

Laboratorijas darba Nr. 1

OPERACIONĀLAIS PASTIPRINĀTĀJS

ATSKAITE

Izpildīts brigādes Roberts Benķis, Monta Daugaviete, Mārtiņš Dundurs sastāvā

Mārtiņš Dundurs
rect0 grupa, apl. nr.

2018. gada 10. martā

1 DARBA MĒRĶI

Šī darba primārais mērķis ir apgūt operacionālā pastiprinātāja (turpmāk OP) gan galveno, gan galveno slēgumu parametru mērīšanas metodes. Tāpat mēs uzstādam mērķi pārbaudīt konkrētās OP ierīces (LM741/ $\mu A741$) parametru atbilstību tās pasē norādītajiem datiem. Vēl mēs uzstādam arī mērķi eksperimentāli konstruēt pārvades raksturojumu konkrētajam pastiprinātājam gan neinvertējošajā, gan invertējošajā slēgumā un amplitūdas-frekvenču raksturlīkni (turpmāk AFR) neinvertējošajam slēgumam.

2 OP ELEKTRISKO PARAMETRU MĒRĪŠANA (4)

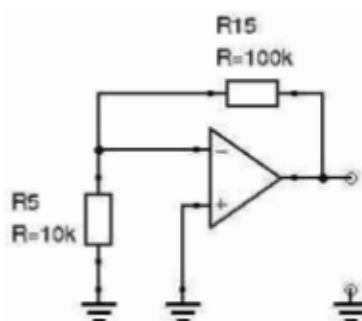
2.1 Novirzes sprieguma kompensācija (4.1)

Tā kā OP ražošanas procesā nav iespējams nodrošināt absolūtu simetriju starp tā iekšējām komponentēm (tranzistoriem un rezistoriem), pastiprinātājā pastāv t.s. *novirzes spriegums*. Novirzes spriegums nozīmē, ka, padotot identisku signālu uz abām OP ieejām, izejas signāls tomēr nebūs nulle. Mainstrāvas ķēdēs tā nav liela nelaime, par cik tur līdzstrāvas komponentes tiek ignorētas, bet līdzstrāvas ķēdēs tās novēršana ir ļoti svarīga. Šī iemesla dēļ tiek paredzēti divi izvadi (OFFSET NULL - pin 1, pin 5), kuriem pieslēdzot ārēju potenciometru, var šo novirzes spriegumu kompensēt. Šie izvadi ir pieslēgti iekšējā strāvas avota tranzistoru emiteriem. Neatkarīgi no tā, kurā OP iekšējās shēmas daļā rodas asimetrija, sprieguma kompensācija šajā punktā to novērsīs.

Šajos novirzes sprieguma kompensācijas pievados iespējams kompensēt tikai galīgu sprieguma vērtību. Ražotājs pasē norāda ka šī vērtība var būt vismaz intervālā $\pm 15\text{ mV}$. Mēs laboratorijā varējām šo pārbaudīt griežot mūsu potenciometru R_{11} līdz abiem galējiem stāvokļiem un ieguvām vērtības 1. tabulā. Attiecīgo nobīdes sprieguma intervālu skatīt 1 tabulā.

Table 1: Nobīdes sprieguma kompensācijas intervāls

U_{out} (pa kreisi) [V]	0.1488
U_{out} (pa labi) [V]	-0.143



Mūsu darbā, nosakot un kompensējot novirzes spriegumu, mēs izmantojām sekojošo neinvertējošā pastiprinātāja slēguma shēmu. Mēs varam viegli atrast tās pastiprināšanas koeficientu, kad pieņemam ka OP ieejās strāva ir nulle: $I = 0$. Praktiski tā ir pārāk niecīga un to mēs parādījām šī laboratorijas darba 4.2. punktā. Vispirms

mēs zinām, ka izejas spriegums būs pastiprināts ieejas spriegums ar pastiprināšanas koeficientu K . Tā kā mēs lietojam neinvertējošo slēgulu, tad K būs pozitīvs (K_+): $U_{out} = K_+ U_{in}$. Pēc tam mēs varam sastādīt II Kirhofa likumu parastam virknes kontūram, par cik strāva OP ieejās ir 0: $IR_5 + IR_{15} = U_{out}$. Ievietojot U_{out} vērtību, iegūstam: $IR_5 + IR_{15} = K_+ U_{in}$. Izdalīsim vienādojuma abas puses ar I un iegūsim:

$$R_5 + R_{15} = K_+ \frac{U_{in}}{I}, \text{ kur } \frac{U_{in}}{I} = R_5. \text{ Rezultātā: } R_5 + R_{15} = K_+ R_5 \text{ un tātad } K_+ = 1 + \frac{R_{15}}{R_5} = 11$$

Šis pastiprinājuma koeficients ļaus mums atrast nobīdes spriegumu, mērot izejas spriegumu: $U_{nob} = U_{out}/K_+$. Rezultāti apkopoti 2 tabulā.

2.2 Novirzes strāvu un strāvas nobīdes mērījumi (4.2)

Lai noteiktu novirzes un nobīdes strāvas mēs izmantojām trīs sekojošās slēguma shēmas. Pirmajā slēguma shēmā, izmērot U_{out} , mēs noteiksim $I_{nov1} = (U_{out} - U_{nob})/R_{12}$, kur $U_{nob} = 0.78$ mV, ko noteicām iepriekšējā uzdevumā. Otrajā slēguma shēmā, izmērot U_{out} , mēs noteiksim $I_{nov2} = (U_{out} - U_{nob})/R_8$. Trešajā slēguma shēmā, izmērot U_{out} , mēs noteiksim $I_{nob} = (U_{out} - U_{nob})/R_8$. U_{nob} var noteikt **saslēdzot** abus slēdžus SW5 un SW8, tomēr tā kā laboratorijas darba instrukcijās kļūdaini tika norādīts U_{nob} mērīt pie **atslēgtiem** slēdžiem, pareizās U_{nob} vērtības mērījums tā arī netika veikts. Rezultātā izmantojām iepriekšējā punktā noteikto $U_{nob} = 0.78$ mV vērtību. Uz šī pamata varam arī apšaubīt 2 tabulā gūtos strāvu rezultātus.

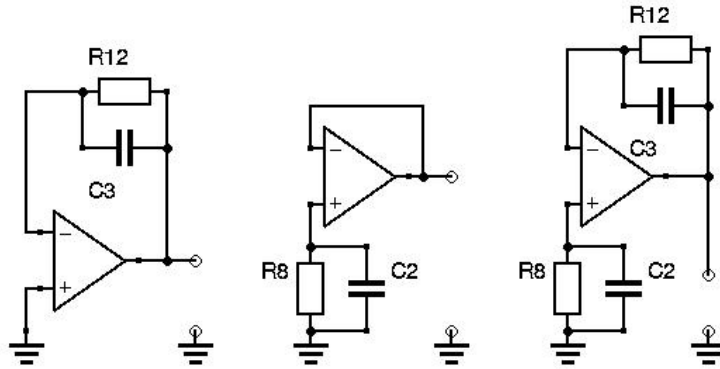
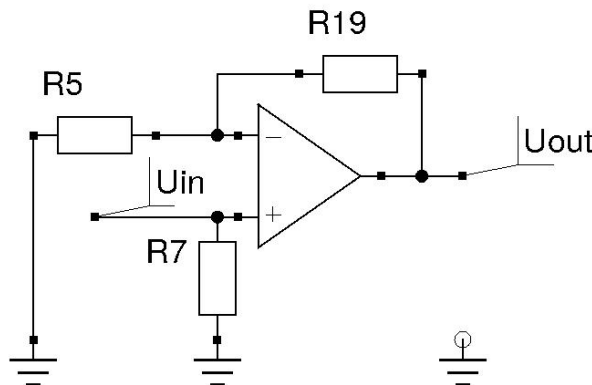


Table 2: 741 tipa OP parametru mērījumu rezultāti

	I_{nov1} [nA]	I_{nov2} [nA]	I_{nob} [nA]	$U_{nob} R_{11kreis}$	$U_{nob} R_{11lab}$	U_{nob} 4.1.	U_{nob} 4.2.
Mērījumi	13.372	-13.588	-0.978	13.527 mV	-13 mV	0.78 mV	-
Pasē (typ)	80	80	20	15 mV	-15 mV	1 mV	1 mV
Pasē (max)	500	500	200	-	-	5	5

3 GALVENO SLĒGUMA SHĒMU PARAMETRU MĒRĪJUMI (5)

3.1 Neinvertējošais pastiprinātājs (5.1.1)



Mūsu pirmais uzdevums bija iestatīt pastiprināšanas koeficientu $K_+ = 11$. To mēs varam izdarīt noregulējot rezistoru R_{19} . Lai noteiktu nepieciešamo R_{19} , algebriski manipulēsim koeficienta K_+ noteikšanas formulu:

$$K_+ = \frac{R_{19}}{R_5} + 1 \implies R_{19} = R_5(K_+ - 1) = 100 \text{ k}\Omega$$

Lai šo vērtību iestatītu, mēs izmantojām multimetru, mērot R_{19} pretestību pie no tīkla atslēgta maketa.

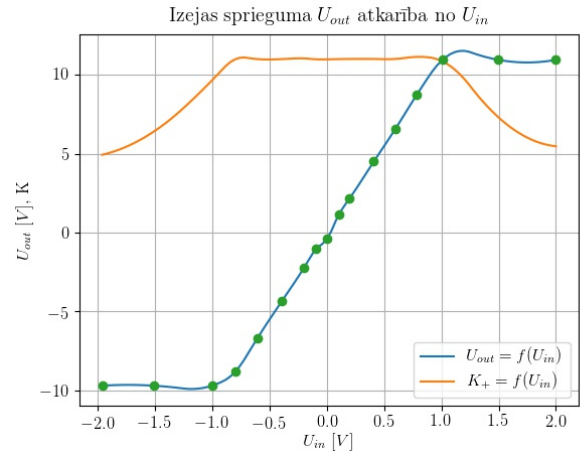
Table 3: Pretestību un pastiprināšanas koeficienta vērtības

R_{19}	R_5	K_+
100 k Ω	10 k Ω	11

3.2 Pastiprinātāja pārvades raksturojuma noņemšana (5.1.2)

Šajā darba daļā mēs pievadījam punktā U_{in} ieejas līdzstrāvas signālu no ārēja sprieguma avota, kura spriegumu regulējam ar potenciometru $R_{10} \pm 2 \text{ V}$ diapazonā. Izmantojot pastiprināšanas koeficientu $K_+ = 11$ šajā slēgumā mēs varam mērit ieejas signālus, kurus pastiprinot, OP vajadzētu pārsniegt tā iekšējā barošanas avota maksimālo spriegumu. Ieejas un izejas signālus, kā arī to atbilstošo pastiprinājuma koeficientus apkopojām sekojošajā tabulā. Blakus grafikā izmantojām kvadrātisko interpolāciju, lai iegūtu plūstošas līknes izejas spriegumam un pastiprinājuma koeficientam.

$U_{in} \text{ [V]}$	$U_{out} \text{ [V]}$	K_+
2.0000	10.9700	5.4850
1.4970	10.9700	7.3280
1.0090	10.9700	10.8722
0.7860	8.7700	11.1578
0.5950	6.5600	11.0252
0.4090	4.5090	11.0244
0.1970	2.1720	11.0254
0.1023	1.1270	11.0166
0.0000	-0.4000	∞
-0.0928	-1.0210	11.0022
-0.1990	-2.2010	11.0603
-0.3950	-4.3510	11.0152
-0.6090	-6.7100	11.0181
-0.8000	-8.8100	11.0125
-1.0000	-9.7000	9.7000
-1.5130	-9.7100	6.4177
-1.9640	-9.7100	4.9440

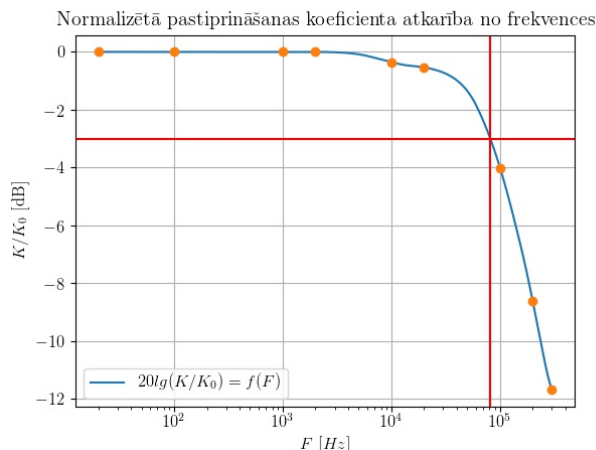


Pēc šiem datiem mēs varam labi redzēt šīs OP shēmas lietderīgo darbības diapazonu, kur pastiprinājuma koeficients ir stabils. Jānorāda, ka U_{in} mēs iestatījām ieeju pieslēdzot zemei. Mēs izmantojām arī iespēju vēlreiz izmērīt U_{nob} - pie $U_{in} = 0$, mēs atvienojām kompensācijas slēgumu, un novērojām, ka šeit U_{nob} nedaudz atšķiras, bet joprojām ir pietiekami salīdzināms gan ar mūsu iepriekšējo rezultātu (0.78 mV), gan arī ar pases datiem (1 mV). Pēc izdarītajiem mērījumiem varam noteikt *pārvades darba posmu*, kas mūsu gadījumā ir $U_{in} \in [-0.8, 0.7860]$. Pēc grafika labi redzams, ka pastiprinājuma koeficients K_+ pārstāj palielināties ārpus šī diapazona. Ārpus tā OP vairs nespēj pastiprināt signālu, jo to ierobežo tā paša barošanas avots, kurš mūsu gadījumā ir $\pm 12 \text{ V}$. Maksimālais spriegums ir aptuveni 10% mazāks kā barošanas avota spriegums. Tas ir tāpēc, ka spriegumam jākrīt OP tranzistoru iekšienē.

3.3 Pastiprinātāja AFR noņemšana (5.1.3)

K Šajā darba daļā mēs pārbaudījām kāds ir šī OP slēguma frekvenču darba diapazons. Šoreiz mēs padevām vienu un to pašu ieejas signālu - maiņspriegumu $U_{in} = 0.1 \text{ V}$, bet pie dažādām frekvencēm diapazonā no 20 Hz līdz 300 kHz. Sekojošajā tabulā un grafikā ir redzami mūsu darba rezultāti. Mērījumus veicām ar osciloskopu un rezultātā šiem datiem ir mazāka precizitāte.

F [Hz]	$2U_{Mout}$ [V]	K	K/K_0
20.00	1.08	10.8	1.00
100.00	1.08	10.8	1.00
1000.00	1.08	10.8	1.00
2k	1.08	10.8	1.00
10k	1.04	10.4	0.96
20k	1.02	10.2	0.94
100k	0.68	6.8	0.63
200k	0.40	4.0	0.37
300k	0.28	2.8	0.26



Grafikā esam y arī attēlojuši $20\lg(K/K_0)$ - frekvences izkropļojumu koeficientu parasti mēra dB. Pie -3 dB, atbilstošā frekvence ir aptuveni 81 kHz . Tātad šī OP slēguma darba frekvenču josla ir 81 kHz . Pasē frekvenču josla norādīta tikai LM741C modelim ar piebildi, ka tā aprēķināta no OP pārejas procesa ātruma ($\text{min} = 0.437\text{ MHz}$, $\text{typ} = 1.5\text{ MHz}$). Frekvenču josla ir ievērojami atkarīga no OP slēguma veidiem, tāpēc mums šie dati nav īpaši lietderīgi.

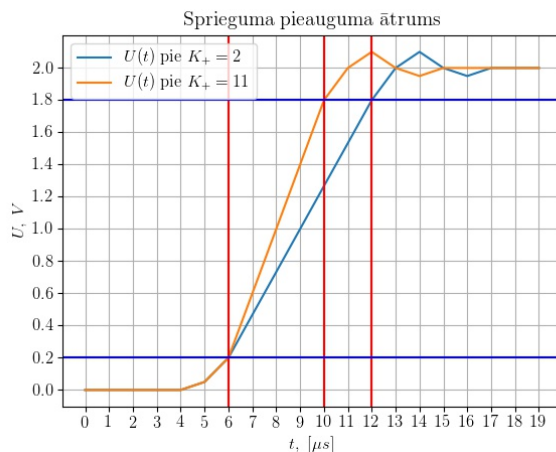
3.4 Izejas sprieguma pieauguma ātrums (5.1.4)

Sprieguma pieauguma ātrums (*slew rate*) raksturo to, cik augstas frekvences tas spēs pastiprināt. Jo augstāka frekvence, jo ātrāk ir jāizmainās spriegumam. Ja OP tiek dots signāls, kura maksimālais sprieguma pieauguma ātrums ir lielāks, kā to spēj veikt OP, tad OP izejā signāls būs ar maksimālo frekvenci un kad tas tiks padots atpakaļ caur AS, tad tas maisīsies ar ieejas signālu, kuram ir augstāka frekvence. Sekojošā attēlā ir aptuvena

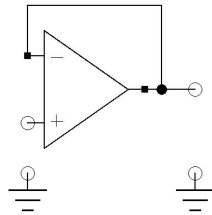
Table 4: Izejas sprieguma pieauguma ātrums pie dažādiem K

	ΔU , [V]	Δt , [μs]	V_{Uout} , $V/\mu\text{s}$	Pasē, $V/\mu\text{s}$
$K = 2$	1.6	6	0.2667	0.5
$K = 11$	1.6	4	0.4	0.5

osciloskopa ainas ilustrācija. Mūsu eksperimentā sprieguma izmaiņas ātrums izrādījās zemāks kā pasē. Pie tam, mēs novērojam, ka pie augstāka pastiprinājuma koeficienta tas paaugstinājās. Mēs prognozējam, ka paaugstinot pastiprināšanas koeficientu mēs sasniegtu pasē specificēto lielumu $0.5\text{ V}/\mu\text{s}$ un turpmāka koeficienta paaugstināšana vairs nepalielinātu ātrumu. No otras puses ierobežots sprieguma pieauguma ātrums var kalpot augstu frekvenču filtrācijai, izmantojot OP. OP nevar momentāli atbildēt uz ieejas signāla izmaiņām, jo tajā ir iebūvēts t.s. *kompensācijas* kondensators, kurš ļauj kompensēt frekvenču nestabilitāti noteiktās frekvencēs. Ir OP, piemēram komparatoros, kur šāda kompensācija nav nepieciešama, tāpēc tajos sprieguma pieauguma ātrums var būt ļoti liels.



3.5 Sprieguma atkārtotājs (5.1.5)



Sprieguma atkārtotāja slēgums ļauj izolēt signāla avotu no slodzes. Kā mēs redzējām iepriekšējā punktā pastiprinājums ietekmē to ar cik lielu frekvenci spēs darboties OP. Kā redzams, pie augstākām frekvencēm

Table 5: Izejas-ieejas signālu attiecība pie 1 un 5 V amplitūdas un dažādām frekvencēm

F [kHz]	0.1	0.1	1	1	10	10	50	50	100	100	150	150
U_{in} [V]	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5
U_{out} [V]	1	5.4	1.1	5.3	1.1	5.3	1.05	3.2	1.1	1.5	0.95	1
U_{in}/U_{out}	1	1.08	1.1	1.06	1.1	1.06	1.05	0.64	1.1	0.3	0.95	0.2

pastiprinājums visdrastiskāk pasliktinās lielam (5 V) ieejas signālam, kamēr 1 V signālam tas ir daudz stabilāks. Tas ir tieši saistīts ar pieļaujamo sprieguma izmaiņas ātrumu, ko pētījām iepriekšējā punktā. Lielajam signālam pastiprinājums visvairāk samazinās posmā no 10 līdz 50 kHz.

Nākamais, ko darījām, ir pieslēdzām ārēju atgriezeniskās saites rezistoru $R_{AS} = 47k\Omega$.

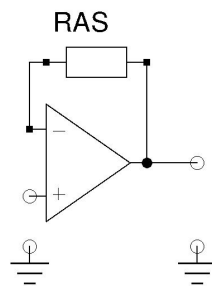
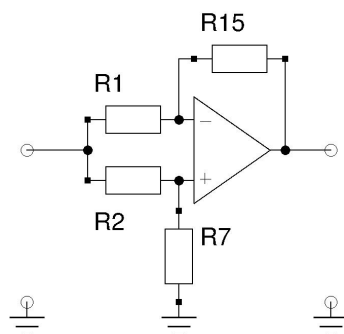


Table 6: Atkārtotājs ar AS rezistoru

F [kHz]	0.1	50
U_{in} [V]	1	1
U_{out} [V]	1.1	1.8
U_{in}/U_{out} [V]	1.1	1.8

Redzam, ka atkārtotāja shēmā ar AS rezistoru atkārtoti tiek zemfrekvenču signāli (0.1 kHz), bet novērojams pastiprinājums pie augstas frekvences (50 kHz).

3.6 Sinfāzes signāla vājinājuma koeficienta (SSVK) mērīšana (5.1.6)



Sinfāzes signāla vājinājuma koeficients parāda to, cik ļoti tiek vājināta identisku abu ieejas signālu starpība. Sinfāzes signālus OP pastiprina, jo nav iespējams perfekti ražot OP diferenciālo kaskādi, kuras uzdevums ir pastiprināt tieši ieejas signālu starpību. Lai noteiktu SSVK mēs izmantojam sekojošas formulas:

$$SSVK = \frac{U_{in}}{U_{out}} \frac{R_1 + R_{15}}{R_1}; \quad SSVK(dB) = 20lgSSVK$$

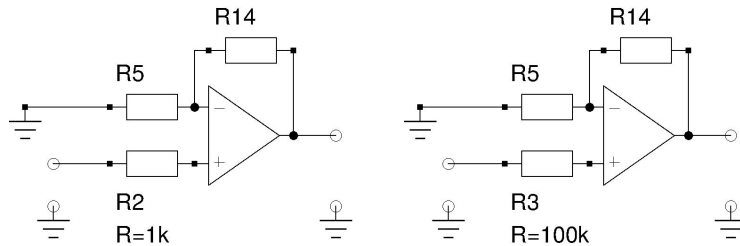
Table 7: SSVK mērījumu rezultāti ar komentāriem

Ieejas frekvence:	f =	40	Hz
Uzstādīta tika ieejas efektīvā vērtība:	U _{ie} =	5.999	V
Izmērītā izejas sprieguma efektīvā vērtība:	U _{out} =	0.026	V
Sinfāzes signāla vājinājuma koeficients (SSVK):	SSVK =	23304	
	SSVK (dB) =	87.35	dB
Pasē tipiski:	SSVK (dB) =	95	dB
Pasē minimums:	SSVK (dB) =	80	dB

Redzam, ka mūsu OP SSVK atbilst datiem - tas pārsniedz minimālo pases vērtību, kaut arī vēl nesasniedz tipisko.

3.7 Pastiprinātāja ieejas pretestības mērīšana (5.1.7)

Pastiprinātāja ieejas pretestībai jābūt pēc iespējas lielākai. Lai to noteiktu mēs izmantojam šīs divas shēmas:



Lai aprēķinātu iekšējo pretestību, mēs izmantojam sekojošas formulas:

$$R_{ie} = R_3 \frac{k}{1 - k}, \quad \text{kur } k = \frac{U_{out2}}{U_{out1}}$$

Ieguvām sekojošus rezultātus. Jānorāda ka laboratorijas darba slēdžu tabula prasīja citu izpirdes procedūru

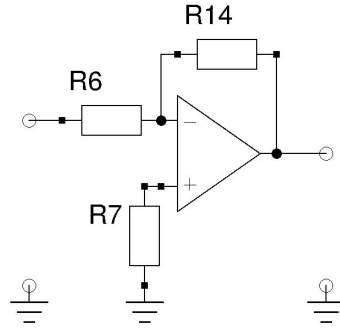
Table 8: OP ieejas pretestības mērījumi

U_{out1} [V]	U_{out2} [V]	k	R_{in} [Ω]	R_{in} [M Ω]	Pasē, [M Ω]
4.000	3.997	0.99925	133233333	133	2

kā tika aprakstīts materiālā. Materiālā tika prasīts lietots īsslēgumu U_{out1} mērījumā, bet slēdžu tabula lika izmantot $R_2 = 1k\Omega$ rezistoru.

4 OP INVERTĒJOŠAIS SLĒGUMS

4.1 Pastiprinājuma koeficienta iestatīšana (6.2)



Pastiprinājuma koeficientu invertējošā slēguma shēmā atrod pēc vienkāršākas formulas:

$$K_- = -\frac{R_{15}}{R_6} \rightarrow R_6 = \frac{R_{15}}{K_-}$$

, kur R_6 ir potenciometrs, kura pretestību mēs iestatīsim. **Tomēr aprēķinos tika pieļauta kļūda un iestatīts**

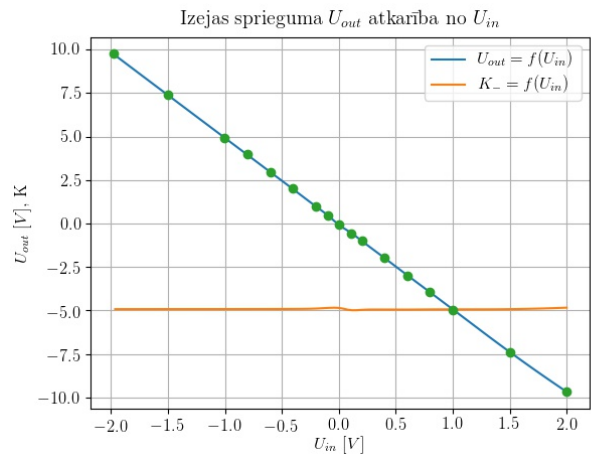
Table 9: Potenciometra iestatāmās pretestības aprēķins

Uzstādāmais pastiprināšanas koeficients:	$K_- =$	-6	
Aprēķinātā potenciometra vērtība:	$R_6 =$	16666.667	Ω
	$R_6 =$	16.667	$k\Omega$

tika pastiprināšanas koeficients $K_- = -5$ ar potenciometra vērtību $R_6 = 20\text{ k}\Omega$.

4.2 Pārvades raksturojums (6.3)

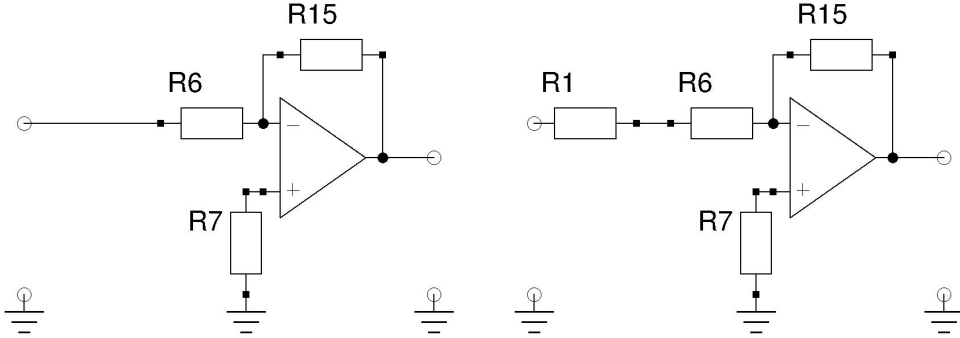
$U_{in}\text{ V}$	$U_{out}\text{ V}$	K_-
2.002	-9.69	-4.8401598402
1.502	-7.4	-4.9267643142
1.003	-4.953	-4.9381854437
0.8	-3.953	-4.94125
0.606	-3	-4.9504950495
0.4016	-1.987	-4.9477091633
0.2032	-1.009	-4.9655511811
0.111	-0.5535	-4.9864864865
0	-0.072	∞
-0.0976	0.474	-4.856557377
-0.1995	0.976	-4.8922305764
-0.4067	1.999	-4.9151708876
-0.5987	2.945	-4.9189911475
-0.806	3.966	-4.9205955335
-1.003	4.937	-4.9222333001
-1.501	7.39	-4.9233844104
-1.981	9.76	-4.9268046441



Tā kā mēs nepareizi iestatījām pastiprināšanas koeficientu, mēs šajā grafikā nevaram redzēt OP piesātinājumu, jo $K_- = -5$ mūsu 2 V signāla maksimālo spriegumu pastiprinās līdz maksimums 10 V, kas droši ietilpst OP darba diapazonā. Diemžēl nevaram par OP darba diapazonu spriest pēc grafika, tomēr arī invertējošajam pastiprinātajam darba diapazons ir aptuveni 10% mazāks kā barošanas avota spriegums. Proti, mūsu gadījumā tas būtu aptuveni $\pm 10.8\text{ V}$ izejas spriegumam. Attiecīgi pie pastiprināšanas koeficienta $K_- = -5$, ieejas signāla vērtībai vajadzētu ietilpt diapazonā $U_{in} = \pm 2.16\text{ V}$.

4.3 Ieejas pretestības mērīšana (6.4)

Invertējošajam OP slēgumam ieejas pretestību mēs mērījām analogiski neinvertējošajam. Pastiprināšanas koeficients mums bija iestatīts $K_- = -5$. Šajā gadījumā mēs gan tik tiešām lietojām isslēgumu pirmā izejas sprieguma U_{out1} mērīšanai. Otrā izejas sprieguma U_{out2} mērīšanai mēs lietojām rezistoru $R_1 = 1\text{ k}\Omega$. Rezistors $R_6 = 20\text{ k}\Omega$.



$$R_{in} = \frac{k}{1-k} R_1, \quad \text{kur } k = \frac{U_{out2}}{U_{out1}}$$

Table 10: Ieejas pretestības mērījums invertējošajam OP slēgumam

U_{ie}	U_{out1}	U_{out2}	k	$R_{in} [\Omega]$	$R_{in} [k\Omega]$
0.4016	-1.985	-1.892	0.9531	20344	20.34

Mēs redzam ka ieejas pretestība ir ievērojami mazāka kā neinvertējošajā slēgumā. Tas ir šī slēguma trūkums, bet to atsvēr citi tā labumi - shēmas vienkāršība un nav sinfāzes traucējumu.

5 SECINĀJUMI

Šis darbs bija visai apjomīgs un tas bija jāveic ļoti īsā laikā. Darba materiālā sastopamas arī neprecizitātes vai vietas, kur būtu nepieciešams skaidrojums, kā arī būtu vēlamas, ka būtu lietoti vienoti apzīmējumi. Tā 4.2 punktā netika izmērīts nobīdes spriegums U_{nob} , jo to vajadzēja noteikt pie *saslēgtiem* slēdžiem SW5 un SW8, nevis *atslēgtiem* kā tas tika prasīts darba materiālā. Tā vietā mēs lietojām 4.1 punktā noteikto U_{nob} vērtību. Neskatoties uz to mēs varam izdarīt vērtīgus secinājumus par OP parametriem. 4.1 punktā mēs noteicām un kompensējām novirzes spriegumu $U_{nob} = 0.78\text{ mV}$, kas ir pat labāk kā tipiskiem gadījumiem norādīts pasē ($U_{nob} = 1\text{ mV}$). 4.2 punktā mēs noteicām novirzes strāvas abās OP ieejās, nobīdes strāvu, kā arī salīdzinājām tas ar OP pases datiem. Izrādījās ka strāvas mums bija mazākas kā pieļaujamās. 5.1.2 punktā mēs izveidotajā neinvertējošajā OP slēgumā ar AS noteicām ieejas signālu darba diapazonu pie pastiprinājuma koeficienta $K_+ = 11$. Tas mums ļāva saprast to, ka OP lietošanā jāņem vērā tā barošanas avota spriegumi. 5.1.3 punktā mēs noņēmām AFR, kas ļāva mums noteikt OP darba frekvenču joslu 81 kHz, kas gan izrādās mazāka kā pasē norādīts tipiskam ražojumam (1.5 MHz), bet pietiekami pārsniedza minimālo joslas platumu (0.437 MHz). 5.1.4 punktā mēs nomērījām sprieguma pieauguma ātrumu (*slew rate*), kas izrādījās palielinās, palielinot OP pastiprinājumu. Pie lielākām frekvencēm vai pie lielākiem pastiprinājumiem OP var pārsniegt pasē norādīto ($V_{Uout} = 0.5\text{ V}/\mu\text{s}$) un rezultātā traucēt, kropļot vai vājināt ieejas signālu. 5.1.5 punktā mēs izpētījām sprieguma atkārtotāja (*voltage buffer*) slēgumu un novērojām, ka pie maziem ($U_{in} = 1\text{ V}$) signāliem tas spēj darboties platākā frekvenču joslā, nekā ar lieliem ($U_{in} = 5\text{ V}$) signāliem. 5.1.6 punktā mēs izmērījām svarīgu OP parametru SSVK, kas izrādījās mazāks (87.35 dB) kā tipiskiem ražojumiem norādīts pasē (95 dB), bet pārsniedza minimālo vērtību (80 dB). 5.1.7 punktā mēs izmērījām neinvertējoša OP slēguma ieejas pretestību, kas izrādījās ārkārtīgi liela. Pārsvarā praktiskiem lietojumiem šādu pretestību var reducēt par atvērtu ķēdi, kas vienkāršos analīzi.

Mēs šajā darbā pētījām arī invertējošus OP slēgumus. Tā 6.2 punktā mēs ar rūgtu pieredzi, pieļaujot kļūdu, iemācījāmies ka pastiprinājuma koeficients šādos slēgumos ir aprēķināms vienkāršāk kā neinvertējošā slēgumā. Rezultātā mēs iestatījām nepareizu pastiprināšanas koeficientu un rezultātā nespējām novērot OP piesātinājuma ainu 6.3 punktā. 6.4 punktā mēs analogiski 5.1.7 punktam izmērījām ieejas pretestību invertējošam OP slēgumam, kas izrādījās salīdzinoši ļoti maza ($R_{in} = 20.34\text{ k}\Omega$).