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%



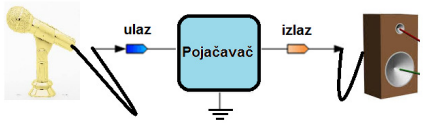
Savet: Lakše preko kolokvijuma

Sadržaj

1. Uvod
   a. Definicija pojačanja
   b. Osobine pojačavača
   c. Simbol pojačavača
   d. Modeli pojačavača
   e. Klasifikacija pojačavača prema tipu signala
   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.

Osnovi elektronike

Projektovati audio pojačavač



Šta želimo?
Specifikacija zahteva:
Šta treba da radi!

Koje su mogućnosti?
Kakvi pojačavači postoje?
Šta mogu da rade!

Učiniti da moguće bude što bliže željenom.

Smanjivati razliku između mogućeg i željenog

Pojačanje signala

Kakvi pojačavači postoje?

Na kraju uvodnog dela videćemo da postoje pojačavači različite:

- **namene (napon, struja, snaga, ...)**
- **složenosti (jednostepeni, višestepeni),**
- **strukture (obični, diferencijalni)**
- **tehnološke realizacije (BJT, MOSFET)**
- **opsega rada (mali, veliki signali, NF, VF, ...)**

Sve njih ćemo „posetiti“ tokom ovog kursa.

Pojačanje signala

Pre nego što odemo u „radionicu“ moramo da naučimo kako da na „papiru“ proverimo razliku između željenog i mogućeg.

Zato predstavljamo realne „probleme“ modelima.

Modeli pojačavača:

GENERALIZOVANI model na *FUNKCIONALNOM* nivou

nivo_ponašanja = bihevioralni

gledamo ŠTA rade, a ne kako i na osnovu čega obavljaju funkciju).

Na funkcionalnom nivou klasifikujemo pojačavače prema *tipu signala*

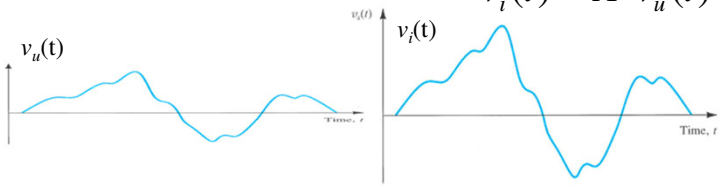
Pojačanje signala

Uloga pojačavača:

Da *pojača* ulazni signal *BEZ IZOBLIČENJA*

isti oblik veća amplituda

$$v_i(t) = A \cdot v_u(t)$$



Pojačanje *A* = *const.*

Pojačanje signala

Uloga pojačavača:

Da *pojača* ulazni signal

(napon, struja)

BEZ IZOBLIČENJA!

Kakve karakteristike treba da ima da bi obavio tu ulogu?

Odgovor kasnije - tokom kursa



dalje da

Pojačanje signala

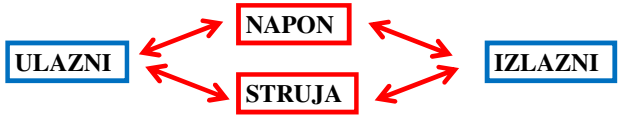
Rekli smo SIGNAL

Kakvi signali postoje?



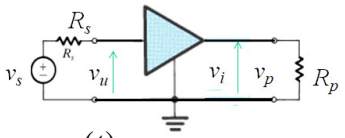
Zvučni, video, elektromagnetni,...

U elektronici svi se oni konvertuju u



Pojačanje signala

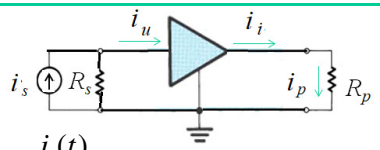
Pojačavač napona



Pojačanje napona

$$A = A_v = \frac{v_i(t)}{v_u(t)}$$

Pojačavač struje

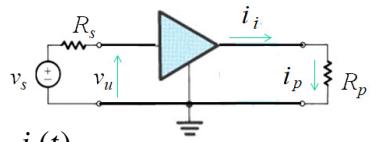


Pojačanje struje

$$A_s = \frac{i_i(t)}{i_u(t)}$$

Pojačanje signala

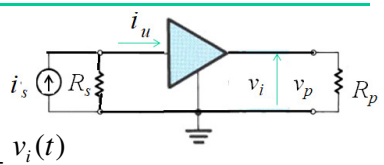
Transkonduktansni



Pojačanje napona u struju

$$G_m = \frac{i_i(t)}{v_u(t)}$$

Transrezistantni

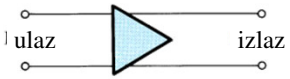


Pojačanje struje u napon

$$R_m = \frac{v_i(t)}{i_u(t)}$$

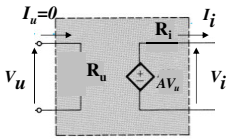
Pojačanje signala

Model pojačavača napona



***GENERALIZOVANI* model na *FUNKCIONALNOM* nivou**

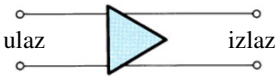
Idealni



$$A = A_o = \frac{V_i}{V_u}\ [\text{V/V}]; \qquad \mathbf{R_u = \infty} \quad \mathbf{R_i = 0}$$

Pojačanje signala

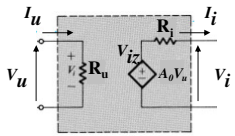
Model pojačavača napona



$$R_u < \infty \ ; \quad R_i > 0$$

Realni

$$A_0 = \frac{V_{iz}}{V_u}\ [\text{V/V}]$$



$$A = \frac{V_i}{V_u} = A_0 = \frac{V_{iz}}{V_u}\ [\text{V/V}]$$

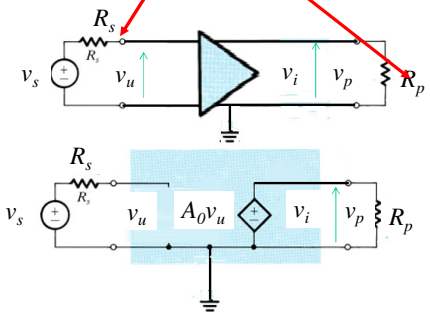
$I_i=0$

Zašto je ovo važno?



Pojačanje signala

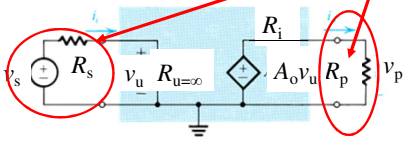
Idealni **naponski pojačavač opterećen i pobuđen iz realnog izvora**



Pojačanje signala

Zašto je ONO važno

Idealni **naponski pojačavač opterećen i pobuđen iz realnog izvora**



$$v_{iz} = A_o \cdot v_u$$

$$v_u = v_s$$

Ukupno pojačanje

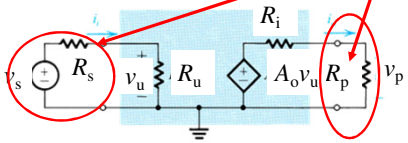
$$A = \frac{v_p}{v_s} = \frac{v_{iz}}{v_u} = A_o$$

NE ZAVISI od R_s i R_p !!!

Pojačanje signala

Zašto je ONO važno

Realni **naponski pojačavač opterećen i pobuđen iz realnog izvora**



$$v_p = A_o \cdot v_u \cdot \frac{R_p}{R_p + R_i}$$

$$A \equiv \frac{v_p}{v_u} = A_o \cdot \frac{R_p}{R_p + R_i}$$

$$v_u = v_s \cdot \frac{R_u}{R_u + R_s}$$

Ukupno pojačanje

$$\frac{v_p}{v_s} = A_o \cdot \frac{R_u}{R_u + R_s} \cdot \frac{R_p}{R_p + R_i}$$

ZAVISI od R_s i R_p !!!

Za vežbu 2.1

Pojačanje signala

Zadatak**: Izmereno je da napon na izlazu pojačavača opadne za 20% kada mu se priključi potrošač od 1k. Kolika je izlazna otpornost pojačavača?**

(250Ω)

$$V_i = \frac{R_p}{R_i + R_p} V_{i0} = 0.8 \cdot V_{i0} \Rightarrow \frac{R_p}{R_i + R_p} = 0.8$$

$$R_p = 0.8 \cdot (R_i + R_p) \Rightarrow R_i = \frac{0.2}{0.8} R_p = 0.25 R_p = 250\Omega$$

Pojačanje signala

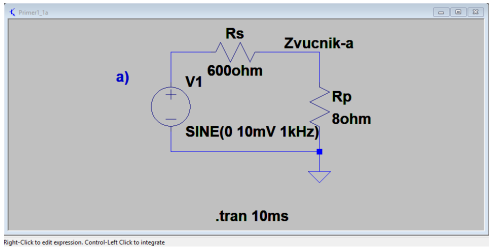
***Primer 2.1*: Mikrofon koji daje na izlazu napon efektivne vrednosti od 10mV i ima izlaznu otpornost od 600Ω treba priključiti na potrošač od 8Ω. Izračunati naponsko i pojačanje snage kada se priključi:**

- **a) direktno (*Primer 1.1*)**
- **b) preko pojačavača koji daje 100 puta veći napon na izlazu (A_o=100V/V), sa R_u=∞ i R_{iz}=1MΩ**
- **c) preko pojačavača koji daje 100 puta veći napon na izlazu (A_o=100V/V), sa R_u=10Ω i R_{iz}=1MΩ**
- **d) preko *baferskog pojačavača* koji ima A_o=1, R_u=1MΩ i R_{iz}=10Ω**

Pojačanje signala

***Primer 2.1*: 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

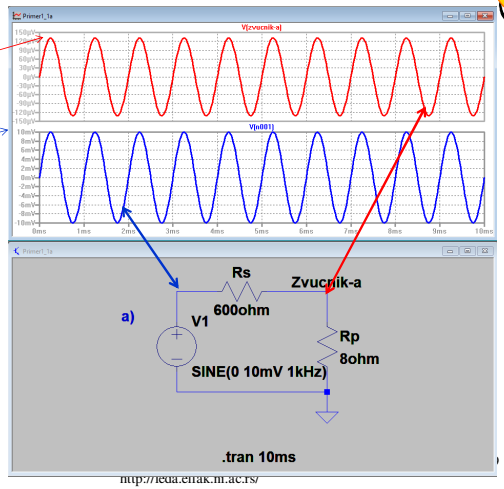


Pojačanje signala

a) direktno

130µV

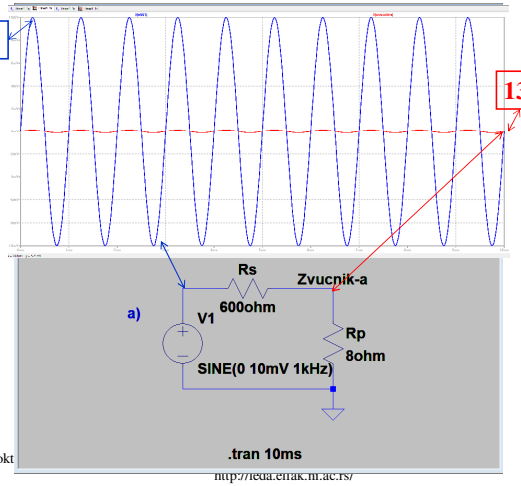
10mV



a) direktno Pojačanje signala

10mV

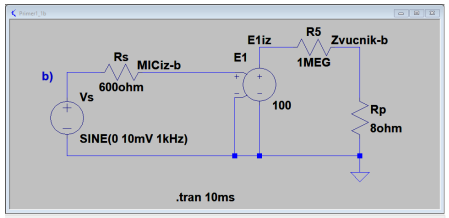
130µV



Pojačanje signala

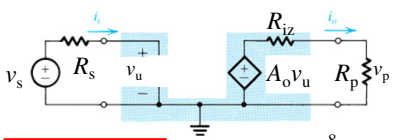
***Primer 2.1*: Mikrofon koji daje na izlazu napon efektivne vrednosti od 10mV i ima izlaznu otpornost od 600Ω treba priključiti na potrošač od 8Ω. Izračunati naponsko i pojačanje snage kada se priključi:**

b) preko pojačavača koji daje 100 puta veći napon na izlazu A_o=100V/V, R_u=∞ i R_{iz}=10MΩ



Pojačanje signala

b) preko *pojačavača* (A_o=100, R_u=∞ i R_{iz}=1MΩ)



$$v_p = \frac{R_p}{R_{iz}+R_p}\cdot(A_o \cdot v_u) =$$

$v_u = v_s = 10\text{mV}$

$$v_p = \frac{8}{1{,}000{,}000+8}\cdot 100\cdot\cdot\ 10\text{mV} = 7{,}999936\mu\text{V} \approx 8\mu\text{V}$$

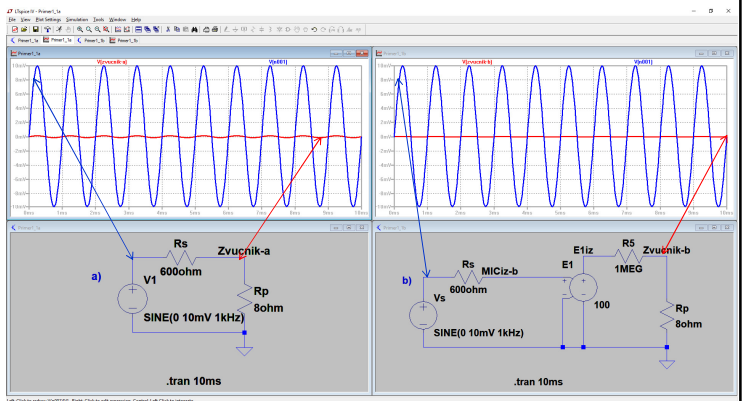
$$A = \frac{v_p}{v_s} = \frac{13.1\mu\text{V}}{10\text{mV}} = 0{,}008$$

Napon oslabljen!!! iako je pojačanje 100 puta!!!

Zašto??? Zašto???

Pojačanje signala

b) preko *pojačavača* (A_o=100, R_u=∞ i R_{iz}=1MΩ)

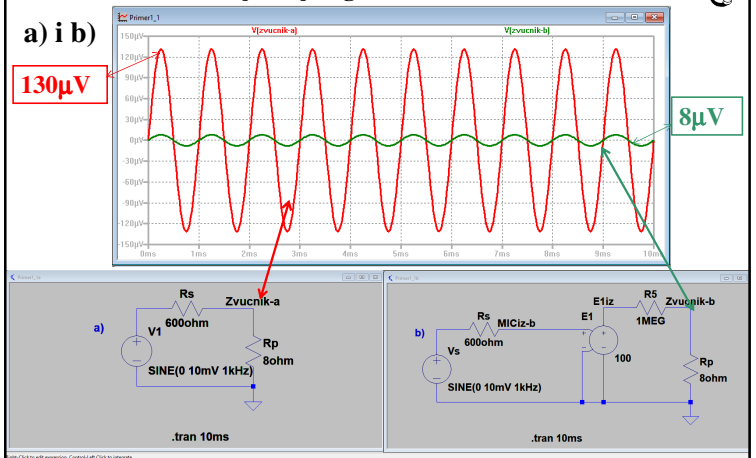


Pojačanje signala

a) i b)

130µV

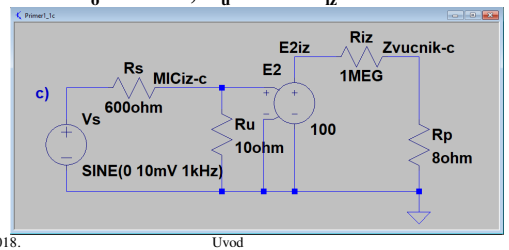
8µV



Pojačanje signala

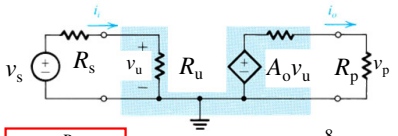
***Primer 2.1*: Mikrofon koji daje na izlazu napon efektivne vrednosti od 10mV i ima izlaznu otpornost od 600Ω treba priključiti na potrošač od 8Ω. Izračunati naponsko i pojačanje snage kada se priključi:**

c) preko pojačavača koji daje 100 puta veći napon na izlazu A_o=100V/V, R_u=10Ω i R_{iz}=1MΩ



Pojačanje signala

c) preko *pojačavača* (A_o=100, R_u=10Ω i R_{iz}=1MΩ)



$$v_p = \frac{R_p}{R_{iz}+R_p}\cdot(A_o\cdot v_u) = \frac{R_p}{R_{iz}+R_p}\cdot\left(A_o\cdot\frac{R_u}{R_s+R_u}\cdot v_s\right)$$

$$v_u = \frac{R_u}{R_s+R_u}\cdot v_s = 0{,}164\text{mV}$$

$$v_p = \frac{8}{1{,}000{,}000+8}\cdot 100\cdot\frac{10}{600+10}\cdot v_s \approx \frac{8000}{610\cdot 10^6} = 0{,}13\mu\text{V}$$

Napon još više oslabljen!!! iako je pojačanje 100 puta!!

Zašto???

Šta je sa snagom?

$$A = \frac{v_p}{v_s} = 0{,}000013\ [\text{V/V}]$$

na ulazu $P_s = v_s\cdot i_s = v_s\cdot\frac{v_s}{R_s+R_u} = \frac{(10\cdot 10^{-3})^2}{610} = \approx 163.9\text{nW}$

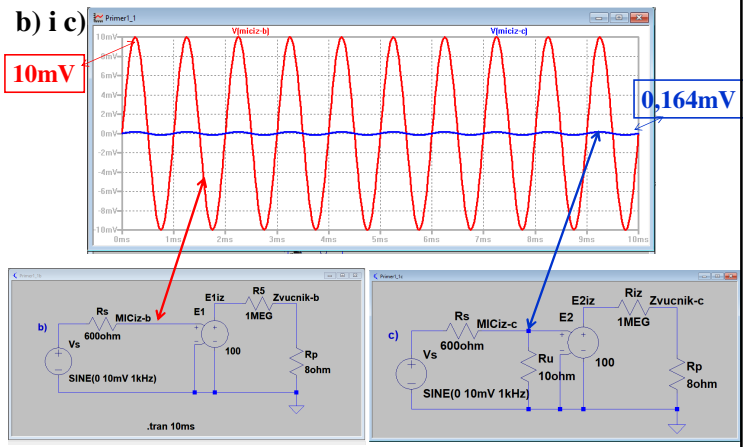
na izlazu $P_p = \frac{v_p^2}{R_p} = \frac{(13.1\cdot 10^{-6})^2}{8} \approx 21.4\text{pW}$

pojačanje $A_p = \frac{P_p}{P_s} = \frac{21.4\text{pW}}{163.9\text{nW}} = 130.9\cdot 10^{-6}$ W/W

Pojačanje signala

b) i c)

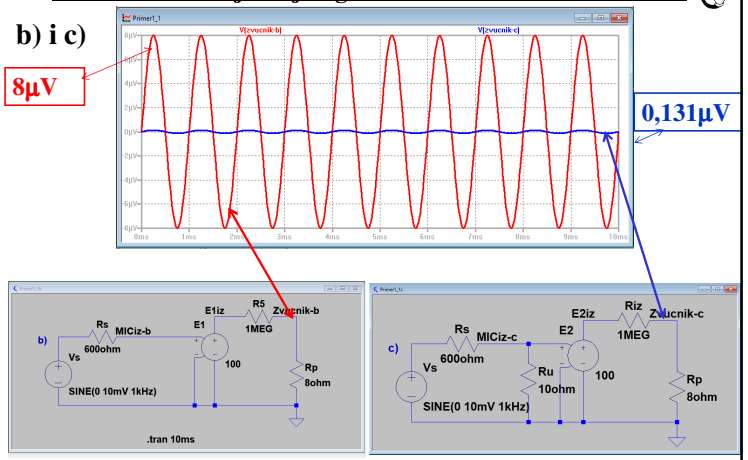
10mV **0,164mV**



Pojačanje signala

b) i c)

8μV **0,131μV**

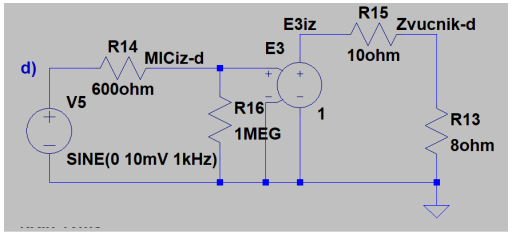


Pojačanje signala

***Primer 2.1*: 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:**

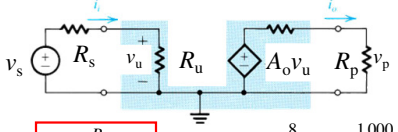
d) preko *baferskog pojačavača* koji ima

A_o=1, R_u=1MΩ i R_{iz}=10Ω



Pojačanje signala

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



$$v_u = \frac{R_u}{R_s + R_u} \cdot v_s$$

$$v_p = \frac{R_p}{R_{iz} + R_p} \cdot (A_o \cdot v_u) = \frac{R_p}{R_{iz} + R_p} \cdot \left(A_o \cdot \frac{R_u}{R_s + R_u} \cdot v_s \right)$$

$$v_p = \frac{8}{10+8} \cdot 1 \cdot \frac{1{,}000{,}000}{600+1{,}000{,}000} \cdot 10\text{mV} = \frac{8}{18} \cdot \frac{1{,}000{,}000}{1{,}000{,}600} \cdot 10\text{mV} = 4.4\text{mV}$$

$$A = \frac{v_p}{v_s} = \frac{4.4\text{mV}}{10\text{mV}} = 0.44 \ \text{[V/V]}$$ **Napon oslabljen, samo 44% od v_s**

Šta je sa snagom?

na ulazu $P_S = v_s \cdot \frac{v_s}{R_u + R_s} \approx \frac{(10\text{ mV})^2}{1\text{MΩ}} \approx 10\text{pW};$

na izlazu $P_p = \frac{v_p^2}{R_p} = \frac{(4.4\text{ mV})^2}{8\Omega} = 2.42\,\mu\text{W}$

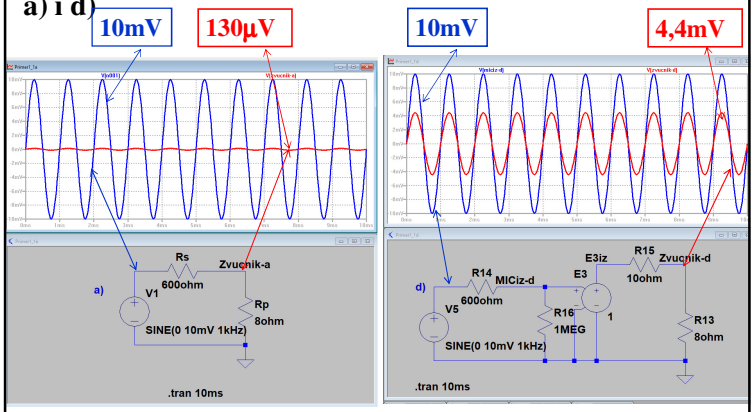
Pojačanje snage

$$A_p = \frac{P_p}{P_s} = \frac{2.42\mu\text{W}}{10\text{pW}} = 242 \cdot 10^3 \ \text{[W/W]}$$

Zašto? Kako?

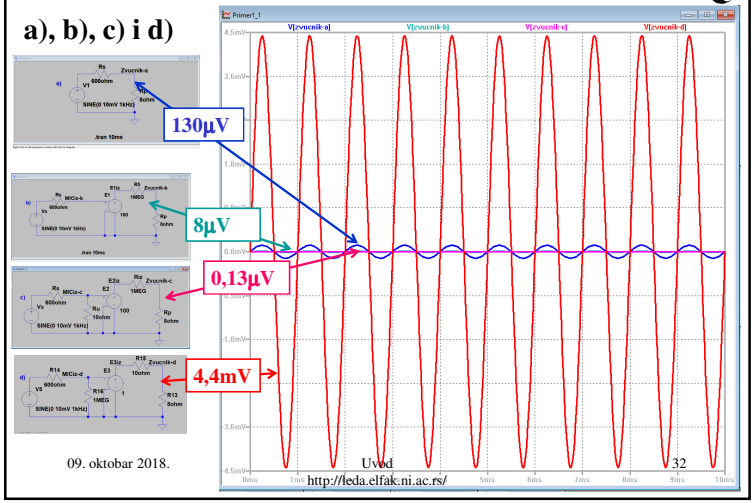
Pojačanje signala

a) i d)



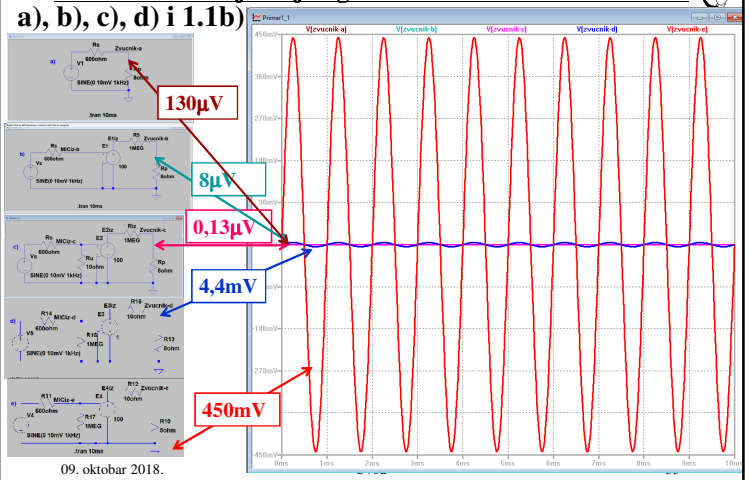
Pojačanje signala

a), b), c) i d)



Pojačanje signala

a), b), c), d) i 1.1b)



Pojačanje signala

Zaključak:

Osim pojačanja pojačavačaVAŽNE su:

- **ulazna otpornost**
- **izlazna otpornost**

Pojačanje signala

$$A = A_v = \frac{v_i(t)}{v_u(t)}$$ **Pojačanje napona**

$$A_s = \frac{i_i(t)}{i_u(t)}$$ **Pojačanje struje**

$$A_p = \frac{P_i(t)}{P_u(t)}$$ **Pojačanje snage**

Pojačanje signala

Jedinica mere pojačanja?

$$A = \frac{v_i}{v_u}$$ **V/V,** $$A_s = \frac{i_i}{i_u}$$ **A/A,** $$A_P = \frac{P_i}{P_u}$$ **W/W**

Iz praktičnih (i istorijskih) razloga koristi se logaritamska skala:

$$a_P = 10 \cdot \log|A_P|$$ **dB**

$$a_v = 20\log|A|$$

$$a_s = 20\log|A_s|$$ **dB**

Pojačanje signala

Pažnja?

Često se koristi dB da iskaže vrednost *fizičke veličine*!
Tada dB označava vrednost u odnosu na 1,
a dBm u odnosu na 10^{-3} (napona, struje ili snage).

$$V_i = 20\log\left|\frac{V_i}{1\text{V}}\right| \quad \text{dB}$$
$$P_i = 10\log\left|\frac{P_i}{1\text{W}}\right| \quad \text{dBw}$$

$$V_i = 20\log\left|\frac{V_i}{1\text{mV}}\right| \quad \text{dBm}$$
$$P_i = 10\log\left|\frac{P_i}{1\text{mW}}\right| \quad \text{dBm}$$

Pojačanje signala

Koliki se napon očekuje na izlazu pojačava pobuđenog naponom od 0.1mV ako se zna da mu je pojačanje:



60 dB	(0.1V)
0 dB	(0.1mV)
-20 dB	(0.01mV)

Koliko je pojačanje u dB kod pojačavača kod koga je pri ulaznom naponu od 1mV izmeren izlazni napon od



1 V	(60dB)
100 mV	(40dB)
100 μV	(-20dB)

Domaći 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.

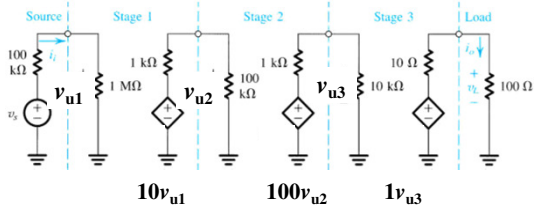


(50 V/V; 44dB)

Domaći 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.**

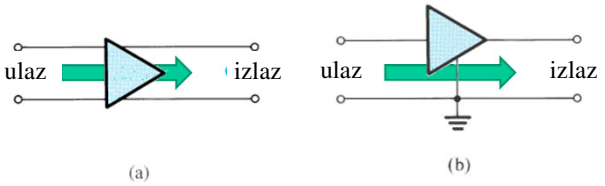




(743,6 V/V; 57,4 dB; 66,9 10^8 W/W; 98,3dB)

Pojačanje signala

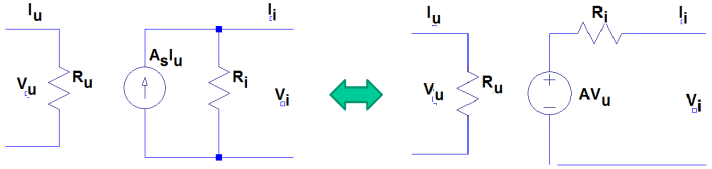
Svi prikazani modeli su *unilateralni:* prenose signal samo u jednom pravcu - sa ulaza prema izlazu.



Pojačanje signala

Svi navedeni modeli mogu ravnopravno da se koriste za modelovanje realnog pojačavača!

Primer:

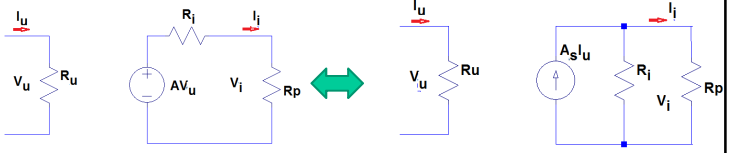


$$V_i = A_s \cdot I_u \cdot R_i = A_s \cdot \frac{V_u}{R_u} \cdot R_i$$

$$A = \frac{V_i}{V_u} = A_s \cdot \frac{R_i}{R_u}$$

Pojačanje signala

Svi navedeni modeli mogu ravnopravno da se koriste za modelovanje realnog pojačavača!



$$V_i = A \cdot V_u \cdot \frac{R_p}{R_i + R_p}$$

$$I_u = \frac{V_u}{R_u} \Rightarrow V_u = R_u \cdot I_u$$

$$I_i = \frac{V_i}{R_p} = \frac{A}{R_i + R_p} \cdot V_u = \frac{A \cdot R_u}{R_i + R_p} \cdot I_u$$

$$A_s = \frac{I_i}{I_u} = \frac{A \cdot R_u}{R_i + R_p}$$

$$I_i = \frac{R_i}{R_i + R_p}(A_s \cdot I_u) = \frac{R_i}{R_i + R_p}\left(A_s \cdot \frac{V_u}{R_u}\right)$$

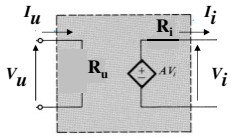
$$V_i = R_p I_i = R_p \frac{R_i}{R_i + R_p}\left(A_s \cdot \frac{V_u}{R_u}\right)$$

$$A = \frac{V_i}{V_u} = \frac{R_i R_p}{R_i + R_p} \cdot \frac{1}{R_u} \cdot A_s$$

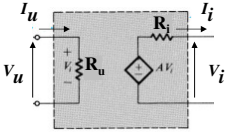
Pojačanje signala

Najčešće ćemo u okviru ovog kursa govoriti o

Pojačavačima napona:



$$A_o = \frac{V_i}{V_u}$$



Idealni **Realni**

Zašto je ovo važno?



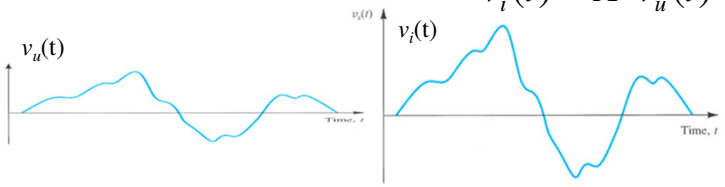
Pojačanje signala

Uloga pojačavača:

Da *pojača* ulazni signal *BEZ IZOBLIČENJA*

isti oblik veća amplituda

$$v_i(t) = A \cdot v_u(t)$$



Pojačanje A = *const.*

Pojačanje signala

Uloga pojačavača:

Da *pojača* ulazni signal

(napon, struja)

BEZ IZOBLIČENJA!

Kakve karakteristike treba da ima da bi obavio tu ulogu?

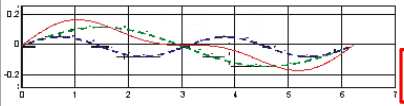


Odgovor kasnije - tokom kursa

dalje dal

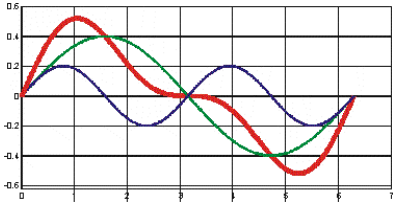
Pojačanje signala

Razmotrimo primer idealizovanog pojačavača sa A=4 koji treba da pojača *složenoperiodični* signal



Ulazni signal

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



Izlaz

$$v_{iz} = A \cdot v_u = 4 \cdot (0.1 \cdot \sin(\omega t) + 0.05 \cdot \sin(2\omega t))$$

Pojačanje signala

Uloga pojačavača:

Da *pojača* ulazni signal *BEZ IZOBLIČENJA*

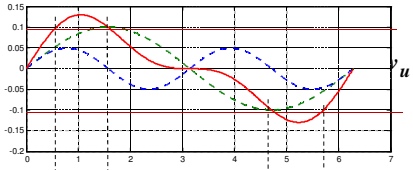
Kako može doći do izobličenja?

1. **Različito pojačanje malih i velikih ulaznih signala**
2. **Različito pojačanje na različitim frekvencijama (spektralne komponente)**
3. **Različito kašnjenje na različitim frekvencijama (spektralne komponente)**

dalje dalje2

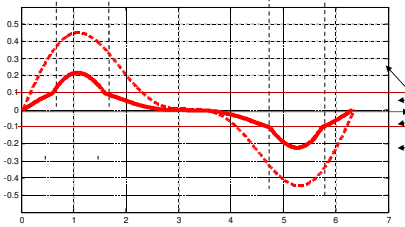
Pojačanje signala

1. Različito pojačanje malih i velikih ulaznih signala



Ulazni signal

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

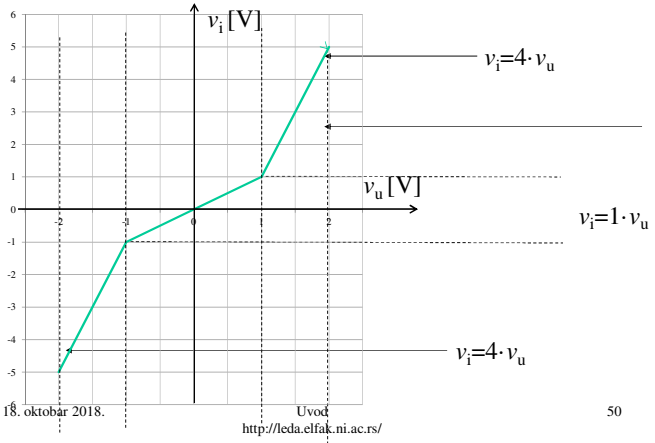


Izlaz

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

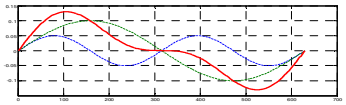
Pojačanje signala

1. Različito pojačanje malih i velikih ulaznih signala



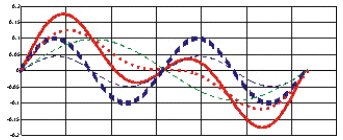
Pojačanje signala

2. Različito pojačanje na različitim frekvencijama



Ulazni signal

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



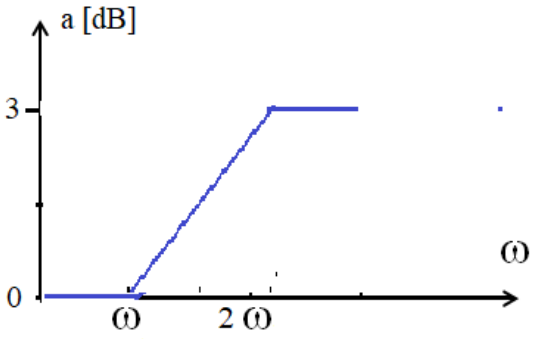
Izlazni signal

$$v_i(\omega t) = 1 \cdot v_u(\omega t) + 2 \cdot v_u(2\omega t)$$
$$v_i(\omega t) = 1 \cdot (0.1 \cdot \sin(\omega t)) + 2 \cdot (0.05 \cdot \sin(2\omega t))$$

Na izalazu linearnog pojačavača koji različito pojačava signale različitih frekvencija javljaju se linearna amplitudska izobličenja.
(biće reči i nešto kasnije)

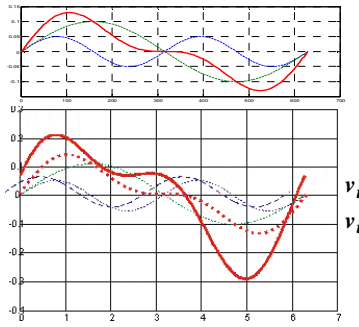
Pojačanje signala

2. Različito pojačanje na različitim frekvencijama



Pojačanje signala

3. Različito kašnjenje na različitim frekvencijama



Ulazni signal

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

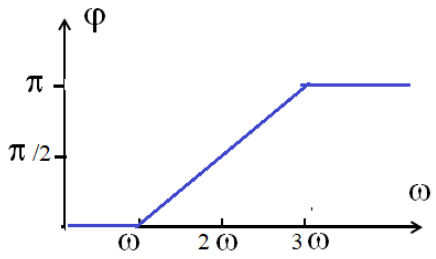
Izlazni signal

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

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

Pojačanje signala

3. Različito kašnjenje na različitim frekvencijama



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.

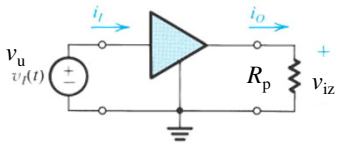
dalje dalje2

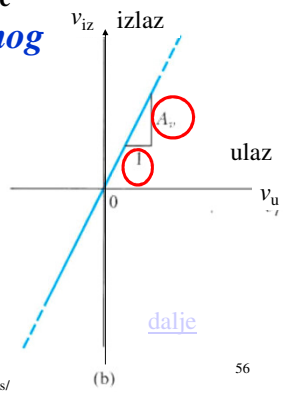
Pojačanje signala

Prenosna karakteristika pojačavača

Prenosna karakteristika predstavlja grafičku interpretaciju zavisnosti izlazne od ulazne veličine

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





dalje

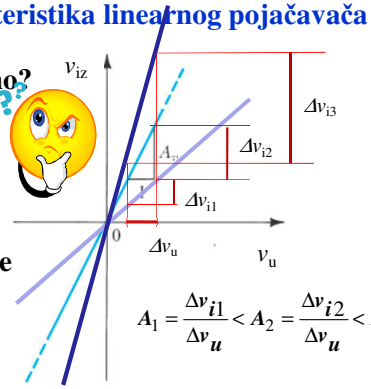
Pojačanje signala

Prenosna karakteristika linearnog pojačavača napona

Zašto je ovo važno?

$$A = \frac{\Delta v_{iz}}{\Delta v_u}$$

Nagib ⇔ Pojačanje



$$A_1 = \frac{\Delta v_{i1}}{\Delta v_u} < A_2 = \frac{\Delta v_{i2}}{\Delta v_u} < A_3 = \frac{\Delta v_{i3}}{\Delta v_u}$$

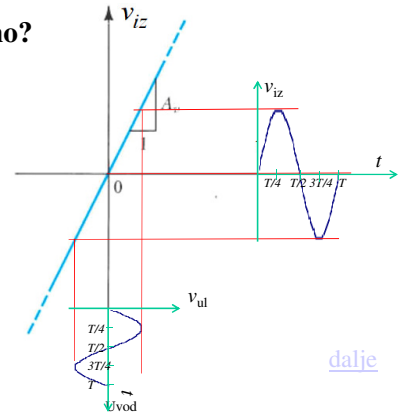
(b)

dalje

Pojačanje signala

Prenosna karakteristika linearnog pojačavača napona

Zašto je ovo važno?

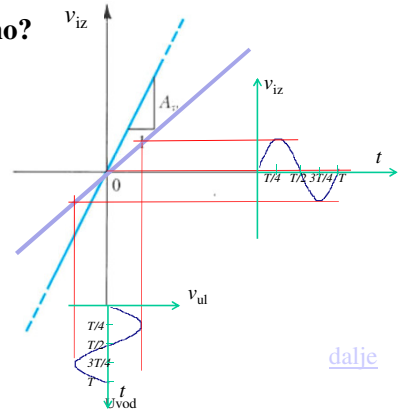


dalje

Pojačanje signala

Prenosna karakteristika linearnog pojačavača napona

Zašto je ovo važno?

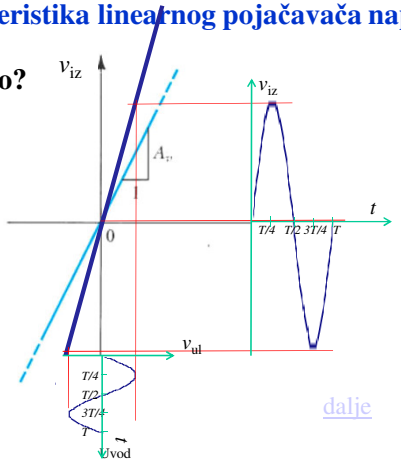


dalje

Pojačanje signala

Prenosna karakteristika linearnog pojačavača napona

Zašto je ovo važno?



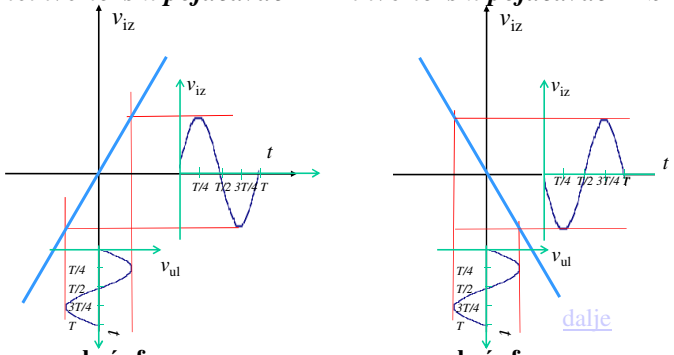
dalje

Pojačanje signala

Prenosna karakteristika **Zašto je ovo važno?**

Talasni oblik napona v_i :

neinvertorski pojačavač ***invertorski pojačavač A<0***



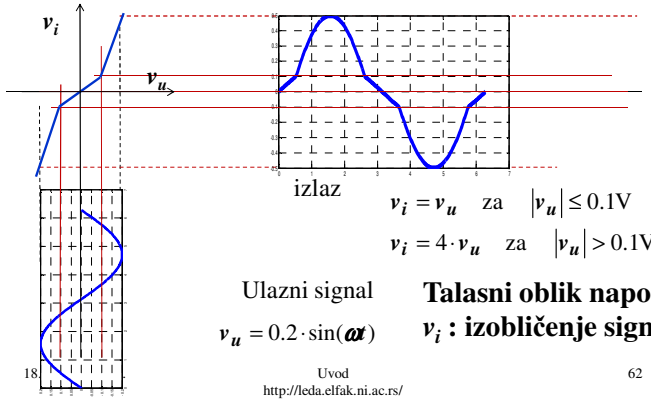
ne obrće fazu **obrće fazu**

dalje

Pojačanje signala

Prenosna karakteristika **Šta ako nije linearna?**





$v_i = v_u$ za $|v_u| \le 0.1V$

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

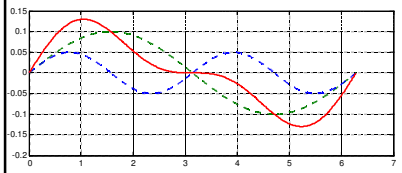
Ulazni signal

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

Talasni oblik napona v_i : izobličenje signala

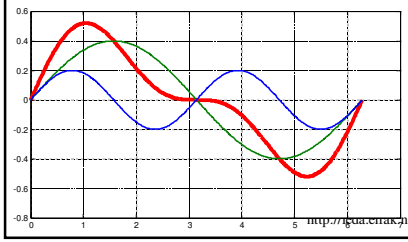
Pojačanje signala

Razmotrimo ponovo primer idealizovanog pojačavača sa A=4 koji treba da pojača *složenoperiodični* signal



Ulazni signal

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



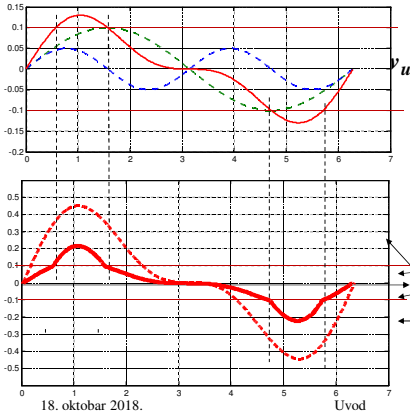
Izlaz

$v_{iz} = A \cdot v_u =$

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

Pojačanje signala

1. Različito pojačanje malih i velikih ulaznih signala



Ulazni signal

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

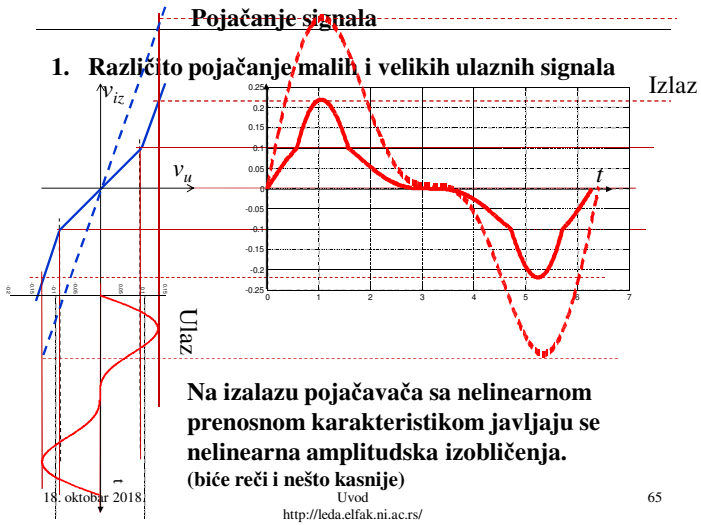
Izlaz

$v_i = v_u$ za $|v_u| \le 0.1V$

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

Pojačanje signala

1. Različito pojačanje malih i velikih ulaznih signala

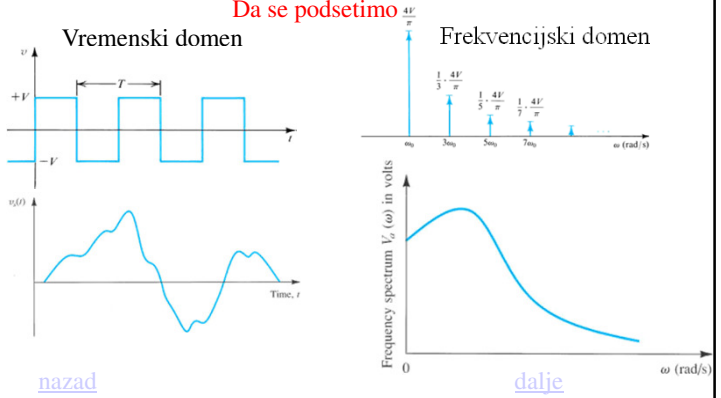


Na izalazu pojačavača sa nelinearnom prenosnom karakteristikom javljaju se nelinearna amplitudska izobličenja.
(biće reči i nešto kasnije)

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno)

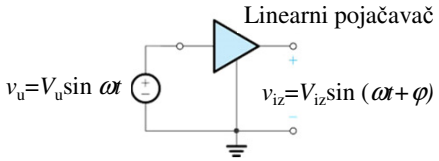
Da se podsetimo



nazad dalje

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno)
Važno je utvrditi kakve osobine mora da ima pojačavač da bi mogao da ispuni tražene zahteve



Na izlazu linearnog pojačavača pobuđenog prostoperiodičnim signalom javlja se signal istog oblika, A puta veće amplitude, iste frekvencije a pomerene faze (kasni).

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno)

Faza se razlikuje ➡ signal *kasni*

***kašnjenje* signala ➡ izlaz *kompleksna* veličina**

***Odakle potiče kompleksni karakter?**

Impedanse reaktivnih elemenata (*L* i *C*) su kompleksne veličine. $(Z_C=1/j\omega C,\ Z_L=j\omega L)$

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno)

Pojačavač bez reaktivnih elemenata ne postoji!

(makar kao parazitni elementi)

Zato su i 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, $T(j\omega)$:

$$V_i(j\omega) = T(j\omega)\cdot V_u(j\omega).$$

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno)

U opštem slučaju to je *kompleksna* veličina definisana *modulom* i *fazom*:

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

$$|T(j\omega)| = \left|\frac{V_i(j\omega)}{V_u(j\omega)}\right|.$$

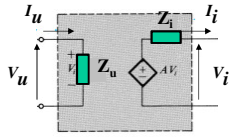
$$\angle T(j\omega) = \varphi(\omega).$$

Pojačanje signala

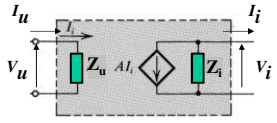
Frekvencijske karakteristike (veoma važno)

Zavisno od tipa signala koji se pojačava $T(j\omega)$, može biti A, A_s, G_m, R_m .

$$T(j\omega) = A(j\omega) = \frac{V_i(j\omega)}{V_u(j\omega)};$$



$$T(j\omega) = A_s(j\omega) = \frac{I_i(j\omega)}{I_u(j\omega)};$$



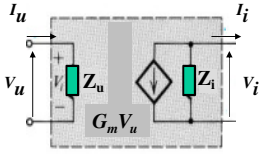
Pojačanje signala

Dodatak

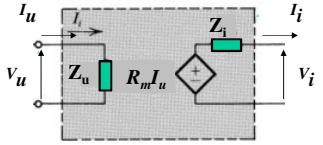
Frekvencijske karakteristike (veoma važno)

Zavisno od tipa signala koji se pojačava $T(j\omega)$, može biti A, A_s, G_m, R_m .

$$T(j\omega) = G_m(j\omega) = \frac{I_i(j\omega)}{V_u(j\omega)};$$



$$T(j\omega) = R_m(j\omega) = \frac{V_i(j\omega)}{I_u(j\omega)};$$



Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno)

***Izlazni signal* = *Odziv* pojačavača na *prostoperiodični* pobudni signal frekvencije ω potpuno je definisan (znaju se njegov moduo i faza) ako je poznato $T(j\omega)$.**

$$V_i(j\omega) = T(j\omega) \cdot V_u(j\omega)$$

Zato je važno znati kako se definišu, a i kako se mere *MODUO* i *FAZA (ARGUMENT)* prenosne funkcije.

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno)
(obnoviti kompleksnu analizu iz matematuke)

***Moduo* prenosne funkcije *meri se* kao odnos amplituda *odziva* (izaz) i *pobude* (ulaz) pojačavača na frekvenciji ω.**

$$|T(j\omega)| = \frac{V_i(\omega)}{V_u(\omega)} = \frac{V_{ieff}(\omega)}{V_{ueff}(\omega)};$$

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno)
(obnoviti kompleksnu analizu iz matematuke)

Po definiciji moduo i faza kompleksnog broja određuju se kao

$$|T(j\omega)| = \sqrt{\mathrm{Re}\{T(j\omega)\}^2 + \mathrm{Im}\{T(j\omega)\}^2} = \sqrt{T(j\omega)\cdot T(-j\omega)};$$

$$\angle T(\omega) = \varphi(\omega) = arctg\left[\frac{\mathrm{Im}\{T(j\omega)\}}{\mathrm{Re}\{T(j\omega)\}}\right].$$

Za *analizu* ponašanja pojačavača u zavisnosti od frekvencije ω pogodniji je drugačiji pristup.

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno)

Prenosna funkcija pojačavača u opštem slučaju može da se prikaže u obliku količnika polinoma po $s=j\omega$:

$$T(s) = \frac{a_0 + a_1 s + a_2 s^2 + \ldots + a_n s^n}{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + \ldots + b_m s^m}$$

ili u faktorisanom obliku:

$$T(s) = \frac{a_n (s - z_1)(s - z_2)\ldots(s - z_n)}{b_m (s - p_1)(s - p_2)\ldots(s - p_m)}$$

z_i **- nule**

p_j **- polovi**

$$T(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$$

Pojačanje signala Dodatak

Frekvencijske karakteristike
(obnoviti kompleksnu analizu iz matematuke)

Moduo količnika polinoma *N(s)* i *D(s)* može se izračunati na osnovu sledećih izraza:

kada je funkcija poznata u obliku

$$T(s)=\frac{a_0+a_1 s+a_2 s^2+\ldots+a_n s^n}{b_0+b_1 s+b_2 s^2+\ldots+b_m s^m}$$

$$|T(s)|=\sqrt{\frac{\mathrm{Re}\{N(s)\}^2+\mathrm{Im}\{N(s)\}^2}{\mathrm{Re}\{D(s)\}^2+\mathrm{Im}\{D(s)\}^2}}$$

ili

kada je funkcija poznata u obliku

$$T(s)=\frac{a_n(s-z_1)(s-z_2)\ldots(s-z_n)}{b_m(s-p_1)(s-p_2)\ldots(s-p_m)}$$

$$|T(j\omega)|=\frac{a_n}{b_m}\sqrt{\frac{\prod_{i=1}^{n}(z_i^2+\omega^2)}{\prod_{i=1}^{m}(p_i^2+\omega^2)}};$$

Pojačanje signala Dodatak

Frekvencijske karakteristike (obnoviti iz matematike)

Faza se može izračunati kao:

$$\varphi=\mathrm{arctg}\left[\frac{\mathrm{Im}\{T(s)\}}{\mathrm{Re}\{T(s)\}}\right]=\mathrm{arctg}\left[\frac{\mathrm{Im}\{N(s)\}}{\mathrm{Re}\{N(s)\}}\right]-\mathrm{arctg}\left[\frac{\mathrm{Im}\{D(s)\}}{\mathrm{Re}\{D(s)\}}\right]$$

$$T(s)=\frac{a_0+a_1 s+a_2 s^2+\ldots+a_n s^n}{b_0+b_1 s+b_2 s^2+\ldots+b_m s^m}$$

ili kao

$$\varphi=\sum_{i=1}^{n}\mathrm{arctg}\left[\frac{\mathrm{Im}\{s-z_i\}}{\mathrm{Re}\{s-z_i\}}\right]-\sum_{i=1}^{m}\mathrm{arctg}\left[\frac{\mathrm{Im}\{s-p_i\}}{\mathrm{Re}\{s-p_i\}}\right].$$

$$T(s)=\frac{a_n(s-z_1)(s-z_2)\ldots(s-z_n)}{b_m(s-p_1)(s-p_2)\ldots(s-p_m)}$$

Pojačanje signala Dodatak

Frekvencijske karakteristike (obnoviti iz matemat



***Primer 2.0*: Odrediti moduo i fazu prenosne funkcije :**

$$T(s)=\frac{4s+s^2}{6+11s+6s^2+s^3}=\frac{s(4+s)}{(1+s)(2+s)(3+s)}$$

Rešenje : $T(j\omega)=\dfrac{-\omega^2+4j\omega}{(6-6\omega^2)+j(11\omega-\omega^3)}$

$$|T(s)|=\sqrt{\frac{\mathrm{Re}\{N(s)\}^2+\mathrm{Im}\{N(s)\}^2}{\mathrm{Re}\{D(s)\}^2+\mathrm{Im}\{D(s)\}^2}}=\sqrt{\frac{[-\omega^2]^2+[4\omega]^2}{[6-6\omega^2]^2+[11\omega-\omega^3]^2}}=\sqrt{\frac{\omega^2[16+\omega^2]}{(36+49\omega^2+14\omega^4+\omega^6)}}=$$

$$=\sqrt{\frac{\omega^2[16+\omega^2]}{(1+\omega^2)(4+\omega^2)(9+\omega^2)}}$$

$$|T(s)|=\frac{a_n}{b_m}\sqrt{\frac{\prod_{i=1}^{n}(z_i^2+\omega^2)}{\prod_{i=1}^{m}(p_i^2+\omega^2)}}=\frac{1}{1}\sqrt{\frac{(0^2+\omega^2)(4^2+\omega^2)}{(1^2+\omega^2)(2^2+\omega^2)(3^2+\omega^2)}}=\sqrt{\frac{\omega^2[16+\omega^2]}{(1+\omega^2)(4+\omega^2)(9+\omega^2)}}$$

Pojačanje signala Dodatak

Frekvencijske karakteristike (obnoviti iz matematike)

***Primer 2.0*: Odrediti moduo i fazu prenosne funkcije :** $T(s)=\dfrac{4s+s^2}{6+11s+6s^2+s^3}=\dfrac{s(4+s)}{(1+s)(2+s)(3+s)}$

Rešenje (faza) : $T(j\omega)=\dfrac{-\omega^2+4j\omega}{(6-6\omega^2)+j(11\omega-\omega^3)}$

$$\varphi=\mathrm{arctg}\left[\frac{\mathrm{Im}\{N(s)\}}{\mathrm{Re}\{N(s)\}}\right]-\mathrm{arctg}\left[\frac{\mathrm{Im}\{D(s)\}}{\mathrm{Re}\{D(s)\}}\right]=\mathrm{arctg}\left[\frac{4\omega}{-\omega^2}\right]-\mathrm{arctg}\left[\frac{(11\omega-\omega^3)}{6-6\omega^2}\right]$$

$$\varphi=\sum_{i=1}^{n}\mathrm{arctg}\left[\frac{\mathrm{Im}\{s-z_i\}}{\mathrm{Re}\{s-z_i\}}\right]-\sum_{i=1}^{n}\mathrm{arctg}\left[\frac{\mathrm{Im}\{s-p_i\}}{\mathrm{Re}\{s-p_i\}}\right]=$$

$$=\mathrm{arctg}\left[\frac{\omega}{0}\right]+\mathrm{arctg}\left[\frac{\omega}{4}\right]-\mathrm{arctg}\left[\frac{\omega}{1}\right]-\mathrm{arctg}\left[\frac{\omega}{2}\right]-\mathrm{arctg}\left[\frac{\omega}{3}\right]=$$

$$=\frac{\pi}{2}+\mathrm{arctg}\left[\frac{\omega}{4}\right]-\mathrm{arctg}\left[\frac{\omega}{1}\right]-\mathrm{arctg}\left[\frac{\omega}{2}\right]-\mathrm{arctg}\left[\frac{\omega}{3}\right]$$

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

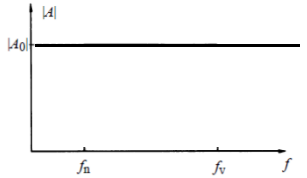
pojačavača

Pojačanje signala

Amplitudska karakteristika (veoma važno)

Najpre ćemo definisati *idealnu* amplitudsku karakteristiku pojačavača i uporediti je sa *realnim* karakteristikama kojima ćemo se baviti kasnije tokom kursa.

Zahtev



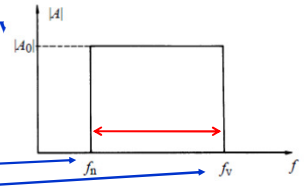
Konstantno pojačanje

To je nerealno

Zahtev: PODJEDNAKO POJAČATI odnosi se na sve *potrebne spektralne* komponente

Pojačanje signala

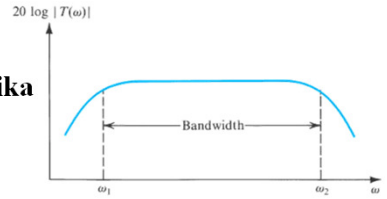
Amplitudska karakteristika (v



Konačni *propusni opseg (Band-Width)* omeđen je graničnim frekvencijama na niskim i visokim frekvencijama

$BW=f_v-f_n$

Amplitudska karakteristika realnog pojačavača*



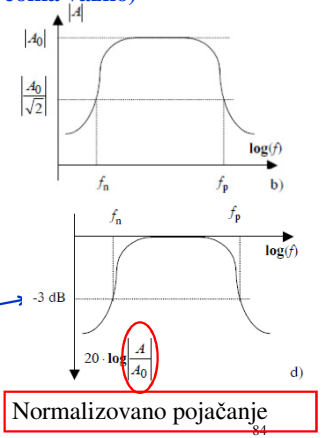
*Zašto?

Pojačanje signala

Amplitudska karakteristika (veoma važno)
Realnog pojačavača

Granice propusnog opsega kod realnih pojačavača određuju se u tačkama u kojima *snaga na izlazu opadne za ½ od nominalne*.

To je ekvivalentno smanjenju *napona/struje na izlazu za $\sqrt{2}$ puta ili 3dB.**

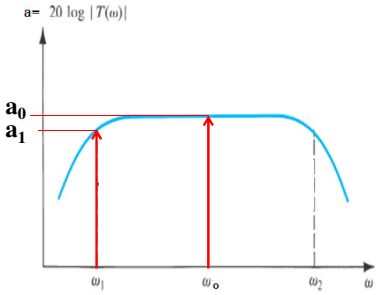


*Zašto?

Normalizovano pojačanje

Pojačanje signala

Amplitudska karakteristika (veoma važno)



Amplitudska karakteristika realnog pojačavača nije konstantna.

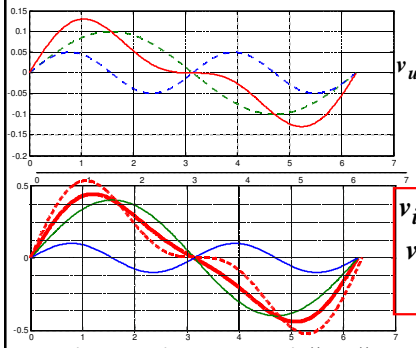
To znači da signali različitih frekvencija neće biti podjednako pojačani.

Posledica?

Linearna amplitudska izobličenja – videti slajd 7

Pojačanje signala

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

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

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

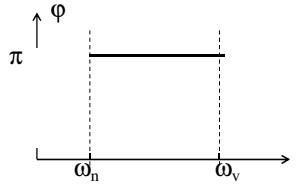
Na izalazu linearnog pojačavača koji različito pojačava signale različitih frekvencija javljaju se linearna amplitudska izobličenja.

Pojačanje signala

Fazna karakteristika (veoma važno)

Idealna **fazna karakteristika pojačavača:**
faza nezavisna od frekvencije – konstantna

Zahtev **Konstantna faza**



To je nerealno

Zahtev: PODJEDNAKO ZAKASNITI odnosi se na sve *potrebne spektralne* komponente

Pojačanje signala

Fazna karakteristika (veoma važno)

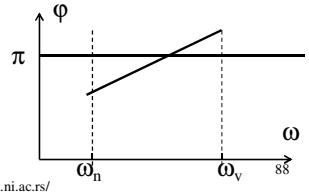
Idealna **fazna karakteristika pojačavača:**
Konstantna faza ALI i LINEARNA zavisnost faze od frekvencije ne unosi fazna izobličenja

$$\varphi(\omega) = \mathrm{k}\cdot\omega;$$

$$v_u(\omega t) = V_{u1}\cdot\cos(\omega t) + V_{u2}\cdot\cos(2\omega t)$$

$$v_i(\omega t) = \mathrm{A}\cdot\left(V_{u1}\cdot\cos(\omega t + \mathrm{k}\cdot\omega) + V_{u2}\cdot\cos(2\omega t + 2\mathrm{k}\cdot\omega)\right) =$$

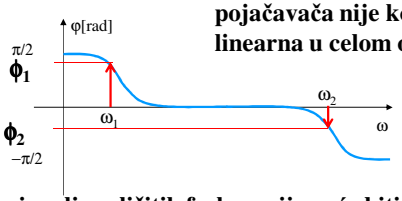
$$= \mathrm{A}\cdot\left(V_{u1}\cdot\cos(\omega t + k\omega) + V_{u2}\cdot\cos 2(\omega t + \mathrm{k}\cdot\omega)\right)$$



Pojačanje signala

Realna fazna karakteristika (važno)

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



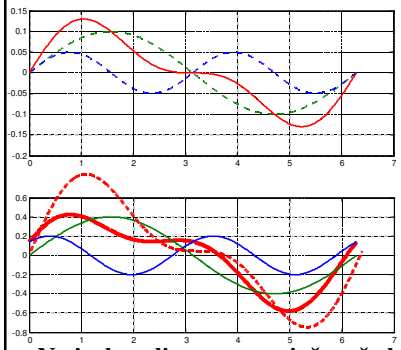
To znači da signali različitih frekvencija neće biti podjednako zakašnjeni.

Posledica?

Linearna fazna izobličenja

Pojačanje signala

Različito kašnjenje na različitim frekvencijama



Ulazni signal

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

Izlazni signal

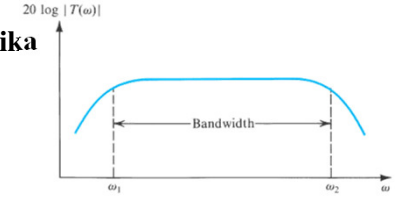
$$v_i = 4 \cdot (v_u(\omega t) + v_u(2\omega t + \pi/4))$$
$$v_i = 4 \cdot (0.1 \cdot \sin(\omega t))$$
$$+ 4 \cdot (0.05 \cdot \sin(2\omega t + \pi/4))$$

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

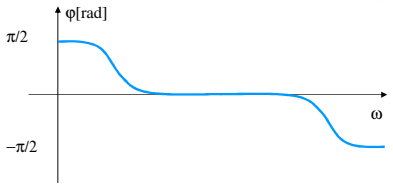
Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

Amplitudska karakteristika



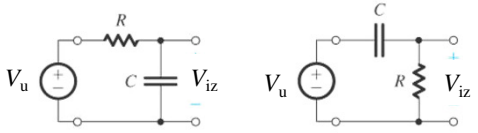
fazna karakteristika



Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike

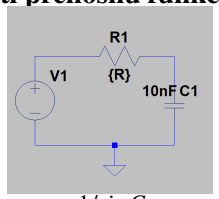
Osnovu za analizu ponašanja pojačavača u prisustvu reaktivnih komponenata predstavlja poznavanje ponašanja pasivnih RC kola.



Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike

***Primer 2.1*: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.**



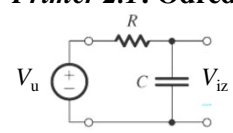
$$V_i(j\omega)=\frac{Z_C}{Z_C+R}V_u(j\omega)=\frac{1/j\omega C}{1/j\omega C+R}V_u(j\omega)=\frac{1}{1+j\omega RC}V_u(j\omega)$$

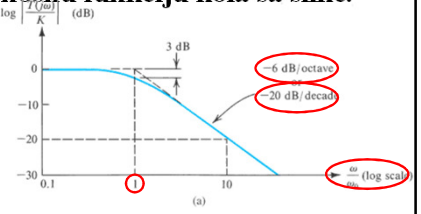
$$T(j\omega)=\frac{V_i(j\omega)}{V_u(j\omega)}=\frac{1}{1+j\omega RC}=\frac{1}{1+(s/\omega_o)}\Bigg|_{\substack{s=j\omega\\ \omega_o=1/\tau=1/RC}}$$

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike

***Primer 2.1*: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.**





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

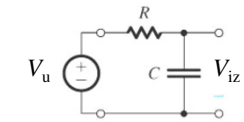
$$|T(s)|=\sqrt{\frac{\mathrm{Re}\{N(s)\}^2+\mathrm{Im}\{N(s)\}^2}{\mathrm{Re}\{D(s)\}^2+\mathrm{Im}\{D(s)\}^2}}=$$

$$20\log|T(s)|=20\log\left[\sqrt{\frac{1}{\{1\}^2+\{\omega/\omega_0\}^2}}\right]\approx-20\log(\omega/\omega_0)\Big|_{\omega_0>>\omega}$$

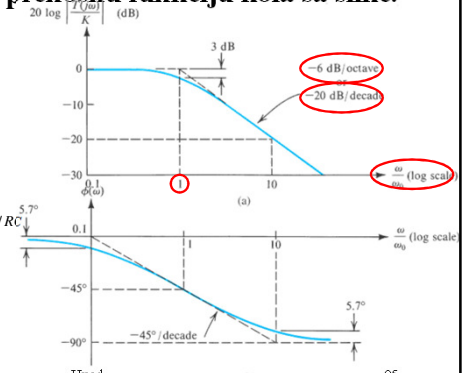
Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike

***Primer 2.1*: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.**



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



Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike

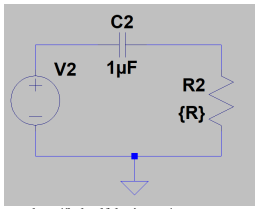
Domaći 2.3

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

Koju funkciju kolo obavlja u frekvencijskom domenu?

Odrediti graničnu frekvenciju.

Koliko iznosi asimptotski nagib amplitudske karakteristike po dekadi i po oktavi?

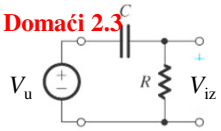


Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike

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

Domaći 2.3



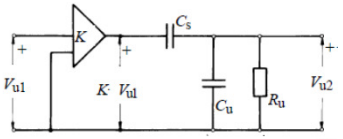
$$T(j\omega)=\left.\frac{s/\omega_o}{1+(s/\omega_o)}\right|_{\substack{s=j\omega\\ \omega_o=1/\tau=1}}$$

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike

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

Za vežbu 2.2



$$A_u=\frac{V_{u2}}{V_{u1}}=K\frac{j\omega R_u C_s}{1+j\omega(R_u C_u+R_u C_s)}$$

(3.1.35)

$$=K\frac{C_s}{C_u+C_s}\frac{j\tau\omega}{1+j\tau\omega}=A_0\frac{j\tau\omega}{1+j\tau\omega}.$$

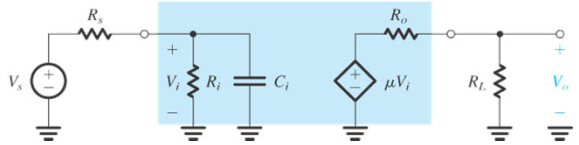
gde je ω kružna frekvencija, $\tau=R_u(C_u+C_s)$, a $A_0=K\cdot C_s/(C_s+C_u)$.

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike

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

Domaći 2.4



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)

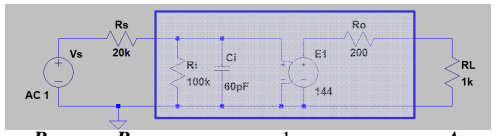
c) Odrediti frekvenciju pri kojoj A padne na 0dB (10⁸ rad/s)

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike

***Primer 2.2*: Odrediti prenosnu funkciju (ukupno naponsko pojačanje) kola sa slike.**

Rešenje:

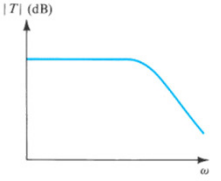


$$A(j\omega)=\mu\cdot\frac{R_i}{R_i+R_s}\cdot\frac{R_L}{R_L+R_o}\cdot\frac{1}{1+sC_i\left[R_sR_i/(R_s+R_i)\right]}=\frac{A_o}{1+s/\omega_0)}$$

$$A_o=\mu\frac{1}{1+(R_s/R_i)}\cdot\frac{1}{1+(R_o/R_L)}$$

$$\tau=C_i\left[R_sR_i/(R_s+R_i)\right]$$

$$\omega_0=1/\tau$$

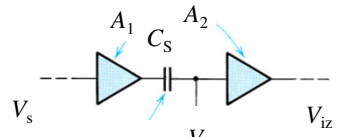


Pojačanje signala



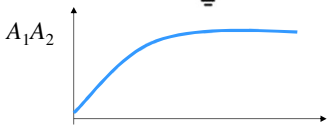
Frekvencijske karakteristike

***Primer 2.3*: Skicirati prenosnu funkciju (ukupno naponsko pojačanje) dvostepenog pojačavača sa slike.**



Kondenzator za spregu

Rešenje:



Šta smo naučili?

- **Razlika između frekvencijskih i prenosne karakteristike pojačavača**
  - **Model idealnih i realnih pojačavača**
  - **Uzroci izobličenja izlaznog signala pojačavača**
  - **Frekvencijske karakteristike pojačavača**

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

> EDUCATION > OSNOVI ELEKTRONIKE

slajdovi u pdf formatu

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. **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)**

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 nastave)	50%	20%
		120%	60%



Savet: Lakše preko kolokvijuma

Dodatak

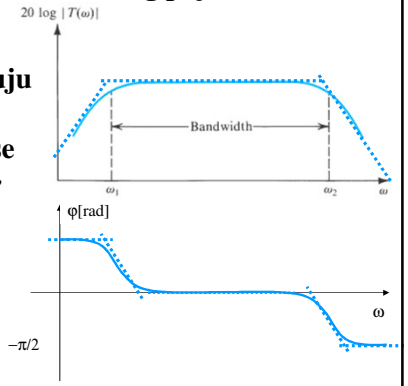
Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

Dijagrami koji pojednostavljeno prikazuju amplitudsku i faznu karakteristiku nazivaju se *asimptotske karakteristike* ili *Bodeovi dijagrami*



Hendrik Wade Bode (1905–1982)



Dodatak

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

H. Bode

Ako su poznate nule i polovi funkcije prenosa, moguće je skicirati *asimptotski oblik* amplitudske i fazne karakteristike.

Za to je najpogodnije da se *T(s)* prikaže u obliku:

$$T(s) = A\frac{(1+s/z_1)(1+s/z_2)\ldots(1+s/z_n)}{(1+s/p_1)(1+s/p_2)\ldots(1+s/p_m)}$$

Dodatak

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

Postupak crtanja biće objašnjen na primeru funkcije

$$T(s)=\frac{10s}{(1+s/10^2)(1+s/10^5)}$$

$$20\log|T(j\omega)|=20\log|10|+20\log|j\omega|-$$
$$-20\log|1+j\omega/10^2|-20\log|1+j\omega/10^5|$$

$$20\log|T(j\omega)|=20\text{dB}+20\log\omega-$$
$$-20\log\sqrt{1+(\omega/10^2)^2}-20\log\sqrt{1+(\omega/10^5)^2}$$

Dodatak

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

Postoje 4 člana u ovoj amplituskoj karakteristici (u dB)

$20\log|T(j\omega)|=$ 20dB + $20\log\omega$ − $20\log\sqrt{1+(\omega/10^2)^2}$ − $20\log\sqrt{1+(\omega/10^5)^2}$

I 20dB konstanta

II $20\log\omega$ prava prolazi kroz 0 za $\omega=1$, nagib 6dB/oct ili 20dB/dec

III $-20\log\sqrt{1+(\omega/10^2)^2}$ za $\omega<<10^2$ $-20\log 1=0$

za $\omega>>10^2$ $-20\log(\omega/10^2)$, 0 za $\omega=10^2$

IV $-20\log\sqrt{1+(\omega/10^5)^2}$ za $\omega<<10^5$ $-20\log 1=0$

za $\omega>>10^5$ $-20\log\omega/10^5$ 0 za $\omega=10^5$

Dodatak

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

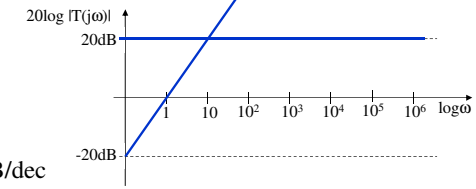
Postoje 4 segmenta asimptotskih pravih u log-log koord.

I 20dB konstanta

II $20\log\omega$

prava prolazi kroz 0 za $\omega=1$,

nagib 6dB/oct ili 20dB/dec



Dokazati 6dB/oct=20dB/dec

Dodatak

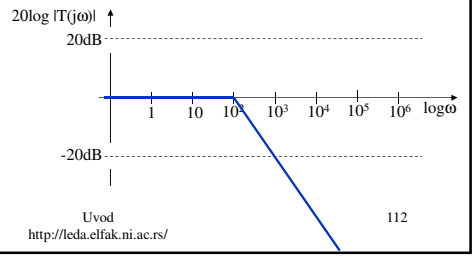
Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

III $-20\log\sqrt{1+(\omega/10^2)^2}$

za $\omega<<10^2$ $-20\log 1=0$

za $\omega>>10^2$ $-20\log(\omega/10^2)$, 0 za $\omega=10^2$



Dodatak

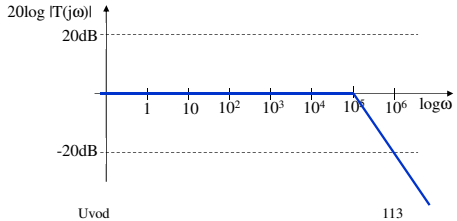
Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

IV $-20\log\sqrt{1+(\omega/10^5)^2}$

za $\omega << 10^5$ $-20\log 1 = 0$

za $\omega >> 10^5$ $-20\log\omega/10^5$ 0 za $\omega = 10^5$

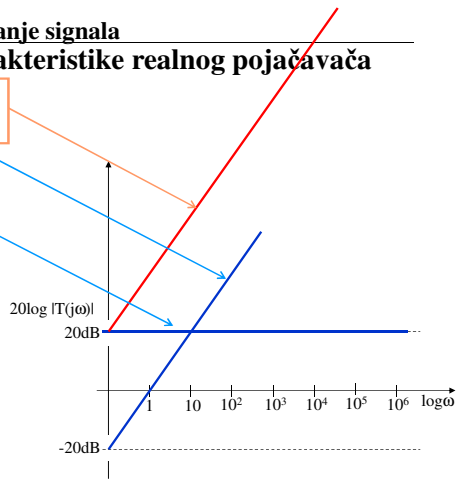


Dodatak

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

$20\text{dB} + 20\log\omega$

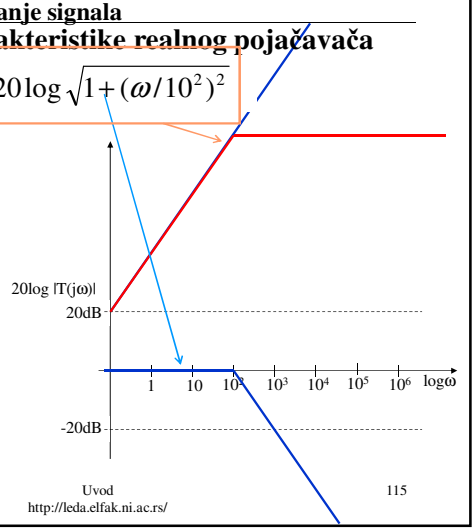


Dodatak

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

$20\text{dB} + 20\log\omega - 20\log\sqrt{1+(\omega/10^2)^2}$

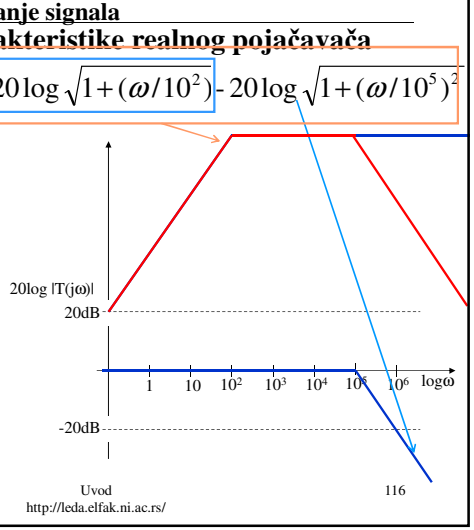


Dodatak

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

$20\text{dB} + 20\log\omega - 20\log\sqrt{1+(\omega/10^2)} - 20\log\sqrt{1+(\omega/10^5)^2}$



Dodatak

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

Postupak crtanja asimptotske *fazne* karakteristike

$$T(s)=\frac{10s}{(1+s/10^2)(1+s/10^5)}$$

$$\varphi=\sum_{i=1}^{n}\operatorname{arctg}\left[\frac{\operatorname{Im}\{s-z_i\}}{\operatorname{Re}\{s-z_i\}}\right]-\sum_{i=1}^{n}\operatorname{arctg}\left[\frac{\operatorname{Im}\{s-p_i\}}{\operatorname{Re}\{s-p_i\}}\right]=$$

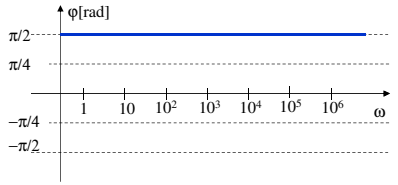
$$=\operatorname{arctg}\left[\frac{\omega}{0}\right]-\operatorname{arctg}\left[\frac{\omega}{10^2}\right]-\operatorname{arctg}\left[\frac{\omega}{10^5}\right]$$

Dodatak

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

I $\operatorname{arctg}\left[\frac{\omega}{0}\right]=\frac{\pi}{2}$



Dodatak

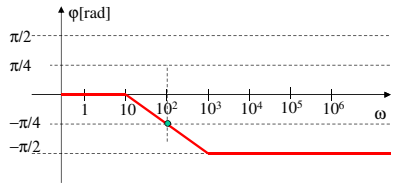
Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

II $-\operatorname{arctg}\left[\frac{\omega}{10^2}\right]$ za $\omega=10^2$ $\varphi=-\operatorname{arctg}[1]=-\frac{\pi}{4}$

za $\omega<<10^2\ (=10^2/10)$ $\varphi=-\operatorname{arctg}[0]=0$

za $\omega>>10^2(=10^2*10)$ $\varphi=-\operatorname{arctg}[\infty]=-\frac{\pi}{2}$



Dodatak

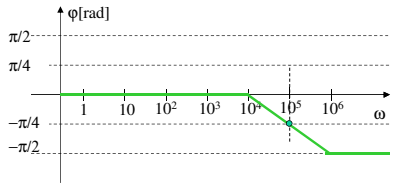
Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

III $-\operatorname{arctg}\left[\frac{\omega}{10^5}\right]$ za $\omega=10^5$ $\varphi=-\operatorname{arctg}[1]=-\frac{\pi}{4}$

za $\omega<<10^5\ (=10^5/10)$ $\varphi=-\operatorname{arctg}[0]=0$

za $\omega>>10^5(=10^5*10)$ $\varphi=-\operatorname{arctg}[\infty]=-\frac{\pi}{2}$

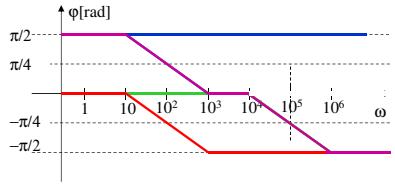


Dodatak

Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

$$\varphi = \text{arctg}\left[\frac{\omega}{0}\right] - \text{arctg}\left[\frac{\omega}{10^2}\right] - \text{arctg}\left[\frac{\omega}{10^5}\right]$$



Sledeće nedelje:

Osnovi pojačavačke tehnike (nastavak)

- **Jednosmerno napajanje i prenosna karakteristika pojačavača**
- **Klasifikscija pojačavača**
- **Operacioni pojačavači (uvod)**

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

> EDUCATION > OSNOVI ELEKTRONIKE

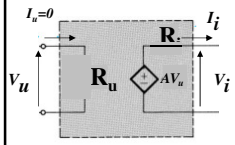
slajdovi u pdf formatu

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača prema tipu signala

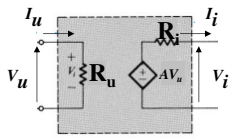
Naponski: V_u ➡ V_i

Idealni



$$A = \frac{V_i}{V_u}\ [\text{V/V}]; \qquad \mathbf{R_u = \infty} \quad \mathbf{R_i = 0}$$

Realni



$$R_u < \infty \quad ; \quad R_i > 0$$

$$A = A_o = \left.\frac{V_i}{V_u}\right|_{I_i=0} \quad [\text{V/V}];$$

Zašto je ovo važno?

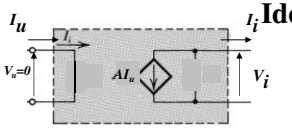


Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača prema tipu signala

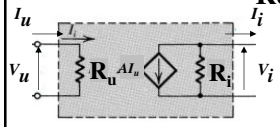
Strujni: I_u ➡ I_i

Idealni



$$A_s = \frac{I_i}{I_u}\ [\text{A/A}]; \qquad \mathbf{R_u = 0} \quad \mathbf{R_i = \infty}$$

Realni



$$R_u > 0 \quad R_i < \infty$$

$$A_s = A_{so} = \left.\frac{I_i}{I_u}\right|_{V_i=0} \quad [\text{A/A}];$$

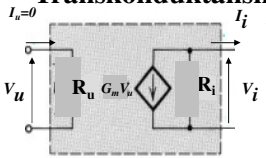
Zašto je ovo važno?



Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača prema tipu signala

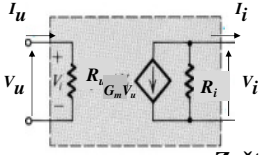
Transkonduktansni: V_u ➡ I_i (napon u struju)



Idealni

$$G_m = \frac{I_i}{V_u} \quad [\text{A/V}] \qquad \mathbf{R_u = \infty} \quad \mathbf{R_i = \infty}$$

Realni



$R_u < \infty \quad R_i < \infty$

$$G_m = G_{m0} = \left.\frac{I_i}{V_u}\right|_{V_i=0} \quad [\text{A/V}];$$

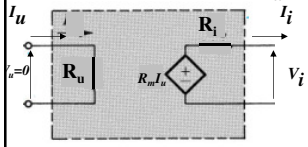
Zašto je ovo važno?



Pojačanje signala Dodatak

Klasifikacija pojačavača prema tipu signala

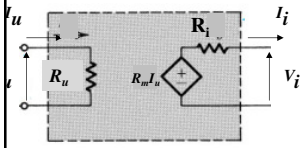
Transrezistansni: I_u ➡ V_i (struja u napon)



Idealni

$$R_m = \frac{V_i}{I_u} \quad [\text{V/A}] \qquad \mathbf{R_u = 0} \quad \mathbf{R_i = 0}$$

Realni



$R_u > 0 \quad R_i > 0$

$$R_m = R_{m0} = \left.\frac{V_i}{I_u}\right|_{I_i=0} \quad [\text{V/A}];$$

Osnovi elektronike

Savet:

2. Zadaci se rade uz papir i olovku!!!

Vežba:

Pročitam zadatak (vežbe/domaći),
rešavam=pišem_na_papiru, ne gledajući rešenje
if OK then „Novi zadatak“;
else
gledam rešenje da vidim gde/zašto grešim;
rešavam ponovo, ne gledajući rešenje;
endif;

Provera:

Ponovi postupak za zadatke sa prethodnih rokova;
ako rešenje nije dobro > pitam asistenta.