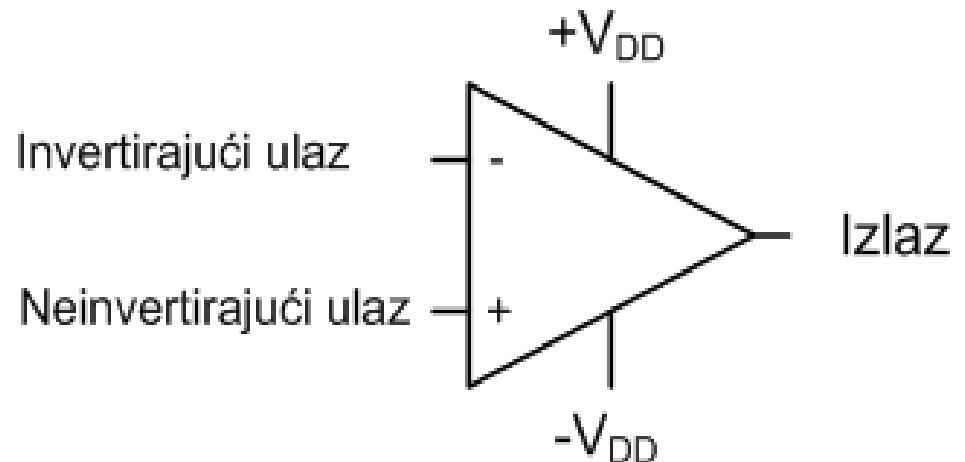


# Elektronika

## Auditorne vježbe 13

# Operacijsko pojačalo

- Naziv "operacijsko pojačalo" potječe iz doba kada su OP služila obavljanju određenih linearnih matematičkih operacija:
  - zbrajanje, množenje, deriviranje, integriranje, logaritmiranje, itd
- Operacijsko pojačalo je naponsko pojačalo s diferencijalnim ulazom (s dva ulaza):
  - Invertirajući (-)
  - Neinvertirajući (+)



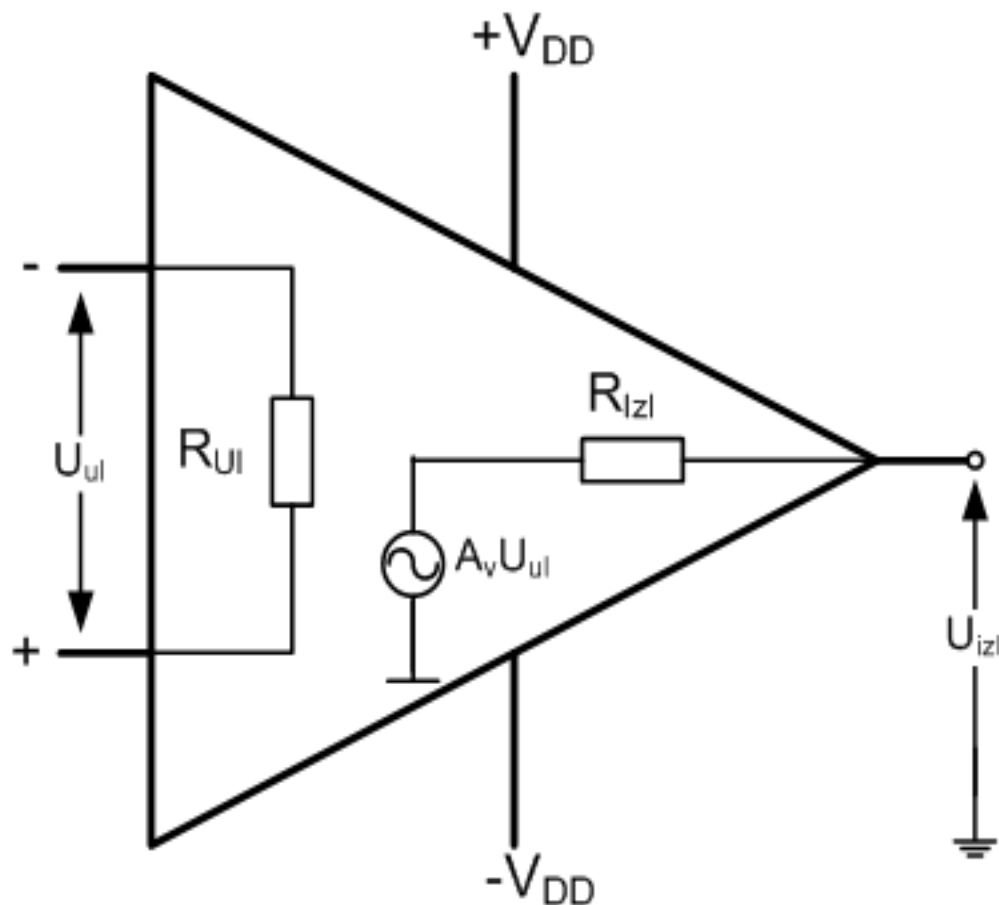
# OP nadomjesni model

Parametri:

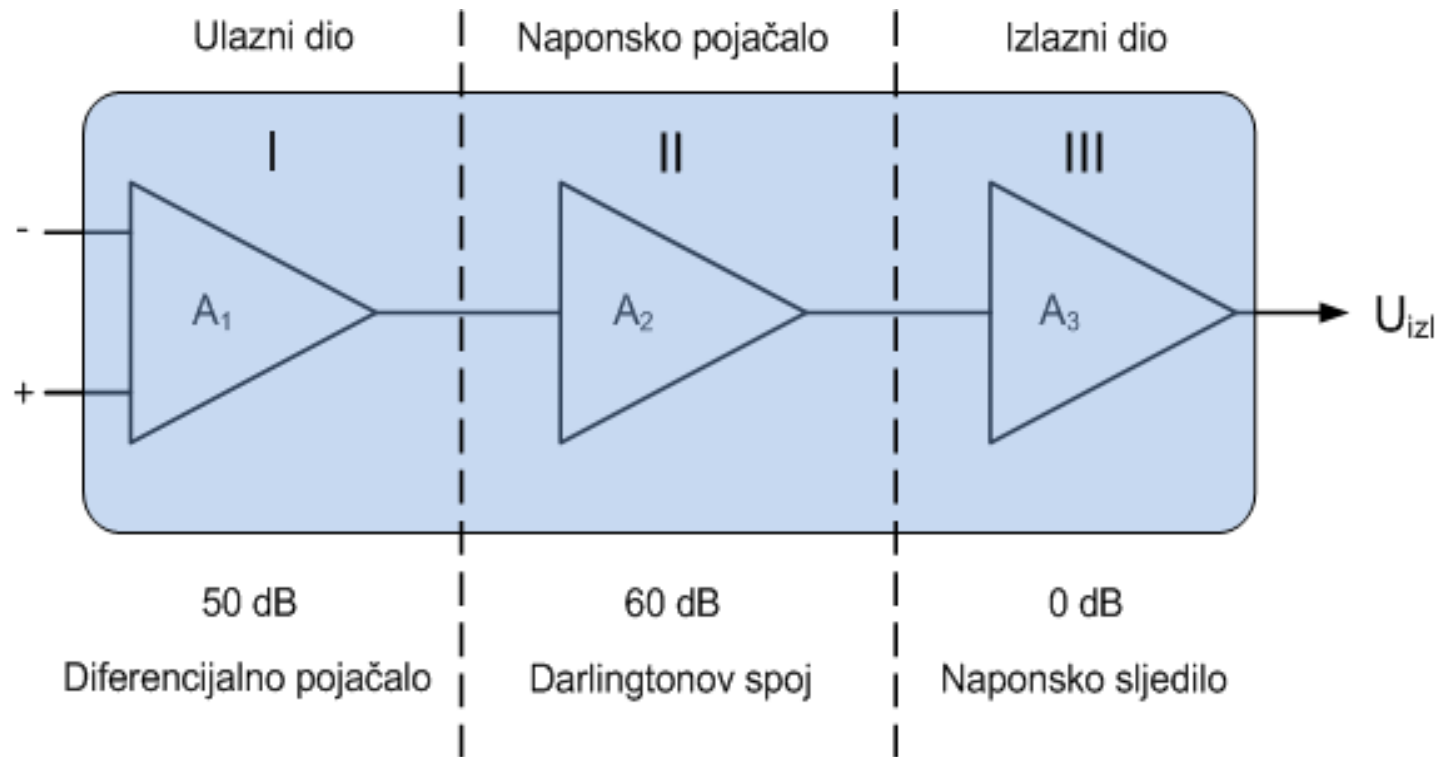
- $R_{ul}$
- $R_{izl}$
- $A_v$

Naponi:

- $U_{ul}$
- $U_{izl}$
- $\pm V_{DD}$



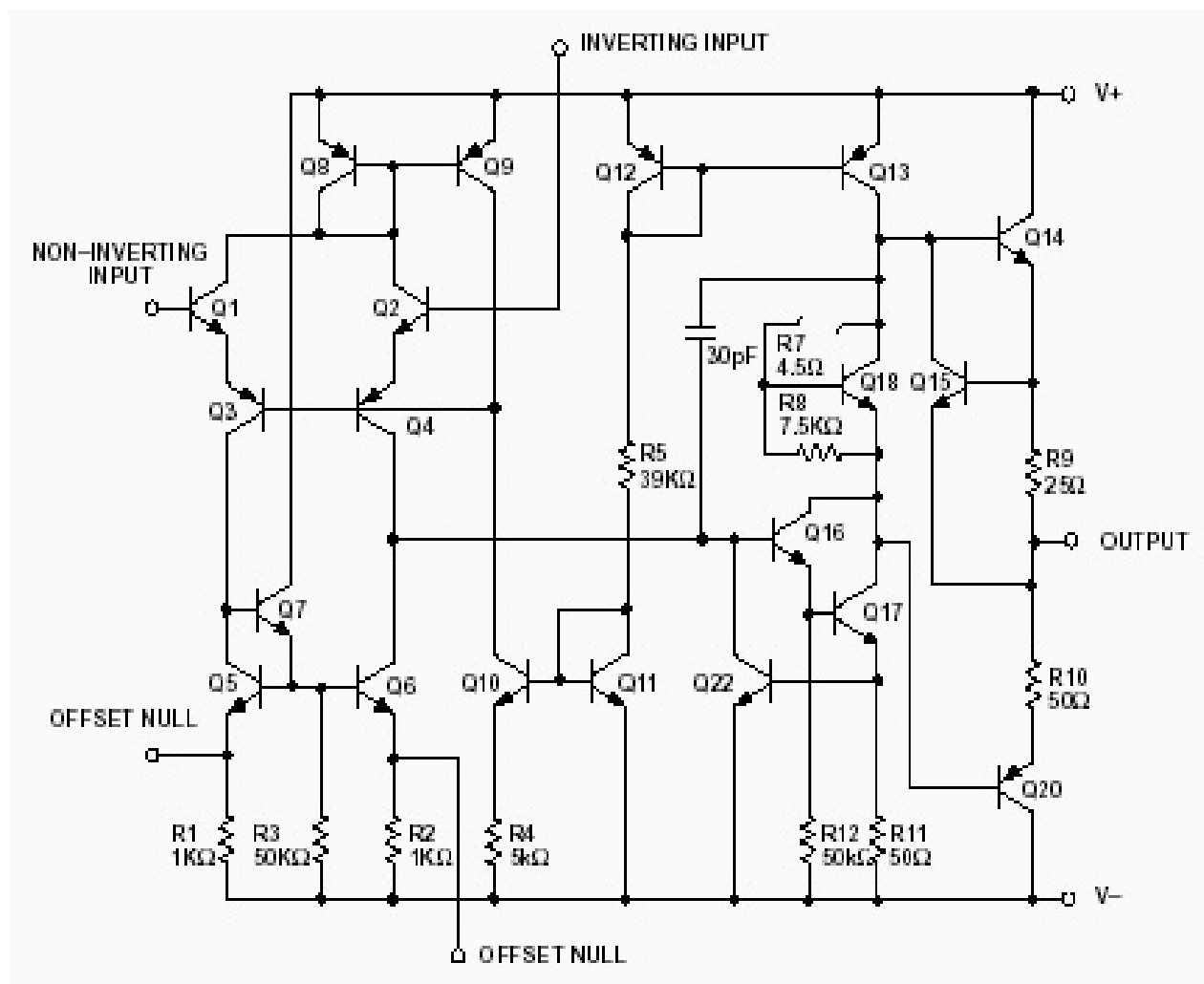
# Unutrašnja struktura OP



$$A = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3$$

$$U_{izl} = A \cdot (u^+ - u^-)$$

# Unutrašnja struktura OP (shema)



# Osnovna svojstva OP

## Idealno pojačalo

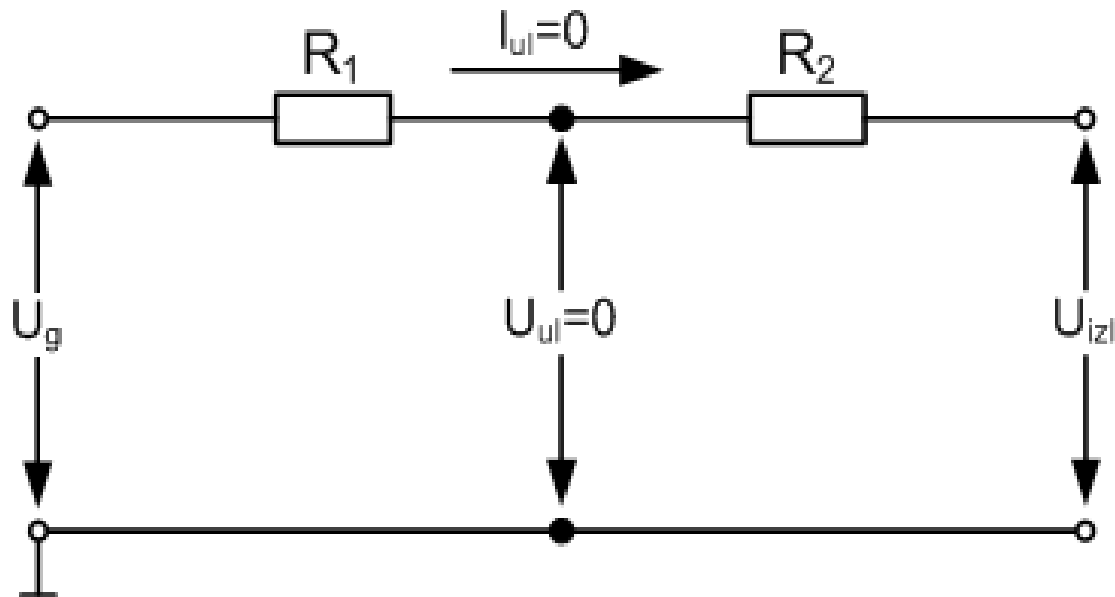
- ✓ Ulazni otpor:  $\infty$
- ✓ Izlazni otpor: 0
- ✓ Naponsko pojačanje:  $\infty$
- ✓ Idealna frekvencijska karakteristika (jednako pojačanje pri svim frekv.)
- ✓ Virtualna nula (prividni kratki spoj)

## Realno pojačalo

- ✓ Ulazni otpor: 0.1-1 M $\Omega$
- ✓ Izlazni otpor: 50  $\Omega$
- ✓ Naponsko pojačanje:  $10^4$ - $10^5$
- ✓ Postoji  $f_{dg}$  i  $f_{gg}$
- ✓ Razlika potencijala između (+) i (-) ulaza
- ✓ SR (slew-rate)
- ✓ Max. izlazni napon je manji od napona napajanja  $\pm V_{DD}$

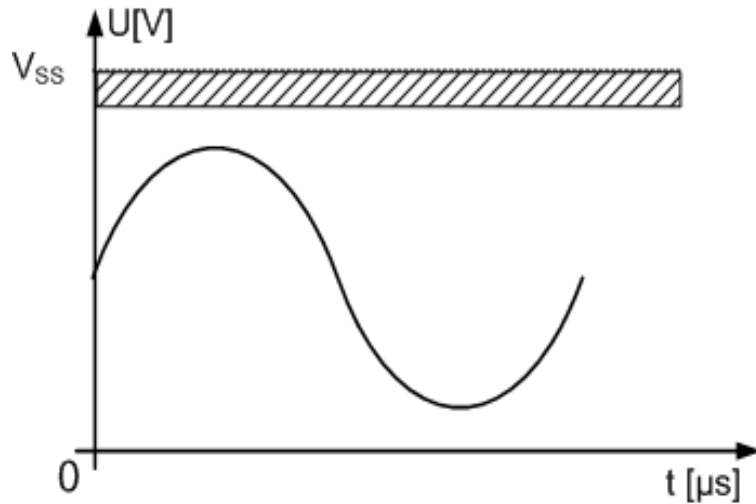
# Virtualna nula

- ✓ Prividni kratki spoj bez galvanske veze.
- ✓ Ulazni napon je jednak nuli.
- ✓ Ulazna struja je jednaka nuli.
- ✓ Ulazni otpor je beskonačan.

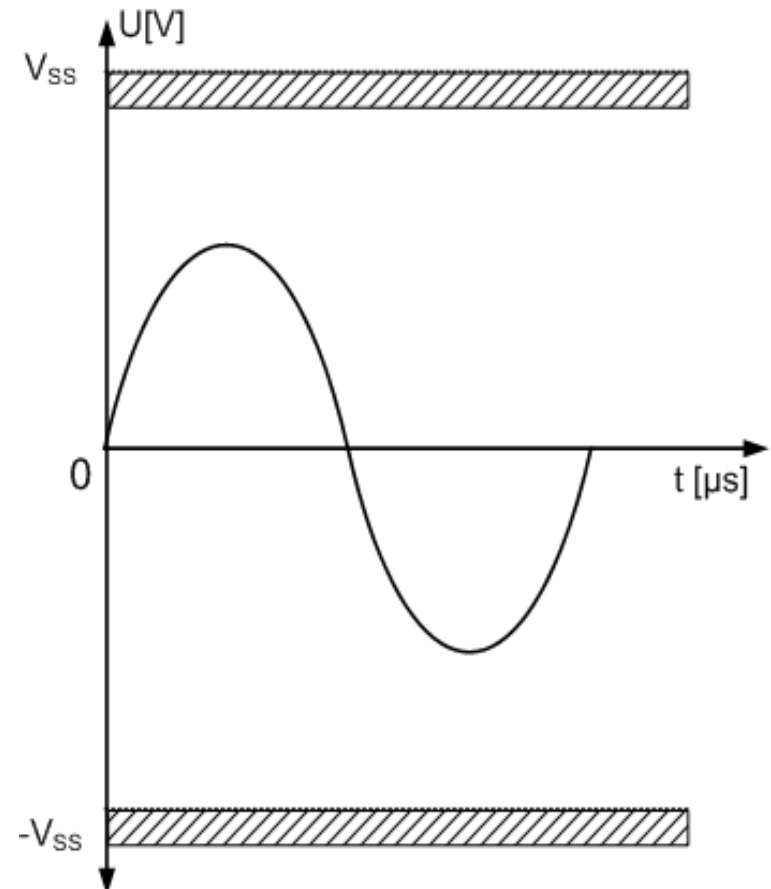


# Napajanje

## Jednostruko napajanje



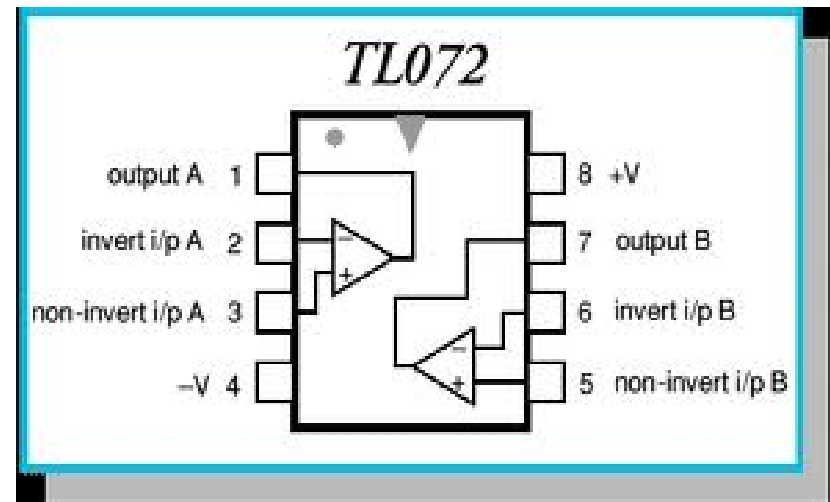
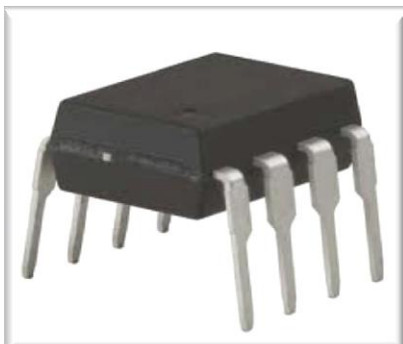
## Dvostruko napajanje





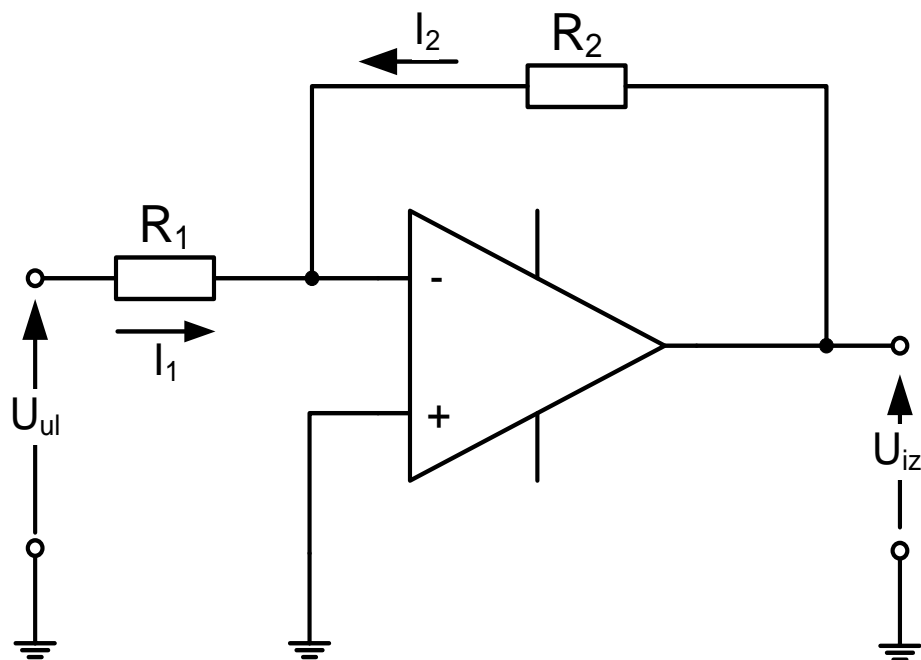
# Izvedba OP

- Dual In-Line Package (DIL/DIP) kućište
- Dva OP u jednom kućištu
- Diferencijalni ulazi realizirani unipolarnim tranzistorima



## Zadatak 49.

- Odrediti izraz za naponsko pojačanje sklopa prikazanog na slici uzimajući u obzir idealizirani i realni model operacijskog pojačala.



# Zadatak 49.

✓ Rješenje:

a) Operacijsko pojačalo je idealno:

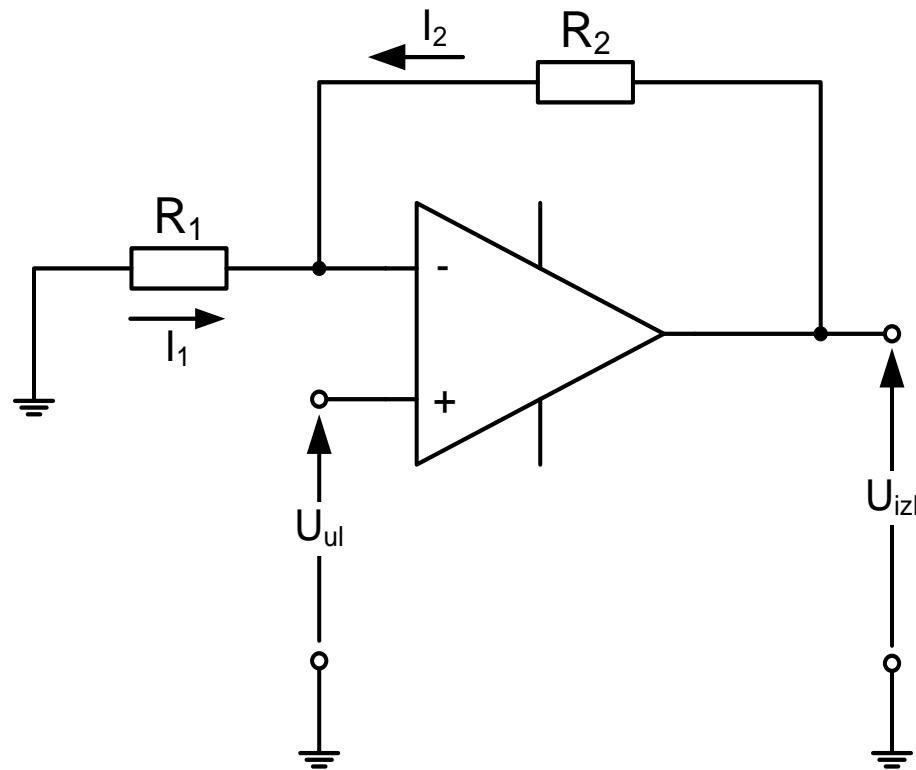
$$\frac{U_{iz}}{U_{ul}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

a) Operacijsko pojačalo je realno:

$$\frac{U_{iz}}{U_{ul}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A_v} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)}$$

# Zadatak 50.

- Odrediti izraz za naponsko pojačanje sklopa prikazanog na slici uzimajući u obzir idealizirani i realni model operacijskog pojačala.



# Zadatak 50.

✓ Rješenje:

a) Operacijsko pojačalo je idealno:

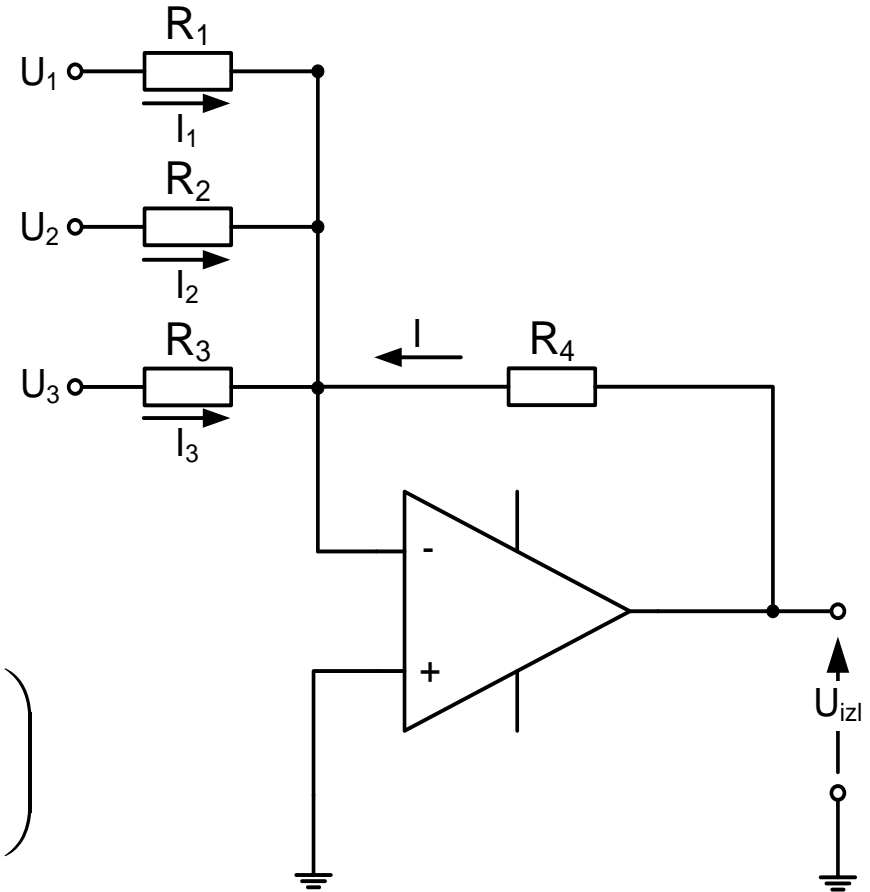
$$\frac{U_{iz}}{U_{ul}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

a) Operacijsko pojačalo je realno:

$$\frac{U_{iz}}{U_{ul}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A_V} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$

# Zadatak 51.

- Odrediti izraz za izlazni napon sklopa prikazanog na slici uzimajući u obzir idealizirani model operacijskog pojačala.



✓ Rješenje:

$$U_{izl} = -\left(\frac{R_4}{R_1}U_1 + \frac{R_4}{R_2}U_2 + \frac{R_4}{R_3}U_3\right)$$

## Zadatak 52.

- Za sklop na slici odrediti ovisnost izlaznog napona  $u_{iz}$  o ulaznim naponima  $u_{s1}$  i  $u_{s2}$ , ako je:  $R_1=100\text{ k}\Omega$ ,  $R_2=20\text{ k}\Omega$ ,  $R_3=50\text{ k}\Omega$ ,  $R_4=100\text{ k}\Omega$ . Operacijsko pojačalo je idealno.

✓ Rješenje:

$$U_{izl} = \frac{1}{2}U_{s1} - 2U_{s2}$$

