

<b>Tehnička škola Ruđera Boškovića</b>	
<b>Elektronička instrumentacija</b>	
<b>Ime i prezime</b>	<b>Obrazovni odjel</b>
<b>Ime i prezime partnera</b>	<b>Nadnevak</b>
<b>Opaska</b>	<b>Ocjena</b>

## *Karakteristike operacijskog pojačala*

### *Cilj vježbe*

Cilj ove laboratorijske vježbe je proučiti karakteristike operacijskog pojačala. Izmjerit će se neke od karakteristika kao ulazni napon pomaka, ulazna struja, ulazna struja pomaka, umnožak pojačanja i širine frekvencijskog opsega (pojačanje-BW produkt), slew rate, faktor potiskivanja (CMRR).

### *Zadaci za pripremu vježbe*

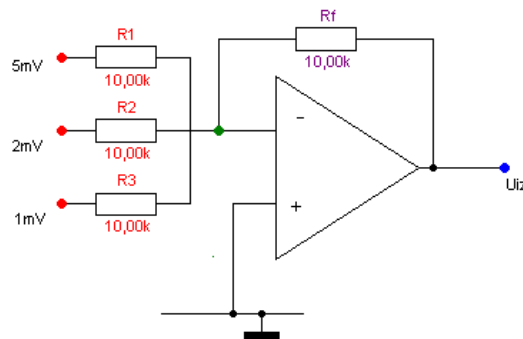
1. Nauči osnovne karakteristike operacijskog pojačala
  - a. Pojačanje otvorene petlje
  - b. Ograničenje (zasićenje) izlaznog napona
  - c. Ulazna struja pomaka i ulazna struja
  - d. Ulazni napon pomaka
  - e. Slew rate
  - f. Širina frekvencijskog opsega
  - g. Faktor potiskivanja
2. Riješi slijedeće probleme. Zapiši izračune. Nemoj zapisati samo rješenja. Možda ih nećeš moći riješiti u zadnji tren prije ulaska u laboratorij. Obrati se za savjet nastavniku tijekom teorijske nastave..
  - a. Pojačanje op-poj.LM741 u otvorenoj petlji iznosi 100000. Napon napajanje +15 V je doveden na pin 7 –15 V na pin 4. Koliki je najveći diferencijalni napon koji može spojiti između pinova 2 i 3 bez zasićenja op-poj.
  - b. Spojimo sad pin 3 na masu i spojimo sinusni valni oblik na pin 2. Funkcijski generator ne može dati napon manje amplitude od 50 mV. Problem je kako spojiti sinusni napon na pin 2 bez zasićenja op-poj. Najjednostavniji način rješenja ovog problema je koristeći naponski djelitelj (atenuator). Osim toga želi se ostvariti niskoomski djelitelj. Najmanji otpornik s kojim raspolažemo je 100  $\Omega$ . Koliki je najmanja vrijednost drugog otpornika koji se može upotrijebiti u naponskom djelitelju? Nacrtaj spoj pojačala s generatorom funkcija i naponskim djeliteljem.
  - c. Slew rate LM741 je 0.7V/s. Pretpostavi da je op-poj u spoju jediničnog pojačanja prema sl. 3-7. Pretpostavi dalje da je na ulaz pojačala spojen pravokutni valni oblik amplitude 3,5 V. Koliki je najmanji iznos frekvencije koji pravokutni valni oblik može imati ako

se želi dobiti trokutasti valni oblik na izlazu. Koliki bi bio iznos te frekvencije ako bi amplituda pravokutnog valnog oblik iznosila 7 V?

3. Izračunaj vrijednost izlaznog napona sumatora sa slike 1.:

- a.) u slučaju ako se radi o idealnom operacijskom pojačalu
- b.) u slučaju ako se radi o operacijskom pojačalu LM741
- c.) u slučaju ako se radi o operacijskom pojačalu OP07

Usporedi dobivene rezultate za realna operacijska pojačala s rezultatom za idealno operacijsko pojačalo te rezultate za realna operacijska pojačala međusobno.

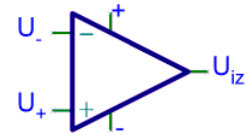


Slika 1.

4. Prikluči između neinvertirajućeg ulaza i mase pojačala otpornik takve vrijednosti pri kojoj će izlazni napon pomaka biti minimalan. Nacrtaj shemu spoja i izračunaj vrijednost napona pomaka u tom slučaju.

### Teorijske pretpostavke za vježbu

Operacijsko pojačalo (ili op-poj) je pojačalo vrlo velikog naponskog pojačanja ( $AV > 10^4$ ). Obično se za napaje koriste dva je jednaka ali suprotno polarizirana naponska izvora. Simbol i može be vidjeti u SI-1.



SI 1. Simbol op-poj

Op-poj je pojačalo koje uzima razliku između dva ulazna signala i pojačava ih za iznos A.

$$U_{iz} = A (U_+ - U_-) = A_{vd}$$

Operacijsko je pojačalo je dizajnirano tako da ima slijedeće idealne karakteristike:

- Pojačanje otvorene petlje  $A_{vd}$ , je neizmjereno
- Ulaz otpor je neizmjeran
- Izlaz otpor je nula
- Ulazne struje su nula
- Širina frekvencijskog opsega (Bandwidth) je neizmjerena
- $U_{iz}=0$  kad je  $V_+ = V_-$

Zbog takvih parametara op-poj je dizajnirano za korištenje u povratnoj vezi a ne kao samostalna komponenta (u otvorenoj petlji). To znači da u praktičkim spojevima s op-poj postoji vanjska električna mreža (četveropol) kojom se dio izlaznog signala op-poj vraća na njegov ulaz. Povratni je signal uvijek u protufazi s ulaznim da bi se ostvarila stabilnost rada tko izvedenog pojačala. (negativna povratna veza).

Parametara stvarnog op-poj kao 741 razlikuju se od idealnog op-poj. Tablica 1 pokazuje razlike između idealnog op-poj 741 još dvaju često korištenih operacijskih pojačala.

$$(U_{cc} = \pm 13 \text{ V}, T = 25^\circ \text{ C})$$

Parameter	Idealno	općenamjensko 741 Op-poj	precizno op-poj OP07	širokopojasno LF351 Op-poj
Naponsko pojačanje, A	$\infty$	$2 \times 10^5$	$5 \times 10^5$	$2 \times 10^5$
Izlazna otpor, $R_{iz}$	0	75 $\Omega$	60 $\Omega$	50 $\Omega$
Ulazni Otpor, $R_{in}$	$\infty$	2,0 M $\Omega$	60 M $\Omega$	$10^{12}$ $\Omega$
Struja pomaka, $I_{off}$	0	20 nA	0,4 nA	5 pA
Ulazna struja, $I_b$		80 nA	1,0 nA	20 nA
Napon pomaka, $U_{off}$	0	1,0 mV	30 $\mu$ V	3 mV
Bandwidth, BW	$\infty$	1,5 MHz	0,6 MHz	4 MHz
Slew Rate, SR	$\infty$	0,5 V/ $\mu$ s	0,3 V/ $\mu$ s	17 V/ $\mu$ s
raspon ulaznog napona	$\pm \infty$	$\pm 13$ V	$\pm 14$ V	- 12 V +15 V
hod izlaznog napona	$\pm \infty$	$\pm 13$ V	$\pm 13$ V	$\pm 12$ V
CMRR	$\infty$	90 dB	126 dB	86 dB
šum	0	4 nV	10 nV	15 nV
vrijeme porasta, $t_r$	0	0,3 $\mu$ s	1,0 $\mu$ s	0,1 $\mu$ s

Ime i prezime:  
Razredni odjel:

Nadnevak:

## **DEFINICIJE PARAMETARA REALNIH OPERACIJSKIH POJAČALA**

### ***Ograničenja ulaznog napona ( voltage input limits )***

Moraju se uzeti u obzir dva ograničenja ulaznog napona - ograničenje istosmjernog (zajedničkog) ulaznog napona i ograničenje diferencijalnog ulaznog napona. Svi tranzistori u diferencijalnom ulaznom stupnju moraju imati odgovarajući prednapon, Stoga postoji granica u opsegu vrijednost zajedničkog ulaznog napona koji se još može primjeniti a da se i dalje održati odgovarajući prednapon tranzistora. Maksimalni diferencijalni ulazni napon signala koji je primjenjiv i koji i dalje održava rad pojačala u linearnom području limitiran je prije svega dozvoljenim maksimumom izlaznog napona.

### ***Ograničenja izlaznog napona ( voltage output limits )***

Izlazni napon operacijskog pojačala ne može nikad prekoračiti granice istosmjernog napona napajanja. U praksi, razlika između napona napajanja i izlaznog napona mora biti veća od 1 V pa do 4 V, što ovisi o dizajnu izlaznog stupnja. Drugačije rečeno, izlazni napon je u zasićenju i nije više ovisan o ulaznom naponu.

### ***Ograničenja izlazne struje ( output current limitations )***

Maksimalna struja koja izlazi ili ulazi u operacijsko pojačalo određena je vrijednošću struje izlaznih tranzistora. Realna operacijskih pojačala ne mogu na izlazu davati ili primati neizmjerenu količinu struje.

### ***Konačno naponsko pojačanje u otvorenoj prtlji ( finite open loop voltage gain )***

Pretpostavlja se da je pojačanje idealnog operacijskog pojačala otvorenoj petlji beskonačno. U praksi je pojačanje u otvorenoj petlji bilo kojeg operacijskog pojačala ograničeno. Realne vrijednosti parametara utjecat će na performanse operacijskog pojačala.

### ***Ulazni otpor ( input resistance )***

Ulazni otpor  $R_{in}$  je otpor za mali ulazni signal između invertirajućeg i neinvertirajućeg ulaznog priključka kada je primjenjen diferencijalni napon. U najboljem slučaju ovaj je parametar neograničen, ali je on posebno za BJT ( bipolarne ) krugove operacijskih pojačala ograničen.

### ***Izlazni otpor ( output resistance )***

Izlazni je otpor jednak je nadomjesnom otporu Theveninovom za mali signal ako gledano unatrag s izlazne priključnice operacijskog pojačala koji se mjeri u odnosu prema masi. Idealni izlazni otpor je nula, što znači da nema efekta opterećenja na izlazu. U praksi ova vrijednost nije jednaka nuli.

### ***Ograničeni frekvencijski opseg ( finite bandwidth )***

Kod idealnog operacijskom pojačalu, frekvencijski opseg je beskonačan. U praksi frekvencijska karakteristika operacijskog pojačala je ograničena zbog parazitnog kapaciteta unutar kruga operacijskog pojačala.

### ***Slew rate ( najveća moguća brzina promjene izlaznog napona )***

Ona je definirana kao maksimalni iznos promjene izlaznog napona po jedinici vremena. Maksimalni iznos pri kojoj se izlazni napon može promijeniti tako da je u ovisnosti o parazitnim kapacitivnostima unutar kruga operacijskog pojačala.

***Ulazni napon pomaka ( input offset voltage )***

U idealnom operacijskom pojačalu, izlazni je napon nula za nula diferencijalnog ulaznog naponskog signala. Ipak, razlika u parametrima među ulaznim komponentama pojačala, između ostalog, može stvoriti izlazni napon iako je ulazni napon jednak nula. Ulazni napon pomaka je diferencijalni napon koji treba dovesti na ulaz operacijskog pojačala kako bi izlazni napon iznosio nula.

***Ulazne struje prednapona ( input bias currents )***

Za idealno operacijsko pojačalo predpostavlja se da je ulazna struja jednaka nula. Ipak, u praktičnom operacijskom pojačalu, pogotovo sa BJT ulaznim komponentama, ove struje nisu jednake nula i različite su. Ulazna struja prednapona je srednja vrijednost struje invertirajućeg i ne invertirajućeg ulaza operacijskog pojačala.

***Ulazna struja pomaka ( input offset current )***

Za idealno operacijsko pojačalo predpostavlja se da je razlika ulaznih struja jednaka nula. Međutim u praktičnom operacijskom pojačalu ulazna struja pomaka predstavlja razliku struje neinvertirajućeg i invertirajućeg ulaza i nikad nije jednaka nuli već ima neku vrijednost.

***Faktor potiskivanja zajedničkog signala ( common mode rejection ratio ) CMRR***

Predstavlja odnos pojačanja diferencijalnog i zajedničkog napona iskazan u decibelima