pojačanje signala

Nelinearna amplitudska izobličenja

Zašto nelinearna izobličenja nisu poželjna?

Uticaj na prostoperiodični signal => harmonici



Harmonijska izobličenja

Pojačanje signala

Kako odrediti i kvantifikovati izobličenje signala?



POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Izobličenje se meri veličinom koja se naziva *ukupni faktor izobličenja* i označava se sa *THD Total Harmonic Distortion*:

Napona

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

gde je V_i efektivna vrednost *i*-tog harmonika

Struje

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

gde je I_i efektivna vrednost *i*-tog harmonika

Pojačanje signala

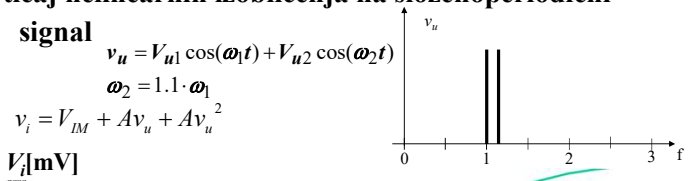
Dodatak

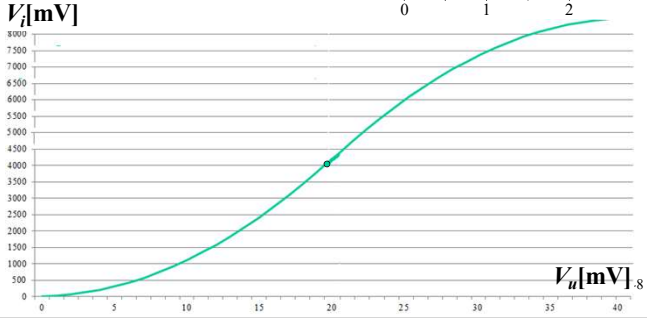
Uticaj nelinearnih izobličenja na složenoperiodični signal

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

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

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





Pojačanje signala

Dodatak

Uticaj nelinearnih izobličenja na složenoperiodični signal

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

$\omega_2 = 1.1 \cdot \omega_1$

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

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

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

Pojačanje signala

Dodatak

Uticaj nelinearnih izobličenja na složenoperiodični signal

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

$\omega_2 = 1.1 \cdot \omega_1$

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

$v_i = V_{IM} + \frac{A}{2}\left(V_{u1}^{\,2} + V_{u2}^{\,2}\right) +$

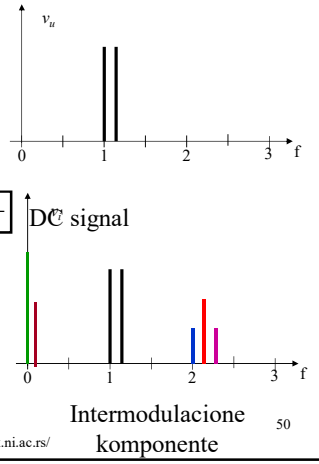
$+ A\left(V_{u1}\cos(\omega_1 t) + V_{u2}\cos(\omega_2 t)\right) +$

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

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

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

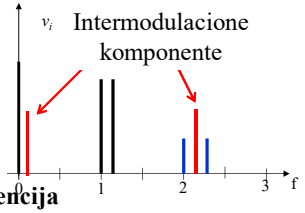
$+ AV_{u1}V_{u2}\cos(\omega_1 - \omega_2)t$



Pojačanje signala

Dodatak

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**

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

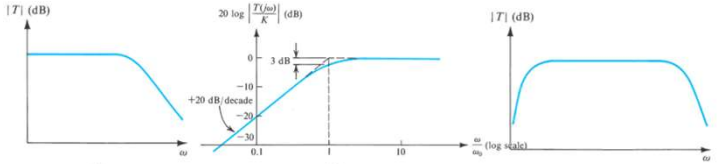
- **Prema nameni**
- **Prema tipu aktivnog elementa (BJT, MOSFET, JFET)**
- **Prema konfiguraciji (ZE, ZS, ZC, ZD, ZB, ZG)**
- **Prema radnoj tački (A, B, AB, C, -- D, E,...)**
- **Prema strukturi (jednostepeni, dvostepeni, višestepeni)**

Klasifikacija pojačavača

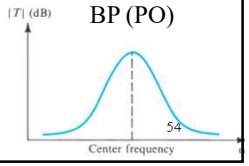
- **Prema nameni**
  - **Prema tipu signala – videli smo (A, A_s, G_m, R_m)**
  - **Prema frekvencijskoj karakteristici (NF, VF, BP, širokopojasni, uskopojasni)**
  - **Prema veličini signala (za male/velike signale)**

Klasifikacija pojačavača

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



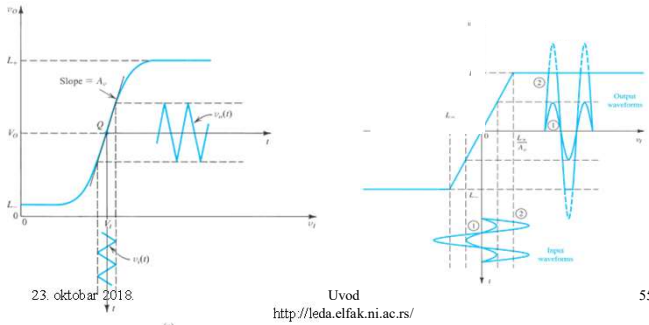
NF VF



BP (PO)

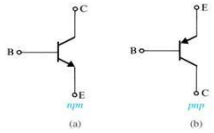
Klasifikacija pojačavača

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

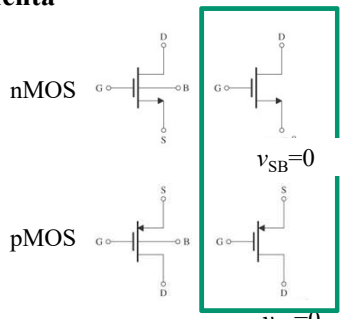


Klasifikacija pojačavača

- **Prema tipu aktivnog elementa**



BJT

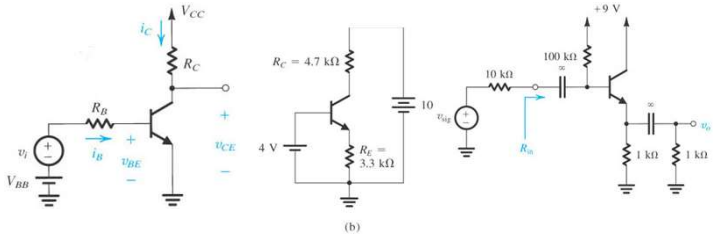


MOSFET

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

- **Prema konfiguraciji**

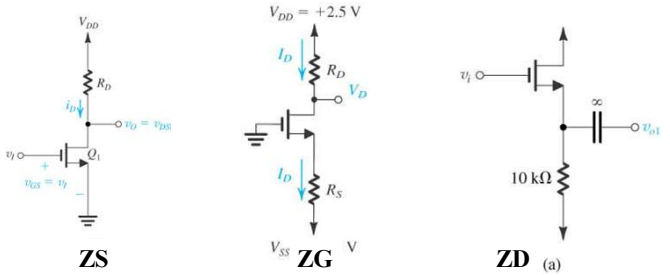


ZE **ZB** **ZC**

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

- **Prema konfiguraciji**

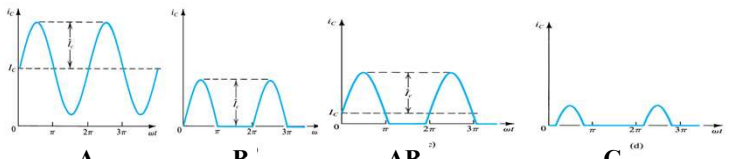


ZS **ZG** **ZD**

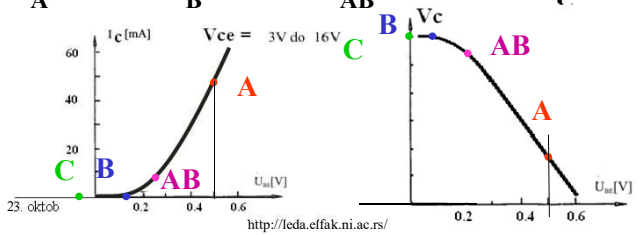
Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

- **Prema radnoj tački (A, B, AB, C, -- D, E, ...)**



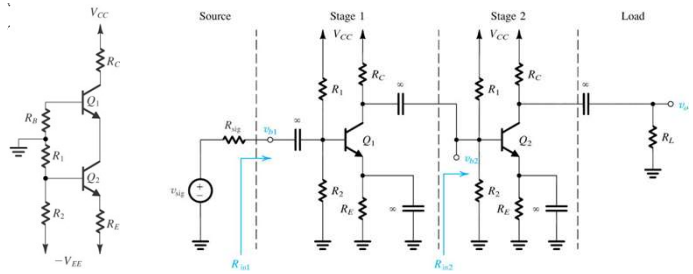
A **B** **AB** **C**



Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

- **Prema strukturi (jednostepeni, dvostepeni, višestepeni,**



Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)		10%
Odbranjene laboratorijske vežbe		10%
Kolokvijum I	(poslednja nedelja u novembru)	50%
Kolokvijum II	(poslednja nedelja predavanja)	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 gibitnici
Ne gubite olako ono što imate!

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)		10%
Odbranjene laboratorijske vežbe		10%
Kolokvijum I	(poslednja nedelja u novembrbu)	50%
Kolokvijum II	(poslednja nedelja nastave)	50%

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

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, faktor izobličenja, 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**

Osnovi elektronike

Zablude:

1. ~~Učiću samo ODGOVORE na Elementarna i osnovna pitanja (to mi je dovoljno za 6)~~

2.a Radiću samo zadatke sa vežbi
2.b Radiću samo zadatke za domaći

Zašto ovo nije dobro?
- ✓ Gubite celinu, kontekst, a time i suštinu
- ✓ Bubate definicije koje nerazumete (njihova slobodna interpretacija je katastrofalna – za YouTube)
- ✓ Inženjerski (ljudski) mozak nije copy-paste mašina, lakše pamti kada shvati zašto i kako nešto radi

Osnovi elektronike

Savet:
1. **Učite SVE da biste shvatili suštinu!!!**

Učenje:
Pogledam svesku i prezentaciju sa predavanja
pitam se ZAŠTO i KAKO, pročitam u knjizi
Provera:
Dajem ODGOVORE na Elementarna/osnovna pitanja
if OK then „Ispina pitanja“
else Učenje
endif;

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. **Klasifikacija pojačavača prema tipu signala.**
6. **Klasifikacija pojačavača prema frekvencijskom opsegu.**
7. **Klasifikacija pojačavača prema tipu aktivnog elementa.**
8. **Klasifikacija pojačavača prema konfiguraciji.**
9. **Klasifikacija pojačavača prema strukturi.**

Sledećeg časa:

Operacioni pojačavači

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

> EDUCATION > OSNOVI ELEKTRONIKE

slajdovi u pdf formatu

Rešenje 2.1 **Pojačanje signala**

***Zadatak*: Pojačavač sa pojačanjem A_o=40dB, R_u=10k, R_{iz}=1k, pobuđuje potrošač od R_p =1k.**

Izračunati ukupno naponsko pojačanje i pojačanje snage iskazano u dB.

Pogledati slajdove 1.25; 1.26;1.44

$$A_o = 40dB = 100V/V$$

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

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

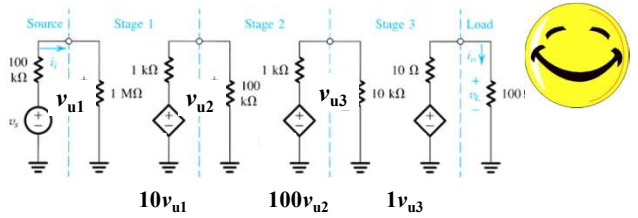
$$P_u = \frac{V_u^2}{R_u}$$

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

$$a_P = 10\log(A_P) \approx 44dB$$

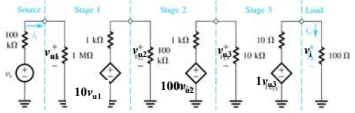
Rešenje 2.2 **Pojačanje signala**

***Zadatak*: Izračunati ukupno naponsko i pojačanje snage trostepenog pojačavača 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)

Rešenje 2.2 **Pojačanje signala**



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

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

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

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

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

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

$$a = 20\log(A) = 57.4dB$$

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

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

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

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

$$A_{Pu1} = \frac{P_i}{P_{u1}} = \frac{5.53 \cdot 10^3 \cdot v_s^2}{8.26 \cdot 10^{-7} \cdot v_s^2} = 67 \cdot 10^8 W/W$$

$$a_{Pu1} = 10\log(67 \cdot 10^8) = 98.2dB$$

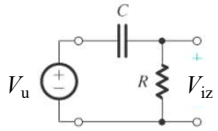
$$P_s = \frac{v_s^2}{R_s+R_{u1}} = \frac{1}{1.1 \cdot 10^6} \cdot v_s^2 = 0.909 \cdot 10^{-6} \cdot v_s^2$$

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

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

Rešenje 2.3 **Pojačanje signala**

***Zadatak*: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.**

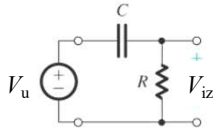


$$V_i(j\omega) = \frac{R}{Z_C+R} V_u(j\omega) = \frac{R}{1/j\omega C+R} V_u(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1+j\omega RC} V_u(j\omega)$$

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

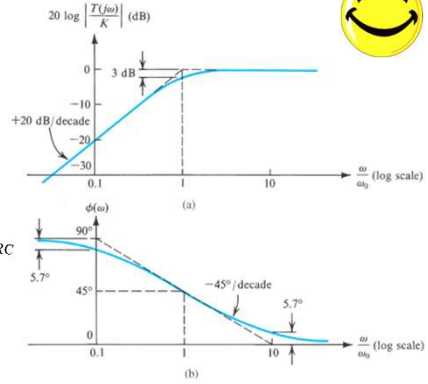
Rešenje 2.3 **Pojačanje signala**

***Zadatak*: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.**



$$T(j\omega)=\left|\frac{s/\omega_o}{1+(s/\omega_o)}\right|_{s=j\omega}$$

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



Rešenje 2.4

Pojačanje signala

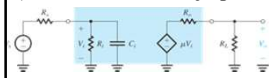
Odrediti prenosnu funkciju (ukupno naponsko pojačanje) kola sa slike.

Ako je R_s=20k, R_i=100k, C_i=60pF, μ=144 V/V, R_o=200Ω i R_L=1k

a) Odrediti pojačanje pri ω=0rad/s (jednosmerno) (A=100 V/V)

b) Graničnu frekvenciju (3dB) (ω_o=10⁶ rad/s, f_o=159,2kHz)

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\omega_1\approx\frac{A_o}{\tau}=A_o\cdot\omega_{3dB}=100\cdot10^6\ rad/s=10^8\ rad/s$$