

Tehnička škola Ruđera Boškovića	
Elektronička instrumentacija	
Ime i prezime	Obrazovni odjel
Ime i prezime partnera	Nadnevak
Opaska	Ocjena

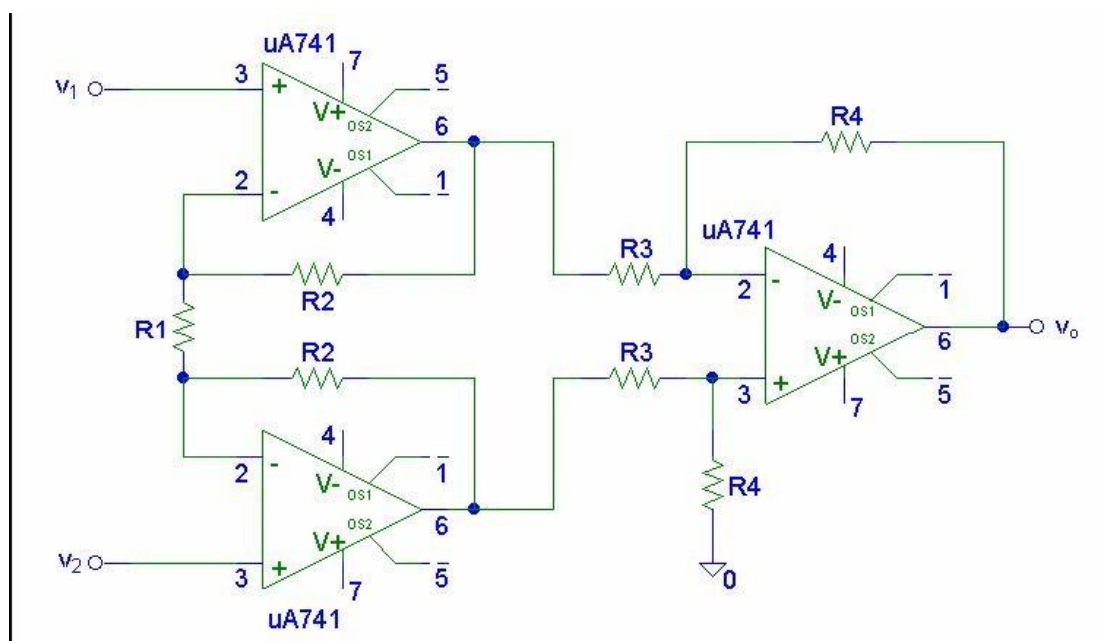
Instrumentacijsko pojačalo

Instrumentacijsko pojačalo je diferencijsko pojačalo koje ima slijedeća svojstva:

- Vrlo visok faktor potiskivanja (CMR)
- Veliko diferencijalno pojačanje
- Vrlo veliku i simetričnu ulaznu impedanciju

Građeno je od dva dijela:

- diferencijskog pojačala s asimetričnim izlazom kao izlazni dio (sl. 1)
- diferencijskog pojačala sa simetričnim izlazom kao ulazni dio (sl. 1)

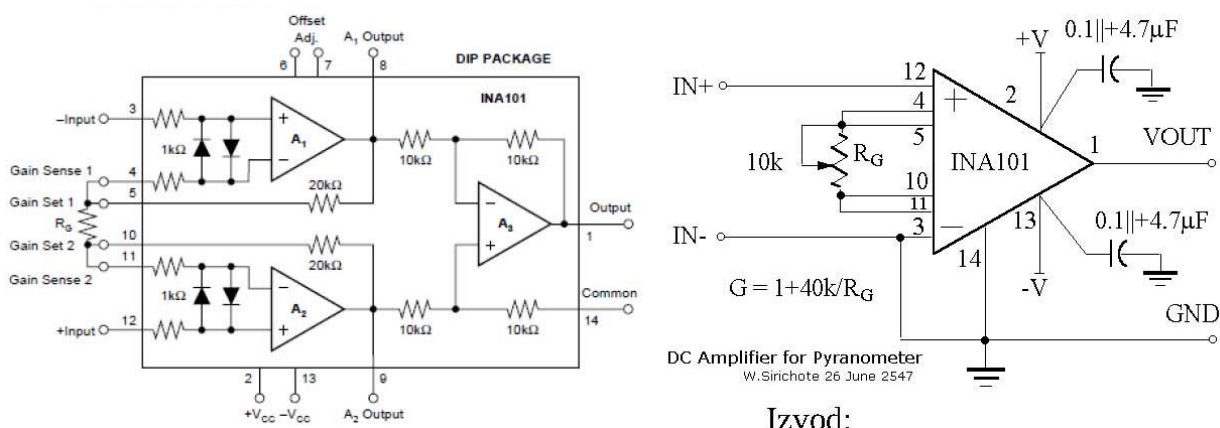


Slika 1 Tipično instrumentacijsko pojačalo s tri operacijska pojačala

Izlazni dio osigurava veliki faktor potiskivanja (CMR) odabirom otpornika iste nominalne vrijednosti i što užih granica pogreške (tolerancije). S obzirom na traženi zahtjev puno se bolji faktor potiskivanja postiže ukoliko se cijeli sklop izradi integrirano na silicijevoj pločici, jer je tako moguće laserski upariti ta četiri otpornika do ukupnog odstupanja od tipično $t = 0,001\%$. Faktor potiskivanja tog dijela je tako od 100-130 dB.

Ulaznim se dijelom osiguravaju se ostala dva zahtjeva (veliki faktor potiskivanja, veliko pojačanje i velika ulazna impedancija). Cijeli je pojačalo izrađeno kao integrirano osim otpornika R1 kojim se podešava pojačanje u rasponu od 1 (bez otpornika R1) do 1000.

U industriji poluvodiča postoji nekoliko stotina različitih tipova instrumentacijskih pojačala ovisno i proizvođaču i namjeni pa je stoga za detaljna svojstva pojedinog instrumentacijskog pojačala potrebno pogledati njegov datasheet.



Slika 2 Tipično integrirano instrumentacijsko pojačalo INA 101

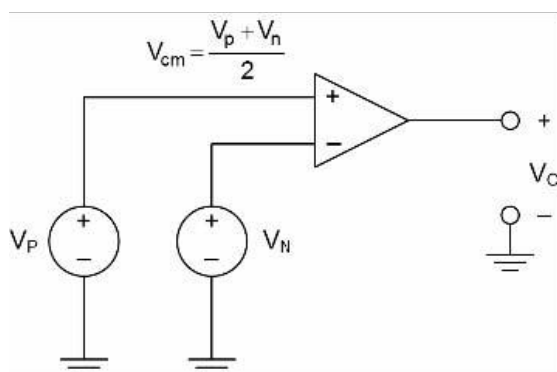
Primjena instrumentacijskog pojačala je u različitim mjernim spojevima gdje je potrebno izmjeriti signal relativno male vrijednosti uz istovremene prisutstvo velikog istofaznog signala (zajedničkog za oba ulaza diferencijalnog pojačala):

- Mjerni mostovi s rasteznim osjetilima
- Termoperevi, RTD
- Signali niske razine
- Biomedicinska instrumentacija
- Mjerni mostovi za mjerenje sile s rasteznim osjetilima

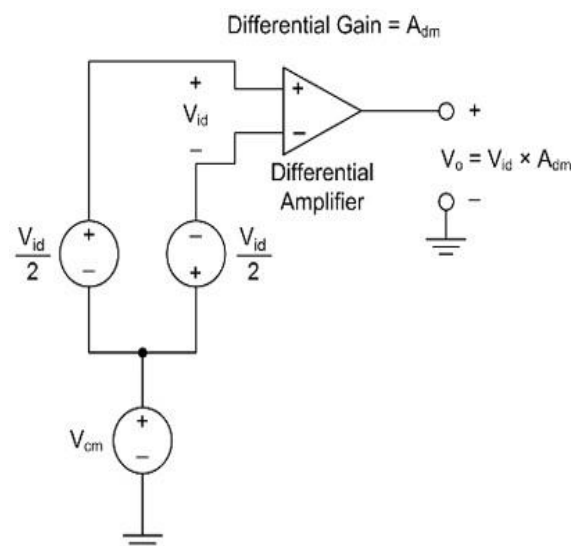
1. Zajednički signal i faktor potiskivanja CMRR

Pri mjerenju razlike dvaju signala prema skici 3.a) izlazni signal u slučaju idealnog diferencijalnog pojačala trebao bi biti:

$$U_o = A_d(U_p - U_p)$$



Slika 3a



Slika 3b

uz nenaglašenu pretpostavku da se svaki od ta dva signala pojačava različitim elektroničkim komponentama (tranzistorima i dr.) čije pojačanje nije jednako. Stoga je radi lakše analize i definicije pojmova potrebno transformirati izvore ulaznih signala onako kako pokazuje slika 3.b.

Sada se ulazni signali za diferencijsko pojačalo sastoje od dvaju komponenata:

- a) Zajedničkog signala koji je jednak srednjoj vrijednosti ulaznih napona i
- b) Diferencijskog signala koji je jednak razlici ulaznih napona

Ako je A_d pojačanje naponske razlike ulaznih napona i A_{cm} pojačanje zajedničkog napona tada se faktor potiskivanja diferencijskog pojačala CMR definira na sljedeći način:

$$CMR = \frac{A_d}{A_{cm}}$$

Ako dif-poj nije idealno zajednički signal prolazi do izlaza. Za realno dif-poj, izlazni je signal nije samo ovisan o razlici ulaznih signala već i o njihovoj srednjoj vrijednosti što je za to pojačalo smetnja. Drugačije rečeno srednja vrijednost ulaznih napona je zajednički signal za instrumentacijsko pojačalo.

Tipično naponsko pojačanje A_d op-poj LM 741 je 200,000 a CMRR je 90 dB, a u najlošijem slučaju pojačanje 50000 a CMRR 70 dB.. Uz poznati faktor potiskivanja CMRR izlazni napon diferencijskog pojačala može se dakle napisati kao:

$$U_o = A_d \left(U_{id} + \frac{U_p + U_n}{2 CMR} \right)$$

Pri tome vrijedi:

$$CMRR = 20 \log CMR$$

2. Diferencijsko pojačalo

Jednostavno diferencijsko pojačalo u analognoj elektrobici izvodi se s jednim op-poj i s četiri otpornika (sl. 4).

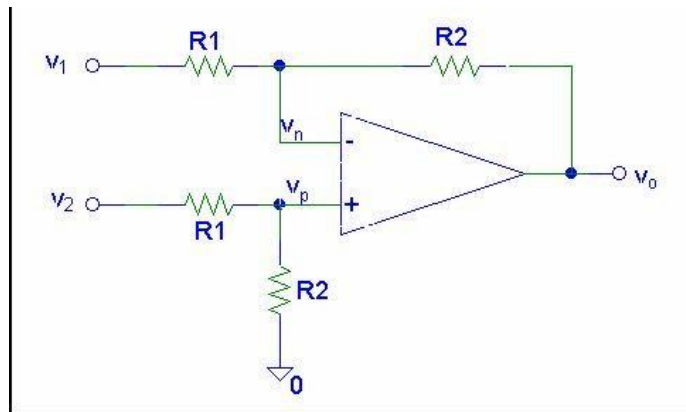
Bez velikog ulaženja u analizu osnovnog pojačalo razlike u pretpostavljajući da op-poj nije idealno i da otpornici imaju točne nominalne vrijednosti odstupanja jasno je da prikazano diferencijsko pojačalo ima diferencijsko pojačanje:

$$A_d = \frac{R_4}{R_3}$$

a faktor potiskivanja CMRR isti kao i op-poj.

Ukoliko bi se uzela u obzir i tolerancija otpornika tad bi se stvar zakomplicirala i to se neće razmatrati.

Osim toga ovo pojačalo ima i nejednake i relativno male ulazne otpore što pri njegovu primjenu predstavlja dodatni izvor pogreške.



Slika 4 Pojačalo razlike (diferencijsko pojačalo)

Primjer:

Diferencijsko pojačalo izvedeno s operacijskim pojačalom 741 služi za pojačanje razliku napona mjernog mosta za mjerenje sile s rasteznim osjetilima. Poznato je da se ti mostovi napajaju naponom 5 V i da je osjetljivost mosta vrlo mala (tipično $2 \cdot 10^{-4}$).

To znači da se na ulazu diferencijskog pojačala nalazi zajednički napon od 2,5 V i diferencijski napon od 0,5 mV. (prema slici 1. b).

Pitanje je:

- koliki će napon biti na izlazu takvog realnog pojačala unajlošijem slučaju ako želimo pojačati ulazni diferencijski napon 1000 puta.
- Koliki će biti ulazni otpori svakog ulaza.

Rješenje:

- Uzima se za op-poj najlošija vrijednost $CMRR = 70 \text{ dB}$ (iz datasheeta)

Ako je $CMRR = 70 \text{ dB}$ tad je $CMR = 3162$

pa je

$$\begin{aligned}
 U_o &= 1000 \left(0,0005 + \frac{2,5}{2 \cdot 3162} \right) = \\
 &= 1000(0,0005 + 0,000395) = \\
 &= 1000 (0,000895) = 895 \text{ mV}
 \end{aligned}$$

umjesto 500 mV kad bi operacijsko pojačalo bilo glede faktor potiskivanja idealno. Pogreška, dakle iznosi oko 80 %.

Pojačanje 1000 diferencijskog pojačala može se ostvariti npr. ako je $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ a $R_6 = 10 \text{ M}\Omega$. Td je $R_{ulp} = 10,01 \text{ M}\Omega$ a $R_{uln} = 10 \text{ k}\Omega$ što je nepovolno jer bi trebalo biti simetrično opterećenje.

3. Instrumentacijsko pojačalo

Instrumentacijsko pojačalo prikazano na slici 3 ne pati od navedenih nedostataka: ono ima visok ulazni otpor i visoki CMRR. Jasno je iz prikazanog dijagrama sklopa da ulazni otpor kojeg vidi izvor ovisi o ulaznom otporu op-poj koji se koriste u na ulazu sklopa. Ulazni otpor instrumentacijskog pojačala je dakle vrlo visok jer se koriste na ulazu pojačala izvedena s FETom ili MOSFETom na ulazu.

Instrumentacijsko pojačalo sastoji se od ulaznog stupnja kojem slijedi drugi stupanj (koji je upravo osnovni spoj pojačala razlike).

Lako se može pokazati da je pojačanje diferencijalnog napon prvog stupnja jednako $(1+2R_2/R_1)$. Znamo da je diferencijalno pojačanje drugog stupnja je R_4/R_3 . Ukupno pojačanje instrumentacijskog pojačala je dakle:

$$A_d = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3}$$

Zbog boljih svojstava instrumentacijskog pojačala obično su $R_3 = R_4$ tj. pojačanje drugog stupnja iznosi 1 pa je ukupno pojačanje instrumentacijskog pojačala određeno pojačanjem prvog stupnja i iznosi:

$$A_d = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Ako se sad pogleda koliko je s druge strane zajedničko pojačanje instrumentacijskog pojačala slijedi:

- Zbog virtualnog kratkog spoja ulaznih stezaljko ulaznih op-poj pojačanje zajedničkog signala prvog stupnja iznosi 1 jer tada otporom R_1 ne teče struja
- Zna se da je pojačanje zajedničkog signala drugog stupnja $\frac{R_4}{R_4 CMR_{dif-poj}}$ odnosno $\frac{1}{CMR_{dif-poj}}$

Ukupno pojačanje zajedničkog signala instrumentacijskog pojačala je dakle

$$A_{cm} = \frac{1}{CMR_{dif-poj}}$$

Faktor potiskivanja CMR instrumentacijskog pojačala iznosi dakle

$$CMR_{inst-poj} = \frac{A_d}{A_{cm}} = \frac{A_d}{\frac{1}{CMR_{dif-poj}}} = A_d CMR_{dif-poj}$$

tj za $1 + \frac{R_2}{R_1}$ puta je veći nego iznos faktora potiskivanja diferencijalnog pojačala ili drugačije gledano instrumentacijsko pojačalo ima za iznos diferencijalnog pojačanja veći faktor potiskivanja od operacijskog pojačala ud kojtg jr građeno.

Ukoliko se sad pogleda rješenje iz predhodnog primjera slijedilo bi:

$$\begin{aligned}
 U_o &= 1000 \left(0,0005 + \frac{2,5}{2 \cdot 3162 \cdot 1000} \right) = \\
 &= 1000(0,0005 + 0,000000395) = \\
 &= 1000 (0,000500395) = 500,95 \text{ mV}
 \end{aligned}$$

Pogreška, dakle iznosi oko 0,2 % što je puno manje nego 80 %.

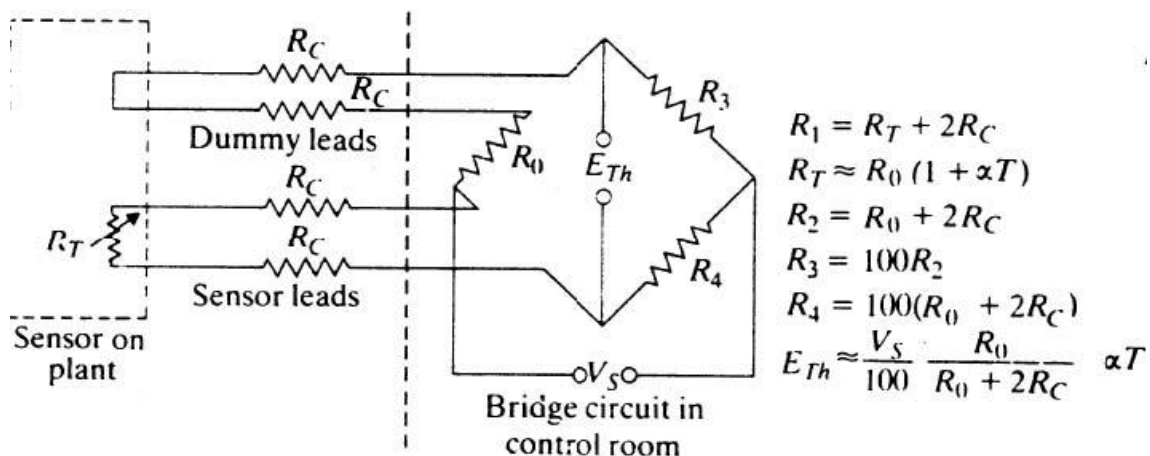
Ulazni su otpori simetrični i iznose nekoliko desetaka gigaoma.

Zadatci za pripremu:

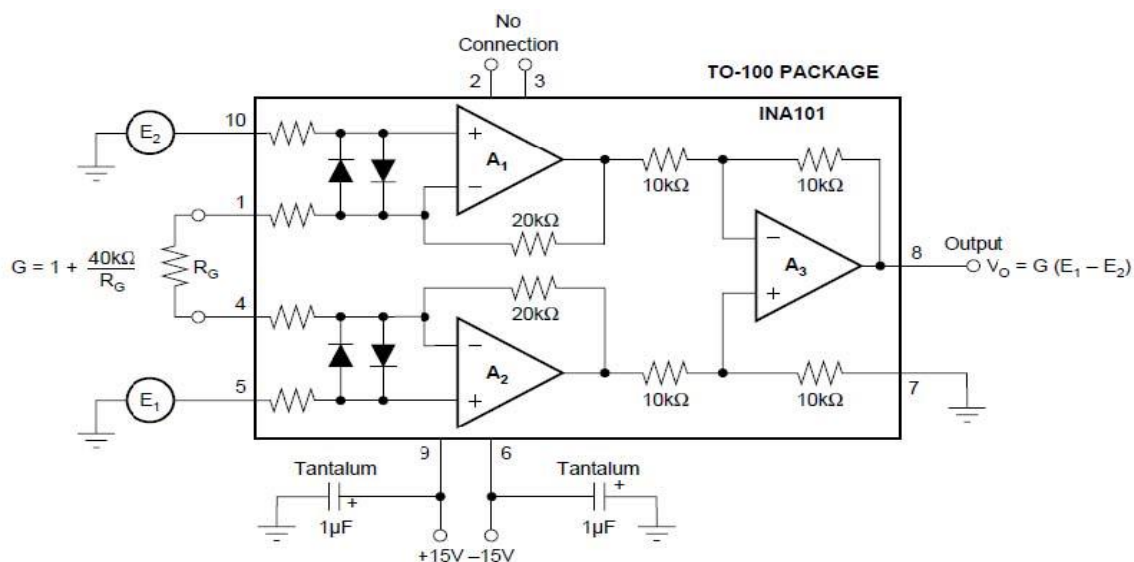
1. Odredi vrijednost vanjskog otpornika R_G instrumentacijskog pojačala sa slike 2 da se ulazni napon senzora sunčeva zračenja (pirometra) od $14 \mu\text{V/W/m}^2$ pojača na iznos od 10 mV/W/m^2
2. Vrijednost diferencijskog pojačanja A_d instrumentacijskog pojačala INA 101 može se mijenjati između 1 i 1000 ovisno o vrijednosti otpornika R_G . Izračunaj zajedničko pojačanje A_{cm} tog pojačala ako je naponsko pojačanje $A_d=100$ uz CMRR 110dB.
3. U nekom procesu mjeri se temperatura 50°C termootpornikom Pt100 čiji TCR iznosi $3,85 \text{ m}\Omega/\Omega/\text{K}$ u mosnom spoju prema sl. 5. Odredi pogrešku pri mjerenju temperature pojačalom INA101 uslijed konačnog iznosa faktora potiskivanja 110 dB. $R_0 = 100 \Omega$, $R_T = 100 \Omega$ na $T = 0^\circ\text{C}$ a otpor vodića $R_c = 2,5 \Omega$.

Izvod:

$$A_{cm} = \underline{\hspace{2cm}}$$



Slika 5 Mosni spoj za mjerenje temperature



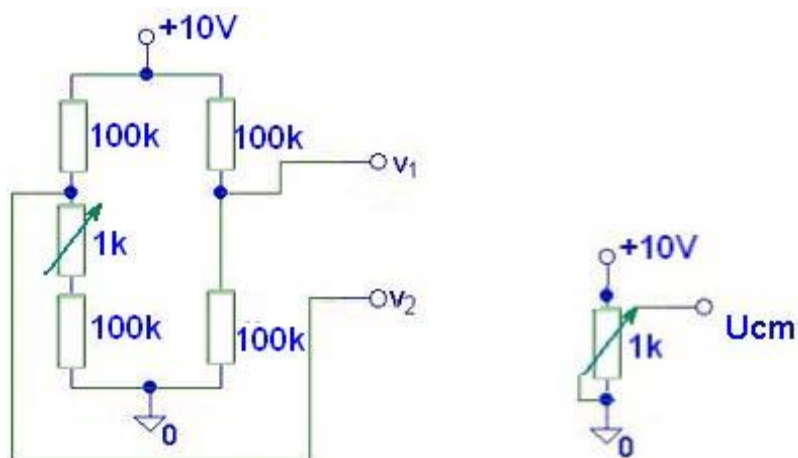
Slika 6 Osnovni spoj INA 101

Rad u laboratoriju

1. Konstruiraj na eksperimentalnoj pločici instrumentacijsko pojačalo pojačanja 1000 pojačanja prema shemi na slici 1.

Alternativno: Upotrijebi mostno instrumentacijsko pojačalo u kućištu.

2. Upotrijebi krug sa sl. 7 za stvaranje ulaznih signala za instrumentacijsko pojačalo.



Slika 7 Krug za generiranje ulaznog a) diferencijalnog signala i b) zajedničkog signala

3. Izmjeri ulazni diferencijalni napon i podesi vrijednosti prema tablici 1. Izmjeri za svaku vrijednost izlazni napon i upiši u tablicu.
4. Izračunaj za svaki par izlaznih u ulaznih napona diferencijalno pojačanje pojačala.
5. Izmjeri ulazni zajednički napon i podesi vrijednosti prema tablici 1. Izmjeri za svaku vrijednost izlazni napon i upiši u tablicu.
6. Izračunaj za svaki par izlaznih u ulaznih napona zajedničko pojačanje pojačala.
7. Izračunaj faktor potiskivanja pojačala za najgori slučaj.

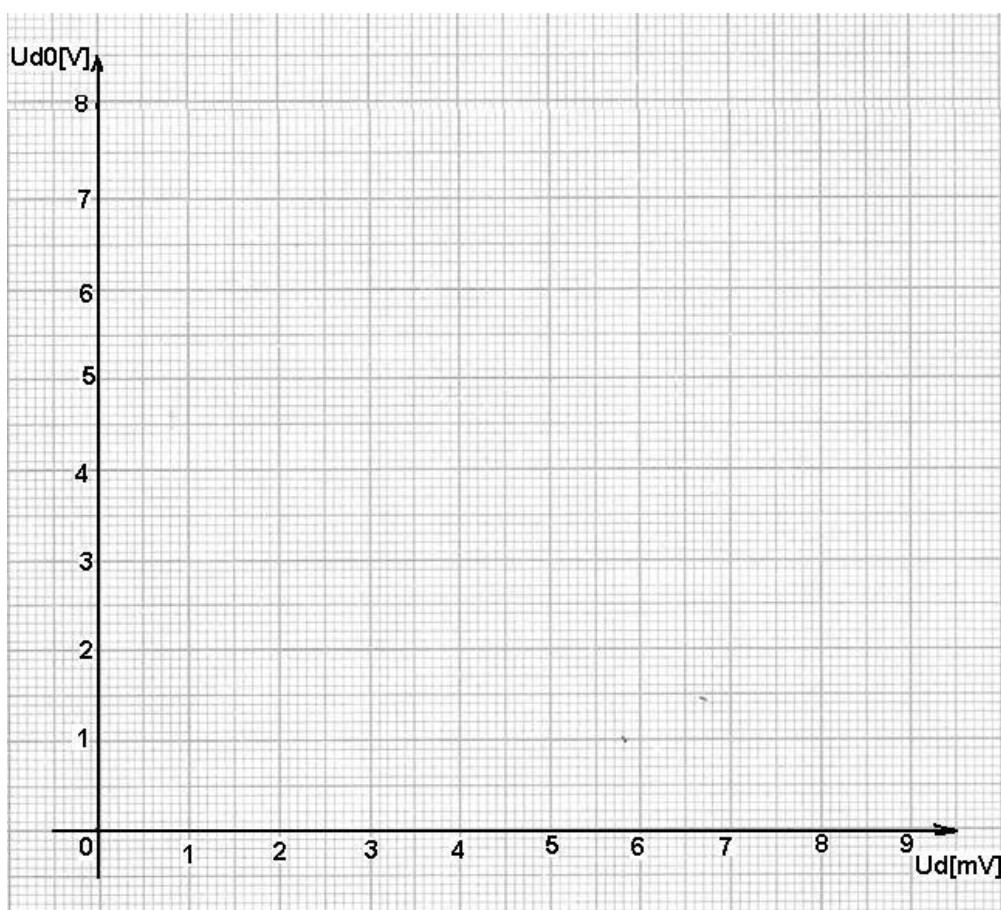
$$CMR_{wc} = \frac{A_{d \min}}{A_{cm \max}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$CMRR_{wc} = 20 \log CMR_{wc} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Tablica 1

U _d [mV]	0	1	2	3	4	5	6	7	8
U _{0d} [V]									
A _d									
U _{cm} [V]	0	1	2	3	4	5	6	7	8
U _{0cm} [mV]									
A _{cm}									

7. Nacrtaj grafički prikaz ovisnosti izlaznog napona diferencijskog pojačala o ulaznom diferencijskom naponu.



Sažetak o mjeremju:

