

Priimek in ime: _____

Datum: _____

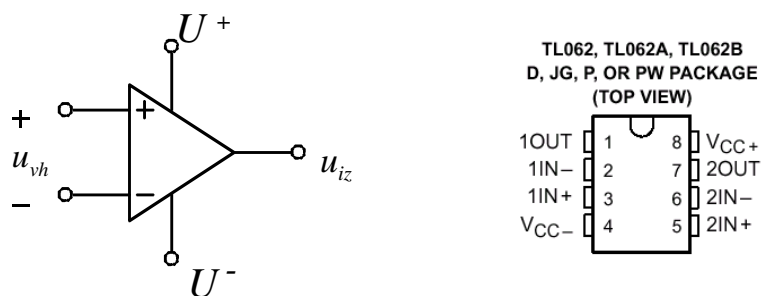
OPERACIJSKI OJAČEVALNIK

Namen vaje je spoznavanje osnovnih lastnosti operacijskega ojačevalnika in njegove uporabe v najpogostejših vezavah. S tem namenom bomo realizirali sledeče vezave operacijskega ojačevalnika:

1. Neinvertirajoči ojačevalnik
2. Invertirajoči ojačevalnik
3. Komparator

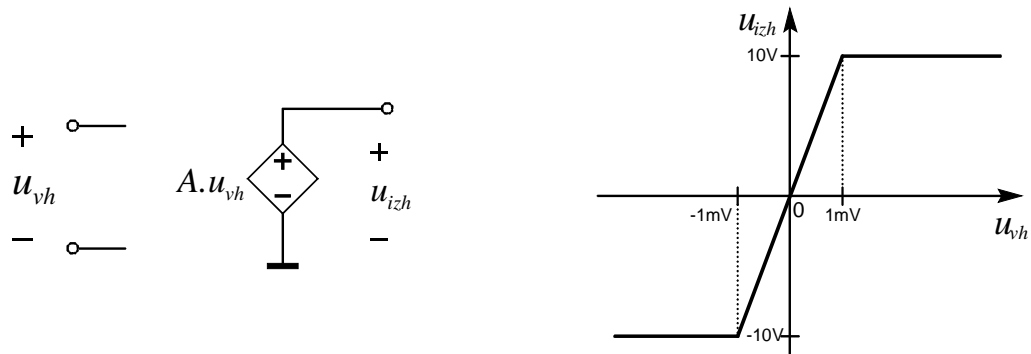
Osnovni pojmi o operacijskem ojačevalniku

Operacijski ojačevalnik je vsestransko uporabno in fleksibilno analogno elektronsko vezje, ki ga uporabljamo za realizacijo linearnih in nelinearnih prevajalnih funkcij. V poenostavljenem modelu ima le tri priključne sponke: dve vhodni in eno izhodno. Običajno je izdelan v integrirani obliki in zaprt v standardnem ohišju, ki ga prikazuje slika. V standardnem ohišju obstajajo izvedbe z enim, dvema ali a štirimi operacijskimi ojačevalniki. Slika 1 prikazuje tudi simbol operacijskega ojačevalnika z označenima vhodnima priključnima sponkama (u^+ in u^-) in izhodno sponko (u_{out}). V naši vaji bomo uporabili operacijski ojačevalnik TL062 v plastičnem 8-pinskem DIL (dual-in-line) ohišju. Napajalne priključne sponke operacijskega ojačevalnika za U^+ in U^- na elektronskih shemah običajno niso označene. V shemi priključkov sta napajalna priključka s strani proizvajalca označena z V_{CC+} in V_{CC-} . Velika večina operacijskih ojačevalnikov ima priključne sponke na stalnih in dogovorjenih priključkih glede na ohišje.



Slika 1 Električni simbol operacijskega ojačevalnika in razporeditev priključkov integriranega vezja TL062 (dual op. amp.)

Idealni operacijski ojačevalnik je napetostno krmiljen napetostni vir. Krmilna napetost u_{vh} je razlika potencialov med neinvertirajočo (+) in invertirajočo (-) vhodno sponko. Nadomestno vezje idealnega operacijskega ojačevalnika je prikazano na sliki 2. Idealni operacijski ojačevalnik ima neskončno napetostno ojačenje odprte zanke A in neskončno vhodno upornost.



Slika 2 a) Nadomestno vezje idealnega operacijskega ojačevalnika
b) Prenosna karakteristika realnega ojačevalnika s končnim ojačenjem in omejeno izhodno napetostjo

Realni sodobni integrirani ojačevalniki se približujejo temu idealu z manjšimi odstopanji, ki ne vplivajo lastnosti manj zahtevnih vezij. Napetostno ojačenje je ponavadi večje od 10^5 zato lahko za nižje frekvence uporabimo poenostavljene izraze, ki jih dobimo na osnovi predpostavke $A \rightarrow \infty$. Pri realnih operacijskih ojačevalnikih moramo upoštevati predvsem omejen obseg vhodnih in izhodnih napetosti, ki ga narekujeta napajalni napetosti. Na sliki 2b prikazana karakteristika velja za ojačevalnik z napajanjem ± 10 V in polnim izhodnim napetostnim obsegom (rail to rail output), kar pomeni, da je izhodna napetost omejena na območje $-10\text{V} \div +10\text{V}$. V vaji uporabljeni ojačevalnik TL062 nima polnega izhodnega obsega, zato je maksimalna pozitivna izhodna napetost za približno 2,5 V nižja od napajalne. Ta napetostni padeč je odvisen tudi od izhodnega toka, ki je določen z upornostjo bremena priključenega na izhod. Enako velja tudi za negativne izhodne napetosti, ki so po absolutni vrednosti manjše od negativnega napajanja. Pri realnih op. ojačevalnikih je potrebno upoštevati tudi tok v vhodne sponke. Ta tok je pri sodobnih izvedbah zelo majhen zaradi uporabe tranzistorjev na poljski efekt (FET). Tipične vrednosti vhodnega toka za vezje TL062 so manjše od 200 pA. Vhodna stopnja je izvedena s spojnimi FET tranzistorji (J-FET).

Uporaba operacijskega ojačevalnika

V linearnih vezjih uporabljamo operacijski ojačevalnik vedno z negativno povratno vezavo. Na ta način lahko naredimo ojačevalnike, seštevalnike, odštevalnike, integratorje, tokovno-napetostne pretvornike in druga vezja. V vseh teh primerih uporabimo poenostavitev, da v vhodni sponki ne teče noben tok

$$i_{vh} = 0 \quad (4.1)$$

in, da se vhodna napetost med obema sponkama zaradi negativne povratne zmanjšuje. Zaradi neskončnega ojačenja dobimo končno izhodno napetost le tedaj, ko je

$$u_{vh} = 0. \quad (4.2)$$

Ti dve izhodišči predstavljata osnovo za določitev osnovnih lastnost vezij z negativno povratno vezavo.

V kolikor negativne povratne vezave ni ali pa pogoj (4.2) ne more biti izpolnjen je operacijski ojačevalnik prekrmljen, kar pomeni, da je izhodna stopnja operacijskega ojačevalnika v enem od obeh nasičenj. Izhodna napetost je tedaj določena z napajalnima napetostima. Operacijski ojačevalnik brez negativne povratne vezave deluje kot komparator.

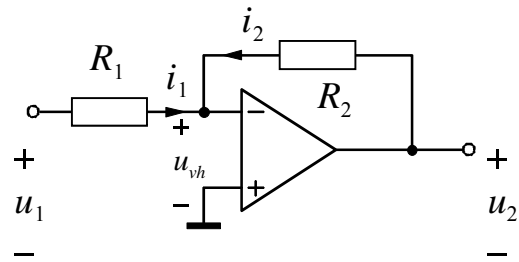
Invertirajoči ojačevalnik

Za invertirajočo vhodno sponko ojačevalnika velja vozliščna enačba

$$i_1 + i_2 + i_{vh} = 0. \quad (4.3)$$

Z upoštevanjem (4.1) in (4.2) sta toka skozi R_1 in R_2 določena z Ohmovim zakonom

$$i_1 = \frac{u_1}{R_1} \quad \text{in} \quad i_2 = \frac{u_2}{R_2}. \quad (4.4)$$



Slika 3 Shema invertirajočega ojačevalnika

Toka (4.4) vstavimo v (4.3) in izrazimo ojačenje A_U invertirajočega ojačevalnika

$$A_U = \frac{u_2}{u_1} = -\frac{R_2}{R_1}. \quad (4.5)$$

Vhodna upornost invertirajočega ojačevalnika je enaka R_1 , ker je drugi priključek upora na potencialu 0 V (navidezna ozemljitev masa).

Neinvertirajoči ojačevalnik

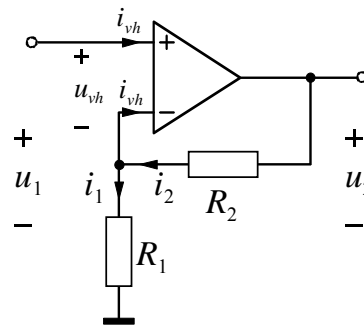
Zaradi pogoja $u_{vh} = 0$ je napetost na upor R_1 enaka vhodni napetosti zato velja

$$i_1 = \frac{u_{R_1}}{R_1} = \frac{u_1}{R_1} \quad (4.6)$$

Ker je velja tudi $i_{vh} = 0$, teče prek uporov R_1 in R_2 isti tok

$$i_1 = i_2, \quad (4.7)$$

zato je izhodna napetost u_2 enaka vsoti napetosti obeh uporov



Slika 4 Električna shema neinvertirajočega ojačevalnika

$$u_2 = u_{R_1} + u_{R_2} = u_1 + i_2 R_2 = u_1 + \frac{u_1}{R_1} R_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) u_1 \quad (4.8)$$

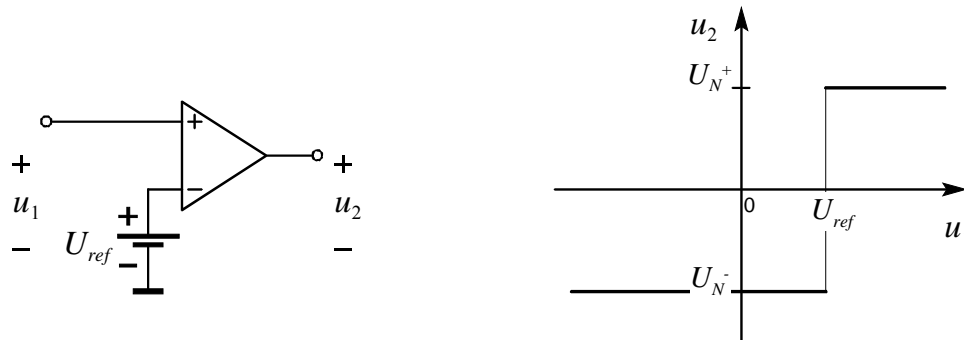
Napetostno ojačenje neinvertirajočega ojačevalnika neposredno sledi iz gornjega izraza

$$A_U = 1 + \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}. \quad (4.9)$$

Za razliko od invertirajočega ojačevalnika ima vezje na sliki 4 visoko vhodno upornost, saj v vhod vezja teče le zanemarljivo majhen vhodni tok operacijskega ojačevalnika.

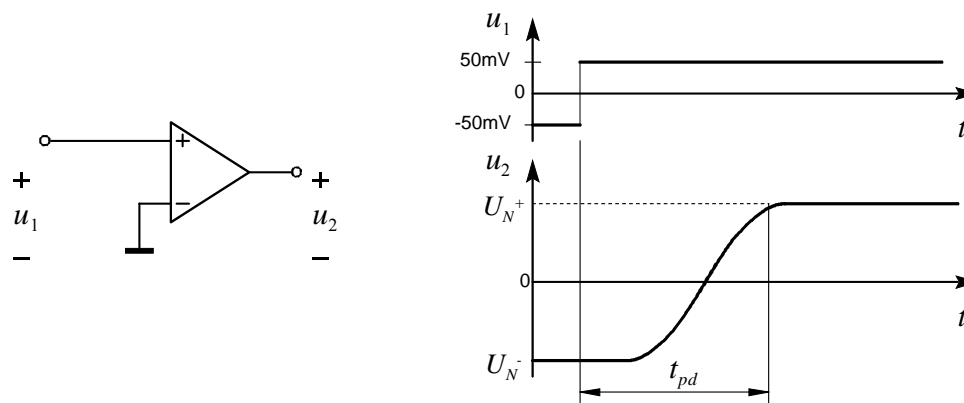
Komparator

Komparator primerja dve analogni napetosti med seboj. Izhodna napetost je ponavadi prilagojena na napetosti visokega in nizkega logičnega nivoja. Sodobni integrirani mikrokrmilniki za mešane signale imajo analogne komparatorje integrirane skupaj z ostalimi digitalnimi sklopi. V drugih primerih uporabljamo integrirane komparatorje, ki so v ta namen posebej načrtovani. Lahko pa kot komparator uporabimo tudi operacijski ojačevalnik brez negativne povratne vezave. Izhodna napetost je v tem primeru določena z napajalnima napetostima. Ti dve napetosti imenujemo napetost pozitivnega U_N^+ in negativnega nasičenja U_N^- . V kolikor se ti dve napetosti nahajata znotraj območja visokega oziroma nizkega logičnega nivoja lahko izhodno napetost neposredno priključimo na logična vezja.



Slika 5 Operacijski ojačevalnik kot komparator in njegova prenosna karakteristika

Komparatorji, ki so namensko načrtovani za to funkcijo, so mnogo hitrejši od operacijskih ojačevalnikov, saj so izdelani z manj elementi. S temi komparatorji ne moremo izdelati linearnega ojačevalnika, ker fazna karakteristika ojačenja odprte zanke ne dopušča negativne povratne vezave.



Slika 6 Zakasnitev komparatorja t_{pd} – propagation delay time

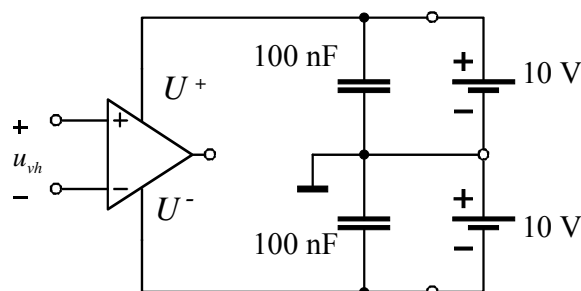
Zakasnitev komparatorja je čas od stopnične spremembe vhodne napetosti do trenutka, ko izhodna napetost doseže 90% končne vrednosti. Kadar uporabljamo operacijski ojačevalnik kot komparator predstavlja čas vzpona izhodne napetosti večino zakasnitve. Maksimalna strmina izhodne napetosti je pri operacijskih ojačevalnikih bistveno manjša, ker imajo kompenziran frekvenčni potek ojačenja odprte zanke.

Naloge

- Na prototipni plošči zvežite invertirajoči ojačevalnik z ojačenjem -20 . Vrednosti uporov določite sami. Za napajalno napetost ± 10 V in $R_B = 1\text{ k}\Omega$ izmerite:
 - Enosmerno ojačenje A_U
 - Gornjo mejno frekvenco f_z invertirajočega ojačevalnika za sinusni signal z amplitudo $0,1$ V.
 - Maksimalno amplitudo vhodnega sinusnega signala pri $f = 1$ kHz
 - Izhodno enosmerno napetost pri kratkem stiku na vhodu ($u_1 = 0$)
- Na prototipni plošči izračunajte vrednosti uporov za neinvertirajoči ojačevalnik z ojačenjem 10 in izmerite
 - Enosmerno ojačenje A_U
 - Gornjo mejno frekvenco f_z invertirajočega ojačevalnika za sinusni signal z amplitudo $0,1$ V.
 - Maksimalno amplitudo vhodnega sinusnega signala pri $f = 1$ kHz.
 - Izhodno enosmerno napetost pri kratkem stiku na vhodu ($u_1 = 0$)
- Zvežite komparator kot ga kaže slika 5 za $U_{ref} = 0$, $R_B = 1\text{ k}\Omega$ in izmerite:
 - zakasnitev pri krmiljenju s pravokotno napetostjo z amplitudo 50 mV
 - zakasnitev pri krmiljenju s pravokotno napetostjo z amplitudo 1 V
 - zakasnitev pri krmiljenju s sinusno napetostjo z amplitudo 1 V
 - napetosti pozitivnega U_N^+ in negativnega nasičenja U_N^-

Opis meritev

Vsa vezja zvežite z uporabo podanih električnih shem. Vezava napajanja operacijskega ojačevalnika je prikazana na sliki 7. V vseh primerih je izhod operacijskega ojačevalnika obremenjen z uporom $1\text{ k}\Omega$. Vse signale opazujte z osciloskopom. Izhodna napetost je vedno merjena proti referenčnemu potencialu. Gornja mejna frekvenca je tista pri kateri pade ojačenje $A_U(f)$ na $0,7 \cdot A_0$ (-3 dB) vrednosti v ravnem delu, oziroma pri nizkih frekvencah.

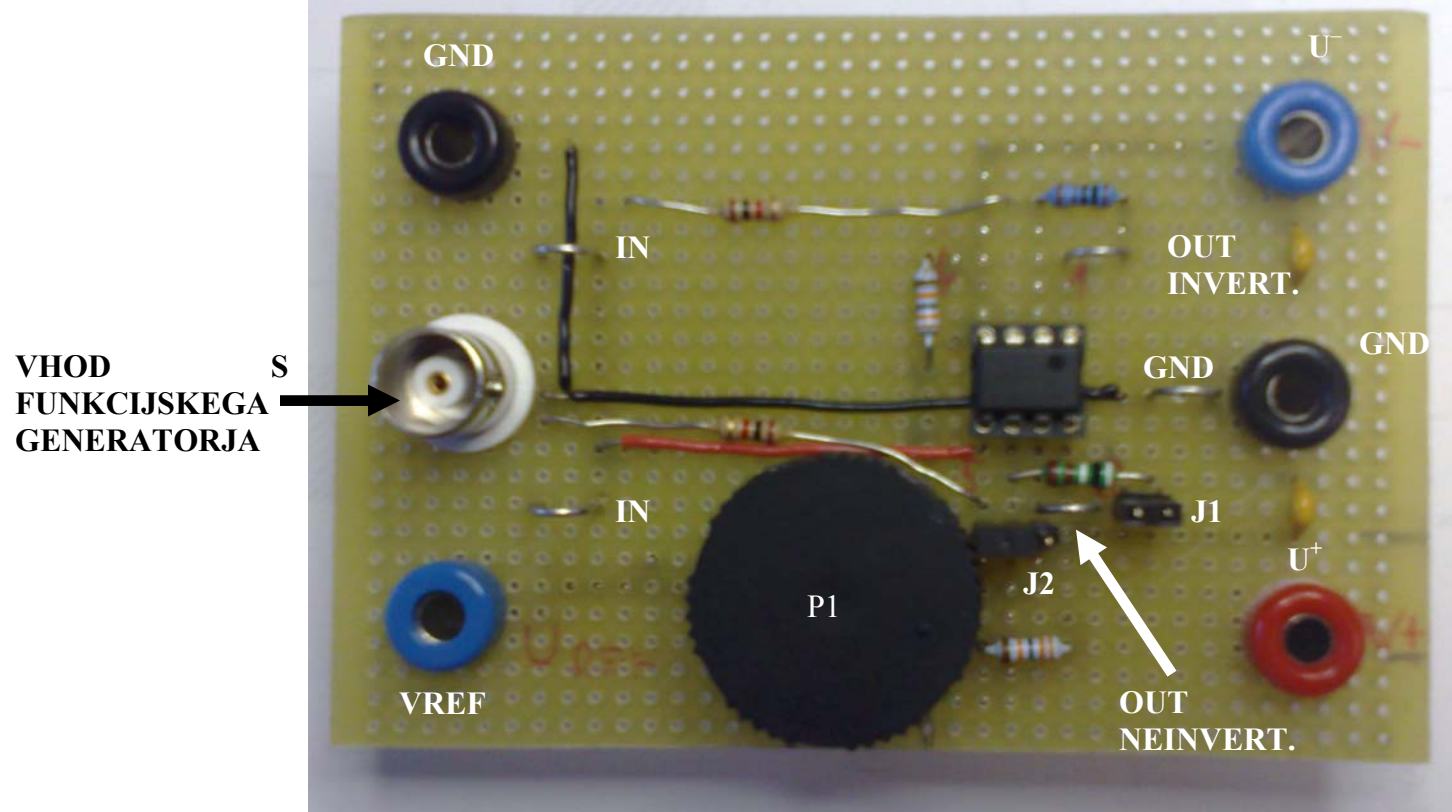


Slika 7 Priključitev simetričnega napajanja in vezava blokirnih kondenzatorjev

Rezultati:

Ojačevalnik	1- invertirajoči	2 - neinvertirajoči
R_1		
R_2		
A_U		
f_z		
U_m		
$u_2(0)$		
$u_2(0)/A_U$		

Komparator	t_{pd}
50 mV	
1V	
1V sinus	
U_N^-	
U_N^+	



FUNKCIJE VEZJA VAJE OPERACIJSKI OJAČEVALNIK

INVERTIRAJOČI OJAČEVALNIK:

Stanje J1 in J2 ni bistveno za izvedbo invertirajočega ojačevalnika.

Izhod (kanal 2 osciloskopa je na OUT INVERT sponki, vhod – kanal 1 osciloskopa je na IN sponki).

NEINVERTIRAJOČI OJAČEVALNIK:

Za izvedbo neinvertirajočega ojačevalnika naj bo sklenjen J1.

J2 naj bo povezan tako, da sklene levi in srednji priključek (glede na zgornjo sliko).

Izhod (kanal 2 osciloskopa je na OUT NEINVERT sponki, vhod – kanal 1 osciloskopa je na IN sponki).

KOMPARATOR:

Za izvedbo komparatorja naj bo razklenjen J1.

J2 naj bo povezan tako, da sklene desni in srednji priključek (glede na zgornjo sliko).

Referenčna napetost komparatorja VREF se giblje med U^+ in U^- če vrtite potenciometer P1.

Izhod (kanal 2 osciloskopa je na OUT NEINVERT sponki, vhod – kanal 1 osciloskopa je na IN sponki).