

Dobrodošli na drugu godinu studija

Osnovi elektronike

Prof. dr Predrag Petković, red. prof.
M.S. Dejan Mirković, asistent (tabla)
dr Srđan Đorđević, asistent (lab)
dr Marko Dimitrijević, docent (lab)

12. oktobar 2017.

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

1

Osnovi elektronike Literatura:

Основна литература:

1. В. Литовски, *Основи електронике*, Академска мисао, 2006, ISBN: 86-7466-227-7
2. В. Павловић, et. al., *Практикум лабораторијских вежби из Основа електронике*, Електронски факултет Ниш, 2011.
3. Презентација са предавања
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/?page=education/elektronika/elektronika.htm>

12. oktobar 2017.

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

2

Osnovi elektronike Literatura:

Додатна литература:

1. A. Sedra, K. Smith, *Microelectronic Circuits*, Oxford University Press, New York, Oxford 2004, ISBN 0-19-514252-7.
2. T.Schubert, E.Kim, *Active Non-Linear Electronics*, Wiley, New York, 1996.

12. oktobar 2017.

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

3

Osnovi elektronike Predispitne obaveze:

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

Ispit:

Zadaci	20%
Teorija	20%

Bez 15% predispitnih – NE MOŽE DA SE POLOŽI? čak i ako se uradi ispit za 10 (sa 100%)



12. oktobar 2017.


Uvod
<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.)	20%
Kolokvijum II (20.01.2018.)	20%


U januarskom roku

Kolokvijumi se boduju sa po 50% 

Ukupan skor u januaru može biti 120% pre ispita

12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 5

Osnovi elektronike

Statistika: 

Godina	slušalo	Položilo januara	Prijavilo do oktobra	Izašlo do oktobra	Položilo do oktobra
2014/15	57	27 (47%)	18	11	3
2015/16	45+4	38 (84%)	2	0	0

Redovnost:

Nastava	10%
Laboratorija	10%

U januarskom roku Kolokvijumi se boduju sa po 50%

ALI

12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 6

Osnovi elektronike

To nije sve

U ovom trenutku

Svi danas imate desetke sa 120%

ALI...

12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 7

Osnovi elektronike

Svi danas imate desetke sa 120%

Nedolaskom na nastavu gubite svake nedelje po $(10\%)/14=0.72\%$

Neblagovremeno odbranjena lab. vežba, odbija se po $(10\%)/6=1.66\%$

Svaki neurađeni zadatak na kolokvijumu odbija se $(25\%)/2=12.5\%$

Pogrešan odgovor na testu odbija se oko $(25\%)/6=4.17\%$

Procenat	120-95	94-85	84-75	74-65	64-55
Oцена u januaru	10	9	8	7	6

12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 8

Osnovi elektronike

Da li postoji igde bolja ponuda?

To nije sve



Kolokvijumi i ispit imaju dva dela: Zadaci + Teorija

Za oba postoji jasan prag za prolaznu ocenu.

Za zadatke to je rešavanje zadataka poznatih sa predavanja ili vežbi (identični)

Za teoriju odgovori na pitanja:

elementarna = broju nastavnih nedelja (14)

obavezna = broju časova (42)

12. oktobar 2017.

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

9

Osnovi elektronike

Praktično:

Zadaci:

50% zadataka su poznati sa domaćih ili vežbi – identični (1/2)

Na ispitu 2 poznata (1/2) za 6
 1 sličan onome što je rađeno na vežbama, za 7-8
 1 potpuno nov, za 9-10

Teorija: elementarna+obavezna pitanja za 6
 ispitna pitanja (3 po času <126) za 7-10

12. oktobar 2017.

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

10

Osnovi elektronike

Svako predavanje završava se slajdovima na kojima su navedeni:

Elementarno pitanje

Tri Osnovna pitanja

Do devet ispitnih pitanja

Po završetku svih predavanja spisak svih pitanja biće dostupan na sajtu leda.elfak.ni.ac.rs

12. oktobar 2017.

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

11

Osnovi elektronike



12. oktobar 2017.

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

12

Osnovi elektronike

Konsultacije:

utorak, sreda, petak 11-12h kabinet 207
najbolje da se najavite preko web sajta
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> „pitanja profesoru“
ili preko e-mail adrese: predrag.petkovic@elfak.ni.ac.rs

sa asistentima – prema dogovoru sa njima

12. oktobar 2017.

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

13

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

	U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (prva nedelja u decembru)	50%	20%
Kolokvijum II (poslednja nedelja predavanja)	50%	20%

120% 60%



**Ukupan skor u januaru može biti
120% PRE ISPITA**

**Savet: Izadite na kolokvijum
MNOOOOGO JE LAKŠE!**

12. oktobar 2017.

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

14

Osnovi elektronike

**Predavanja prate „Case study“
pristup - Analiza slučaja:**

„Pravimo“ audio pojačavač

12. oktobar 2017.

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

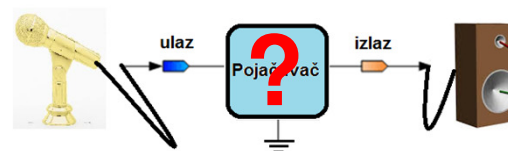
15

Osnovi elektronike

Šta će nam elektronika?

Prva asocijacija

Audio pojačavač?



12. oktobar 2017.

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

16

Osnovi elektronike

Mikrofon?



TOA DYNAMIC MICROPHONE DM-320 AS

DESCRIPTION
The DM-320 AS is a moving coil type microphone featuring high intelligibility suitable for vocal application

SPECIFICATION

Type	Moving coil microphone
Directivity	Unidirectional
Rated Impedance	600 ohms, balanced
Rated Sensitivity	-55 dB (1kHz, 0dB = 1 V/Pa)
Frequency Response	100 Hz - 12 kHz
Connection Cable	Separate type
Cable length	7.5 m
Connector	XLR-3 type
Talk Switch	Short-off, slide switch
Finish	Body : Die-cast aluminium, dark grey Head : Die-cast aluminium/zinc-plated steel wire, dark grey
Dimensions	∅52 X 183 mm (microphone body)
Weight	300 g (without connection cable)
Accessories	Microphone holder (W 5/16" 18 thread)

APPEARANCE



12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 17

Osnovi elektronike

TOA DYNAMIC MICROPHONE DM-320 AS

DESCRIPTION
The DM-320 AS is a moving coil type microphone featuring high intelligibility suitable for vocal application

SPECIFICATION

Type	Moving coil microphone
Directivity	Unidirectional
Rated Impedance	600 ohms, balanced
Rated Sensitivity	-55 dB (1kHz, 0dB = 1 V/Pa)
Frequency Response	100 Hz - 12 kHz
Connection Cable	Separate type
Cable length	7.5 m
Connector	XLR-3 type
Talk Switch	Short-off, slide switch
Finish	Body : Die-cast aluminium, dark grey Head : Die-cast aluminium/zinc-plated steel wire, dark grey
Dimensions	∅52 X 183 mm (microphone body)
Weight	300 g (without connection cable)
Accessories	Microphone holder (W 5/16" 18 thread)

600 ohms Zašto je ovo važno?

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

Osnovi elektronike


TOA DYNAMIC MICROPHONE DM-320 AS

DESCRIPTION
The DM-320 AS is a moving coil type microphone featuring high intelligibility suitable for vocal application

SPECIFICATION


Type	Moving coil microphone
Directivity	Unidirectional
Rated Impedance	600 ohms, balanced
Rated Sensitivity	-55 dB (1kHz, 0dB = 1 V/Pa)
Frequency Response	100 Hz - 12 kHz
Connection Cable	Separate type
Cable length	7.5 m
Connector	XLR-3 type
Talk Switch	Short-off, slide switch
Finish	Body : Die-cast aluminium, dark grey Head : Die-cast aluminium/zinc-plated steel wire, dark grey
Dimensions	∅52 X 183 mm (microphone body)
Weight	300 g (without connection cable)
Accessories	Microphone holder (W 5/16" 18 thread)

-55dB (1kHz; 0dB=1V/Pa) ?



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

Osnovi elektronike

-55dB (1kHz; 0dB=1V/Pa) ? 

dB – decibel NOVI POJAM!?
20 x logaritam (osnove 10) odnosa dve istorodne veličine (napon/napon)

Šta ovaj podatak znači?

Iz njega treba izračunati koliki napon se generiše na izlazu zvučnika, kada se pobudi pritiskom od 1Pa.

Kako?

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

Osnovi elektronike

-55dB (1kHz; 0dB=1V/Pa) ? 🤔

20log(V_x/V_n) za V_n=1V koliko je V_x =-55dB u voltima?


20log(V_x/1) =-55dB
log(V_x/1)= log(V_x)= -55/20=-2.75
V_x=10^{-2.75}=0.001778V=1.778mV

Znači, pobuđen pritiskom od 1Pa, generisaće napon od 1,778mV.

12. oktobar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 21

Osnovi elektronike

850108 5.5" CSC-X Woofer

Zvučnik? 

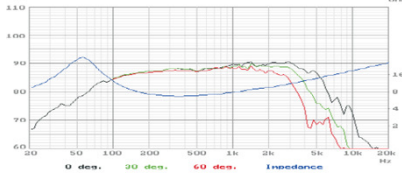
- Poly "Sandwich" cone
- Rubber surround
- Stamped frame
- Short circuiting ring
- 26mm Ø voice coil
- Good sealed or vented
- 145mm Ø flange
- 117mm Ø cut out
- 63.5mm depth

Z_{nom}=8 ohm

Znom	8 ohm	Sd	91 cm ²
Re	8.1 ohm	BL	6.6 N/A
Le	0.9 mH	Vas	12.5 ltrs
fs	47.1 Hz	Xmax	4.5 mm peak
Qms	1.82	Sensitivity	2.83V / 1m 87.5 dB
Qes	0.43	Longterm Max	
Qts	0.35	System Power	110 W
Mms	10.4 g	Magnet weight	8.7 kg
Cms	1.09 mm/N		

System Power=110W

Zašto su ovi podaci važni? 🤔



12. oktobar 2017.

Osnovi elektronike

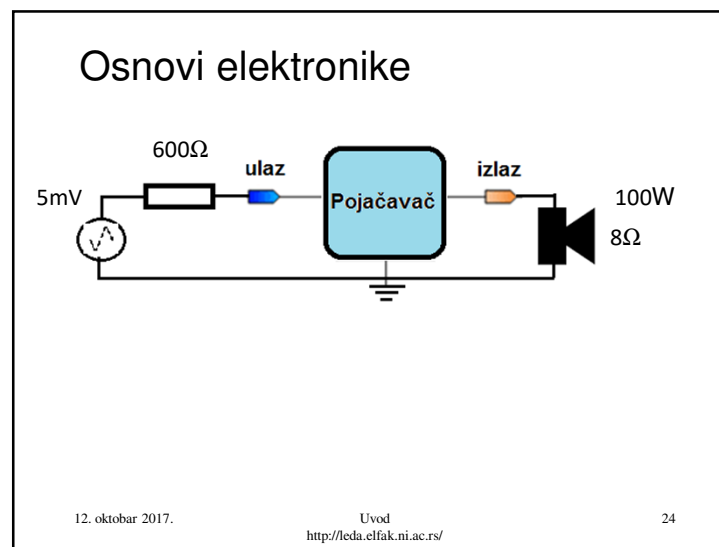
Treba izračunati koliki je napon potreban da bi se obezbedila potrebna snaga na zvučniku. Snaga na otporniku ? 🤔

P= V*I
P=V*(V/R)=V²/R

R=8ohm; P=110W
V=?
V²=P*R=880 **V = √880 = 29.66V**

Koliki napon treba da bismo imali 10W? (8.9V)

12. oktobar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 23



Osnovi elektronike

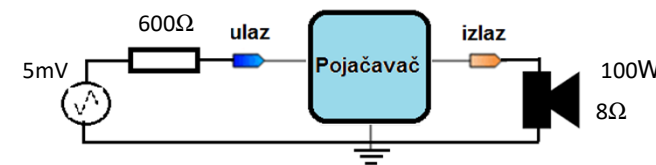
Čemu služi pojačavač?



12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 25

Osnovi elektronike

Da pojača ulazni signal.
Zašto?
Da bismo dobili željeni signal na izlazu.
Da li je samo važno pojačanje?
Ne! (primer – audio klip)
Trebalo da pojača **BEZ** izobličenja!



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

Osnovi elektronike

Čemu služi pojačavač?



Da dobijemo potreban napon na potrošaču (zvučniku)
KAKO i ZAŠTO?

12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 27

Pojačanje signala

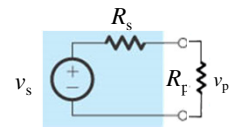
Primer 1.1: Mikrofon koji daje na izlazu napon efektivne vrednosti od 10mV i ima izlaznu otpornost od 600Ω treba priključiti na potrošač od 8Ω. Izračunati naponsko i pojačanje snage kada se priključi:

- direktno
- preko pojačavača koji daje 100 puta veći napon na izlazu ($A_o=100V/V$), sa $R_u=10\Omega$ i $R_{iz}=1M\Omega$
- preko *baferskog pojačavača* koji ima $A_o=1$, $R_u=1M\Omega$ i $R_{iz}=10\Omega$
- preko pojačavača koji daje 100 puta veći napon na izlazu ($A_o=100V/V$), sa $R_u=1M\Omega$ i $R_{iz}=10\Omega$

12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 28

Pojačanje signala

a) direktno



$$v_p = \frac{R_p}{R_s + R_p} v_s \text{ za } R_s \gg R_p \approx \frac{R_p}{R_s} v_s$$

$$= \frac{8}{600} 10\text{mV} = 0.13\text{mV} \quad \text{Signal mnogo oslabljen!}$$

$$A = \frac{v_p}{v_s} = \frac{0.13\text{mV}}{10\text{mV}} = 0.013 \text{ V/V}$$

Šta je sa snagom?

na ulazu $P_s = v_s \cdot i_s = v_s \cdot \frac{v_s}{R_s + R_p} = \frac{(10 \cdot 10^{-3})^2}{608} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{608} = 1.64 \cdot 10^{-7} = 164\text{nW}$

na izlazu $P_p = \frac{v_p^2}{R_p} = \frac{(0.13 \cdot 10^{-3})^2}{8} = \frac{1.69 \cdot 10^{-8}}{8} = 2.11 \cdot 10^{-9} \text{W} \approx 2\text{nW}$

pojačanje $A_p = \frac{P_p}{P_s} = \frac{2\text{nW}}{164\text{nW}} = 12.2 \cdot 10^{-3} \text{ W/W}$

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 29

Pojačanje signala

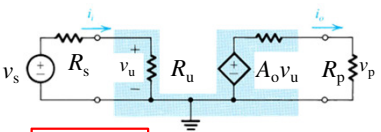
Primer 1.1: Mikrofon koji daje na izlazu napon efektivne vrednosti od 10mV i ima izlaznu otpornost od 600Ω treba priključiti na potrošač od 8Ω. Izračunati naponsko i pojačanje snage kada se priključi:

b) preko pojačavača koji daje 100 puta veći napon na izlazu $A_o=100\text{V/V}$, $R_u=10\Omega$ i $R_{iz}=1\text{M}\Omega$

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 30

Pojačanje signala

b) preko pojačavača ($A_o=100$, $R_u=10\Omega$ i $R_{iz}=1\text{M}\Omega$)



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

$$v_p = \frac{10}{1,000,000 + 8} \cdot 100 \cdot \frac{8000}{600 + 10} \cdot v_s \approx \frac{8000}{610 \cdot 10^6} v_s = 13.1\mu\text{V}$$

$$A = \frac{v_p}{v_s} = \frac{13.1\mu\text{V}}{10\text{mV}} = 0.00131 \text{ [V/V]}$$

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

Šta je sa snagom?

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

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

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

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 31

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:

c) preko **baferskog pojačavača** koji ima $A_o=1$, $R_u=1\text{M}\Omega$ i $R_{iz}=10\Omega$

Pojačanje mu je 1!!!
Šta to znači?
On ne pojačava – ali ga i ne slabi!!!

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 32

Pojačanje signala

c) preko baferskog pojačavača ($A_o=1$, $R_u=1\text{M}\Omega$ i $R_{iz}=10\Omega$)

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

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

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

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

Šta je sa snagom?

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

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?

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 33

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:

d) preko pojačavača koji daje 100 puta veći napon na izlazu ($A_o=100\text{V/V}$), sa $R_u=1\text{M}\Omega$ i $R_{iz}=10\Omega$

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 34

Pojačanje signala

d) preko pojačavača ($A_o=100$, $R_u=1\text{M}\Omega$ i $R_{iz}=10\Omega$)

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

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

$$v_p = \frac{8}{10+8} \cdot 100 \cdot \frac{1,000,000}{600+1,000,000} \cdot 10\text{mV} = \frac{8}{18} \cdot \frac{1,000,000}{1,000,600} \cdot 10\text{mV} = 444\text{mV}$$

$$A = \frac{v_p}{v_s} = \frac{444\text{mV}}{10\text{mV}} = 44.4 \text{ [V/V]} \text{ Napon oslabljen, samo 44\% od } v_s$$

Šta je sa snagom?

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

na izlazu $P_p = \frac{v_p^2}{R_p} = \frac{(444\text{mV})^2}{8\Omega} = 24.6\text{mW}$

Pojačanje snage $A_p = \frac{P_p}{P_s} = \frac{24.6\text{mW}}{10\text{pW}} = 2.42 \cdot 10^6 \text{ [W/W]}$

Zašto? Kako?

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 35

Osnovi elektronike

Čemu služi pojačavač?

Da dobijemo potreban napon na potrošaču (zvučniku)

KAKO RADI?

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 36

Sadržaj

1. Uvod (Osnovi pojačavačke tehnike)
2. Operacioni pojačavači
3. Realni pojačavači
4. Pojačavači sa povratnom spregom
5. Oscilatori
6. Pojačavači velikih signala
7. Usmeraći i stabilizatori
8. Šumovi

12. oktobar 2017.

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

37

Sadržaj

1. Uvod
 - a. Definicija pojačanja
 - b. Osobine pojačavača
 - c. Simbol pojačavača
 - d. Modeli pojačavača
 - e. Klasifikacija pojačavača prema tipu signala
 - f. Frekvencijske karakteristike
 - g. Polarizacija
 - h. Prenosna karakteristika

12. oktobar 2017.

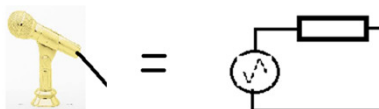
Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

38

Pojačanje signala

Mikrofon konvertuje zvučni signal u električni
(transduseri - *transducers*)

Za nas je to **IZVOR SIGNALA**



12. oktobar 2017.

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

39

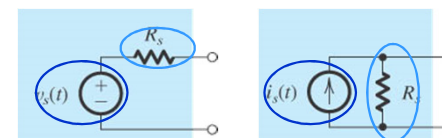
Pojačanje signala

Signal dolazi iz izvora – *generatora signala* koji mogu da se predstavljaju kao

generator napona generator struje

Svaki realni generator električnog signala može se predstaviti ekvivalentnim

naponskim (Thevenen) **ili** strujnim (Norton) generatorom.



Realni generator = idealni + unutrašnja otpornost

12. oktobar 2017.

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

40

Pojačanje signala

Koliki su napon i struja na izlazu generatora sa slike ako su krajevi otvoreni?

(a) $v_{io}(t) = v_s(t)$
 $i_{io}(t) = 0$

(b) $v_{io}(t) = R_s \cdot i_s(t)$
 $i_{io}(t) = 0$

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 41

Pojačanje signala

Koliki su napon i struja na izlazu generatora sa slike ako su krajevi kratkospojeni?

(a) $v_{ik}(t) = 0$
 $i_{ik}(t) = \frac{v_s(t)}{R_s}$

(b) $v_{ik}(t) = 0$
 $i_{ik}(t) = i_s(t)$

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 42

Pojačanje signala

Primer 1.2: Merenjem je utvrđeno da je napon praznog hoda generatora $v_{io}=10\text{mV}$ i da je struja kratkog spoja $i_{ik}=10\mu\text{A}$.

Odrediti vrednosti parametara modela ekvivalentnog Tevenenovog generatora.

(a) $v_s - R_s i_{io} - v_{io} = 0$
 $v_s - v_{io} = 0$
 $v_s = v_{io} = 10\text{mV}$

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 43

Pojačanje signala

Primer 1.2: Merenjem je utvrđeno da je napon praznog hoda generatora $v_{io}=10\text{mV}$ i da je struja kratkog spoja $i_{ik}=10\mu\text{A}$.

Odrediti vrednosti parametara modela ekvivalentnog Tevenenovog generatora.

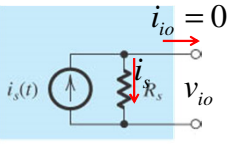
$v_s - R_s i_{ik} - v_{ik} = 0$
 $v_s - R_s i_{ik} = 0$
 $R_s = \frac{v_s(t)}{i_{ik}(t)} = \frac{v_{io}(t)}{i_{ik}(t)} = \frac{10\text{mV}}{10\mu\text{A}} = 1\text{k}\Omega$

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 44

Pojačanje signala

Primer 1.3: Merenjem je utvrđeno da je napon praznog hoda generatora $v_{io}=10\text{mV}$ i da je struja kratkog spoja $i_{ik}=10\mu\text{A}$.

Odrediti vrednosti parametara modela ekvivalentnog Nortonovog generatora.



$$R_s i_s - v_{io} = 0$$

$$R_s = \frac{v_{io}(t)}{i_s(t)} = \frac{10\text{mV}}{10\mu\text{A}} = 1\text{k}\Omega$$

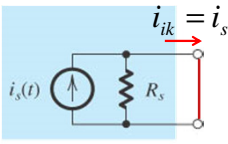
(b)

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

Pojačanje signala

Primer 1.3: Merenjem je utvrđeno da je napon praznog hoda generatora $v_{io}=10\text{mV}$ i da je struja kratkog spoja $i_{ik}=10\mu\text{A}$.

Odrediti vrednosti parametara modela ekvivalentnog Nortonovog generatora.



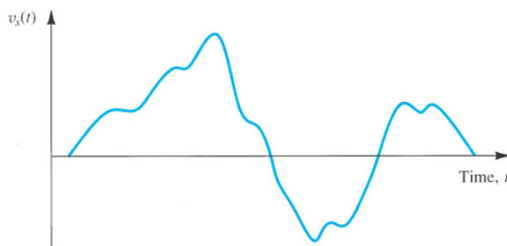
$$i_s = i_{ik} = 10\mu\text{A}$$

(b)

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

Pojačanje signala

Kako izgleda proizvoljni električni signal?




Promenljiv i nepredvidljiv u vremenu

12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 47


Pojačanje signala

Teško je obrađivati ovakav signal u vremenskom domenu, još teže je projektovati kolo koje će to da radi.

Može li drugačije? Kako?



Jean Baptiste Joseph Fourier
(1768 –1830)



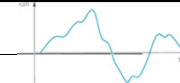
Pierre-Simon, marquis de Laplace
(1749 –1827)

Prelaz iz vremenskog u frekvencijski domen:

Furijeova transformacija

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

Pojačanje signala



Metod: *Furijeov red*

Svaki **periodični vremenski promenljiv signal može se prikazati kao zbir **prostoperiodičnih** signala različitih amplituda i frekvencija.**

12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 49

Pojačanje signala

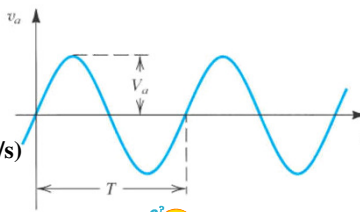
Šta je prostoperiodični signal?

Amplituda: $V_a = \text{max. vrednost}$

Frekvencija: $f=1/T$ (Hz)

Kružna frekvencija $\omega=2\pi f$ (rad/s)

Faza $\phi=0$ (za slučaj sa slike)



Kako bi izgledao za $\phi=\pi/2$? 🤔

Trenutna vrednost; u trenutku t $v_a(t) = V_a \sin(\omega t + \phi) = V_a \sin(\omega t)$

Efektivna vrednost $V_{a\text{eff}} = V_a / \sqrt{2}$

Srednja vrednost $V_A = 0$

12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 50

Pojačanje signala

Šta je srednja vrednost?
Šta je efektivna vrednost?

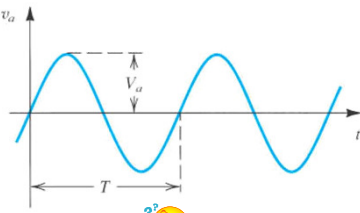
Srednja vrednost je ono što ime kaže.

Matematički, integral, odnosno površina između anvelope i vremenske ose 🤔

To je ono što meri instrument za DC

Efektivna vrednost napona?

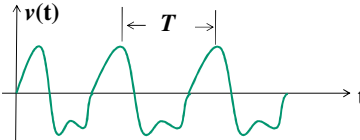
Vrednost jednosmernog napona koja na istom otporniku ostvari istu snagu kao naizmenični signal.



12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 51

Pojačanje signala

(Složeno) Periodični signal $v(t)$ - periodično se ponavlja u vremenu, ima definisanu periodu, a time i frekvenciju:

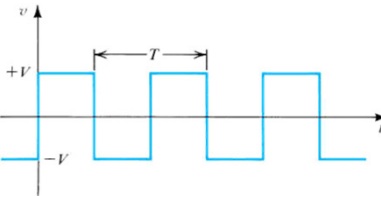


Amplituda: V

Frekvencija: $f_o=1/T$ (Hz)

Kružna frekvencija $\omega_o=2\pi f$ (rad/s)

Faza $\phi=0$



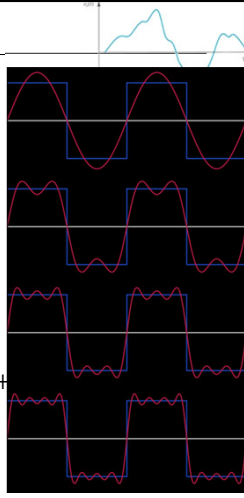
Uvod 52
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Pojačanje signala

Metod: Furijeov red

Svaki periodični vremenski promenljiv signal može se prikazati kao zbir **prostoperiodičnih** signala različitih amplituda i frekvencija.

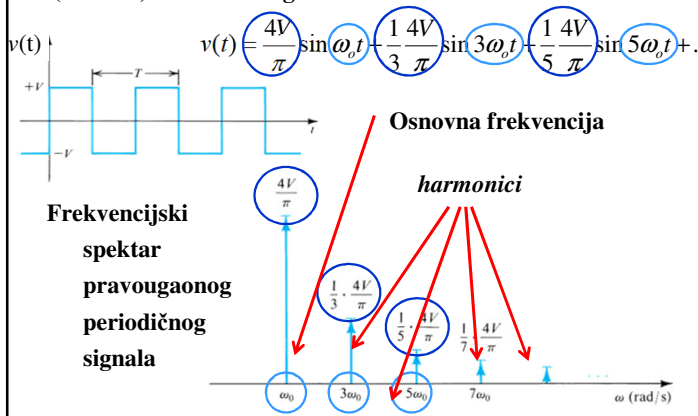
Zato se naziva **slženoperiodični** signal.

$$v(t) = \frac{4V}{\pi} (\sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots)$$


12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 53

Pojačanje signala

(Složeno) Periodični signal

$$v(t) = \frac{4V}{\pi} \sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \frac{4V}{\pi} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \frac{4V}{\pi} \sin 5\omega_0 t + \dots$$


Osnovna frekvencija

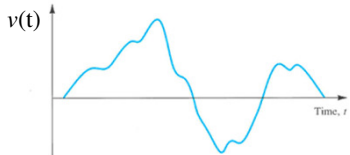
harmonici

Frekvencijski spektar pravougaonog periodičnog signala

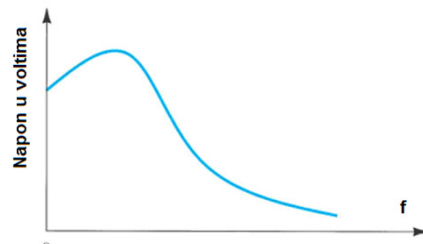
12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 54

Pojačanje signala

Aperiodični signal



Frekvencijski spektar



KONTINUALAN

[dalje](#)

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 55

Pojačanje signala

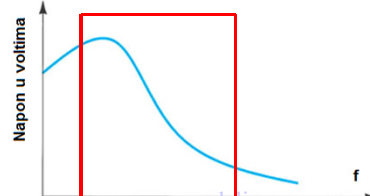
Zašto je ovo važno?

Svaki signal ima „sliku“ u frekvencijskom domenu

Mi neke frekvencije čujemo, a neke ne čujemo.

Za audio pojačavač, treba da posmatramo samo frekvencije koje čujemo.


Time se problem pojednostavljuje – ograničeni frekvencijski opseg



[dalje](#)

12. oktobar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 56

Pojačanje signala



Zadaci:

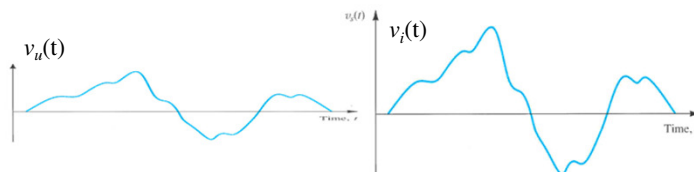
1. **Odrediti frekvenciju i kružnu frekvenciju sinusnog signala periode 1ms.** ($f=1\text{kHz}$, $\omega=2000\pi$)
2. **Odrediti periode sinusnih signala frekvencija: 50Hz, 1MHz, 1GHz.** (0.02s , $1\mu\text{s}$, 1ns)

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

Pojačanje signala

Pojačanje signala – neophodno u svakom sistemu za obradu signala

Zadatak:
Pojačati signal bez izobličenja – isti oblik veća amplituda



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

Pojačanje $A = \text{const.}$

12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 58

Pojačanje signala

Uloga pojačavača:

Da *pojača* ulazni signal
(napon, struja)

BEZ IZOBLIČENJA!

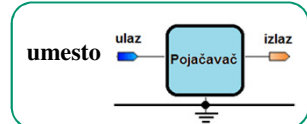
Kakve karakteristike treba da ima da bi obavio tu ulogu?

Odgovor kasnije - tokom kursa dalje da 

20. oktobar 2015. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

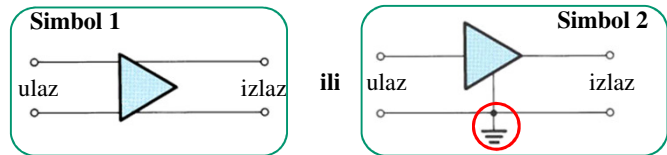
Pojačanje signala

Simbol pojačavača :



umesto

Simbol 1 ili Simbol 2



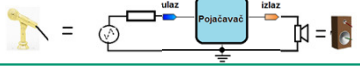
Uzemljenje, masa, referentni čvor!!!

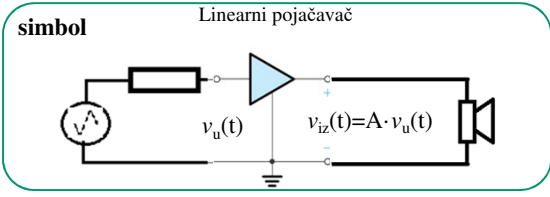
12. oktobar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 60

Pojačanje signala

Simbol pojačavača:

Priključivanje pobude Priključivanje potrošača

umesto 

simbol 

Linearni pojačavač

12. oktobar 2017. Uvod 61
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Šta smo naučili?

- **Koja je uloga pojačavača?**
- Karakteristike prostoperiodičnog signala u vremenskom i frekvenzijskom domenu (amplituda, efektivna vrednost, perioda, faza, frekvencija, kružna frekvencija, frekvenzijski spektar).
- Simbol pojačavača

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

12. oktobar 2017. Uvod 62
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Ispitna pitanja

1. Šta su transduseri?
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 frekvenzijskom domenu.
6. Karakteristike aperiodičnog signala u vremenskom i frekvenzijskom domenu.

12. oktobar 2017. Uvod 63
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Sledeće nedelje:

Osnovi pojačavačke tehnike (nastavak)

- Uzroci izobličenja signala
- Frekvenzijske karakteristike pojačavača
- Jednosmerno napajanje i prenosna karakteristika pojačavača
- Klasifikacija pojačavača

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

12. oktobar 2017. Uvod 64
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>