



„Latvijas elektrisko un optisko iekārtu ražošanas nozares
kompetences centrs”

Līguma Nr. 1.2.1.1/18/A/006

Apakšprojekts Nr. 1.6 “Analogo elementu pētījumi, kas izmantoti Hi-End
audio produktu ražošanā”

Rūpnieciskais pētījums par digitālo-analogo
pārveidotāju problemātiku, frekvenču nobīdes
rašanās iemesliem un apstākļiem, kā arī
iepriekšējā projekta eksperimentālās izstrādes
rezultāta novērtēšana aparātvidē”

Pārskata periods
01.04.2019. – 30.09.2019.

Rīga, 2019.

Autoru (pētījumu komandas) uzskaitījums

Aleksandrs Zaslavskis

Aleksejs Muhins

Antoņina Kuzņecova

Boriss Ahmetžanovs

Igors Mihailovs

Ivo Berkolds

Leonīds Kuzņecovs

Mihails Tarasovs

Modris Kalpiņš

Tatjana Iljina

Valdis Belka

Viktors Sedovs

Olga Strauta

Tamāra Savina

Igors Iljins

Saturs

Saturs.....	3
Ievads	4
1. Risinājums uz kristāla M145-4-4 un 18 izlāžu rezistīvo matricu bāzes.....	5
1.1. Rezistīvā matrica 7360	7
1.2. Rezistīvā matrica 7365	8
1.3. DAC-18 mikrokomplektācija	8
2. Risinājums uz paralēlā hibrīdā CAP bāzes	10
2.1. Rezistīvais dalītājs	12
2.2. Rezistīvais summators	13
2.3. CAP kalibrācijas process.....	16
3. Problēmglīča pētījumi.....	17
4. Secinājumi	26
4.1. Secinājumi par DAC18.....	27
4.2. Secinājumi par DAC21.....	27
4.3. Degličeri	27

Digitāli-analogo pārveidotāju (DAC) attīstības vēsture ir ļoti gara un šajā procesā ir notikusi to sadalīšana vairākās grupās atkarībā no to pielietojšanas mērķa.

Ir izrādījies, ka nav iespējams apvienot vienā iekārtā visas pārveidotāja īpašības, kas vienlaikus atbilstu visām prasībām (pat nerunājot par saskarni) – absolūta precizitāte, parametru novirze, pārveidošanas ātrums, pīķi, uzstādīšanas ātrums un citas.

Laika gaitā DAC ar pielietojumu audio nozarē tika iedalīti atsevišķā grupā. Pie galvenajiem šādu DAC parametriem, galvenokārt, pieskaitāma izlādes spēja, linearitāte, uzstādīšanas ātrums un pīķi. Tādi parametri kā augsta stabilitāte un absolūtā precizitāte šim pielietojumam atvirzījies otrā plānā.

Šādu DAC kvalitātes novērtējums saistās ar neparastu problēmu – mūzikas eksperti ziņo, ka DAC ar vienādiem deklarētajiem tehniskajiem parametriem pie ieslēgšanas būtiski atšķiras. Te radies secinājums, ka elektronikas nozares pieņemtie kritēriji audio DAC īpašību novērtēšanai neatbilst gala lietotāja pieņemtajiem kritērijiem. Tas novedis pie tā, ka parādījusies tā sauktā *Hi-End* aparatūra, kur deklarētie augsta līmeņa mērāmie elektriskie parametri ir tikai pirmais novērtēšanas līmenis. Tas vēl jāapstiprina ar novērtējumu no ekspertiem, kas ir autoritātes audio-muzikālajā jomā.

Te radusies vēl viena dīvaina situācija – daži audio DAC, kas radīti 20.gs. 90.-to gadu beigās, vēl joprojām ir audiofilu “ikonas”, neskatoties uz to, ka, piemēram, pēc izlādes spējas tie būtiski atpaliek no mūsdienu risinājumiem. Raksturīgs piemērs ir audio DAC “TDA7542-16”. Šis DAC vēl joprojām pēc ekspertu “noklausīšanās” tiek uzskatīts par īpaši kvalitatīvu. Cits piemērs ar augstu novērtējumu pie “noklausīšanās” ir audio DAC D20400 (20 izlādes), kas radīts pirms vairāk nekā 20 gadiem.

Tomēr, saistībā ar sarežģīto un dārgo šādu DAC izgatavošanu, tos *Hi-End* nišā aizvietojuši citi risinājumi, kas iekarojuši *Hi-Fi* masu tirgu. *Hi-End* nišā palikuši tikai daži uzņēmumi, kas izstrādā risinājumus. Viens no piemēriem ir *Asahi Kasei Semiconductors*, kas kā galveno mārketinga triku parāda, ka tā piedāvātie DAC ir ar 32 izlādēm. Tomēr tajā pašā laikā daļa no būtiskajiem parametriem atbilst 18 izlāžu iekārtas analogajiem parametriem (32 izlādes atbilst iekšējiem digitālajiem risinājumiem). Svarīgi atzīmēt, ka uz ekspertu vērtējumu būtisku ietekmi atstāj mārketinga triki – terminu un parametru izmantošana, kas ir standarta un obligāti nozarē, bet nekā nevar ietekmēt rezultātu, piemēram, “skābekli nesaturošs varš” vai “īpaša tehnoloģisko procesu pārraudzība”. Tomēr, DAC, ko ražo *Asahi Kasei Semiconductors*, šobrīd tiek uzskatīti par vislabākajiem starp tiem, kas pieejami *Hi-End* pielietojumam.

Šajā pētījumā tiek izvirzīts uzdevums izveidot DAC *Hi-End* tirgum, īpašu uzmanību pievēršot analogajiem parametriem.

Pirmajā pētījuma daļā tika izpētītas vairāku DAC struktūras, to mezgli un risinājumi, kas iegūti, ieviešot pētījumu “Augstas pretestības rezistīvo slāņu pētījums”

1. Risinājums uz kristāla M145-4-4 un 18 izlāžu rezistīvo matricu bāzes

Aktivitātes ietvaros tika izgatavots 18 izlāžu DAC uz digitālā vadošā kristāla M145-4-4 bāzes (ražots AS “Alfa RPAR”). Kā rezistīvā matrica tika izmantota eksperimentālā izstrāde – matrica, kas izgatavota pētījuma “Augstas pretestības rezistīvo slāņu pētījums” ietvaros.

Uz šo kristālu bāzes tika veikta hibrīda 18 izlāžu DAC komplektēšana.

Specializētais kristāls M154-4-4 tiek izmantots, lai izgatavotu DAC ar augstu izlādes spēju. Tam ir ieejas reģistrs, izlāžu dešifrators, režīmu vadības shēma un īpaši saskaņotas izejas atslēgas. To saskaņošana ir izpildīta tādā veidā, ka katrai izlādei sprieguma kritums uz katru atslēgu ir identisks, neskatoties uz to, ka katras nākamās izlādes punkti ir divreiz mazāki par iepriekšējo. Tāda struktūra domāta izmantošanai kopā ar rezistīvo matricu, kas tiek izveidota un pielāgojas neatkarīgi no vadošā kristāla.

Pētījuma ietvaros tika izveidoti divi rezistīvās matricas varianti. Katrā no tām bija realizēti rezistori ar atgriezenisko saiti, rezistoru grupa ar lielāko izlādi (3 lielākās izlādes izkliedētas uz 7 rezistoriem) un R2R struktūra zemākajā daļā (15 izlādes). Abi matricas varianti pieprasa regulēšanu ar lāzera palīdzību.

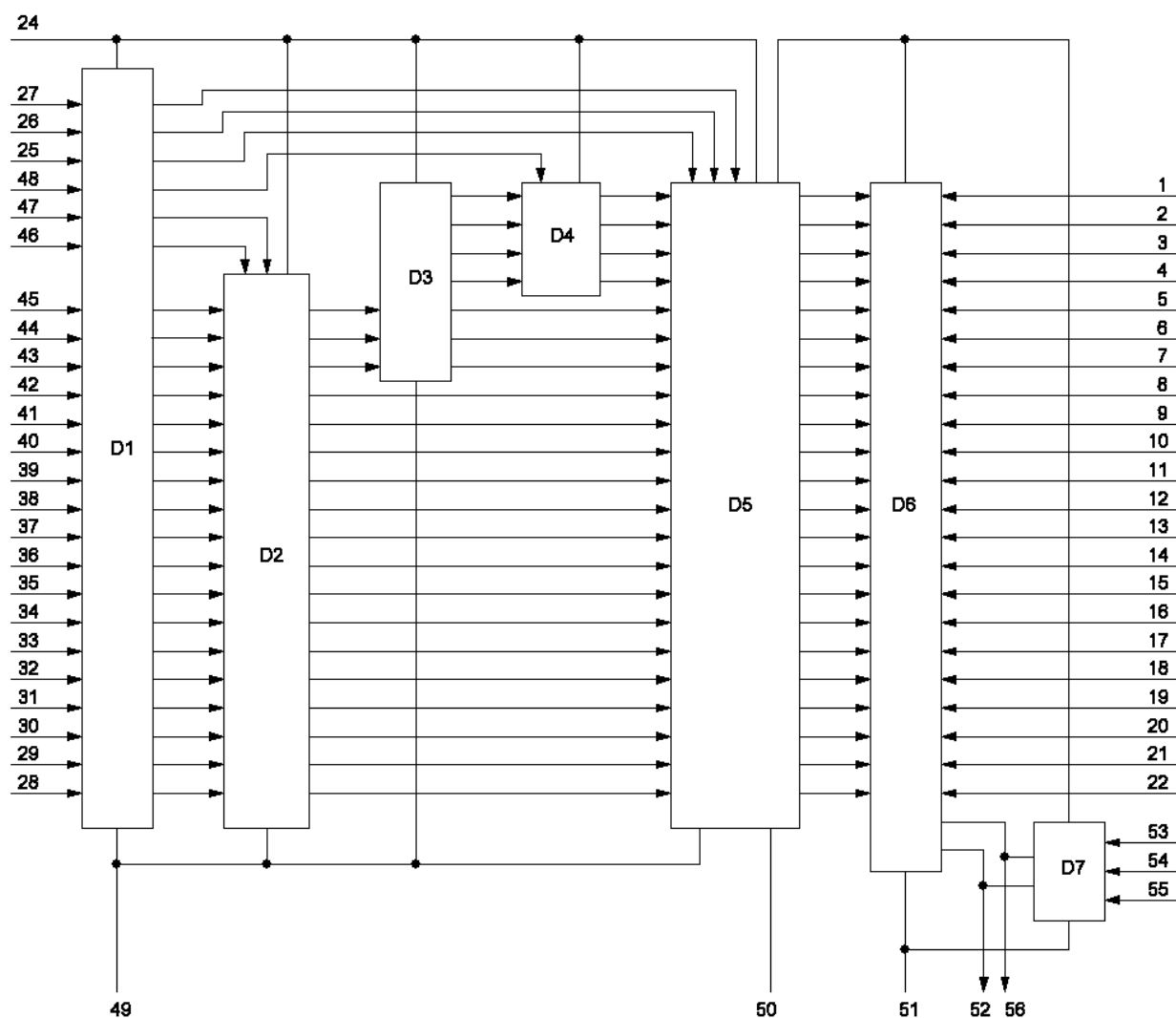
Matricas atšķiras ar konstruktīvo risinājumu. Rezistori, kas paredzēti lāzerpiedzīšanai iedalīti divās grupās – lielajā un mazajā. Lielākā daļa fiksēta, mazākā – pielietota piedzīšanai. Lai uzlabotu rezistoru stabilitāti, tika izmantota “restotā” struktūra tai rezistora daļai, kas paredzēta piedzīšanai. Lai samazinātu lokālās uzsilšanas ietekmi, rezistori tika atdalīti un samaisīti.

Uztādīšanas laiks komplektācijai, kas izveidota uz šiem kristāliem, ir 5 ms un diferenciālā linearitāte – 14 izlādes līdz lāzerpiedzīšanai, kas tiks veikta nākamajos pētījuma posmos.

Augsta līmeņa audio aparatūrai diskretizācijas frekvence 96 kHz skaitās zemākā robeža.

Iegūtais uztādīšanas laiks atrodas uz robežas ar pieļaujamo un tas visdrīzāk uzlabosies ar atslēgu pārslēgšanās ātruma palielināšanu, izmantojot pīķu novēršanas risinājumu un/vai pārstrādājot kristālu M145-4-4.

Shēma M145-4-4



D1 – ieejas digitālo signālu formētājs, D2 – režīmu izvēles shēma 1 vai 2, D3 – dekodēris, D4 – režīmu izvēles shēma 3, D5 – reģistrs, D6 – analogās atslēgas, D7 – pārveides nobīdes kompensācijas shēma.

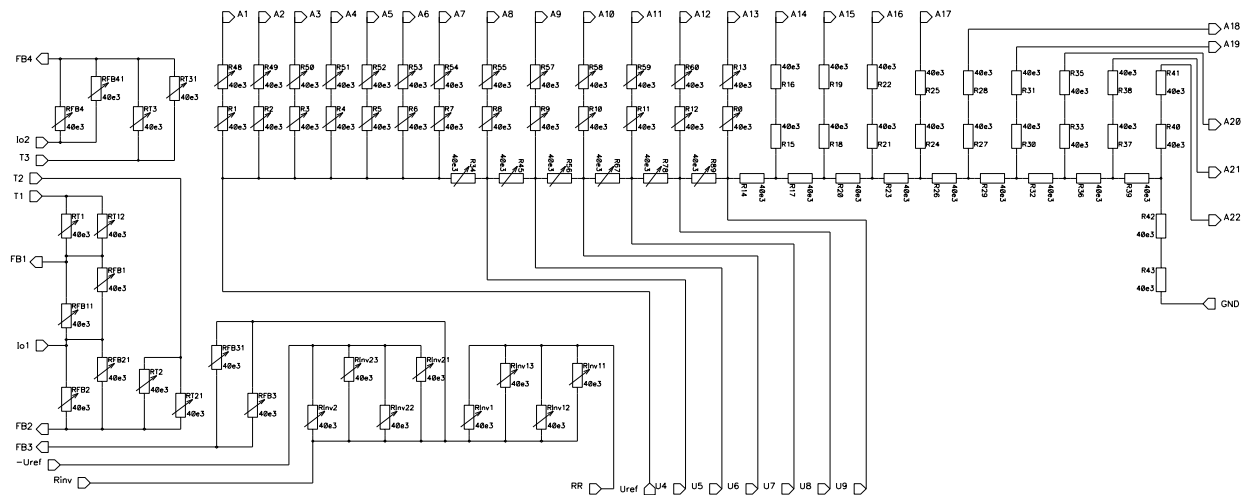
Ieejas MC:

- 1 - 22 – analogās ieejas 1 - 22 atbilstoši,
- 23 – barošanas spriegums +5 V analogie,
- 24 – barošanas spriegums +5 V digitālie,
- 27, 26, 25 – strobs 1, 2, 3 atbilstoši,
- 28-45 – Digitālās izejas 18 - 1 atbilstoši,
- 46, 47, 48 – režīms 1, 2, 3 atbilstoši,
- 49 – “Digitālais” zemējums,
- 50 – “Analogais” zemējums,
- 51 – kopējā analogo atslēgu izeja
- 52 – Izeja 1,
- 53, 54, 55 – Kompensācijas tranzistors 1, 2, 3 atbilstoši,
- 56 – Izeja 2.

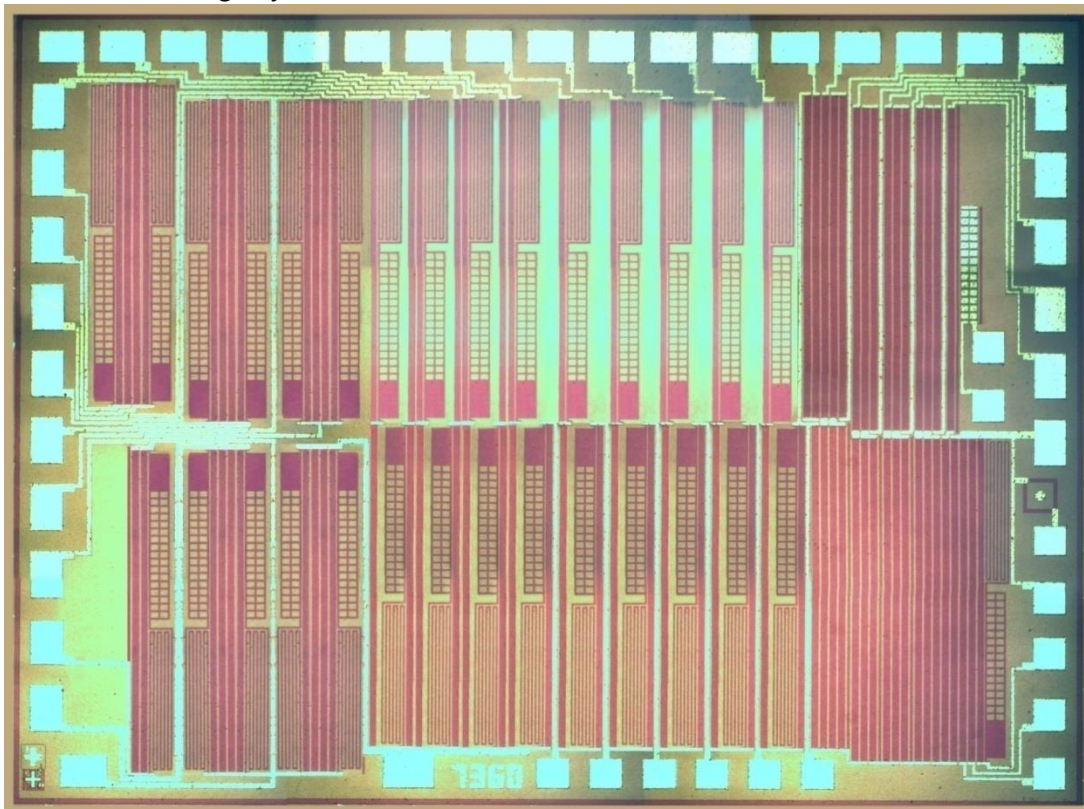
1.1. Rezistīvā matrica 7360

Rezistīvā matrica iekļauj R2R struktūru ar paralelizētām lielākajām izlādēm un ar atgriezeniskās saites rezistoriem.

Rezistīvās matricas 7360 shēma



Kristāla 7360 fotogrāfija



Rezistoru matricai 7360 ar 18 izlāžu DAC ir izmēri 3,9mm x 2,9mm. Rezistora nomināls – 40 kOm. Piedzīšana paredzēta 9 lielākajām izlādēm R-2R matricā. Tas paredz, ka mazāko izlāžu tehnoloģiskā izkliede ļaus sasniegt nepieciešamo precizitāti. Tomēr, pie šīs matricas izstrādes

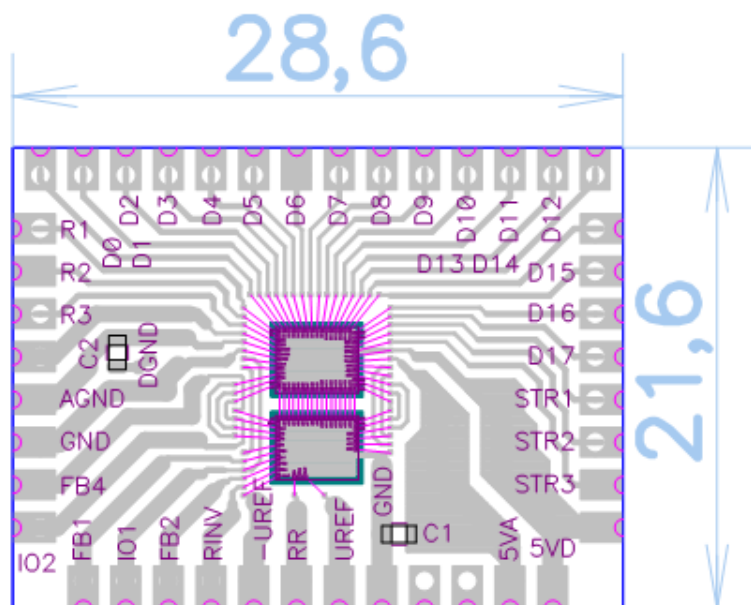
1.2. Rezistīvā matrica 7365

Kristāla izmērs 3,9mm x 3,0mm. Rezistora nomināls – 40 kOm. Elastības nodrošināšanai piedzišana paredzēta visiem rezistoriem.

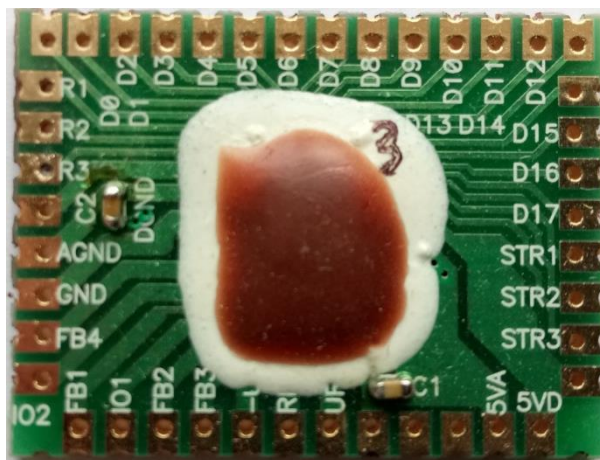
[illegible]

Aktivitātes ietvaros tika izstrādāta un izgatavota mikro-komplektācija DAC-18 uz kristāla M145-4-4 bāzes un 18 izlāžu rezistīvo matricu 7360 un 7365 bāzes.

DAC-18 topoloģija



DAC-18 fotogrāfija



Mērījumu laikā parādījās sekojošas risinājuma nepilnības:

- Digitālā kristāla pārāk liels pārslēgšanās laiks
- Liela vadošo signālu inžekcija analogajās atslēgās
- Vēlama lielāka izlādes spēja dinamiskā diapazona palielināšanai

2. Risinājums uz paralēlā hibrīdā CAP bāzes

Pētījuma laikā izstrādāts prototips 21 izlaides DAC uz paralēlā hibrīda struktūras bāzes.

Šajā CAP piemērota 2 segmentu pārveidošanas shēma. Pamata matrica sastāv no 8 rezistoru precīzijas komplektācijas ar tam sekojošu elementu ieslēgumu, komutējamai KMOP atslēgām pēc struktūras 9:1 uz kuras realizēta sprieguma arhitektūra "termometrs". Uz šīs matricas veidojas 6 lielākās izlādes, kas sadalītas divos segmentos: 3 lielākās un 3 mazākās izlādes.

Pamata 8-elementu matricā priekš 3 lielākajām izlādēm septiņu elementu vietā pielietoti visi astoņi elementi. Tas ļauj izmantot to pašu kodu diferenciālās nelinearitātes piedzīšanai DAC.

Papildus segments, kas satur 16 mazākās izlādes, realizēts uz 16 izlāžu monolītā konvertora ar linearitāti ± 2 LSB. Tādā veidā, mazāko 16 izlāžu kļūda garantēti ir ne lielāka par ± 2 LSB.

Lielāko izlāžu segmentu kļūda samazinās uz kalibrēšanas rēķina.

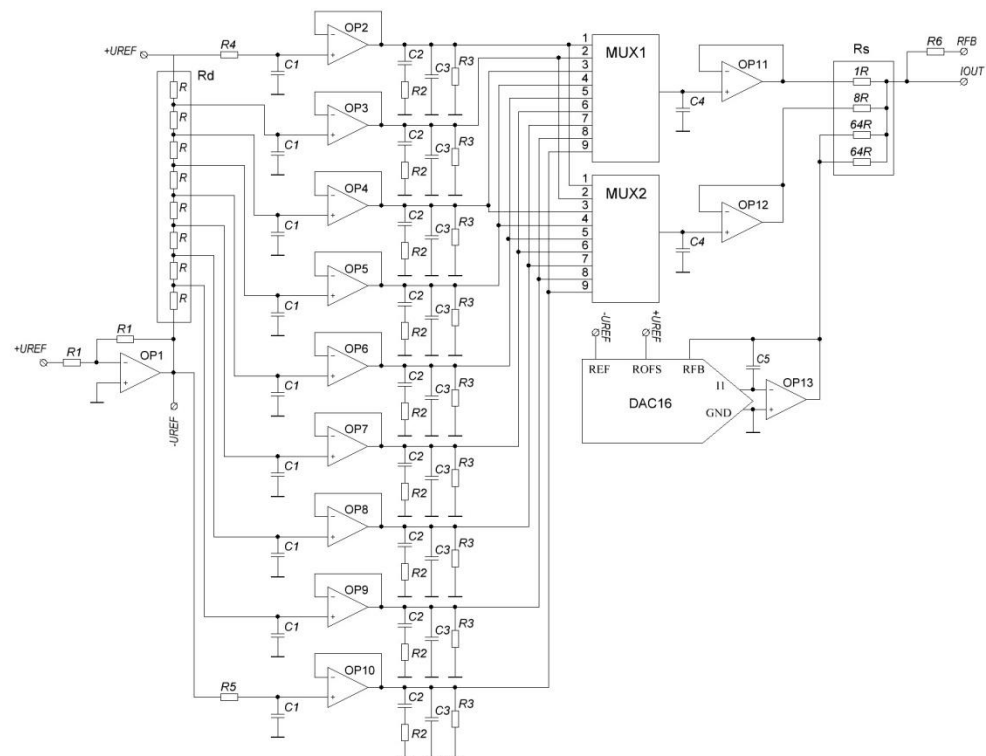
Viena no tādas pieejas priekšrocībām ir stereo-dubultā DAC realizācijas vienkāršība, jo priekš 6 lielāko izlāžu realizācijai abiem DAC var izmantot vienu un to pašu sprieguma dalītāju. Tādā veidā automātiski tiek nodrošināta abu kanālu skalu saskaņošana.

Lai izgatavotu tādu DAC, nepieciešami vairāki elementi – tajā skaitā rezistīvais dalītājs ar noturīgu temperatūru un rezistīvais strāvu summators.

Izmēru optimizācijai un savienojumu garuma samazināšanai, tika izmantota plauktu veida konstrukcija (atslēgām MUH1 un MUH2).

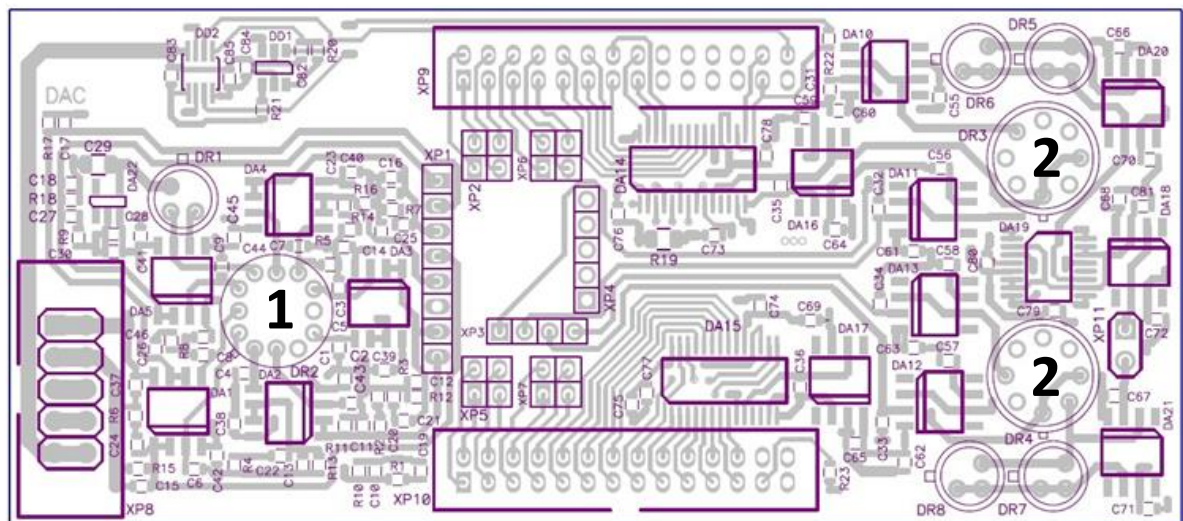
CAP struktūra paredz kalibrēšanas procesu, t.i. ar mazāko 16 izlāžu CAP tiek veidots ne tikai strāvas, kas atbilst mazākajām izlādēm, bet arī korektīvie punkti.

DAC-21 struktūra



Rd – dalītājs, Rs – summators

TOP DAC-21 kārtas topoloģija



1 – rezistīvais dalītājs, 2 – summators.

2.1. Rezistīvais dalītājs

Pētījuma ietvaros viens pēc otra tika izstrādāti divi rezistīvo sprieguma atdalītāju 7370 un 7385 shēmu varianti. Matricas tika ievietotas metāla-stikla korpusā (tips TO12).

Rezistīvais dalītājs 7370 veidots no 8 rezistoriem un tā izmēri ir 3,4mm x 1,9mm. Katrs no 8 rezistoriem veidots no 2 virknē saslēgtām rezistoru vienībām (katrs 34 kΩ). Novērtējot rezistorus, tika noskaidrots, ka pārāk liels izvēlēto rezistoru nomināls sistēmai kopumā rada būtisku parazītisko apjomu ietekmi.

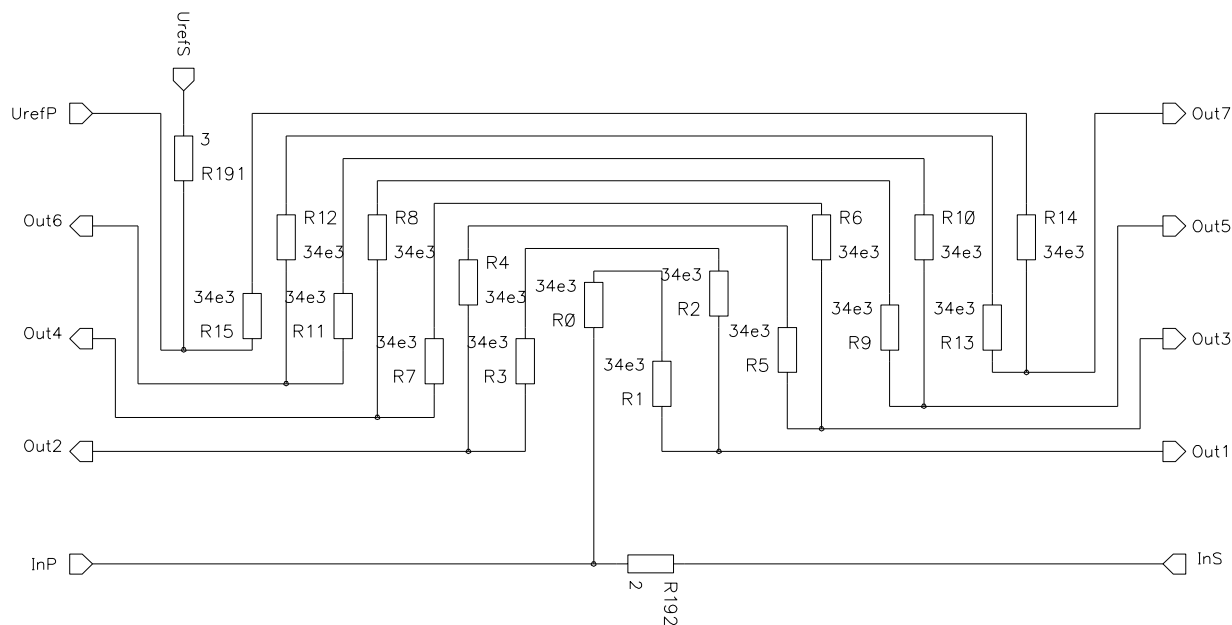
Papildus tam tika novērota liela pretestība metalizācijai starp izvadu InP un apakšējo rezistoru R0, starp izvadu UrefP un augšējo rezistoru R0, attiecīgi pretestība metalizācijai mezglos starp rezistoriem. Matricas malējie rezistori būtiski atšķīrās no citiem rezistoriem, tajā skaitā atšķirīgā alumīnija celiņu garuma/platuma dēļ.

Konstatēto problēmu novēršanai tika izstrādāta jauna rezistīvā matrica 7385. Tajā tika maksimāli tika ņemti vērā iemesli, kas iepriekš izraisīja nepilnības, samazināta malējo siltuma efektu ietekme, sasniegts novirzes koeficients attiecībā pret rezistoriem 0,2ppm/C.

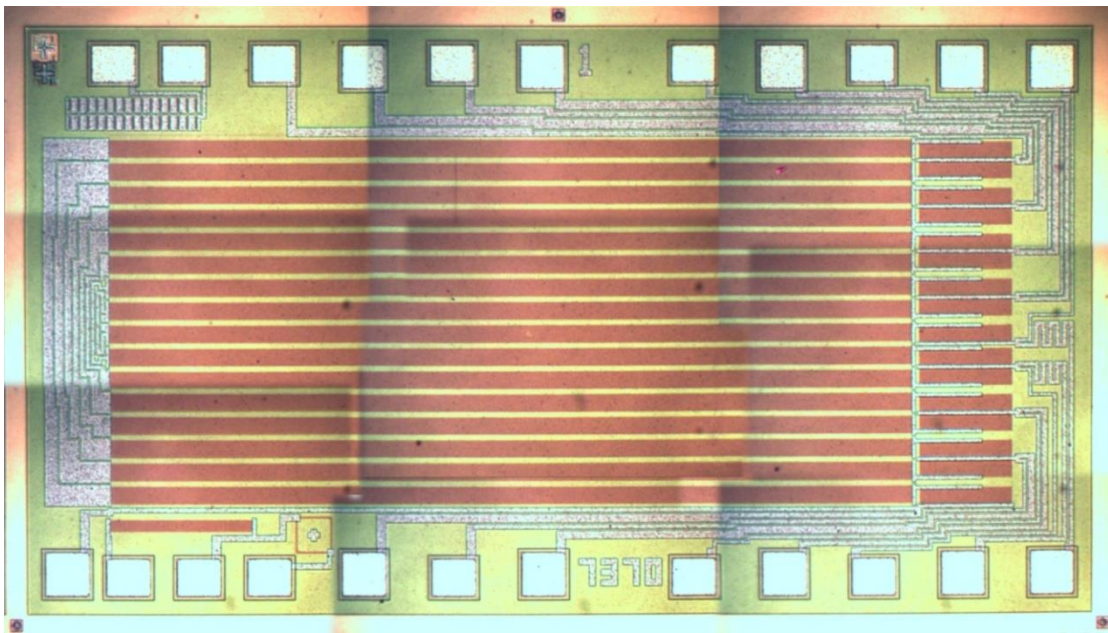
Matricas parametri:

- Izmērs 3,4mmx1,9mm
- Katrs no 8 rezistoriem sastāv no 2 virknē saslēgtām rezistoru vienībām (katrs 5678 Ω)
- Izlīdzināta metalizācijas parazītpretestība visās atdalītāja strāvas ķēdēs

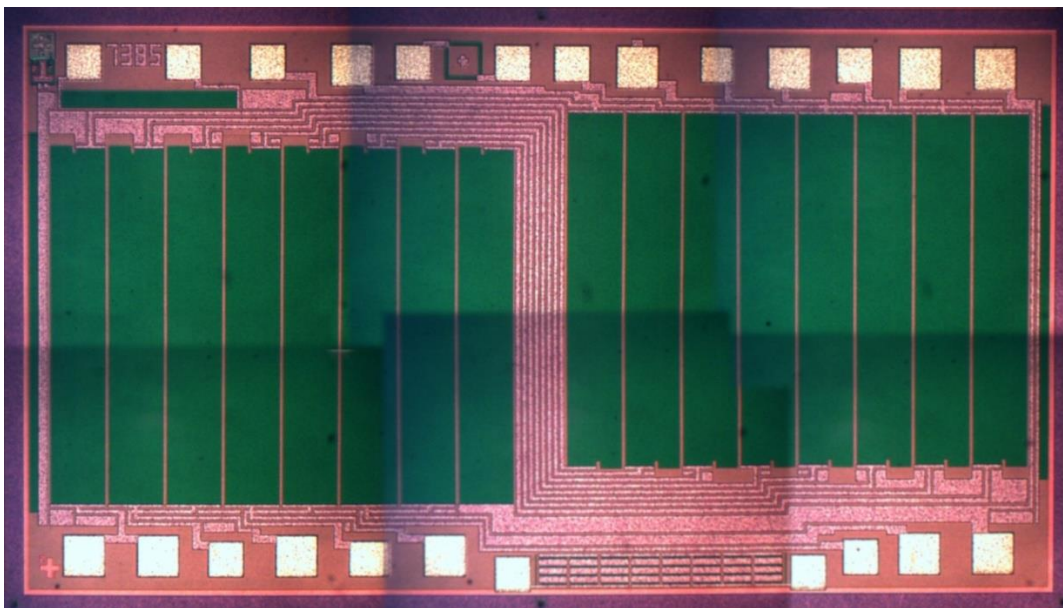
Rezistīvā atdalītāja shēma 7370 un 7385:



Rezistīvā atdalītāja fotogrāfija 7370



Rezistīvā atdalītāja fotogrāfija 7385



2.2. Rezistīvais summators

Rezistīvais summators izrādījās daudz sarežģītāks uzdevums nekā rezistīvais dalītājs. Tā kā rezistoros plūst būtiski atšķirīga strāva (atkarībā no koda), rezistoru temperatūra arī ir atšķirīga, kas ietekmē kļūdu.

Pētījuma ietvaros secīgi tika izstrādāti divi rezistīvo strāvu summatoru 7371 un 7386 shēmu varianti. Matricas tika komplektētas metāla-stikla korpusā (tips TO8).

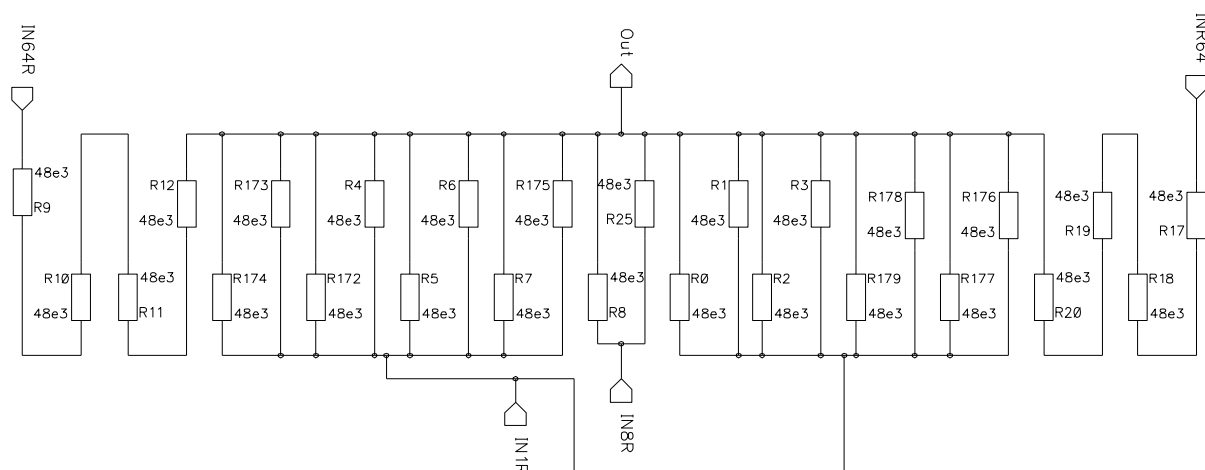
Rezistīvā strāvas summatora 7371 izmēri ir 3,4mm x 1,9 mm un tas veidots no 4 rezistoriem, kur 2 rezistori ar nominālu 192 k Ω , kas sastāv no 4 virknē saslēgtām rezistoru vienībām (katrs 48 k Ω) (64R); 1 rezistora ar nominālu 24 k Ω , kas sastāv no 2 paralēli saslēgtām rezistoru vienībām (katrs 48 k Ω) (8K); 1 rezistora ar nominālu 3 k Ω , kas sastāv no 16 paralēli saslēgtām rezistoru vienībām (katrs 48 k Ω) (1R).

Tehnoloģiskā procesa gaitā zem rezistoriem tika izveidota dielektriķa plānā kārtiņa. No vienas puses tas noveda pie labas temperatūras stabilitātes, bet no otras puses – radās liela parazitārā ietilpība, kas izslēdza iespēju strādāt augstā frekvencē.

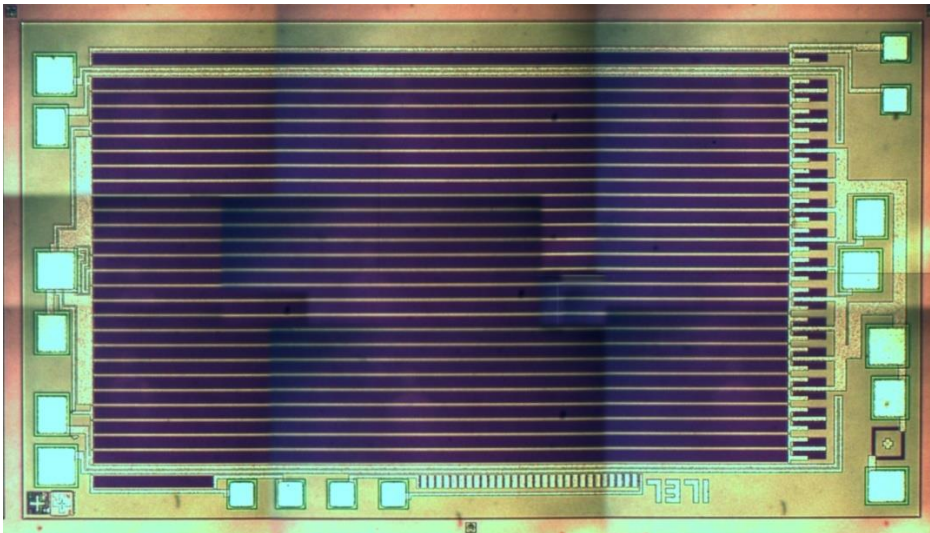
Konstatēto problēmu novēršanai tikai veiktas izmaiņas shēmas tehnoloģijā, topoloģijā un rezistīvā summatora tehnoloģiskajā maršrutā kā arī izgatavots kristāls 7386 (3,4mm x 1,9mm). Tomēr ieviestās korekcijas neatrisināja visas problēmas:

- Parazitārās ietilpības samazināšana par 2 reizēm izrādījās nepietiekama,
- Rezistoru laukuma palielināšana noveda pie būtiskas to temperatūras paaugstināšanās un temperatūru starpības starp rezistoriem

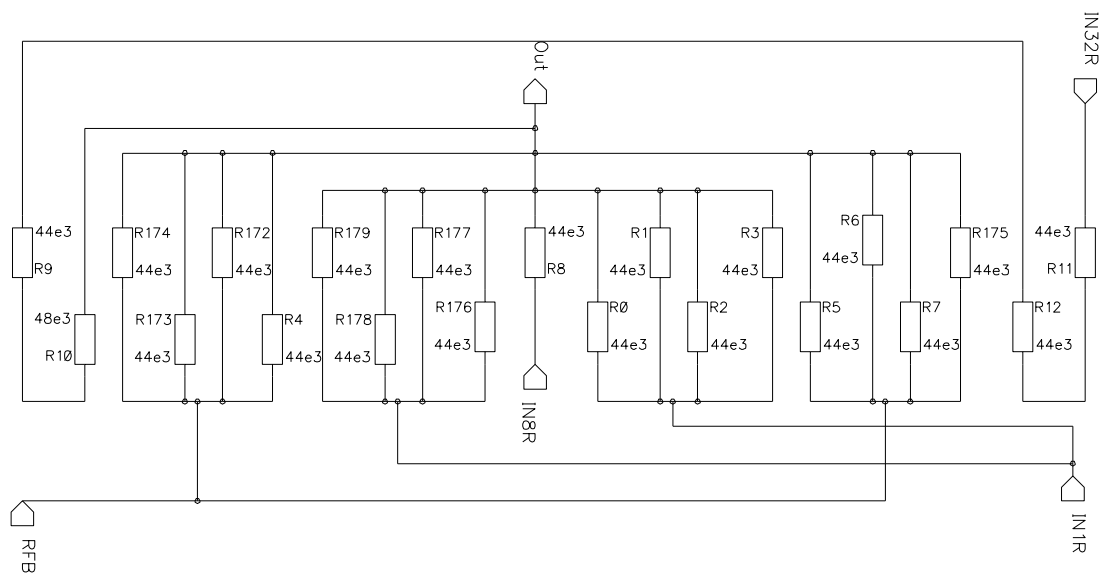
Rezistīvā summatora shēma 7371



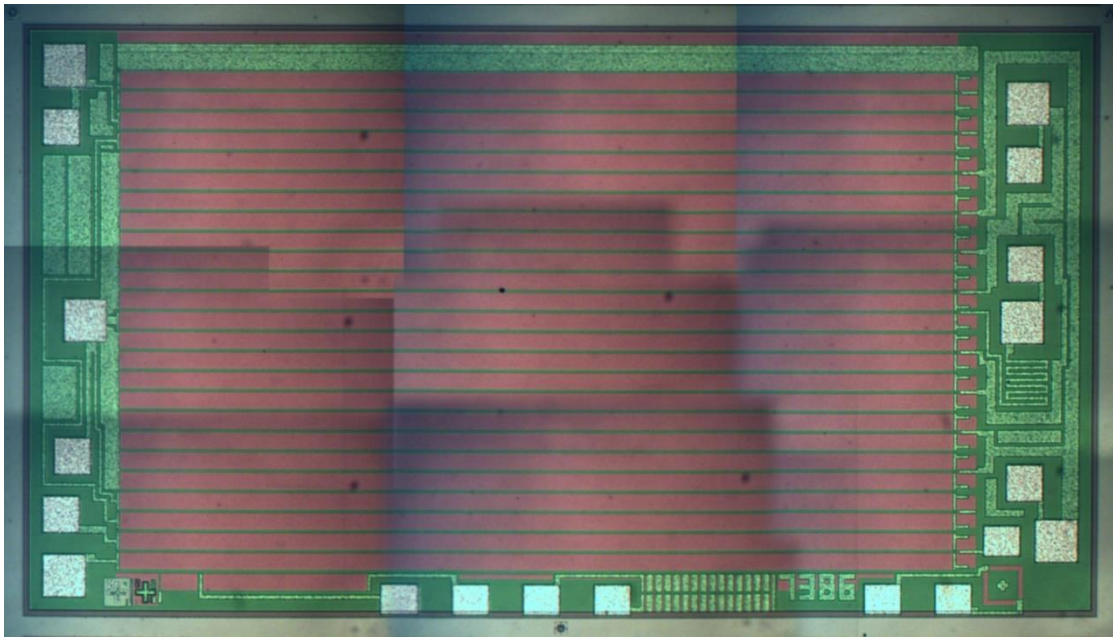
Rezistīvā strāvas summatora fotogrāfija 7371



Rezistīvā summatora shēma 7386



Rezistīvā strāvas summatora fotogrāfija 7386

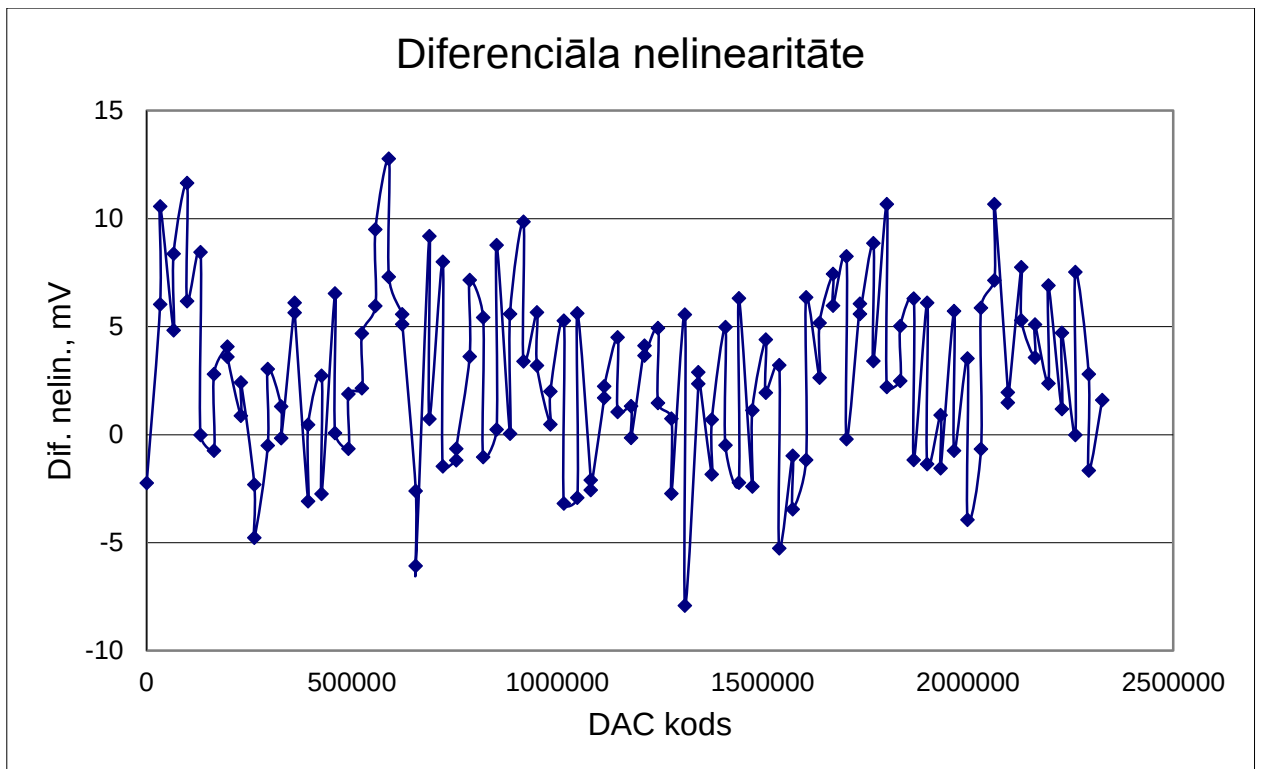


2.3. CAP kalibrācijas process

CAP lielākās sešas neparalēlās izlādes veido koda nogriežņus, katram no kuriem ir sava savirze un samaisījums, kas atšķiras no ideāli taisna. Par pašu vienkāršāko veidu uzskatāms regulējošo kodu formēšanā izmantot pārāko kodu pie mazākā CAP.

Kalibrēšanas process veidojas no visu CAP raksturlielumu sākotnējiem mērījumiem un kļūdas aprēķina.

Kalibrēšanas līkne



Rezultātā tiek izveidots korigējošais kods. Šos kodus nepieciešams ierakstīt atbilstošos DAC kalibrēšanas atmiņā. Šajā posmā kalibrēšanas nolūkos tiek izmantots tāds par DAC-21, kas tiek vadīts ar datoru.

3. Problēmglīča pētījumi

Gličs – DAC izejā novēroti izmeši, kas saistīti ar matricas atslēgu R2R pārslēgšanos. Situācijas, kas var rasties pārslēgšanas procesos, ir ļoti dažādas – strāvas stripums izejā var būt no 0 līdz maksimālajam. Pati galvenā gliča problēma ir tā neatkarība no koda un iespējamās koda izmaiņas atkarībā no temperatūras, sprieguma, koda kombinācijas u.t.t.

Tas noved pie situācijas, kad troksnis DAC izejā nav proporcionāls kodam. Cīņā ar šo efektu tiek izmantoti divi paņēmieni (vienlaicīgi) – izmešu samazināšana pašā R2R matricā un dažādu deglitchinga metožu izmantošana. Visbiežāk deglitchers ir sample-hold shēma.

Projekta ietvaros tika izskatītas 2 deglitchinga (DG) metodes. DG 1. metode katram audio kanālam ir pamata DAC, kura izeja ar analogo slēdžu palīdzību ir pievienota audio kanāla izejai. Pirms audio kanāla koda izmaiņas uz papildus DAC tiek padots kods, kas atbilst jaunajai audio kanāla izejas sprieguma vērtībai. Kad papildus DAC izejā pārejas procesi ir beigušies, tas tiek pieslēgts audio kanāla izejai, un tiek padots jaunais kods uz pamata DAC. Kad pamata DAC izejā pārejas procesi ir beigušies, tas tiek pieslēgts audio kanāla izejai. Tādā veidā no signāla tiek izgriezts pārejas process.

DG 2. metode katram audio kanālam tiek izmantots viens DAC, pārejas procesa laikā kanāla izejā spriegums tiek saglabāts ar sample-hold shēmas palīdzību.

Metode 1 pārbaudei izmantoja shēmas variantus ar numuriem 1, 2, 3. Metodes 2 pārbaudei izmantoja shēmas variantu ar numuru 4.

Shēmas variantu ar numuru 1 izmantoja tikai DAC-18. Shēmas variantus ar numuriem 2, 3, 4 izmantoja DAC21.

Metode 1, shēma 1, tiek izskatīta sekojošas variantos:

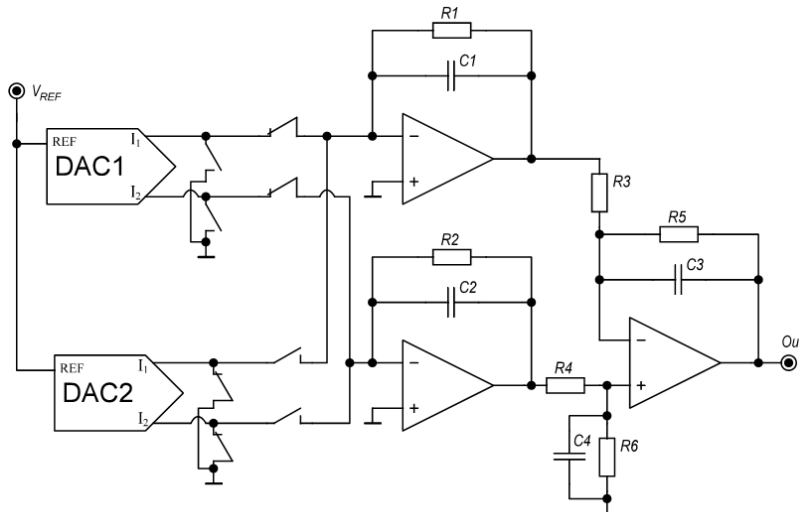
slēdzi Nr.1: 0.125 Ohm, $t_{on}=20\text{ns}$, $t_{off}=14\text{ns}$, $t_{_BreakBeforeMake}=11\text{ns}$;

slēdzi Nr.2: 0.1 Ohm, $t_{on}=2\text{ns}$, $t_{off}=6\text{ns}$, $t_{_MakeBeforeBreak}=5.5\text{ns}$;

Operacionālais pastiprinātais (OP) Nr.1: Slew Rate: 20 V/ μs , Low Offset Voltage: $\pm 5\text{ }\mu\text{V}$;

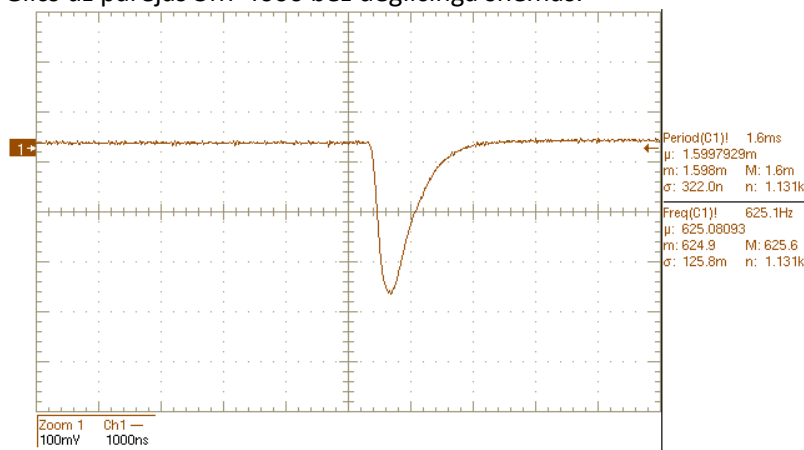
Operacionālais pastiprinātais (OP) Nr.2: Slew Rate: 870 V/ μs , Offset Voltage: $\pm 400\text{ }\mu\text{V}$.

Shēma 1.

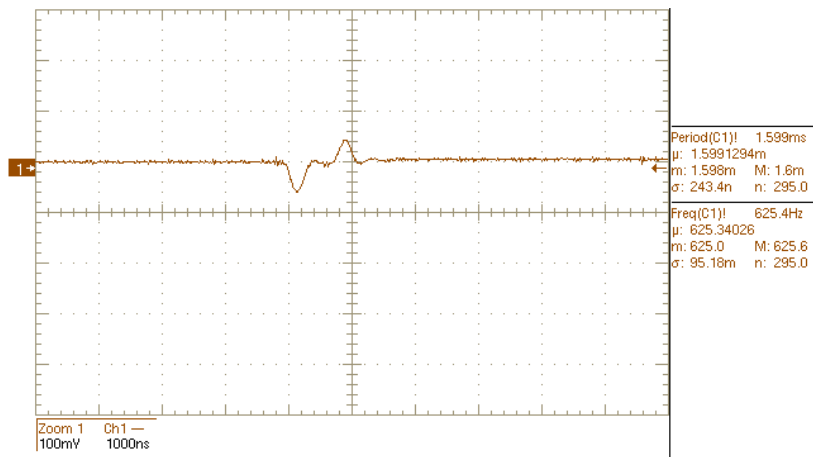


Metodes 1, shēma 1 rezultāti.

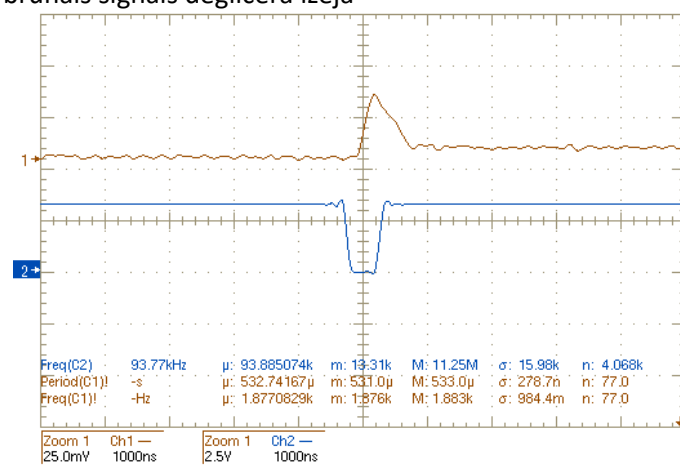
Gličs uz pārejas 3fff-4000 bez degličina shēmas.



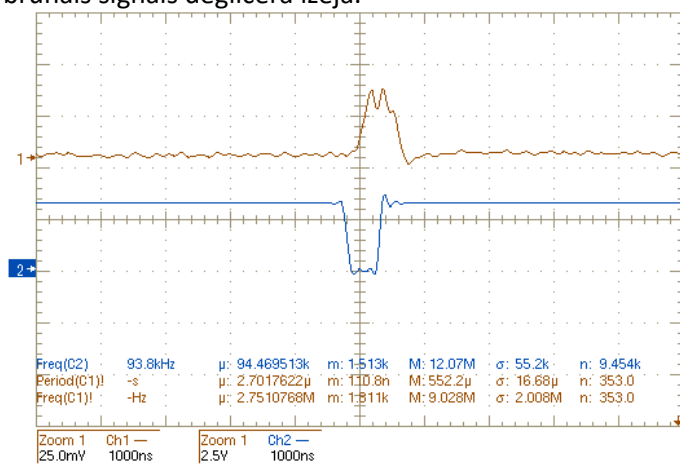
Gličs pie pārejas 3fff-4000 ar degličina shēmu, ar slēdzi Nr.1, OP Nr.1



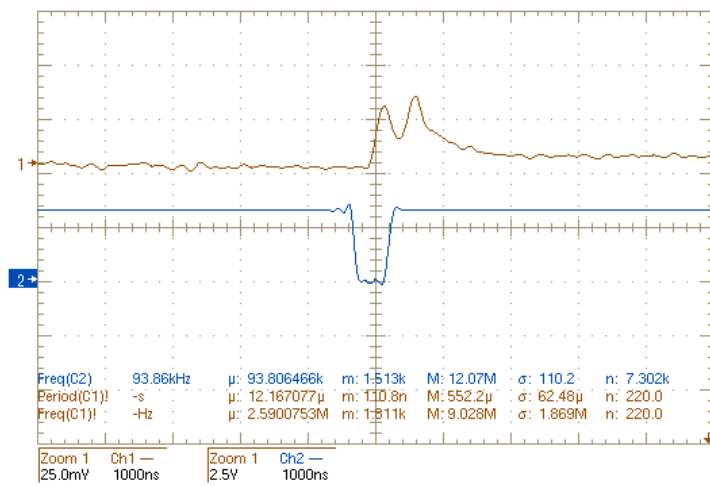
Gličs pie pārejas 3fff-4000 ar degličina shēmu, ar slēdzi Nr.2, OP Nr.1. Zilais degličina vadības signāls, brūnais signāls degličera izejā



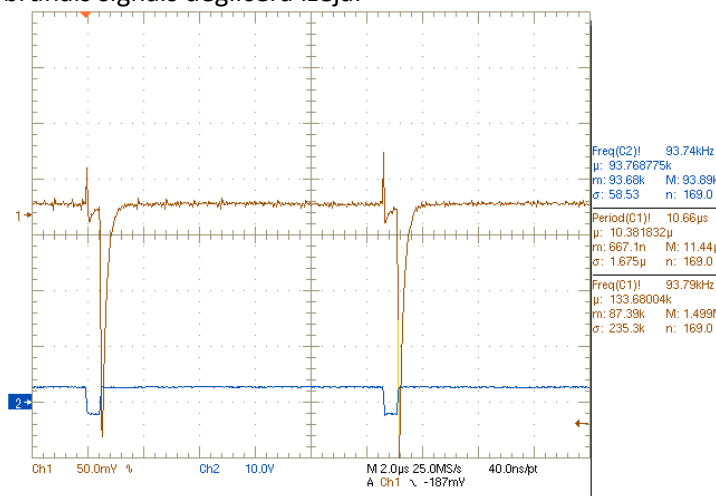
Gličs pie pārejas 6fff-7000 ar degličina shēmu, ar slēdzi Nr.2, OP Nr.1. Zilais degličina vadības signāls, brūnais signāls degličera izejā.



Gličs pie pārejas bfff-c000 ar degličina shēmu, ar slēdzi Nr.2, OP Nr.1. Zilais degličina vadības signāls, brūnais signāls degličera izejā.



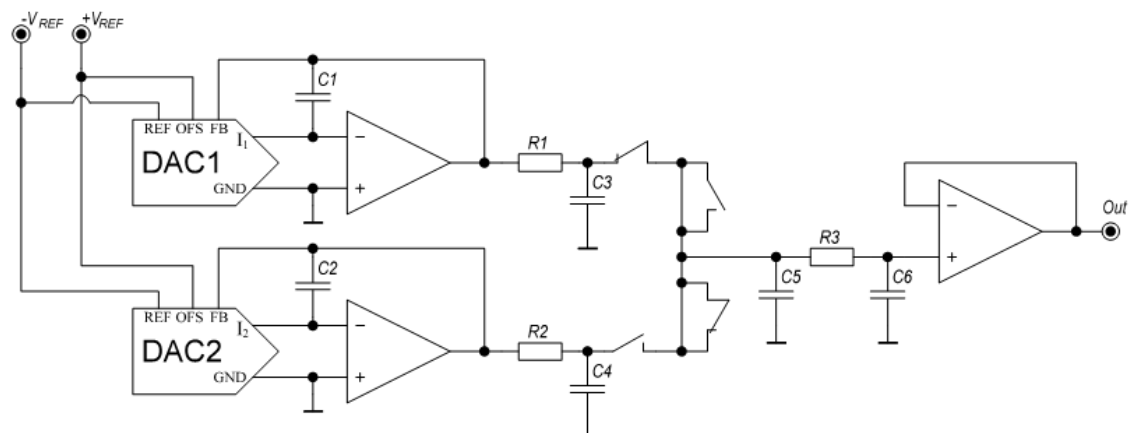
Gličs pie pārejas 3fff-4000 ar degļiņinga shēmu, ar slēdzi Nr.2, OP Nr.2. Zilais degļiņinga vadības signāls, brūnais signāls degļiņera izejā.



Metode 1, shēma 2 priekš DAC21.

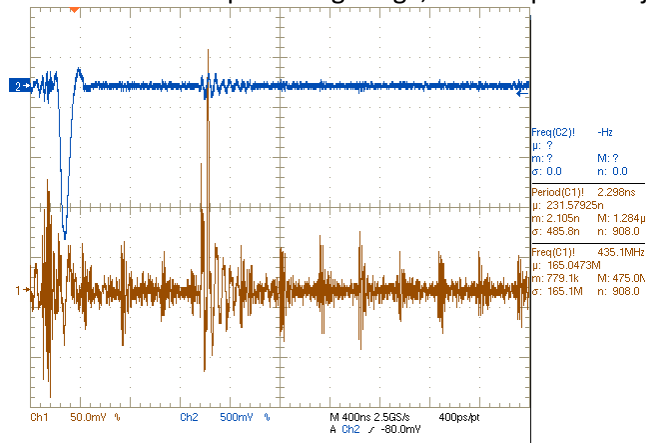
Ar analogajiem slēdžiem tiek komutēta DAC izejas spriegumi.

Shēma №2.

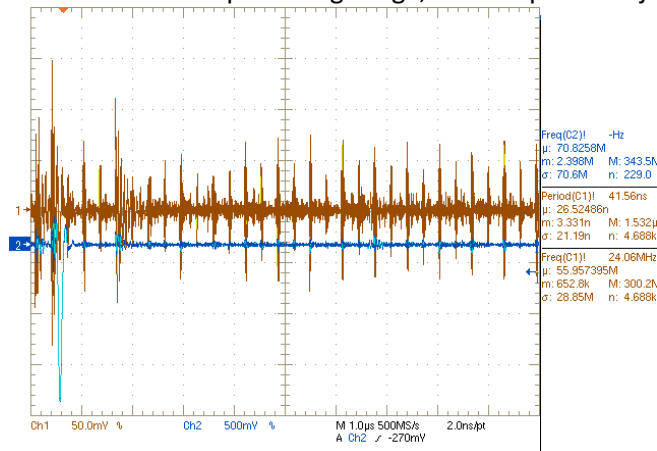


Metodes 1, shēma 2, rezultāti.

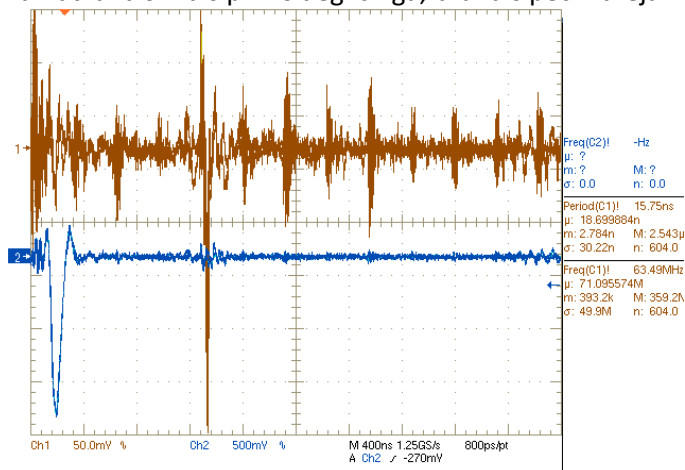
Pamatkanāls zilais pirms degličiņa, brūnais pēc. Pāreja -UREF tuvumā.



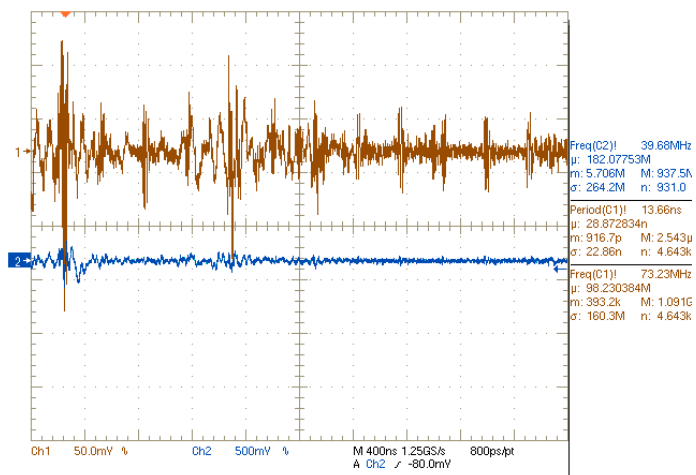
Pamatkanāls zilais pirms degličiņa, brūnais pēc. Pāreja 0 tuvumā.



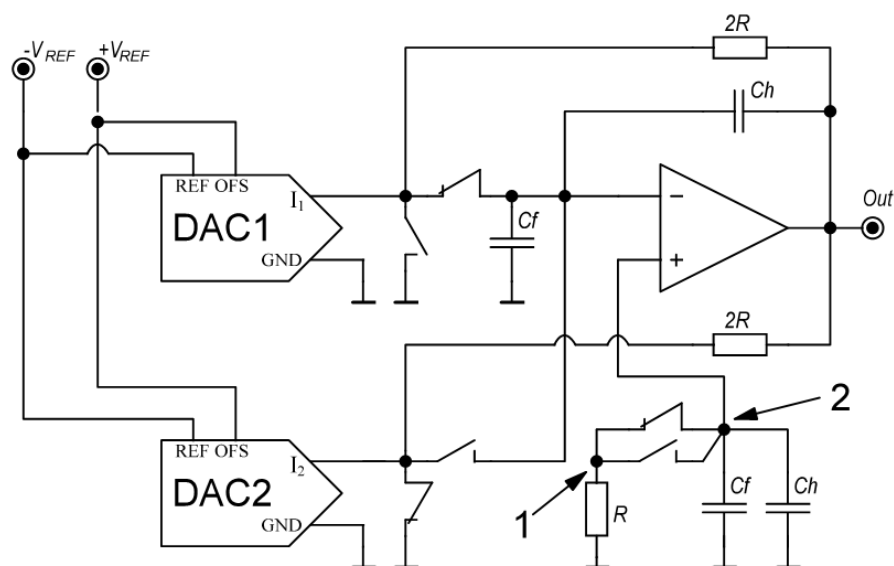
Pamatkanāls zilais pirms degličiņa, brūnais pēc. Pāreja +UREF tuvumā.



Pamatkanāls zilais pirms degličiņa, brūnais pēc. Kods vecākajām kārtām nemainīgs. Kods mainās priekš DAC18 (skaties DAC21 struktūrshēmu).



Metode 1, shēma 3.

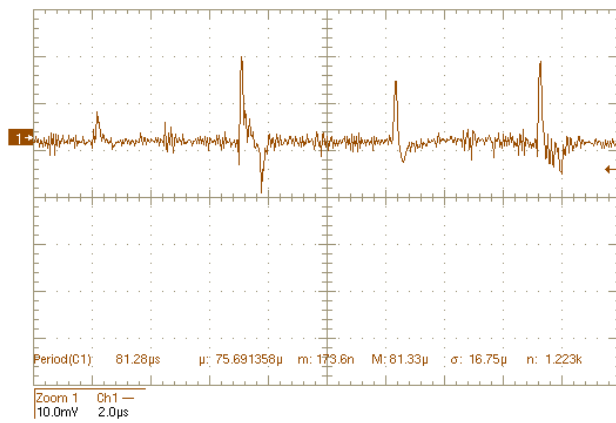


Audio kanāla izejas OP ieejai analogajiem slēdžiem tiek pievienota atbilstošā DAC strāvas izeja. Kapacitātēs uz OP + un – ieejam jābūt vienādi. Pārbaudīts ar sekojošiem Cf (filter) un Ch (hold) kapacitātēm:

- Cf = 22p, Ch = 147p
- Cf = 22p, Ch = 240p. Pie sampling 96 un 22 kHz

Metodes 1, shēma 3, rezultāti.

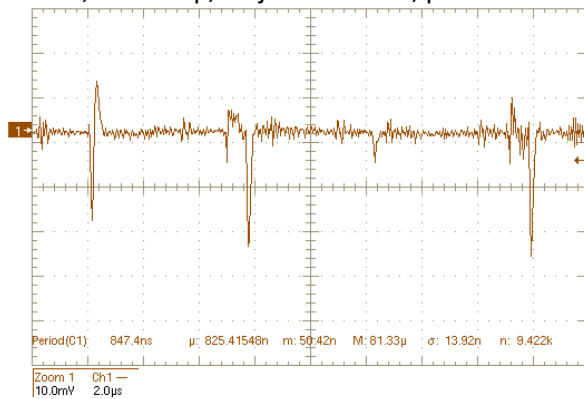
96 kHz, Ch = 147p, ieejas kods № 2. redzami arī traucējumi no korigējošā kanāla



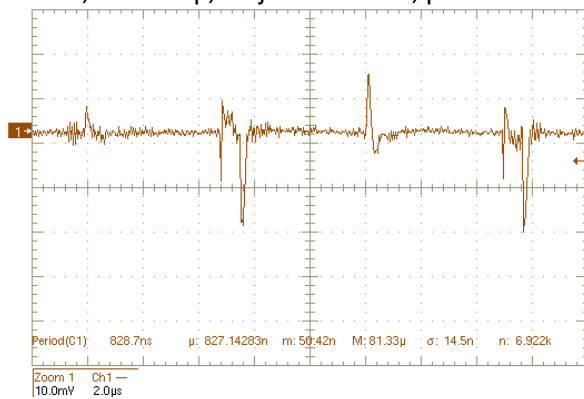
Lai noskaidrotu kompensējošo slēdžu ietekmi veica mērījumus sekojošas konfigurācijas:

- Savienojot punkti 1 un 2 (shēma 3)
- punktu 2 (shēma 3) pieslēdza pie GND.

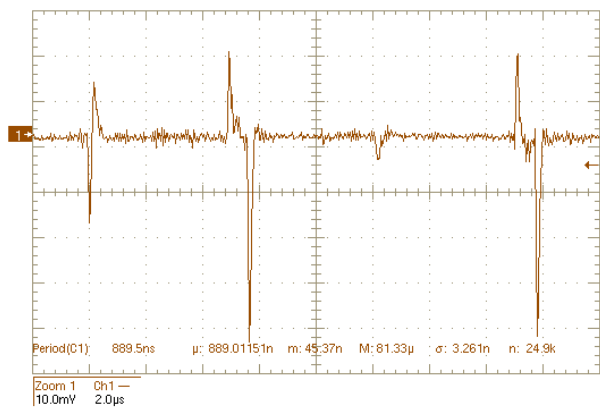
96 kHz, Ch = 147p, ieejas kods № 1, punkti 1 un 2 savienoti



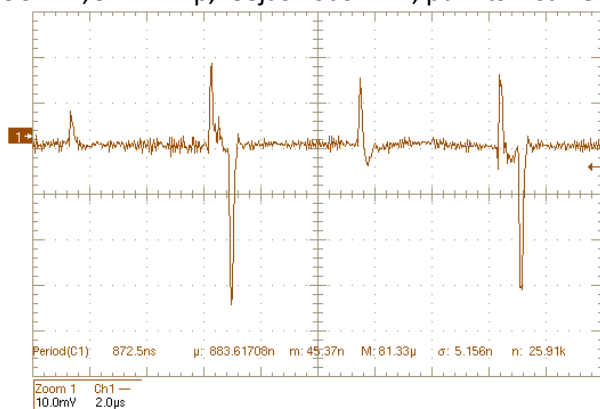
96 kHz, Ch = 147p, ieejas kods № 2, punkti 1 un 2 savienoti



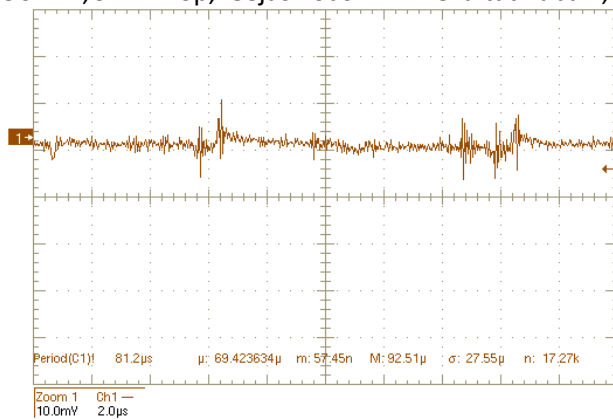
96 kHz, Ch = 147p, ieejas kods № 1, punkts 2 savienots ar GND



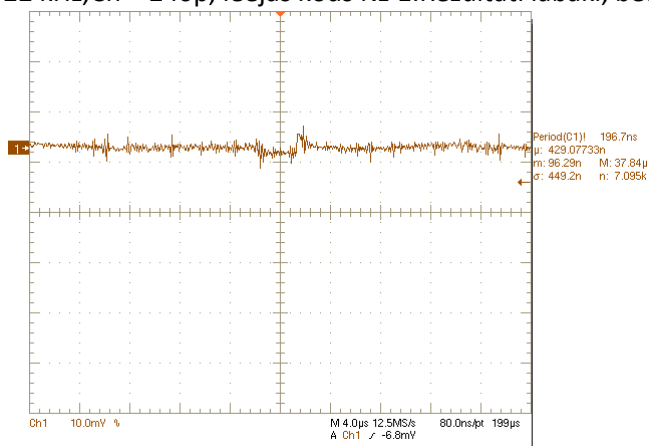
96 kHz, Ch = 147p, ieejas kods № 2, punkts 2 savienots ar GND



96 kHz, Ch = 240p, ieejas kods № 1. Rezultāti labāki, bet signāls stipri bremsēts.

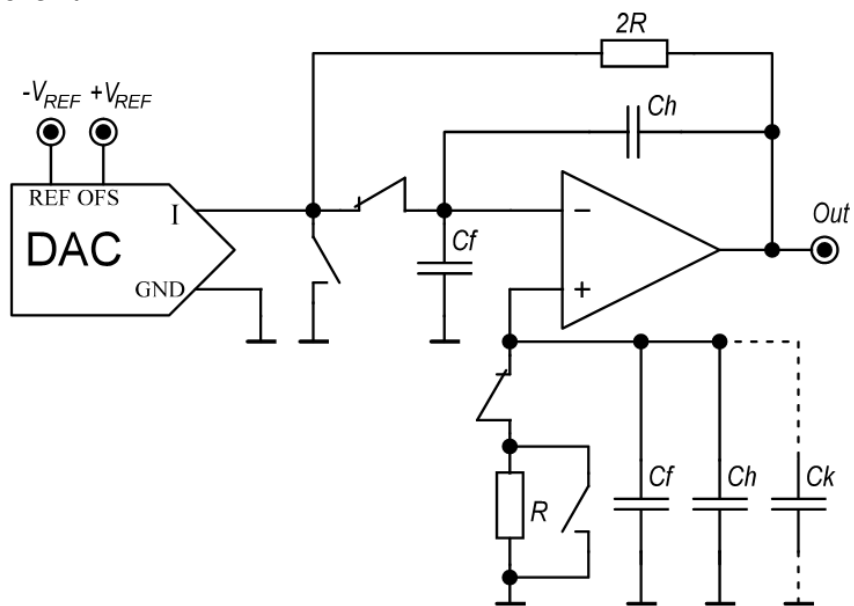


22 kHz, Ch = 240p, ieejas kods № 1. Rezultāti labāki, bet signāls stipri bremsēts.



Metode 2, shēma 4.

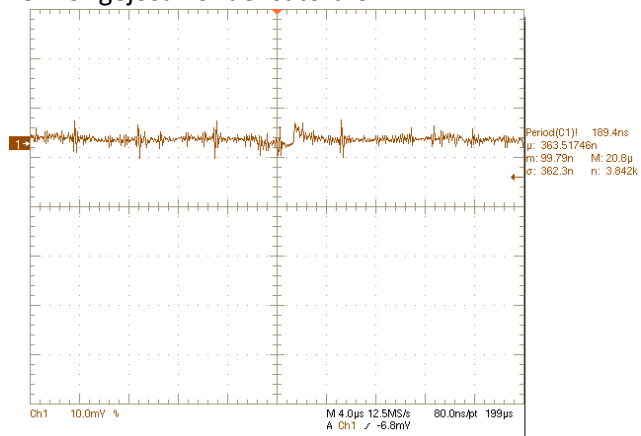
Shēma №4.



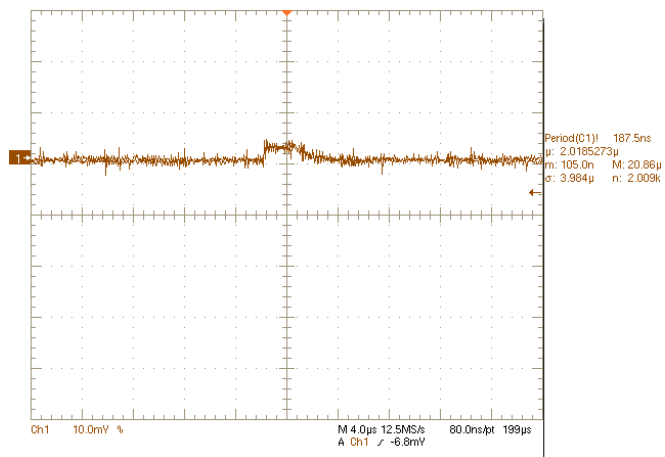
Kapacitātēs uz OP + un – ieejam jābūt vienādi. $C_f = 22\text{p}$, $C_h = 147\text{p}$. Lai izlīdzinātu kapacitātēs uz OP ieejam, pie OP + ieejas pie paraleliem C_f un C_h pielika klāt koriģējošu kapacitāte C_k . $C_k = 10\text{pF}$ - optimālā vērtība. Mērīšanu veica ar sampling 22 kHz.

Metodes 2, shēma 4, rezultāti.

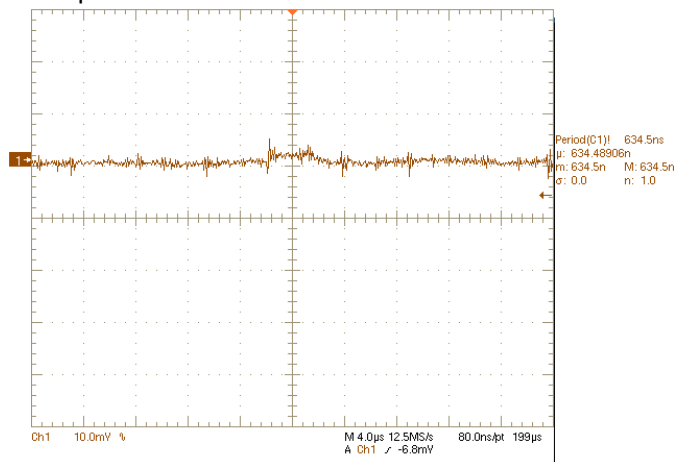
Bez koriģējoša kondensatora C_k .



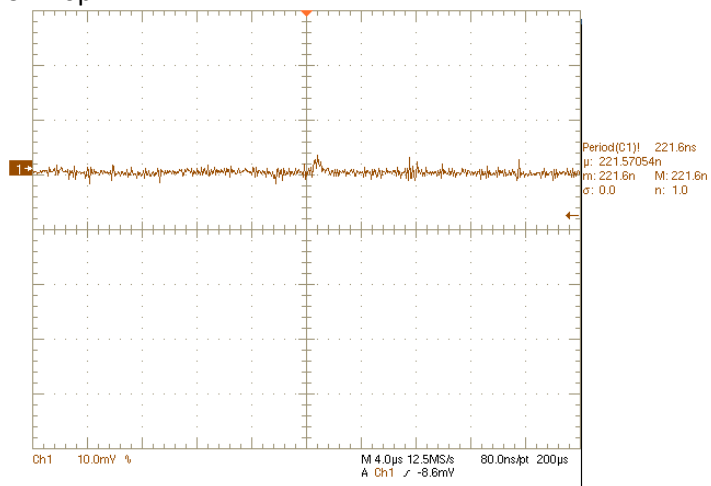
$C_k = 47\text{pF}$



Ck=22pF



Ck=10pF



4. Secinājumi

Šīs aktivitātes laikā tika iegūtas zināšanas par dažādu audio DAC risinājumu shemotehnoloģiju un novērtēti rezistīvo matricu risinājumi, kas izstrādāti iepriekšējo pētījumu rezultātā.

4.1. Secinājumi par DAC18

DAC18 galvenās nepilnības:

- Nepietiekama ātrdarbība – uzstādīšanas ātrums ap 2 ms,
- Augsts gliča līmenis, kas pieprasa, lai degličers ilgu laiku darbojas režīmā HOLD
- Augsta lāzerpiedziņas nepieciešamība

Galvenie izvirzītie mērķi, ko nepieciešams sasniegt pētījuma tālākajās darbībās:

- Digitālā vadošā kristāla pārstrāde, lai samazinātu pārslēgšanas laiku līdz 200-500 ns
- R2R matricas optimizācija
- Sasniegt diferenciālo nelinearitāti mazāk nekā 0,25-0,5 LBS un integrālo nelinearitāti mazāk nekā 1-2 LBS

4.2. Secinājumi par DAC21

DAC21 galvenās nepilnības:

- Strāvas dalītājā, atkārtotājā pie dinamiskas izejas slodzes (multipleksora pārslēgšanās) novēroti būtiski izmeši, kas ierobežo maksimālo frekvenci
- Strāvass summators pieprasa augstu rezistoru temperatūras stabilitāti un īpašus tehnoloģiskus risinājumus
- Risinājuma sarežģītības līmenis

Galvenie izvirzītie mērķi, ko nepieciešams sasniegt pētījuma tālākajās darbībās:

- Sprieguma dalītāja statisko atkārtotāju shēmas pārstrāde, lai samazinātu multipleksora pārslēgšanās ietekmi uz strāvas izmešiem lielākajās izlādēs
- Strāvu summējošās rezistīvās matricas optimizācija

4.3. Degličeri

Pētījuma gaitā tika iegūtas zināšanas par vairākiem degličeru risinājumiem. Kopējie visu risinājumu trūkumi ir izmantotais DMOS tranzistoru režīms. Problēma tāda, ka izmantotajos risinājumos ieslēgšanās un izslēgšanās laiks ir ļoti dažāds. Tas rada situāciju, ka izmantotās atslēgas var būt vienlaicīgi ieslēgtas vai izslēgtas, kas savukārt noved pie kontroles zaudēšanas pār izejas operacionālo pastiprināšanu.

Tā kā nepieciešams ļoti īss degličera atslēgu pārslēgšanās laiks (vēlams mazāk par 1 ns), nepieciešams vienots un integrāls risinājums atslēgām un to vadības loģikai, kas saistīts ar izslēgšanās laika samazināšanu DMOS atslēgām.

Nākamajiem pētījumiem tiek izvirzīts uzdevums izstrādāt integrālu risinājumu, ko varētu izmantot gan DAC18, gan DAC21.