

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

U JANUARU OSTALO

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (25.11.2017.)	50%	20%
Kolokvijum II (20.01.2018.)	50%	20%



120% 60%

Savet: Lakše preko kolokvijuma

26. oktobar 2017.

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

1

Šta smo do sada naučili? (Elementarno)

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

26. oktobar 2017.

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

3

Sadržaj

1. Uvod

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

2

Šta smo do sada naučili? (Osnovno)

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

26. oktobar 2017.

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

4

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.

10. oktobar 2017.

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

5

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!!!

26. oktobar 2017.

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

7

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)

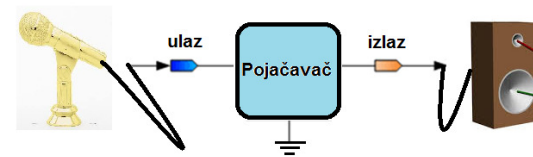
26. oktobar 2017.

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

6

Osnovi elektronike

**Kako se pojačava signal?
Kakvi pojačavači postoje?
Koje su im osobine?**



26. oktobar 2017.

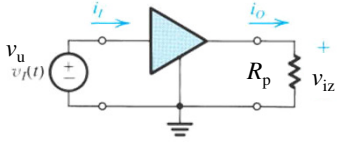
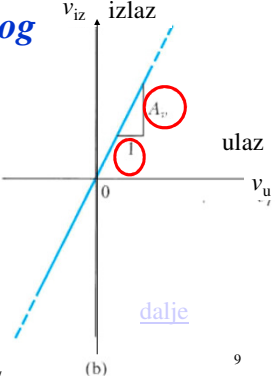
Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

8

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

26. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 9

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

26. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 11

Da se podsetimo: Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike (veoma važno)

Električne veličine na izlazu pojačavača kompleksne (V_b , I_i).

Funkcija koja povezuje izlaznu i ulaznu veličinu i određuje ponašanje odziva na frekvenciji ω zove se **PRENOSNA FUNKCIJA** pojačavača, $T(j\omega)$:

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

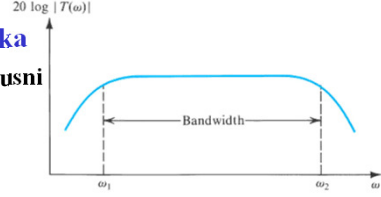
$$T(j\omega) = |T(j\omega)| e^{j\phi(\omega)}$$

26. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 10

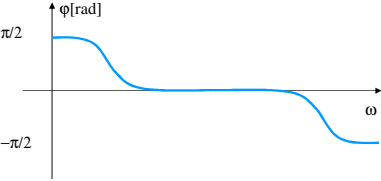
Da se podsetimo: Pojačanje signala

Frekvencijske karakteristike realnog pojačavača

Amplitudska karakteristika
 Šta je i kako se određuje propusni opseg?
 Šta je dekada? Šta je oktava?
 Nagib po dekadi/oktavi?



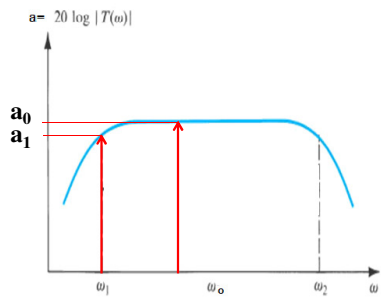
Fazna karakteristika



22. oktobar 2013. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 12

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.

26. oktobar 2017.

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

13

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*)

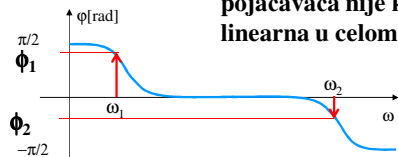
26. oktobar 2017.

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

15

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

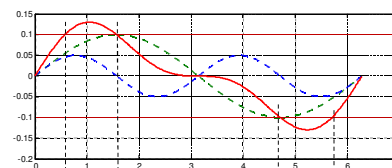
26. oktobar 2017.

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

14

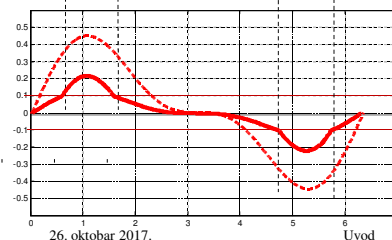
Da se podsetimo: Pojačanje signala

1. Različito pojačanje malih i velikih ulaznih signala



Ulazni signal

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



Izlaz

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


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

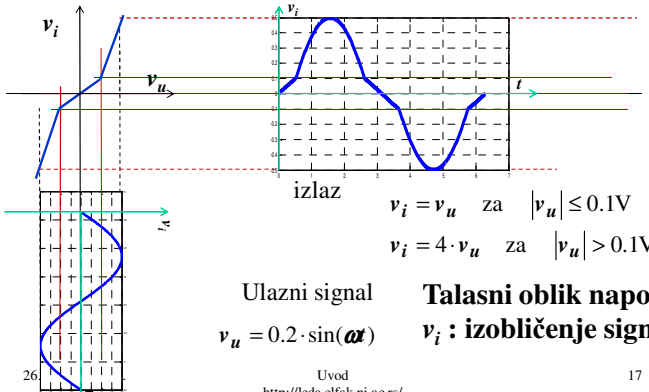
26. oktobar 2017.

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

16

Da se podsetimo: Pojačanje signala

Prenosna karakteristika Šta ako nije linearna? 



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

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

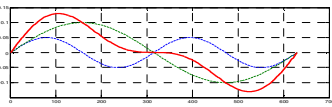
Talasi oblik napona v_i : izobličenje signala

Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 17

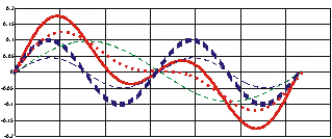
Da se podsetimo: Pojačanje signala

2. Različito pojačanje na različitim frekvencijama

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



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

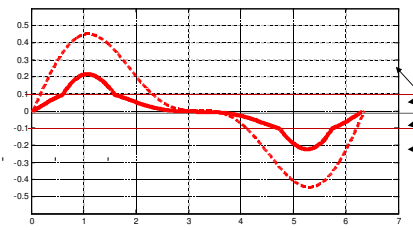


Na izlazu linearnog pojačavača koji različito pojačava signale različitih frekvencija javljaju se linearna amplitudska izobličenja.

26. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 19

Da se podsetimo: Pojačanje signala

1. Različito pojačanje malih i velikih ulaznih signala



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

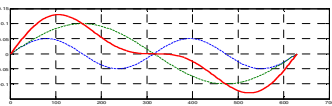
Na izlazu pojačavača koji različito pojačava signale različitih amplituda (ima nelinearnu prenosnu karakteristiku) javljaju se nelinearna amplitudska izobličenja.

26. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 18

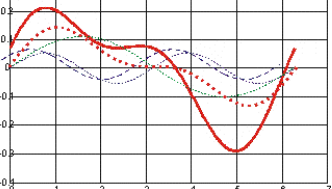
Da se podsetimo: Pojačanje signala

3. Različito kašnjenje na različitim frekvencijama

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




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



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

26. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 20

Da se podsetimo: Pojačanje signala

Uloga pojačavača: Da *pojača* ulazni signal *bez izobličenja*
Kakve karakteristike treba da ima da bi obavio tu ulogu? 

- a) Linearost: 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.

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?



Pojačanje signala



Zašto smo ovo ponavljali? 

ZATO ŠTO JE VAŽNO

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 $A_0=100V/V$, $R_u=10\Omega$ i $R_{iz}=1M\Omega$
- c) preko *baferskog pojačavača* sa $A_0=1$, $R_u=1M\Omega$ i $R_{iz}=10\Omega$


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

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)

26. oktobar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 25

Pojačanje signala

Jednosmerno napajanje pojačavača

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

Uložena energija iz generatora = Potrošena energija

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

$P_{DC} = P_p + P_?$

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

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

Efikasnost – stepen iskorišćenja pojačavača

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

26. oktobar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 27

Pojačanje signala

Napajanje pojačavača – jednosmernim naponom

(a) (b)

26. oktobar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 26

Pojačanje signala

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

Odrediti:

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

26. oktobar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 28

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,

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

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

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



26. oktobar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 29

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

80% snage potroši se van potrošača – na pojačavaču



26. oktobar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 31

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

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

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



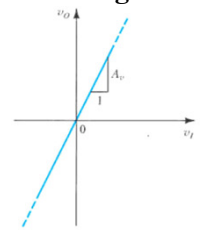
26. oktobar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 30

Pojačanje signala


Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

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

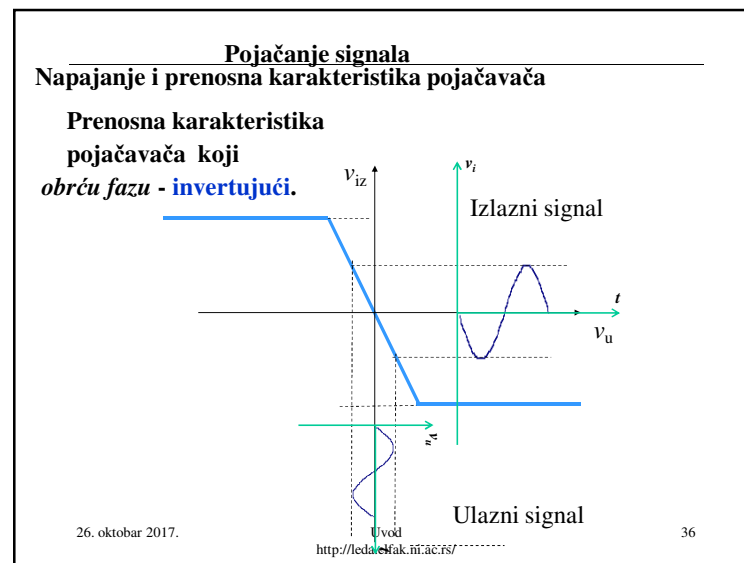
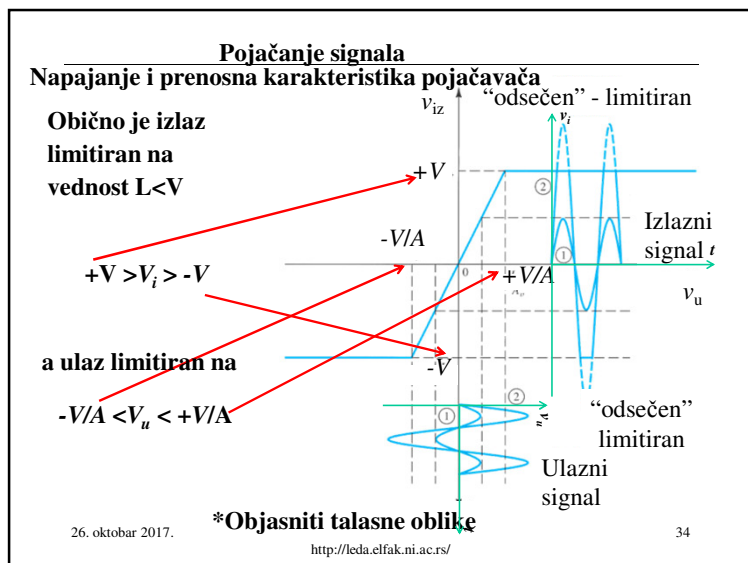
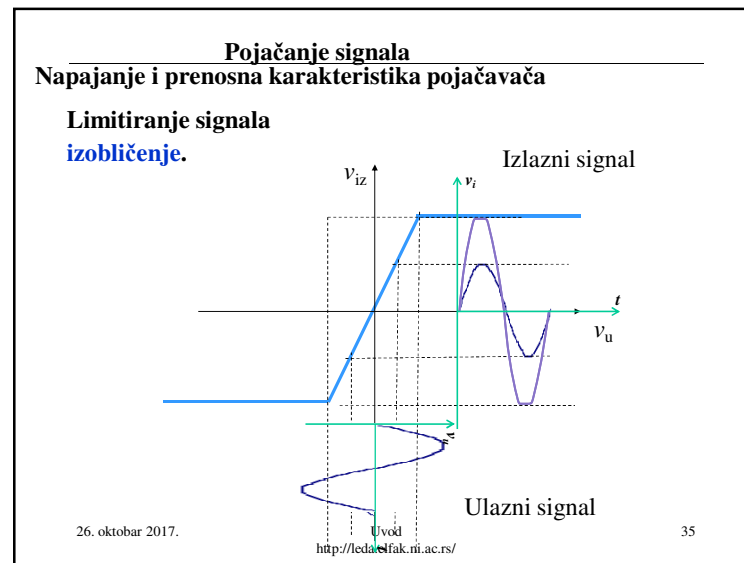
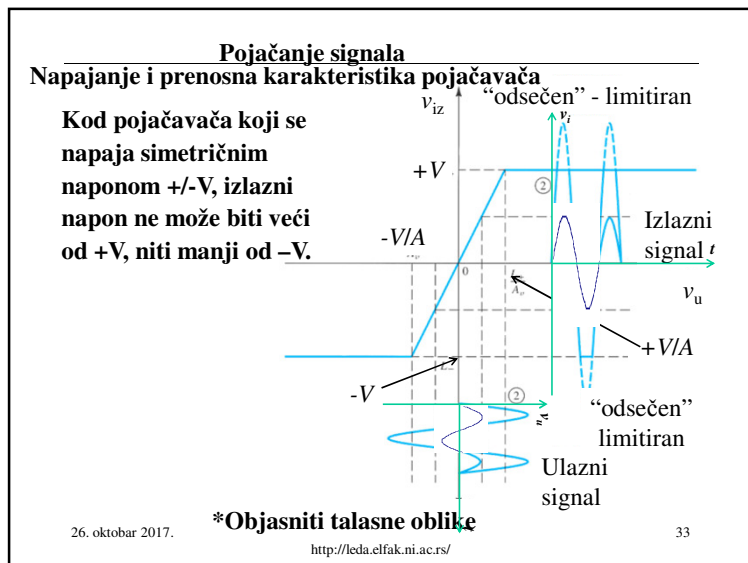
Da nije tako, napon na izlazu rastao bi neograničeno sa porastom ulaznog napona.



(b)



26. oktobar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 32



Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

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

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

26. oktobar 2017. 37

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

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

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

26. oktobar 2017.

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

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

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

26. oktobar 2017. 38

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Sredina prenosne karakteristika više nije u koordinatnom početku

Pretpolarizacija pojačavača
Naponi u odsustvu signala (DC)
Mirna radna tačka M

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

26. oktobar 2017. (b) 40

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Prenosna karakteristika realnih pojačavača je *nelinearna*

$v_i = V_I + v_i(t)$

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

26. oktobar 2017. Uvoa
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 43

Pojačanje signala

Napajanje i prenosna karakteristika pojačavača

Nelinearnost je veća kada je signal veći

i radna tačka dalja od sredine prenosne karakteristike.

Tada je signal više izobličen.

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

26. oktobar 2017. Uvoa
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 43

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.

26. oktobar 2017. Uvoa
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 42

Pojačanje signala

Nelinearna amplitudna izobličenja

Zašto nelinearna izobličenja nisu poželjna?


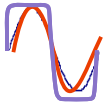
Uticaj na prostoperiodični signal => harmonici

Harmonijska izobličenja

26. oktobar 2017. Uvoa
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 44

Pojačanje signala

Kako odrediti i kvantifikovati izobličenje signala?

26. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 45

Pojačanje signala Dodatak

Uticaj nelinearnih izobličenja na složenoperiodični signal

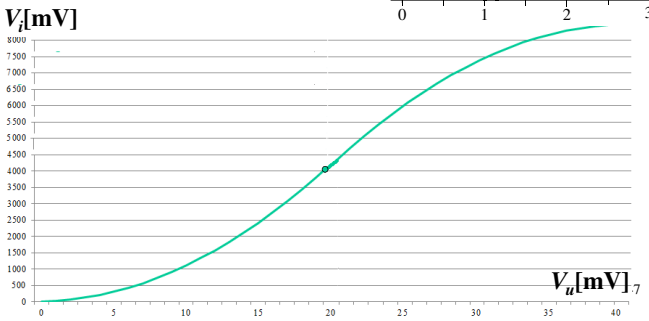
signal

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

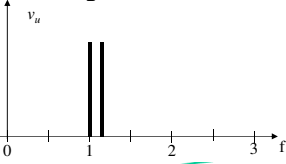
$$\omega_2 = 1.1 \cdot \omega_1$$

$$v_i = V_{IM} + A v_u + A v_u^2$$

V_i [mV]



V_u [mV]



f

26. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 48

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

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

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

gde je V_i efektivna vrednost i -tog harmonika

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

gde je I_i efektivna vrednost i -tog harmonika

26. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 46

Pojačanje signala Dodatak

Uticaj nelinearnih izobličenja na složenoperiodični signal

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

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

$$v_i = V_{IM} + A v_u + A v_u^2$$

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

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

26. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 48

Dodatak

Pojačanje signala

Uticaj nelinearnih izobličenja na složenoperiodični signal

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

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

$$v_i = V_{iM} + A v_u + A v_u^2$$

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

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

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

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

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

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

-20dB Intermodulacione komponente 49

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

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)

28. oktobar 2014. Uvod 51

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

Dodatak

Pojačanje signala

Uticaj nelinearnih izobličenja na složenoperiodični signal

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

To znači da mogu da se jave

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

-20dB 50

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

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

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

26. oktobar 2017. Uvod 52

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

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

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

26. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

- Prema tipu aktivnog elementa

26. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

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

26. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

- Prema konfiguraciji

26. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

- Prema konfiguraciji

ZS

ZG

ZD (a)

26. oktobar 2017. Uvod 57
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

- Prema strukturi (jednostepeni, dvostepeni, višestepeni,

26. oktobar 2017. Uvod 59
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Pojačanje signala

Klasifikacija pojačavača

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

A

B

AB

C

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

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%
Kolokvijum I (25.11.2017.)	50%
Kolokvijum II (20.01.2018.)	50%

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

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

26. oktobar 2017. Uvod 60
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%
Kolokvijum I (25.11.2017.)	50%
Kolokvijum II (20.01.2018.)	50%

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

26. oktobar 2017.

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

61

Šta smo naučili?

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

26. oktobar 2017.

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

63

Osnovi elektronike

Šta smo za ove tri uvodne nedelje naučili?

Samo nabrojite nove pojmove koje ste čuli:

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

Ako možete da ih definišete - možemo dalje.

U suprotnom, biće teže da pratite ono što sledi.

26. oktobar 2017.

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

62

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

26. oktobar 2017.

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

64

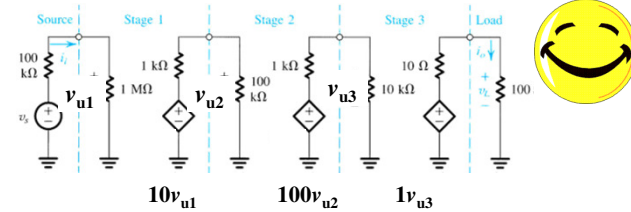
Sledeće nedelje:
Operacioni pojačavači

Na web adresi <http://leda.elfak.ni.ac.rs>
> EDUCATION > OSNOVI ELEKTRONIKE
slajdovi u pdf formatu

26. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 65

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; 66,9 10⁸ W/W; 98,3dB)

26. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 67

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

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

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

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

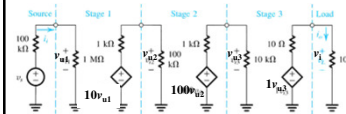
$$P_u = \frac{V_u^2}{R_u}$$

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

$$a_p = 20 \log(A_p) \approx 44dB$$

26. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 66

Rešenje 2.2 Pojačanje signala



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

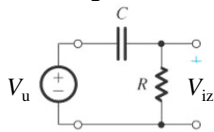
$$A_{p_s} = \frac{P_i}{P_s} = \frac{5.53 \cdot 10^3 \cdot v_s^2}{0.909 \cdot 10^{-6} \cdot v_s^2} = 61 \cdot 10^8 W/W$$

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

26. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 68

Rešenje 2.3 Pojačanje signala

Zadatak: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.



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

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

26. oktobar 2017.

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

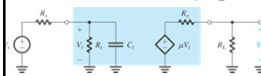
69

Rešenje 2.4 Pojačanje signala

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

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

- a) Odrediti pojačanje pri $\omega=0$ rad/s (jednosmerno) ($A=100$ V/V)
- b) Graničnu frekvenciju (3dB) ($\omega_0=10^6$ rad/s, $f_0=159,2$ kHz)
- c) Odrediti frekvenciju pri kojoj A padne na 0dB (10^8 rad/s)



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

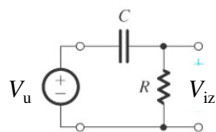
$$\omega_1 = \frac{A_o}{\tau} = A_o \cdot \omega_{3dB} = 100 \cdot 10^6 \text{ rad/s} = 10^8 \text{ rad/s}$$

26. oktobar 2017.

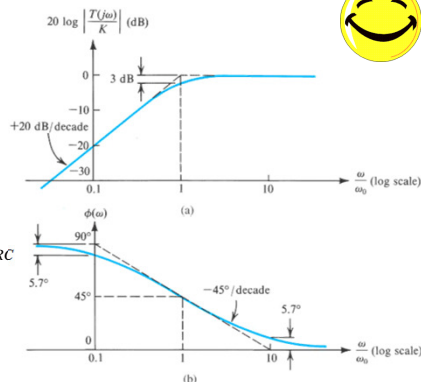
Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/

Rešenje 2.3 Pojačanje signala

Zadatak: Odrediti prenosnu funkciju kola sa slike.



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



26. oktobar 2017.

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

70