

VENTSPILS AUGSTSKOLA
INFORMĀCIJAS TEHNOLOGIJU FAKULTĀTE

BAKALaura DARBS

**X joslas raidīšanas sistēmas vadības bloka
prototipa izstrāde**

Autors:

Ventspils Augstskola
Informācijas tehnoloģiju fakultātes
profesionālās bakalaura studiju programmas
”Elektronikas inženierija”
4. kurga students
Rodrigo Laurinovičs
Matrikulas Nr. 190050

(paraksts)

Fakultātes dekāns:

doc. Dr. Sc.Comp. Vairis Caune

(paraksts)

Zinātniskais vadītājs:

Mg. Sc. Ing. Mārcis Bleiders

(paraksts)

Recenzents:

Mg. Sc. Ing. Artūrs Orbīdāns

(paraksts)

Ventspils, 2025

ANOTĀCIJA

Darba nosaukums: X joslas raidīšanas sistēmas vadības bloka prototipa izstrāde.

Darba autors: Rodrigo Laurinovičs

Darba vadītājs: Mg. Sc. Ing. Mārcis Bleiders

Darba apjoms: 38.lpp, 5 tabulas, 51 attēli, 31 bibliogrāfiskās norādes, 0 pielikumi

Atslēgas vārdi: X-joslas raidītāja darba punkta iestatīšana, RMS jaudas detektors, TCP/IP, satelīta komunikācija

Bakalaura darbā izstrādāts funkcionējošs darba punkta un lieljaudas pastiprinātāja monitorēšanas prototips, kas ir vadāms caur tīklu un pielietojams raidītāja vadīšanai satelīta komunikācijās X diapazonā.

Darbā aprakstītas RT-16 X diapazona sistēma, dziļā kosmosa komunikāciju sadalījums, jaudas pastiprinātāju esošās vadības sistēmas, jaudas detektori. Definēti sasniedzamie parametri un funkcionalitāte, kas jāpielāgo raidītāju efektīvai izmantošanai Irbenes esošajā radioteleskopu sistēmā.

Prototipēšanas atvieglošanas nolūkos katra apakšsistēma izstrādāta kā neatkarīgs modulis, izmantojot mūsdienīgas, viegli pieejamas elektronikas komponentes un materiālus.

Izstrādātās moduļu principiālās shēmas izstrādē tika izmantoti datorizēti izstrādes rīki.

Izgatavotām apakšsistēmām veikti to raksturīgāko elektrisko parametru mērījumi.

Izveidotais prototips noteiktēs raidīšanas sistēmā, veikti tās veikspēju raksturojošo parametru mērījumi, pārbaudīta sasniegtā funkcionalitāte un izdarīti secinājumi.

ABSTRACT

Title: Prototype development of the control unit for the X band transmission system

Author: Rodrigo Laurinovičs

Supervising tutor: Mg. Sc. Ing. Mārcis Bleiders

Scope of work: 38 pages, 5 tables, 51 figures, 32 bibliographical references, 0 appendices.

Keywords: X-band transmitter bias-up and bias-down, True RMS power detectors, TCP/IP, satellite communications

In the bachelor's thesis, a functional prototype for monitoring and biasing a high-power amplifier has been developed. The prototype is network-controllable and applicable for transmitter control in satellite communications in the X-band.

The paper describes the RT16 X-band system, the spectrum allocation of the Deep Space Network, existing control systems for power amplifiers, and power detectors. The achievable parameters and functionality required for the efficient use of transmitters in the existing Irbene radio telescope system have been defined.

To facilitate prototyping, each subsystem was developed as an independent module using modern, easily accessible electronic components and materials. Computer-aided design tools were used in the development of the module schematics.

Measurements of the key electrical parameters were performed on the manufactured subsystems. The prototype was tested in a transmission system, with performance-related parameter measurements conducted, achieved functionality verified, and conclusions drawn.

Saturs

1 Teorija	7
1.1 RT-16 X-joslas raiduztverošās sistēmas pārskats	7
1.2 Augstas jaudas pastiprinātājs	7
1.3 Dziļā kosmosa tīkla spektra sadalījums	9
1.4 Vadības bloka specifikācija	9
1.5 Vadības integrālās shēmas RF jaudas pastiprinātājiem	10
1.5.1 Apskatītie risinājumi	10
1.6 Virzītais nozarotājs	11
1.7 Jauadas detektori	12
1.7.1 Apskatītie risinājumi	12
1.8 Differenciālā mērišanas metode	13
1.9 S-parametri	14
2 X joslas raidīšanas sistēmas vadības bloka prototipa izstrāde	16
2.1 Sistēmas pārskats	16
2.2 Darba punkta nodrošināšanas sistēmas izstrāde	17
2.2.1 Monitoringa izstrādes plates modifikācija un integrēšana	17
2.2.2 Sprieguma pārveidotāji, temperatūras sensora un 24 V barošanas avota vadības shēmas	19
2.2.3 Strāvas mērišanas iespiedplate ar ieslēgšanas/izslēgšanas slēdzi	22
2.3 Mikrokontroliers un vadības sistēma caur tīklu	23
2.4 Jaudas detektora izstrāde	28
2.4.1 Gala prototips	29
3 Testi	31
3.1 HPA darba punkta iestatīšana/atiestatīšana	31
3.2 Elektrobarošanas plates testi	37
3.3 True RMS jaudas detektora un RF kabelu tests	39
3.4 Tīkla testi	41
4 Secinājumi un priekšlikumi	45

Saīsinājumi un to klasifikācija

SSC	– Zviedru kosmosa korporācija (<i>Swedish Space Corporation</i>)
SPI	– Seriālā perifērā saskarne (<i>Serial Peripheral Interface</i>)
VSRC	– Ventspils Starptautiskais Radioastronomijas Centrs (<i>Ventspils International Radio Astronomy Centre</i>)
RF	– Radiofrekvence (<i>Radio frequency</i>)
GaN	– Gallija nitrīds (<i>Gallium Nitride</i>)
DSN	– Dzīļā kosmosa tīkls (<i>Deep Space Network</i>)
SFCG	– Kosmosa frekvenču koordinēšanas grupa (<i>Space Frequency Coordination Group</i>)
ITU	– Starptautiskā Telekomunikāciju savienība (<i>International Telecommunication Union</i>)
ADC	– Analogciparu pārveidotājs (<i>Analog-to-Digital Converter</i>)
DAC	– Ciparanalogu pārveidotājs (<i>Digital-to-Analog Converter</i>)
LNA	– Maztrokšnojošs pastiprinātājs (<i>Low Noise Amplifier</i>)
HPA	– Augstas jaudas pastiprinātājs (<i>High Power Amplifier</i>)
RX	– Uztveršana (<i>Reception</i>)
TX	– Raidīšana (<i>Transmission</i>)
ICT	– Informācijas un komunikācijas tehnoloģijas (<i>Information and Communication Technology</i>)
CCSDS	– Kosmosa datu sistēmu konsultatīvā komiteja (<i>Consultative Committee for Space Data Systems</i>)
NTIA	– Valsts telekomunikāciju un informācijas pārvalde (<i>National Telecommunications and Information Administration</i>)
RMS	– Vidējā kvadrātiskā vērtība (<i>Root mean square</i>)
IC	– Integrālā shēma (<i>Integral Circuit</i>)

Ievads

Ventspils Starptautiskā Radioastronomijas Centra (*VSRC*) rīcībā ir teleskopi RT-16 un RT-32, kas vēsturiski tika izmantoti rietumu pasaules spiegošanā, bet pašlaik ir zinātnes instruments kosmosa izpētē. VSRC zinātniskajā institūtā pašlaik notiek darbs pie radioteleskopu komercializācijas, izmantojot antenas kā bāzes stacijas satelītu un kosmosa izpētes misijām, t.sk. uz Mēness. Šim nolūkam viens no VSRC virzieniem ir izveidot S/X diapazona raiduztvērēju RT-16 radioteleskopam, kur daļa no tā ir X diapazona (no 7.145 GHz līdz 7.235 GHz) raidītājs, ko izstrādā šī darba vadītājs Mārcis Bleiders. Bakalaura darba ietvaros ir jāizstrādā raidītāja vadības bloka risinājums, kas paredz sistēmas ieslēgšanu un izslēgšanu X joslas 100 W gallija nitrīda (*GaN*) jaudas pastiprinātāja (*HPA*). Vadības bloks arī ir nepieciešams, lai iestatītu un atiestatītu secīgi darba punktu, pasargātu augstas jaudas pastiprinātāju no pārkaršanas, pārsprieguma, pārstrāvas vai nesalāgotas slodzes pretestības radītiem riskiem, kas var radīt neatgriezeniskus iekārtas bojājumus. Bakalaura darba mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi uzdevumi:

- Iegūt specifikāciju jaudas pastiprinātāja vadībai un monitorēšanai no VSRC.
- Izpētīt esošās jaudas pastiprinātāju vadības sistēmas.
- Piemeklēt piemērotu risinājumu dotajai specifikācijai.
- Izveidot testa stendu.
- Izstrādāt funkcionējošu maketu, kuru var vadīt caur ethernet tīklu.
- Izstrādāt iespiedpalti, piemērotu VSRC vajadzībām.
- Integrēt to eksistējošā korpusā.

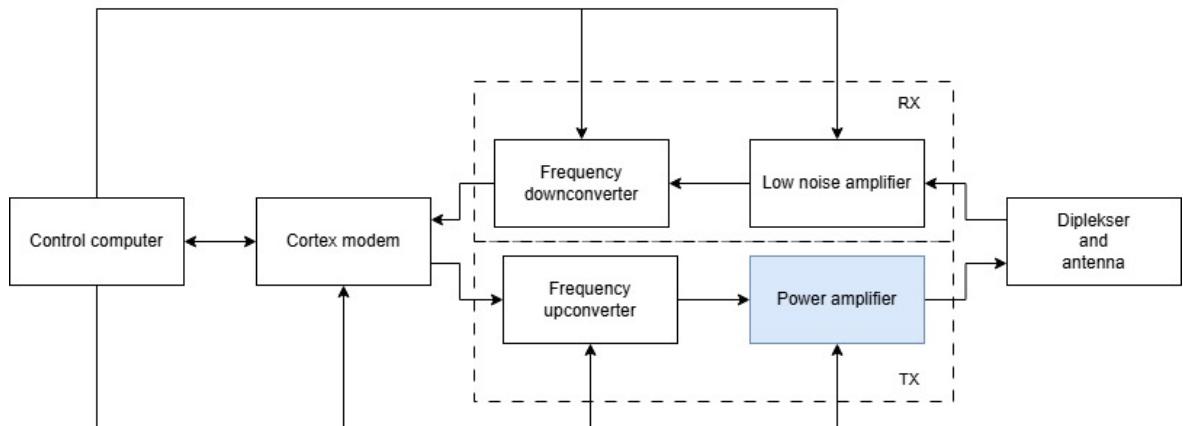
Turpmāk darbs tiek sadalīts vairākās daļās: teorijā, izstrādē un testēšanā. Teorijā tiek padziļinātāk apskatīts idejas koncepts, apskatītie risinājumi un izvēlētā risinājuma teorētiskais pamatojums. Izstrādē tiek detalizēti izklāstīts iekārtas veidošanas process no izstrādes plānes līdz paštāsītam risinājumam ar nepieciešamo funkcionalitāti. Testēšanā tiek pārbaudīta iekārtas atbilstība norādītajai specifikācijai.

1 Teorija

Šajā nodaļā tiek aprakstīta VSRC X-joslas raidzutveršanas sistēma, VSRC augstas jaudas pastiprinātājs, dziļā kosmosa misiju spektra sadalījums, VSRC dotā specifikācija darba punkta iestatīšanai jaudas pastiprinātājam, ieskats RF jaudas pastiprinātāju vadības sistēmās un pieejamās integrālās shēmas, virziena nozarotāja darbības princips, jaudas detektori, diferenciālā mērišanas metode un S-parametri.

1.1 RT-16 X-joslas raiduztverošās sistēmas pārskats

Att 1.1. tiek parādīta X-joslas pārskats RT-16 radioteleskopam. Sistēmas vadība tiek veikta ar operatora jeb kontroles datoru, kas vada Cortex modemū [1], frekvenču lejuppārveidotāju un augšuppārveidotāju [2], LNA un HPA. Cortex modēms paredzēts datu modulēšanai un demodulēšanai no satelīta. Frekvenču lejup un augšup pārveidotājs nepieciešams, lai varētu modulēto signālu pārnest uz nepieciešamo nesējfrekvenci noteiktam satelītam. HPA pastiprina modulēto signālu līdz 100 W (+50 dBm), lai palielinātu pārraides attālumu. HPA bloka pārraides jaudu noteica SSC. LNA nepieciešams, lai uzlabotu uztvertā signāla SNR un lai Cortex varētu to veiksmīgi demodulēt. Dipleksers un paraboliskā antena paredzēti signāla uztveršanai un pilna dupleksa komunikācijas nodrošināšanai.



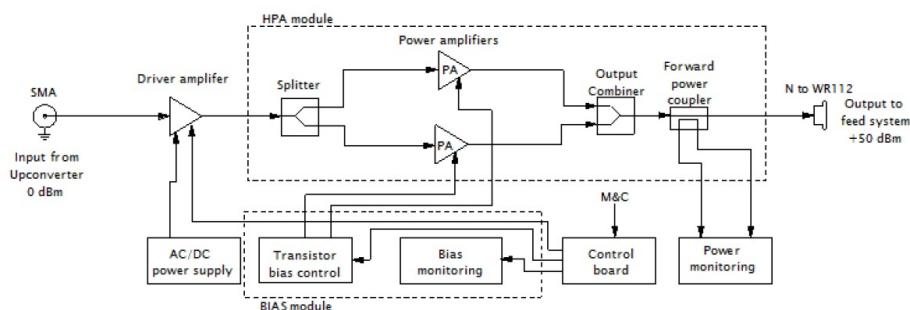
Att. 1.1. RT-16 X-joslas raiduztvērēja vispārīga bloka diagramma

Turpmāk darbā tiek apskatīts tikai augstas jaudas pastiprinātājs, kur daļa no tā tiek izstrādāta šī bakalaura ietvaros.

1.2 Augstas jaudas pastiprinātājs

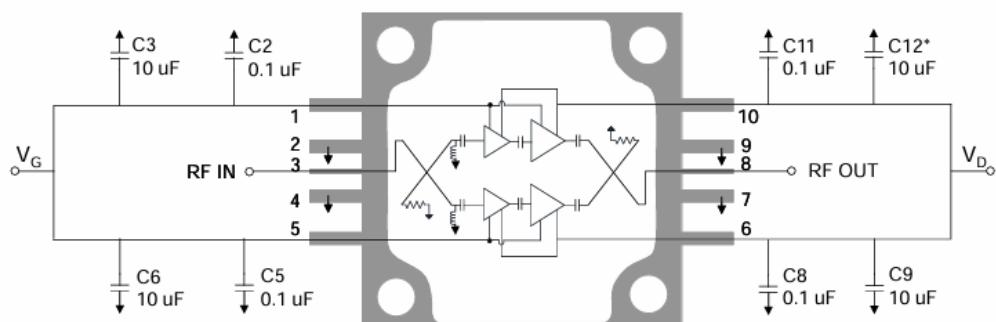
No frekvenču augšuppārveidotāja signāla pievade notiek caur SMA konektoru, tad signāls tiek padots uz priekšpastiprinātāju KU PA 640720-10A[3], lai pastiprinātu ienākošo signālu par 30 dB. Priekšpastiprinātājam tiek nodrošināta jauda ar industriālā tipa barošanas avotu

no 230 VAC uz 12 VDC. Tad +30 dBm signāls tiek nodots sadalītājam, kur uz katru kanālu tiek padota puse no ienākošās jaudas, kas ienākošo +27 dBm signālu pastiprina vēl par ~ 19 dB katrs, kur tālāk +46 dBm signāls no katra kanāla tiek padots uz summatoru, pēc kā ir ~ 49 dBm, kur signāls tiek nogādāts uz nozarotāju, kur tālāk nogādāts N-tipa konektoram. Pie nozarotāja tiek pievienota jaudas monitorēšanas sistēma, lai noteiktu izstaroto un atstaroto jaudu. Darba punkta iestatīšanas un atiestatīšanas sistēma vajadzīga, lai nodrošinātu sistēmas drošu darbību. HPA ir balstīts uz Qorvo QPM1017, kas darbojas vajadzīgajā augšupsaites joslā 7.145 līdz 7.235 GHz. Viens HPA modulis spēj nodrošināt līdz +50 dBm izejas jaudu ar 30... 40% efektivitāti pie 7,2 GHz. Lai gan teorētiski viena modula izejas jauda ir +50 dBm, darba vadītājs nolēma apvienot divus QPM1017, kas ļautu katrai atsevišķai ierīcei darboties ar pusi no tās maksimālās jaudas, tādējādi uzlabojot termālo veiktspēju.



Att. 1.2. HPA vispārīga blokshēma [4]

1.3. att. var redzēt pašu jaudas pastiprinātāju ar ieejas filtriem. V_G un V_D ir pie- slēgvietas, kuras ir jaudas pastiprinātāja vadībai un barošanas pievadei.



Att. 1.3. QPM1017 sērijas RF jaudas pastiprinātājs

Šī darba ietvaros tiek izstrādāta darba punkta iestatīšana un atiestatīšanas sistēma, kas ir vadāma caur tīklu no kontroles datora, un jaudas monitoringa sistēma, kas mēra izstaroto un atstaroto jaudu.

1.3 Dzīlā kosmosa tīkla spektra sadalījums

DSN [5] ir izstrādājis frekvenču sadalījuma kanālu plānus, lai ērti un pārskatāmi var apskatīt dzīlās kosmosa misijas spektrālo sadalījumu (B kategorija, lielāka par 2 miljoniem km no Zemes) S, X un Ka joslām saskaņā ar SFCG ieteikumiem. Plāni pieļauj vienlaicīgu fāzes saskaņotu augšupsaiti (Zeme-kosmoss, *Uplink*) un lejupsaites (kosmoss-Zeme, *Downlink*) pārraides, kur augšupsaitē un lejupsaitē ir vienā vai dažādās joslās.

ITU piešķir un regulē frekvenču spektru gan komerciālām, gan valstiskām vajadzībām. ITU galvenais mērķis ir koordinēt telekomunikāciju tīklu un pakalpojumu darbību visā pasaulei, pārvaldīt radiofrekvenču spektra un satelīta orbītu sadali, kā arī veicināt piekļuvi ICT, lai atbalstītu ilgtspējīgu attīstību.

CCSDS ir starptautiska kosmosa aģentūru organizācija, kas izstrādā un koordinē standartus pārraidei un datu sistēmām, lai atbalstītu kosmosa pētniecību. NTIA, ASV Tirdzniecības departamenta aģentūra, ir izpildvaras galvenā iestāde vietējiem un starptautiskiem telekomunikāciju un informācijas tehnoloģiju jautājumiem. NTIA novērtējumu pamatā ir tehniskie un regulatīvie kritēriji efektīvas un koordinētas frekvenču spektra izmantošanas kosmosa misijām. Apakšējā tabula apskata esošo un apstiprināto frekvenču sadalījumu joslās, kas arī iedalāt pēc attāluma no zemes.

Tabula 1.1. Frekvenču sadalījums joslā

Joslā	Dzīlā kosmosa josla (2 milijoniem km no zemes)		Dzīlā kosmosa josla (pēc 2 milijoni km no zemes)	
	Augšupsaitē ”zeme-kosmoss”	Lejupsaitē ”kosmoss-zeme”	Augšupsaitē ”zeme-kosmoss”	Lejupsaitē ”kosmoss-zeme”
S josla	2110-2120	2290-2300	2025-2110	2200-2290
X josla	7145-7190	8400-8450	7190-7235	8450-8500
K josla	N/A	N/A	22550-23150	25500-27000
Ka josla	34200-34700	31800-32300	N/A	N/A

1.4 Vadības bloka specifikācija

Tehniskā specifikācija tika izvirzīta no VSRC puses, kas tika definēta no izstrādātā HPA. HPA pēdējās pakāpes jaudas pastiprinātāja darba punkta iestatīšanas parametri, sagaidāmā tīkla vadība un jaudas detektorā mērīšanas diapazons.

- Darba punkta iestatīšanas procedūra (*ang. Bias-Up procedure*)
 - Iestatīt jaudas pastiprinātājiem strāvas ierobežojumu uz 18 A, strāvas ierobežojumu uz aizvaru 200 mA.
 - Iestatīt aizvara spriegumu – 5.0 V.
 - Pievadīt 24 V spriegumu HPA no elektrobarošanas avota.
 - Pieskaņot aizvara spriegumu, līdz tiek sasniegta 3 A notece strāvu.
 - Pievadīt RF signālu.

- Darba punkta atiestatīšana procedūra (*ang.* Bias-Down procedure)
 - Samazināt aizvara spriegumu līdz -5 V.
 - Jaizmēra caurplūstošā strāva caur jaudas pastiprinātāju, jābūt 0 mA.
 - Jāatvieno barošanas avotu no jaudas pastiprinātāja.
 - Jāatvieno RF signālu.
- Vadība caur tīklu
 - TCP servers.
 - Līdz 8 klientiem.
 - IPv4.
 - Jaudas pastiprinātāja un barošanas avota ieslēgšana vai izslēgšana.
 - Parametru monitorēšana:
 - * Temperatūra.
 - * Spriegumi HPA barošanas avotam un vadības signālam (aizvaram).
 - * Caurplūstoša strāva cauri HPA.
 - * Sistēmas stāvoklis.
 - Kļūdu paziņošana.
- Izstarotās un atstarotās jaudas noteikšana ar RMS RF jaudas detektoru mērīšanas dia-pazonā no -50 dBm līdz 0 dBm.

1.5 Vadības integrālās shēmas RF jaudas pastiprinātājiem

Zemes bāzes stacijas jaudas patiprinātājiem [6] veiktspējas uzraudzība un kontrole ļauj maksimāli palielināt izejas jaudu, vienlaikus panākot optimālu linearitāti un efektivitāti. Bāzes stacijās tiek izmantoti daudzkanālu DAC, ADC, temperatūras sensori un strāvas mērīšanas integrālās shēmas, kā arī vienas mikroshēmas integrētie risinājumi, lai uzraudzītu un kontro-lētu dažādus analogos signālus. Diskrēti sensori un datu pārveidotāji nodrošina maksimālu veiktspēju un konfigurācijas elastību, savukārt integrētie risinājumi piedāvā zemākas izmaksas, mazāku izmēru un lielāku uzticamību. Darba ietvaros tika apskatīti integrālie risinājumi.

1.5.1 Apskatītie risinājumi

Analog Devices AD7293[7] ir jaudas pastiprinātāja kontrolieris, kas ietver funkcionalitāti strāvas, sprieguma un temperatūras vispārīgai uzraudzībai un vadībai ar SPI saskarni. Ir 4 strāvas mērīšanas sensori ar mainīgu pastiprinājumu, atļautais sprieguma diapazons no 4 līdz 60 V un +/- 200 mV sprieguma atšķirību starp pozitīvo un negatīvo izvadu, četri 12 bitu ADC ar mainīgiem references spriegumiem, astoņi 12 bitu DAC ar iestatāmu konversijas laiku līdz 1.3 µs, četri bipolārie un četri unipolārie ar konfigurējamiem izvades diapazoniem,

integrēts temperatūras sensors un četri ārējo temperatūras sensora pieslēgvietas, astoņi vispārīgās nozīmes ievadi/izvadi un ieslēgšanas/atslēgšanas shēmas vadības izvads. Ir vadība ar atgriezenisko saiti funkcionalitāte ar iestatāmu konversijas laiku. Iekārtā ir ierobežojumu reģistri ar brīdinājuma funkcionalitāti.

Texas Instruments AMC7834[8] ir jaudas pastiprinātāja kontrolieris, kas ietver funkcionalitāti strāvas, sprieguma un temperatūras vispārīgai uzraudzībai un vadībai ar SPI saskarni. Ir 2 strāvas mērišanas sensoru no 4 līdz 60 V potenciālu un +/- 200 mV sprieguma atšķirība starp pozitīvo un negatīvo izvadu, 4 bipolārie un 4 unipolārie DAC ar mainīgiem sprieguma diapozoniem, iekšējais temperatūras sensors un 2 ārējās sensora pieslēgvietas, 4 vispārīgās nozīmes ievadi/izvadi.

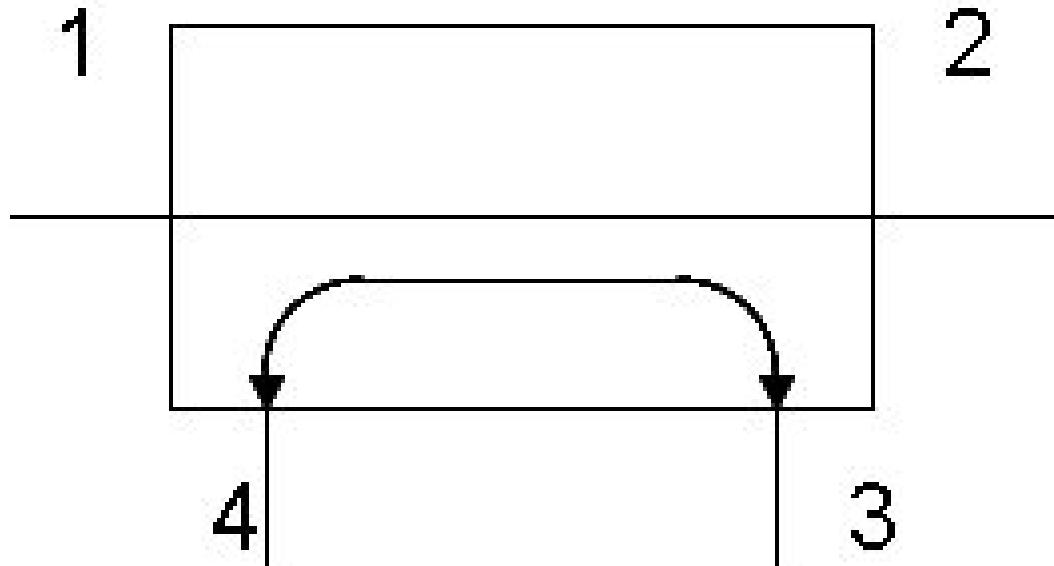
Analog Devices AD7294[9] ir jaudas pastiprinātāja kontrolieris, kas ietver funkcionalitāti strāvas, sprieguma un temperatūras vispārīgai uzraudzībai un vadībai ar I2C saskarni. Ir 2 strāvas mērišanas sensoru no 5V līdz 59.4 V potenciāla un +/- 200 mV sprieguma atšķirība starp pozitīvo un negatīvo izvadu, 4 unipolāri DAC, 4 ADC ieejas un 2 ārējie temperatūras sensoru pieslēgvietas, integrēts temperatūras sensors un 1 brīdinājuma izvads. 3 μ s konversijas laiks ADC. AD7294 ietver arī ierobežojumu reģistrus trauksmes funkcijām.

Texas Instruments AMC7908[10] ir jaudas pastiprinātāja kontrolieris, kas ietver funkcionalitāti strāvas, sprieguma un temperatūras vispārīgai uzraudzībai un vadībai ar I2C vai SPI saskarni. Ir 2 8 bitu ADC, astoņi bipolāri 12 bitu DAC, 2 strāvas mērišanas sensori, temperatūras sensors, divas ārējo temperatūras sensoru pieslēgvietas, četri konfigurējami vispārīga mērķa ievades/izvades porti.

No apskatītajiem RF jaudas vadības integrālajām shēmām tika izvēlēta Analog Devices AD7293 daudzo funkciju dēļ. Vairāk vispārīgās nozīmes izvadi, kur var ieprogrammēt karodziņus (alert). Ar plašām konfigurācijas iespējām un ieslēgšanas/izslēgšanas shēmu. Var pievienot četru ārējos temperatūras sensorus. Izceļas ar detalizētu datu lapu. Pieejama izstrādes plate ar vadības kontrolieri un lietojumprogrammatūru.

1.6 Virzītais nozarotājs

Virziena jaudas nozarotājs ir četru portu sistēma, kur viens ports ir izolēts no ieejas porta. Visi četri porti ideālā gadījumā ir salāgoti, un shēma ideālā gadījumā ir bez zudumiem. Nozarotāju var realizēt nesimetriskās un simetriskās mikroslokšņu līnijās, koaksiālajos kabeļos vai viļņvados. Tos visbiežāk izmanto signālu caurejošā signāla nolasei kā izstarotā un atstarotā jauda. Nozarotājā optimālā elektromagnētiskā saite starp līnijām tiek sasniepta, ja līniju sasaistītā posma garums ir vesels skaits ceturtdaļvilņu. Nozarotājs darbojās uz elektromagnētiskā principa, caurplūstošā strāva veido elektromagnētisko lauku, kas inducē strāvu izolētajā daļā, pārnesot signālu no viena atzara uz otru. Zemāk redzamais virziena atzarotājs ir izstrādāts X-joslās pastiprinātāja blokā, kur tiek piemeklēts risinājums vidējās jaudas mērišanai.



Att. 1.4. Atzarotāja elektriski principiālais apzīmējums

1.7 Jauudas detektori

Lieljaudas bezvadu sistēmas ir nepieciešams uzraudzīt un kontrolēt gan pārraidīto, gan saņemto RF jaudu [11], kas tiek panākts ar RF detektoriem [12], kas tiek visbiežak izmantots bezvadu sistēmās, lai izstarotā jauda atbilstu signāla stipruma normatīvajām prasībām. Lai mēritu RF jaudu, tiek izmantotas trīs dažādas metodes: pīka detektors, logaritmiskais pastiprinātājs un RMS detektors. Katrai metodei tiek pielietota pēc sistēmas vajadzības. Lieljaudas pārraides sistēmās jauda tiek mērīta netiešā veidā, lai pēc iespējas mazāk ietekmētu sistēmu. RF jaudas mērīšanai neizmanto digitālas metodes, jo tās ir lēnākas nekā analogās metodes un ar augstāku jaudas patēriņu, lai sasniegtu līdzvērtīgu rezultātu. Logaritmiskais pastiprinātājs balstās uz diodes raksturīgo logaritmisko reakciju, kas rada izejas spriegumu, kas proporcionāls ieejas signāla jaudai, tāpēc tā izeja ir lineāra attiecībā pret ieeju decibelos. To plaši izmanto, īpaši gadījumos, ja signālam ir plašs dinamiskais diapazons. Tāpēc logaritmiskais pastiprinātājs tiek izmantots sistēmās ar impulsu signāliem, kā radariem. RMS detektors ġenerē spriegumu, kas proporcionāls signāla jaudas RMS vērtībai. RMS detektors ir piemērots signāliem ar augstu signāla amplitūdas pīka-vidējās vērtības attiecību (crest-factor). Raidītāji ar amplitūdas pīka-vidējās vērtības attiecību (10-15 dB) kļūst arvien izplatītāki, jo tiek plašāk izmantotas modernas modulācijas metodes, piemēram, augstākas kārtas QAM, CDMA sistēmās vai OFDM.

Tā kā satelītkomunikācijām tiek izmantota augsta amplitūdas pīka-vidējās vērtības attiecība modulācija, tiek izvēlēts RMS detektors kā jaudas mērīšanas risinājums.

1.7.1 Apskatītie risinājumi

LTC5582[13] ir RMS jaudas detektors, kas darbojas frekvenču diapazonā no 40 MHz līdz 10 GHz un ar plašu mērīšanas diapazonu 62 dB. Tas darbojas frekvenču diapazonā no 10 MHz

līdz 10 GHz un var apstrādāt ieejas signālus no -60 dBm līdz +2 dBm ar dažādiem amplitūdas pīķa-vidējās vērtības attiecībām.

ADL5906[14] ir RMS jaudas detektors, kas darbojas frekvenču diapazonā no 10 MHz līdz 10 GHz un ar plašu mērišanas diapazonu 67 dB. Tas darbojas frekvenču diapazonā no 10 MHz līdz 10 GHz un var apstrādāt ieejas signālus no -65 dBm līdz +8 dBm ar dažādiem amplitūdas pīķa-vidējās vērtības attiecībām un joslas platumiem. Piedāvāta temperatūras stabilitāte plašā temperatūras diapazonā (no -55°C līdz +125°C). Nepieciešams 5 V barošanas avots un darba strāva ir 68 mA pie 25°C temperatūrās.

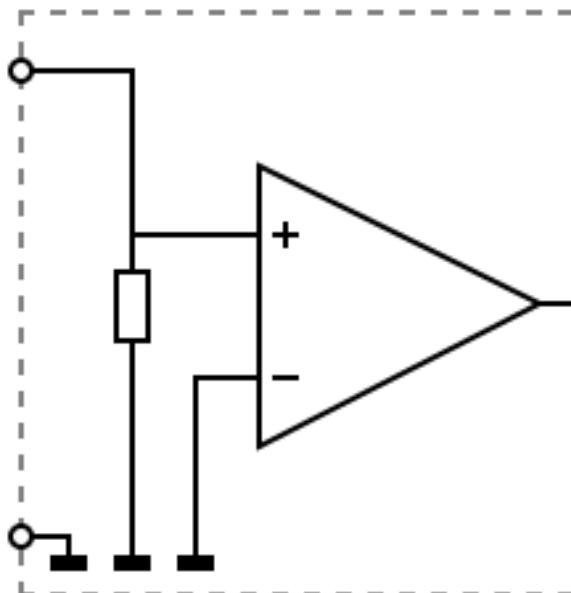
LTC5587[15] ir RMS jaudas detektors ar integrētu 12 bitu seriālo ADC, kas darbojas frekvenču diapazonā no 10 MHz līdz 6 GHz. Mērišanas diapazons ir no -34 dBm līdz 6 dBm. Detektora seriālā digitālā izeja nodrošina 12 bitu skaitlisko vērtību, kas tieši proporcionāla RF signāla jaudai dBm vienībās.

ADL5500[16] ir RMS jaudas detektors, kas darbojas no 100 MHz līdz 6 GHz. Nodrošina teicamu temperatūras stabilitāti ar gandrīz 0 dB mēriņumu kļūdu visā temperatūras diapazonā. Nav plašs mērišanas diapazons no -25 dB līdz 10 dB.

Tika izvēlēts ADL5906 jaudas detektors, jo piedāvā visplašāko mērišanas diapozonu no -65 dBm līdz +8 dBm ar temperatūras kompensēšanas shēmu. Frekvenču diapozons atbilst X-joslai, kā arī paredzēts ar modulētiem signāliem ar lielu amplitūdas pīķa-vidējās vērtības attiecību un joslas platumu.

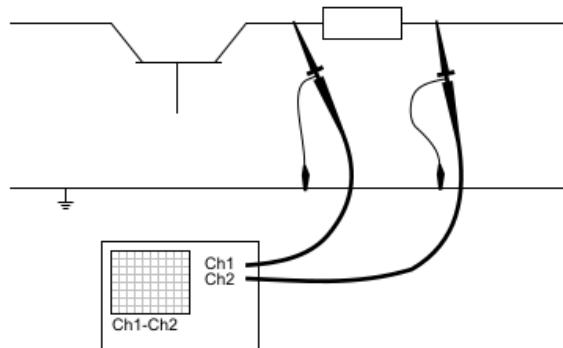
1.8 Differenciālā mērišanas metode

Lielākā daļa osciloskopu [17] ir viena ieejas puse vienmēr ir savienota ar zemi, bet otra puse ar interesējošo punktu elektriskajā ķēdē.



Att. 1.5. Osciloskopa izvada struktūra

Tāpēc spriegums, ko mēra ar osciloskopu, vienmēr tiek mērīts starp konkrēto punktu un zemi. Kad mērāmā ķēde ir savienota ar to pašu references punktu, tad var izveidoties īssavienojums, kas var sabojāt ķēdes daļu un osciloskopu. Lai no tā izvairītos, tiek mērīti vēlamie elektriskie ķēdes posmi ar differenciālo metodi. Šī metode aprēķina sprieguma starpību starp diviem punktiem. Lielākajā daļā osciloskopu to var izdarīt, savienojot vienu no kanāliem ar vienu punktu un otru kanālu ar otru punktu un pēc tam izmantojot osciloskopa matemātisko funkciju Ch1 - Ch2, lai parādītu faktisko sprieguma starpību.



Att. 1.6. Differenciāla mērīšana izmantojot osciloskopu

1.9 S-parametri

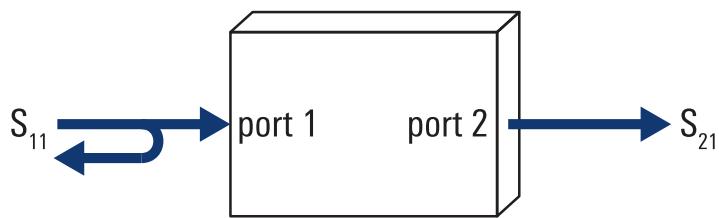
Izkliedēšanas parametri [18] (S-parametri) tie raksturo, cik liela signāla daļa tiek atstarota, izplatīta caur vai pārnesta starp ķēdes portiem. Signāla parametri S ir kompleksi lielumi, kas ietver gan amplitūdas, gan fāzes raksturielumus. Elektriskā ķēde ir ierīce ar vienu vai vairākiem portiem, kur katrs ports var pārraidīt, absorbēt vai atstarot RF signālu. Elektriskā ķēde tiek klasificēta pēc portu skaita:

- Viens ports: piemēram, ir antena vai 50 omu slodze.
- Divi porti: piemēram, ir filtrs vai pastiprinātājs.
- Trīs porti: piemēram, ir virziena atzarotājs.

Ķēdes analizē, ievadot RF signālu noteiktā portā un mērot RF līmeni, kas parādās šajā portā (atstarotais signāls) un/vai citos portos. Parasti vienlaikus tiek ievadīts tikai viens signāls vienā portā, un mērījumi tiek veikti dažādu frekvenču diapazonā. Ierīci, ko parasti izmanto ķēdes analīzei, sauc par ķēžu analizatoru. S parametru apzīmē ar burtu "S", kam seko divi apakšraksti, kur pirmais apakšindekss norāda izejas portu, bet otrs apakšindekss ieejas portu. Piemēram:

- Ja signāls tiek pievadīts portā 1 un izmērīts porta 1, tad S-parametru apzīmē kā S_{11} .
- Ja signāls tiek pievadīts portā 1 un izmērīts porta 2, tad S-parametru apzīmē kā S_{21} .
- Ja signāls tiek pievadīts portā 2 un izmērīts porta 3, tad S-parametru apzīmē kā S_{32} u.t.t.

Diagram of S parameter naming

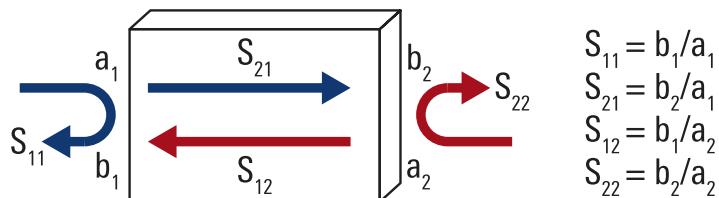


Att. 1.7. S-parametru nosaukumu diagramma

Divu portu elektriskā lēde ir aprakstīta ar četriem S parametriem:

- S_{11}/S_{22} ir ieejas atstarošanas koeficients. Tas mēra ieejas signāla daļu pie 1. porta, kas tiek atstarota atpakaļ pie 1. porta. Šis parameters norāda, cik liela daļa no ieejas signāla tiek atstarota saistībā ar impedances nesakritību.
- S_{21}/S_{12} ir pārvades koeficienti. Tas mēra ieejas signāla daļu pie 1. porta, kas tiek pārraidīta uz 2. portu. Šis parameters norāda signāla pārraides efektivitāti no ieejas uz izēju.

S parameters in a two port network



Att. 1.8. 2 portu s-parametru diagramma

S parametrus var attēlot kā $N \times N$ matricu, kur N ir portu skaits tīklā. Katrs matricas elements S_{xy} apzīmē izkliedes parametrus no porta y uz portu x . To var reprezentēt šādi:

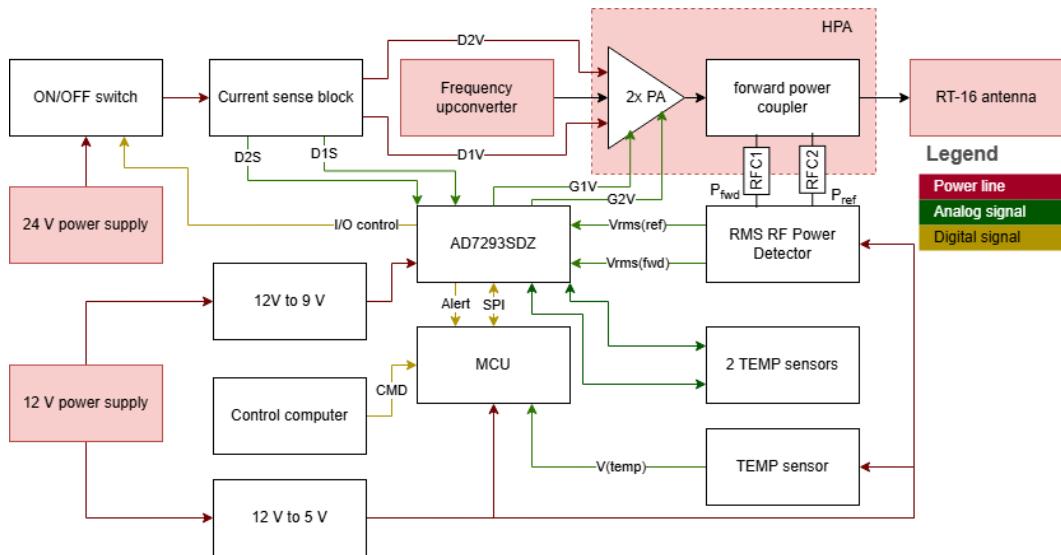
$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

2 X joslas raidīšanas sistēmas vadības bloka prototipa izstrāde

Šajā nodaļā ir izklāstīta šī bakalaura darba ietvaros veiktā X joslas raidīšanas sistēmas vadības bloka prototipa izstrāde. Sākas nodaļa ar sistēmas pārskatu, tad tiek aprakstīts darba punkta iestatīšanas izstrādes process, kur tiek aprakstītas izveidotās iespiedplates, pēc kā tiek pievērsta uzmanība mikrokontrolierim, programmas kodam un lietojumprogrammas izstrādei, tad tiek aprakstīta jaudas monitorēšanas sistēmas izstrāde, kur beigās ir gala prototipu apraksts, kur tiek aprakstīts atsevišķo sistēmu novietojums korpusā. Visas izstrādnes, kas tika izstrādātas šī bakalaura ietvaros, tiek uzglabātas githubā[19].

2.1 Sistēmas pārskats

Sistēmai tiek izvēlēti 2 industriālā tipa AC-DC barošanas avoti "CUS800M-24" [20] un "LRS-150-12" [21], kas nodrošina no 230VAC uz 24 VDC un 12 VDC barošanu sistēmai. 24 V barošanas avots HPA jaudas nodrošināšanai. Pirms spriegums tiek padots HPA notecēm, barošāna iet cauri ieslēgšanas/izslēgšanas slēdzim, kas tiek vadīts ar AD7293 integrālo shēmu. Tālāk tiek mērīta plūstošā strāva ar šunta rezistoriem, līdz tā nonāk pie HPA bloka diviem jaudas pastiprinātājiem. Jaudas pastiprinātāja signāla traktā no frekvenču augšupārveidotāja ienāk signāls, kas tiek pastiprināts +50 dBm. Pastiprinātais signāls iet cauri atzarotājam, kas paredzēts izstarotās un atstarotās jaudas mērīšanai, kur 0 dBm atbilst 100 W un -50 dBm atbilst 1 mW uz P_{fwd} un P_{refl} . Pēc atzarotāja pastiprinātais ieejas signāls nonāk RT-16 antenā un tālāk tiek raidīts dziļajā kosmosā. 12 V barošanas avots nodrošina jaudu ciparu elektronikai un jaudas mērītājam. 12 V tiek pārveidoti uz 9 un 5 V. 9 V tiek nodrošināti monitorēšanas integrālajai shēmai, bet 5 V mikrokontrolierim, temperatūras sensoram un vidējās jaudas mērītājam. RMS detektors mēra izstaroto un atstaroto jaudu, kur izejas sprieguma līmenis atbilst noteiktai jaudai dBm, kur tas tiek padots uz monitorēšanas sistēmu. Mikrokontrolieris konfigurē monitorēšanas sistēmu un mēra HPA temperatūru. Pie monitorēšanas sistēmas arī ir 2 ārējie temperatūras sensori, kas arī mēra HPA temperatūru. No kontroles/operatora datora tiek nosūtītas komandas uz mikrokontrolieri caur TCP protokolu lokālā tīklā.



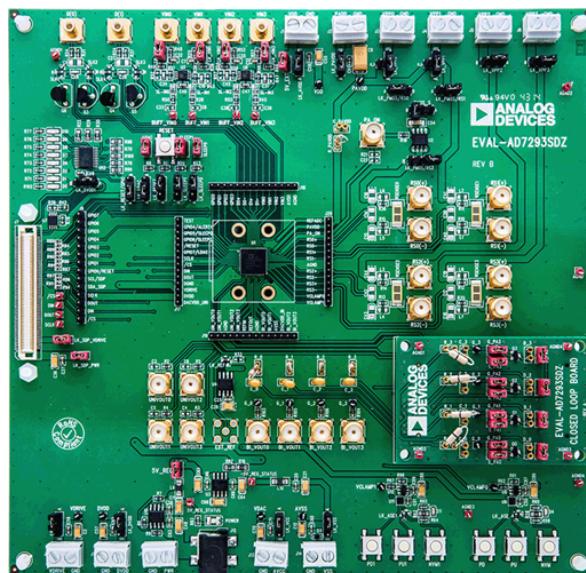
Att. 2.1. Vadības bloka augsta līmeņa bloka diagramma

2.2 Darba punkta nodrošināšanas sistēmas izstrāde

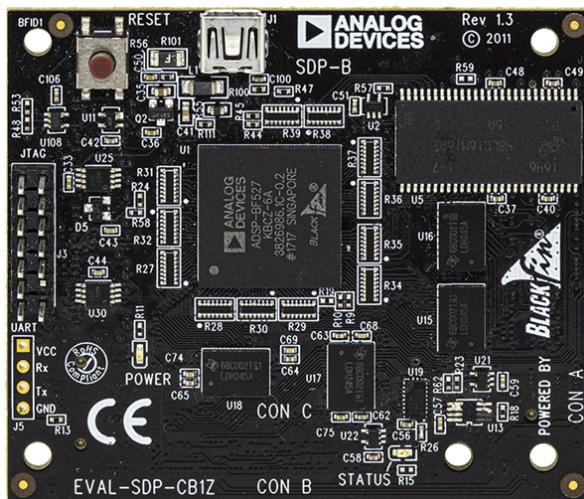
Šajā nodaļā tiek aprakstīta izstrādes plates modifikācija un testēšana, izstrādātie līdzstrāvas sprieguma pārveidotāji, industriālā barošanas avota vadības, strāvas mērīšanas, ieslēgšanas/izslēgšanas elektriskā principiālā shēmas. Daļas, kas nodrošina darba punkta iestatīšanas/atiestatīšanas funkciju.

2.2.1 Monitoringa izstrādes plates modifikācija un integrēšana

Lai ātrāk iegūtu vēlamo rezultātu, tika iegādāta izstrādes plate ar izvēlēto monitorēšanas integrālo shēmu EVAL-AD7293 [22] ar AD piedāvātu vadības sistēmu EVAL-SDP-CB1Z [23].

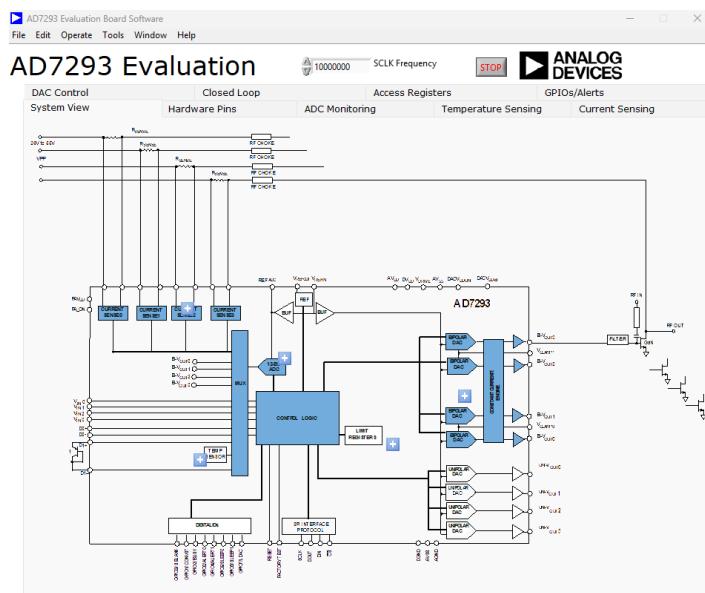


Att. 2.2. AD7293 izstrādes plate



Att. 2.3. Vadības sistēma monitorēšanas izstrādes platei

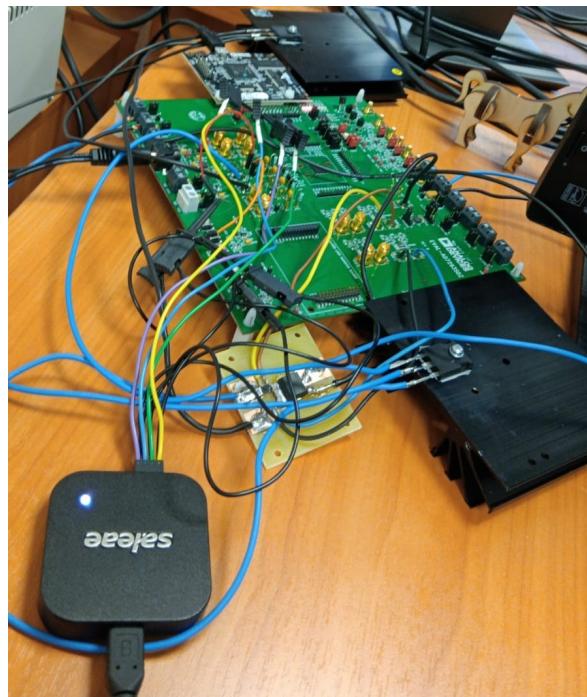
Šīs sistēmas pārbaudei tika izmantota AD lietojumprogramma, kas sniedz vispārīgu pārskatu par sistēmas funkcionalitāti.



Att. 2.4. AD7293 testēšanas lietojumprogramma

Sekojoj datu lapā pieejamai informācijai tika nodrošināta reģistru konfigurācijas sečība un sasniegta vēlamā funkcionalitāte darba punkta iestatīšanai un atiestatīšanai.

Pēc nepieciešamās funkcionalitātes nodrošināšanas tika veiktas izstrādes plates modifikācijas - atlodēti SMA konektori, lai varētu pielodēt strāvas monitorēšanas sistēmas izvadus un ieslēgšanas/izslēgšanas sistēmas vadības izvadu, samainīti savienotājelementi, pievienoti barošanas avoti un pievienots digitālās loģikas analizators, lai monitorētu SPI saskarni.

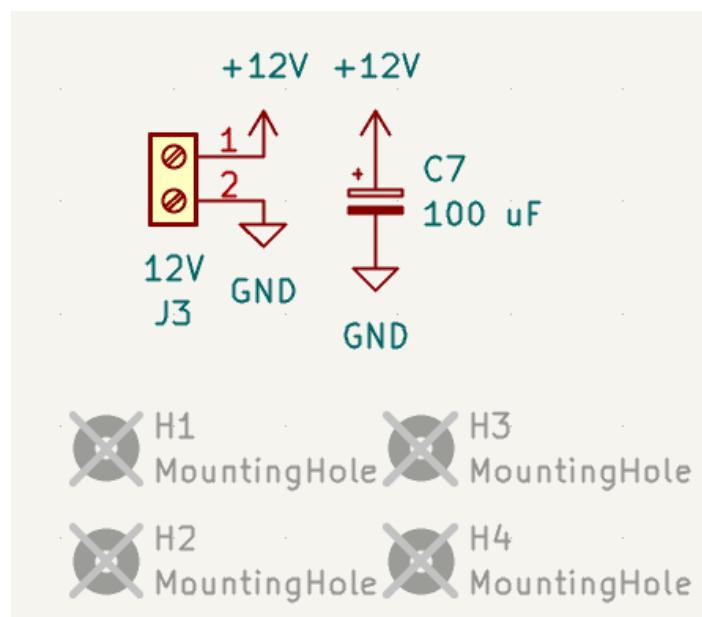


Att. 2.5. Testa stends ar testa lauktranzistoriem

Tad tika sasniegts vēlamais rezultāts ar darba punkta iestatīšanu un atiestatīšanu.

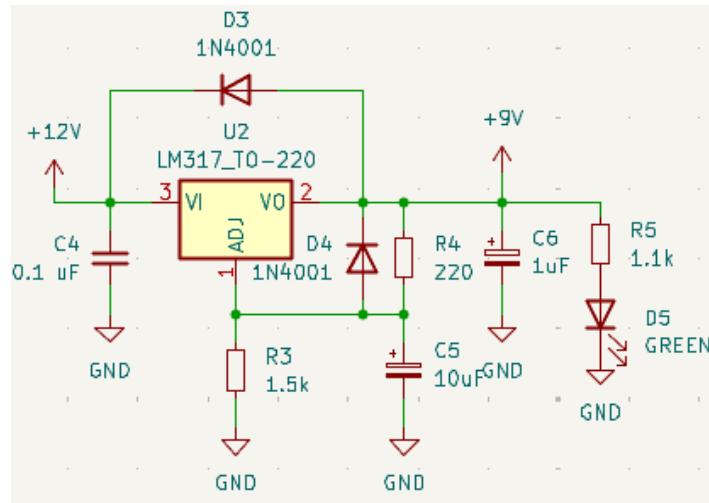
2.2.2 Sprieguma pārveidotāji, temperatūras sensora un 24 V barošanas avota vadības shēmas

Tika izvēlēti lineārie sprieguma stabilizatori 5 un 9 V līnijām, neskaitoties uz zemo efektivitāti, salīdzinot ar impulsa tipa sprieguma stabilizatoriem, tie nerada trokšņus izejā. Lineārie sprieguma stabilizatori tiek slēgti virknē, lai palielinātu 5 V regulātora efektivitāti, samazinot sprieguma kritumu uz tā. 12 V tiek pārveidots uz 9 V un no 9 V tiek pārveidots uz 5 V.

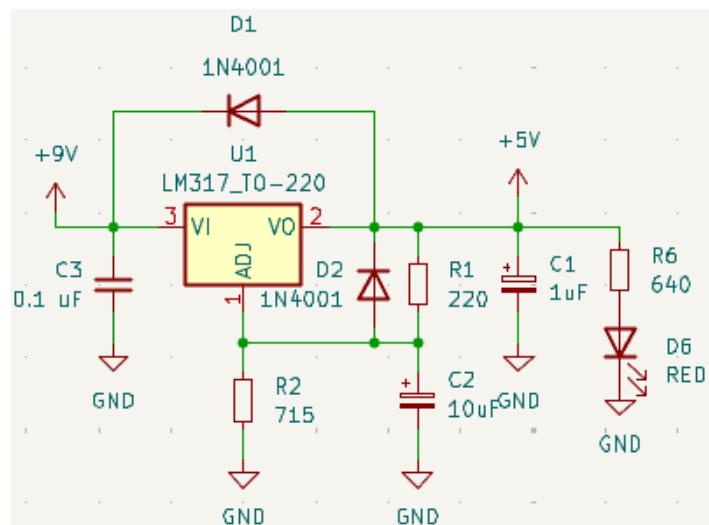


Att. 2.6. Ievadi, elektrolītiskais kondesators un urbjaaurumi

J3 terminālbloks ir paredzēts, lai varētu pieslēgt industriālo 12 V barošanas avotu. C7 elektrolītiskais kondensators paredzēts, lai mazinātu ieejas pulsācijas. H1, H2, H3 un H4 urbjcaurumi paredzēti, lai iespiedplatī varētu iestiprināt korpusā.

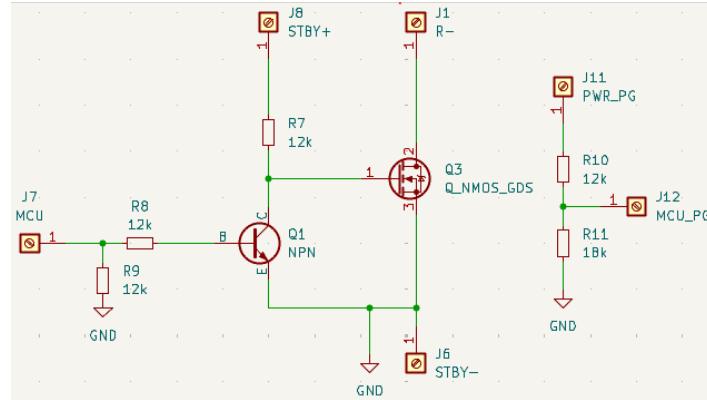


Att. 2.7. 12 V uz 9 V pārveidotais



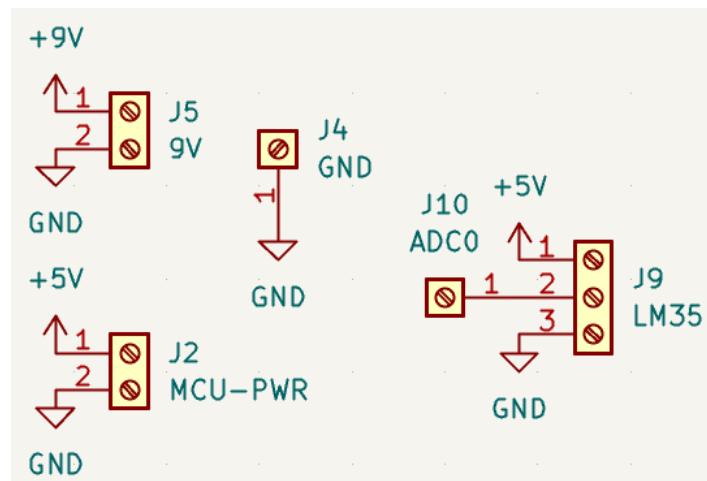
Att. 2.8. 9 V uz 5 V pārveidotais

Sprieguma iestatīšanai tiek izmantota atgriezeniskā saite, ko veido rezistori R1, R2, R3 un R4. Ķēdē tiek izmantoti keramiskie kondensatori C1, C3, C4 un C6. keramiskie un elektrolītiskie kondensatori ir vajadzīgi, lai mazinātu barošanas pulsācijas. R6 un R5 ir strāvas ierobežojojošie rezistori D5 un D6 gaismas diodēm. D1, D2, D3 un D4 taisngriežu diodes paredzētas, lai neļautu C2 un C5 kondensatoriem izlādēties lineārā sprieguma izejā.



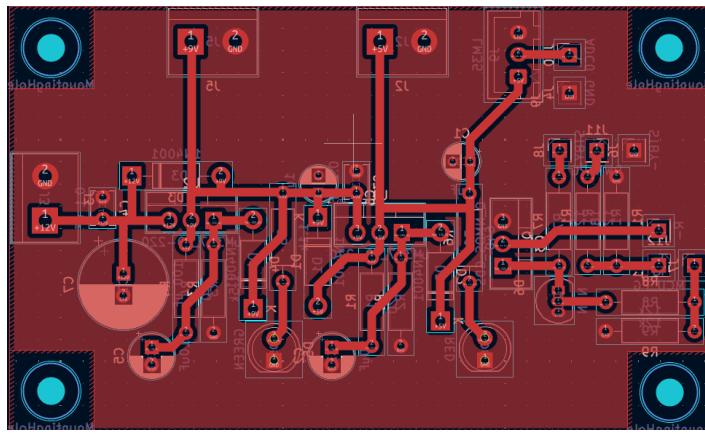
Att. 2.9. 24 V barošanas avota vadības sistēmu

J7 izvads paredzēts, lai varētu pieslēgt mikrokontrolliera vadības signālu. R8 ir paredzēts strāvas ierobežošanai NPN bipolārajam tranzistoram. R9 ir zema līmeņa piesaistes rezistors, lai pārejas procesā netiktu atvērts tranzistorš. R7 rezistorš ir paredzēts strāvas ierobežošanai un augsta signāla līmeņa piesaistei pie N kanāla lauktranzistora aizvara. J8, J1 un J6 izvadi paredzēti, lai varētu vadīt 24 V industriālo barošanas avotu. J11 ir paredzēts barošanas avota stāvokļa pieslēgvieta, kur R10 un R11 rezistori ir sprieguma dalītāji, lai varētu veikt sprieguma nolasi ar mikrokontrollieru.



Att. 2.10. Pieslēgvietas MCU, temperatūras un patērētājiem

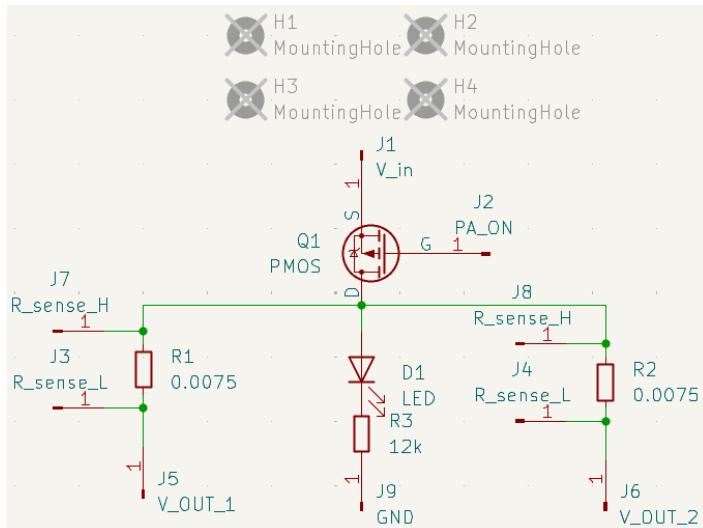
J5 un J2 terminālbloks paredzēts, lai varētu nodrošināt 9 V un 5 V barošanu patērētājiem. J9 terminālbloks paredzēts temperatūras sensora pieslēgšanai. J10 ir izvads, paredzēts mikrokontrolliera ADC pieslēgvietai.



Att. 2.11. Iespiedplate lietojumprogrammatūrā "KiCad"

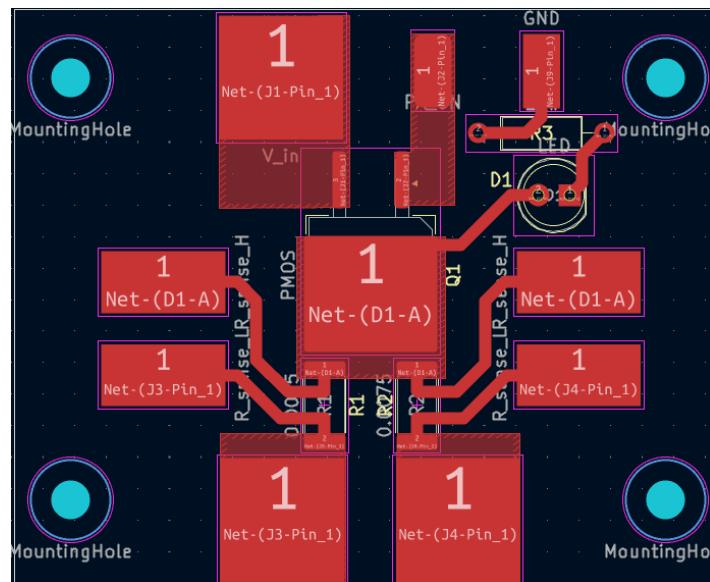
Iespiedplate tika trasēta vienā slānī. Komponentes tika izvietotas pēc iespējas blīvāk, lai samazinātu iespiedplates izmērus. Tika izmantotas THT komponentes. Iespiedplate tika izfrēzēta ar augstskolā pieejamo frēzi.

2.2.3 Strāvas mērišanas iespiedplate ar ieslēgšanas/izslēgšanas slēdzi



Att. 2.12. Strāvas mērišanas shematiskais zīmējums

J1 terminālbloks ir 24 V pieslēgvietas nodrošināšanai. Q1 P kanāla lauktranzistors tiek izmantots slēdža režīmā, kas tiek kontrolēts ar AD7293 monitorēšanas integrālo shēmu, kas tiek pievadīts caur J2 termināli. R1 un R2 ir šunta rezistori strāvas mērišanai. Šunta rezistori tika aprēķināti pēc izvēlētā mērišanas diapazona AD7293 un maksimālās strāvas $R \leq 0.025/3$. J3, J4, J7 un J8 izvadi ir paredzēti, lai pieslēgtu strāvas mērišanas sistēmu. D1 gaismas diodē ir paredzēta sistēmas stāvokļa identificēšanai. R3 rezistors ir paredzēts strāvas ierobežošanai, lai pasargātu gaismas diodi. J9 izvads paredzēts zemējuma nodrošināšanai.

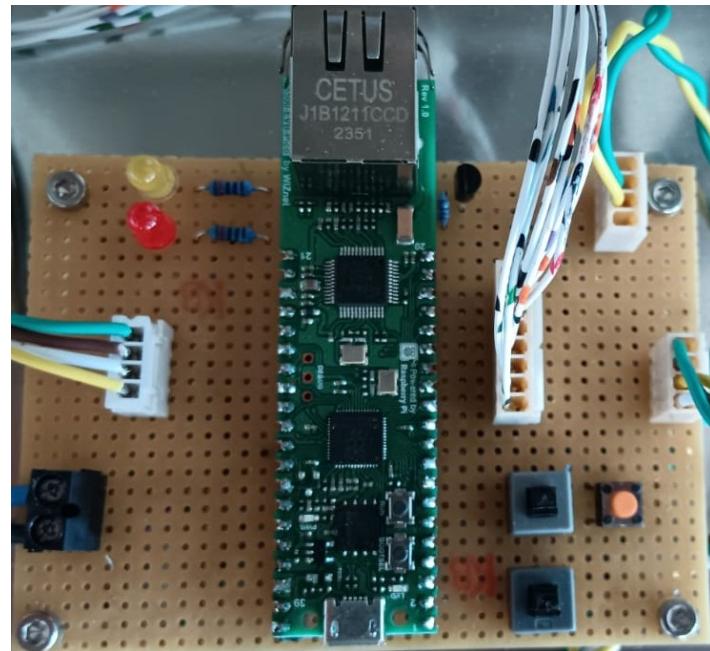


Att. 2.13. Iespiedplate lietojumprogrammatūrā "KiCad"

Tika izstrādāta vienslāņu plate ar blīvu komponenšu izvietojumu un attiecīgu jaudas ceļu platumiem. Tā tika izfrēzēta ar VeA pieejamo frēzi.

2.3 Mikrokontroliers un vadības sistēma caur tīklu

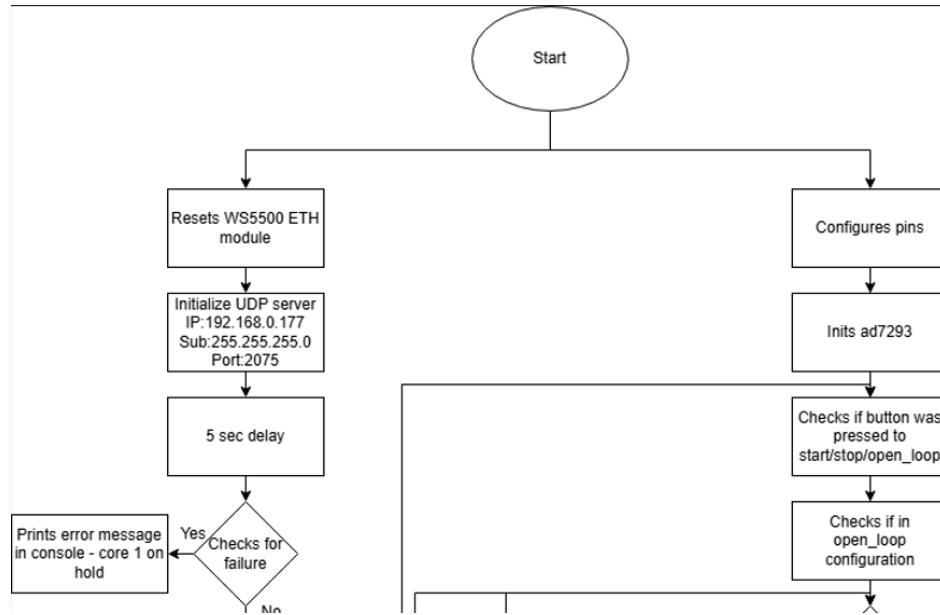
Kā mikrokontrolieris tika izvēlēts W5500-EVB-Pico [24], balstoties uz darba vadītāja ieteikumu, kam ir TCP/IP tīkla steka atbalsts, ar kuru ir gatavi TCP servera piemēri, kas saņem un nosūta komandas tīklā, kā arī mikrokontrolierim ir divi kodoli.



Att. 2.14. Mikrokontroliera iespedplate

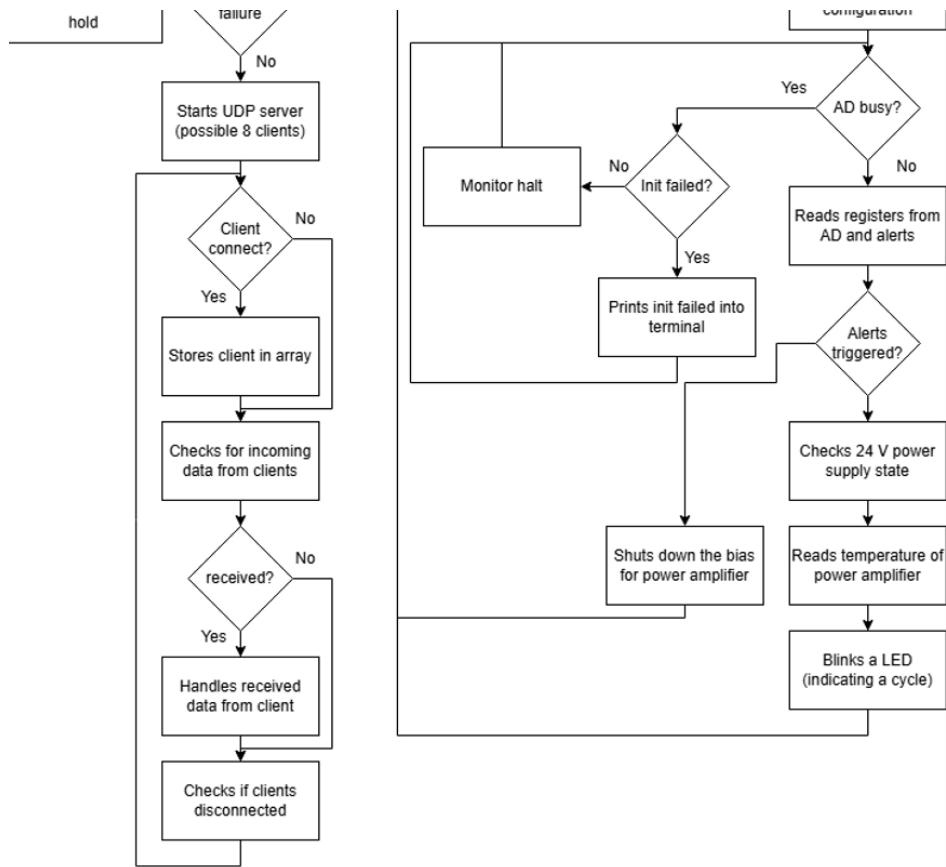
RP4020 mikrokontrolieris tiek plaši pielietots iegultajās sistēmās, jo viena mikroshēma satur CPU, atmiņu, RAM, watchdogs u.c. perifērijas. Tika izvēlēts Arduino IDE šim

mikrokontrolierim, izmantojot C un C++ programmēšanas valodas. Arduino vide tika izvēlēta dēļ gatavo bibliotēku pieejamības WS5500 tīkla modulim [25], un VSRC izstrāde ir balstīta uz šīm bibliotēkām.



Att. 2.15. Daļa no programmas koda bloka diagramma

Divkodolu mikrokontrolierim tiek izmantots viens kodols servera uzturēšanai un datu pārraidei, bet otrā tiek kontrolēti mikrokontroliera izvadi, monitorēšanas integrālā shēma, temperatūras mērīšana un sistēmas statusa noteikšana. Programmas kods sākas ar to, ka pirmajā kodolā tiek restartēts un konfigurēts WS5500 modulis, tad tiek konfigurēts izvadīts klūdas paziņojums, tas tiek darīts 3 reizes un pēc trešās reizes, ja nesanāk, tad kodols tiek apstādināts. Otrā kodolā nokonfigurē izvadus un darba punkta un monitorēšanas integrālo shēmu. Tad tiek pārbaudīts, vai ir nospiesta viena no trim pogām. Spiedpogas paredzētas manuālai testēšanai, kur pirmā spiedpoga atbild par sistēmas ieslēgšanu un darba punkta nodrošināšanu, otrā spiedpoga nodrošina sistēmas izslēgšanu un darba punkta atiestatīšanu, bet trešā, lai deaktivizētu slēgto ciklu, lai varētu pārraidīt RF signālu ar mainīgu jaudu. Tieki pārbaudīts, vai ir atvērtā cikla konfigurācijā, ja jā, tad tiek aktivizēta gaismas diode, kas atrodas uz mikrokontroliera plates.



Att. 2.16. Daļa no programmas koda bloka diogramma

Pirmajā kodolā tiek uzsākts serveris, pie kura var pieslēgties līdz astoņiem klientiem. Pirmajā kodolā tiek pārbaudīts, vai ir jauns klienta pieslēgšanās pieprasījums, ja ir, tad klienta TCP objektu saglabā masīvā, kas glabā informāciju par klienta IP adresi un portu, kā arī savienojuma stāvokli, bet, ja nav, tad pārbauda, vai ir saņemti komandas no klientiem, ja tādi ir, ja kādi dati ir saņemti, tad to apstrādā un veic attiecīgu darbību, bet, ja nav, tad pārbauda, vai kāds klients ir atslēdzies no servera, lai varētu atbrīvot masīvu un vietu citam klientam. Otrā kodolā tiek pārbaudīts, vai monitorēšanas integrālā shēma ir aizņemta, tas datu lapā netiek uzsvērts, bet pārbaude netraucē, ja ir, tad pārbauda, vai tā tiek izmantota citā procesā vai ir inicializācijas problēmas, tad pārbauda tās statusu atkal. Ja AD7293 ir gatavs komunikācijai, tad tiek nolasīti reģistri un karodziņi, ja kāds no karodziņiem tiek aktivizēts, tad darba punktu atiestata un atslēdz sistēmu, bet, ja nav, tad tiek pārbaudīts 24 V elektrobarošanas statuss, nolasīta temperatūra un ieslēdz un ar aizskavi izslēdz gaismas diodi, kas atspoguļo viena cikla beigas.

Mikrokontrolieris saglabā sistēmas esošo stāvokli mainīgajā, nolasa datus no sensoriem un monitorēšanas integrālās shēmas datus, kuri tiek strukturizēti simbolu virknē un nosūtīti caur TCP protokolu klientam pēc pieprasījuma. Zemāk apkopota telemetrijas virkne.

Tabula 2.1. Telemetrijas virknes struktūra un atšifrējums

	Datu tips	Mainīgā nosaukums	Definīcija
96 baiti	I	pa_on_state	HPA stāvoklis (0=off, 1=on)
	I	psu_pg_state	Barošanas avota status (0=off, 1=on)
	I	open_loop_mode	Kontroles režīms (0=closed, 1=open)
	F	rs0_volts	Noteces spriegums HPA
	UI	rs_alert_high	Maksimālā noteces slieksņa brīdinājums
	UI	rs_alert_low	Minimālā noteces slieksņa brīdinājums
	UI	alert0_state	Sistēmas brīdinājumu status
	F	isense0_amps	Strāvas mērijums 0 kanālam
	F	isense1_amps	Strāvas mērijums 1 kanālam
	F	Ug0_volts	Aizvara sprieguma 0 mērijums
	F	Ug0_volts_lim	Aizvara sprieguma 0 limits
	F	Ug1_volts	Aizvara sprieguma 1 mērijums
	F	Ug1_volts_lim	Aizvara sprieguma 1 limits
	F	temp_degC	Temperatūra korpusā
	F	temp1_degC	Temperatūra uz HPA 1
	F	temp2_degC	Temperatūra uz HPA 2
	F	temp_degC_Fpwr	Izstarotā jaudas mēritāja temperatūra
	F	temp_degC_Rpwr	Atstarotās jaudas mēritāja temperatūra
	F	temp_degC_AD7293	Monitorēšanas IC temperatūra
	F	reflected_power_log	Atstarotā jauda dBm
	F	reflected_power	Atstarotā jauda W
	F	forward_power_log	Izstarotā jaudas dBm
	F	forward_power	Izstarotā jaudas W
	F	S11_param	Izstarotā jaudas W

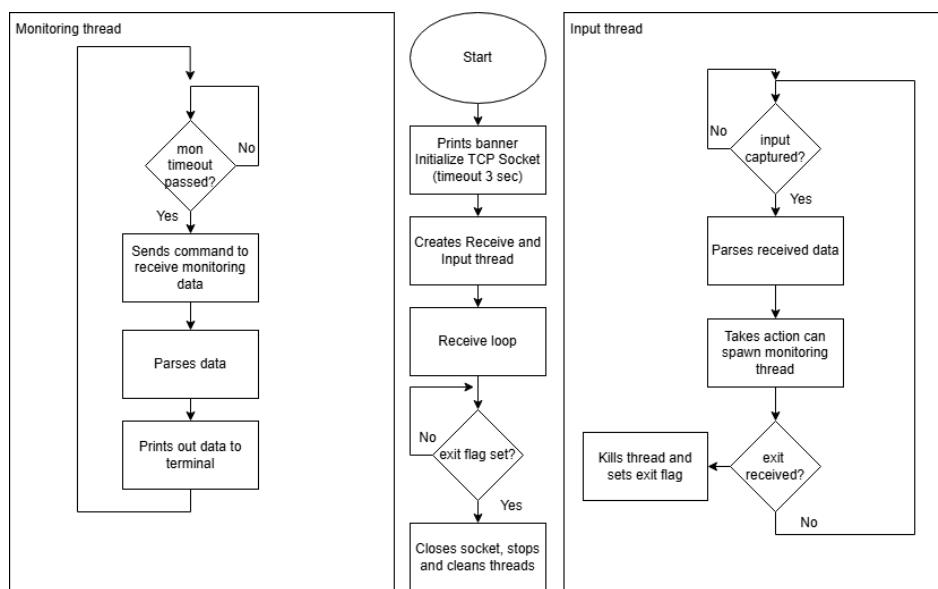
Struktūra sastāv no 96 baitiem. Pirmie 4 baiti satur esošo jaudas pastiprinātāja stāvokli (izslēgts, ieslēgts), otrie 4 baiti satur 24 V elektrobarošanas statusu (ieslēgts, izslēgts), trešie 4 baiti satur informāciju par to, vai ir cikla konfigurācijā, ceturtie 4 baiti, kas atgriež sprieguma kritumu uz šunta rezistora, tad nākošie 4 baiti atgriež karodziņu vecāko un jaunāko baitu, tad nākošie četri ir karodziņi. Isens0 atgriež strāvas vērtību caur pirmo šunta rezistoru, kur Isense1 atgriež strāvas vērtību caur otro šunta rezistoru. Tālāk iet UG0 volti, kas nosaka, kāds ir aizvara vadības sprieguma līmenis pirmajam pastiprinātājam, tad ir ierobežojums, kas nosaka iestatītās robežvērtības, tad nākošie 8 baiti nozīme ir ekvivalenta tikai otram pastiprinātājam. Nākošie 4 baiti ir temperatūras mērijums korpusā, tad 8 baiti ir temperatūras mērijumi divos punktos uz jaudas pastiprinātāja, tad nākošie 8 baiti ir jaudas mēritāju IC temperatūra izstarotajai un atstarotajai jaudai un 4 baiti monitorēšanas IC temperatūra. Nākošie 16 baiti ir izstarotās un atstarotās jaudas logaritmiskā un matemātiskā reprezentācijā. Pēdējais ir S11 parametrs.

Klients var nosūtīt vairākas komandas mikrokontrolierim, lai iestatītu režīmu, mainītu konfigurāciju un pieprasītu datus.

Tabula 2.2. Iespējamās komandas un to atšifrējums

	Datu tips	Mainīgā nosaukums	Definīcija
15 bāti	S	mon	Pieprasī telemetrijas virkni
	S	pon	Aktivizē/deaktivizē sistēmu
	S	olm	Maina noslēgtās cilpas konfigurāciju
	S	setcurr	Iestata notece strāvu kanāliem
	S	setramp	Iestata darba punkta iestatīšanas periodu

Maksimālā simbola virkne, ko var apstrādāt mikrokontrolieris, ir 15 bāti. Mon komanda ir vienīgā, kura nepieņem papildus argumentus, mikrokontrolieris saņemot šo komandu, atbild nekavējoties ar telemetrijas virkni klientam. Pon komanda pieņem vienu argumentu 0 vai 1, ja tiek saņemts 1, tad tiek uzsākta sistēmas darbība (elektrobarošanas ieslēgšana, darba punkta nodrošināšana u.c.), bet, ja saņem 0, tad sistēmas darbība tiek pārtraukta (darba punkta atiestatīšana, elektrobarošanas izslēgšana u.c.). Olm komanda pieņem vienu argumentu 0 vai 1, ja saņemts 0, tad slēgtais cikls tiek izslēgts, ja saņem 0, tad to aktivizē. Ja tiek padoti nepareizi ieejas argumenti, tad sistēma atbild ar iespējamajiem variantiem lietotājam. Setcurr komanda pieņem peldošā komata mainīgo, kas iestata darba punkta strāvu visiem kanāliem. Setramp pieņem float argumentu, ar kuru var izmainīt darba punkta noturēšanas strāvu no 250 µs līdz 31.75 ms



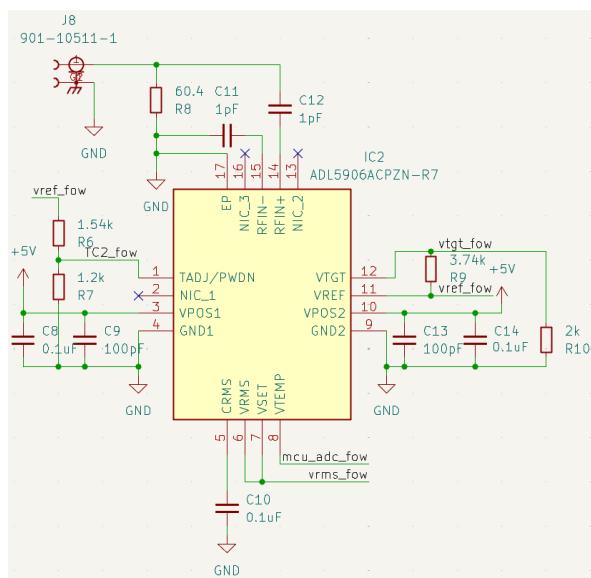
Att. 2.17. Python skripta bloka diagramma

Tika izveidots Python skripts uz Windows 11 OS, kas uzsāk X-joslas sistēmas darbību. Skriptu startējot, tiek terminālā izvadīts logo, atšifrējums, sistēmas nosaukums un palīginstrukcija ar visām iespējamām darbībām. Tad tiek izveidots TCP klients, kurš mēģina pieslēgties pie TCP servera ar 3 sekunžu intervālu; ja neizdodas, skripts beidz savu darbu.

Kad ir izveidots savienojums ar serveri, tad skripts izveido ievades pavedienu un ieiet uztveršanas ciklā. Uztveršanas cikls gaida ienākošo simbolu virkni un saņemšanas brīdī to izvada; ja nekas netiek saņemts, tad tiek izvadīts paziņojums, ka serveris ir pārtraucis kontaktēties, un beidzas skripta darbība. Ievades pavedienā tiek termināli izvadīts teksts ar aicinājumu uzsākt sistēmas darbību ar ”start”, kas uzsāk X-joslas sistēmas darbību, aktivizējot sistēmu un iestatot darba punktu ar noklusējuma vērtībām. Kad tiek saņemta simbolu virkne, tā tiek pārbaudīta, vai virkne atbilst kādai no iespējamajām funkcijām; ja nē, tas tiek automātiski nosūtīts mikrokontrolierim. Ja komanda atbilst kādai no skripta funkcionalitātēm, tad tā tiek parsēta un attiecīgi izvadīta informācija vai pārtraukta tās darbība. Kad tiek nosūtīta start komanda, skripts izveido monitorēšanas pavedienu, kur ik pēc iestatītā intervāla tiek veikta telemetrijas virknes nolase no mikrokontroliera, tad ienākošā telemetrijas tiek parsēta un izvadīta lietotājam ērtākā virtenē. Ja tiek saņemta ”exit” komanda vai **ctrl+c** kombinācija, tad automātiski sistēma pārtrauc savu darbību un pārbauda, vai kāds no pavedieniem ir aktīvs; ja ir, tad to pārtrauc, kā arī tiek pārbaudīts sistēmas stāvoklis; ja tas ir ieslēgts, tad to izslēdz pirms skripts aizveras.

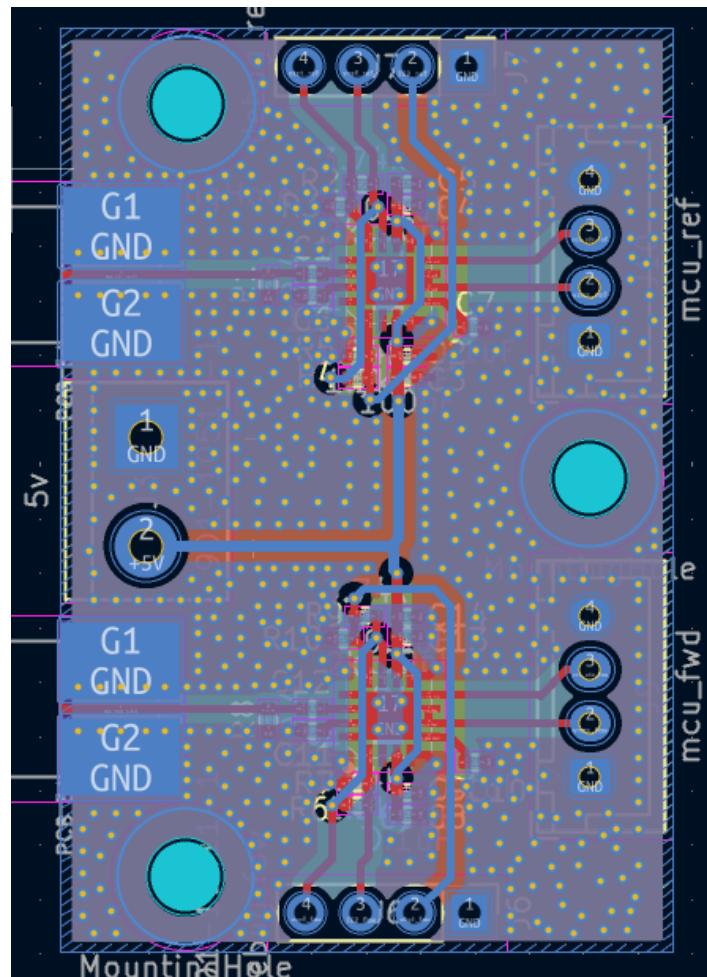
2.4 Jaudas detektora izstrāde

Iz divas jaudas mērīšanas integrālās shēmas, kas veic atstarotās un izstarotās jaudas mērišanu. R8 rezistoris tiek izmantots, lai salāgotu ievades pretestību. C12 un C11 veido augstfrekvenču filtru un tam jābūt tādam, lai netiktu nogriezta 7.2 GHz frekvence. C10 keramiskais kondensators paredzēts vidējošanas funkcijas iekšējai RMS aprēķināšanai. Lai kompensētu temperatūras dreifēšanu, tiek izmantoti R6 un R7 rezistori pēc datu lapas ieteikumiem Rf signālam virs 5.8 GHz. R9 un R10 rezistori veido sprieguma dalītāju, lai panāktu 0.8 V uz VTGT, kas veido kompromisu starp precizitāti un maksimālu dinamisko diapozonu. C8, C9, C13 un C14 ir barošanas filtri. J8 ir SMA konektors, lai pieslēgtu mērāmo signālu.



Att. 2.18. Jaudas noteikšanas integrālā shēma

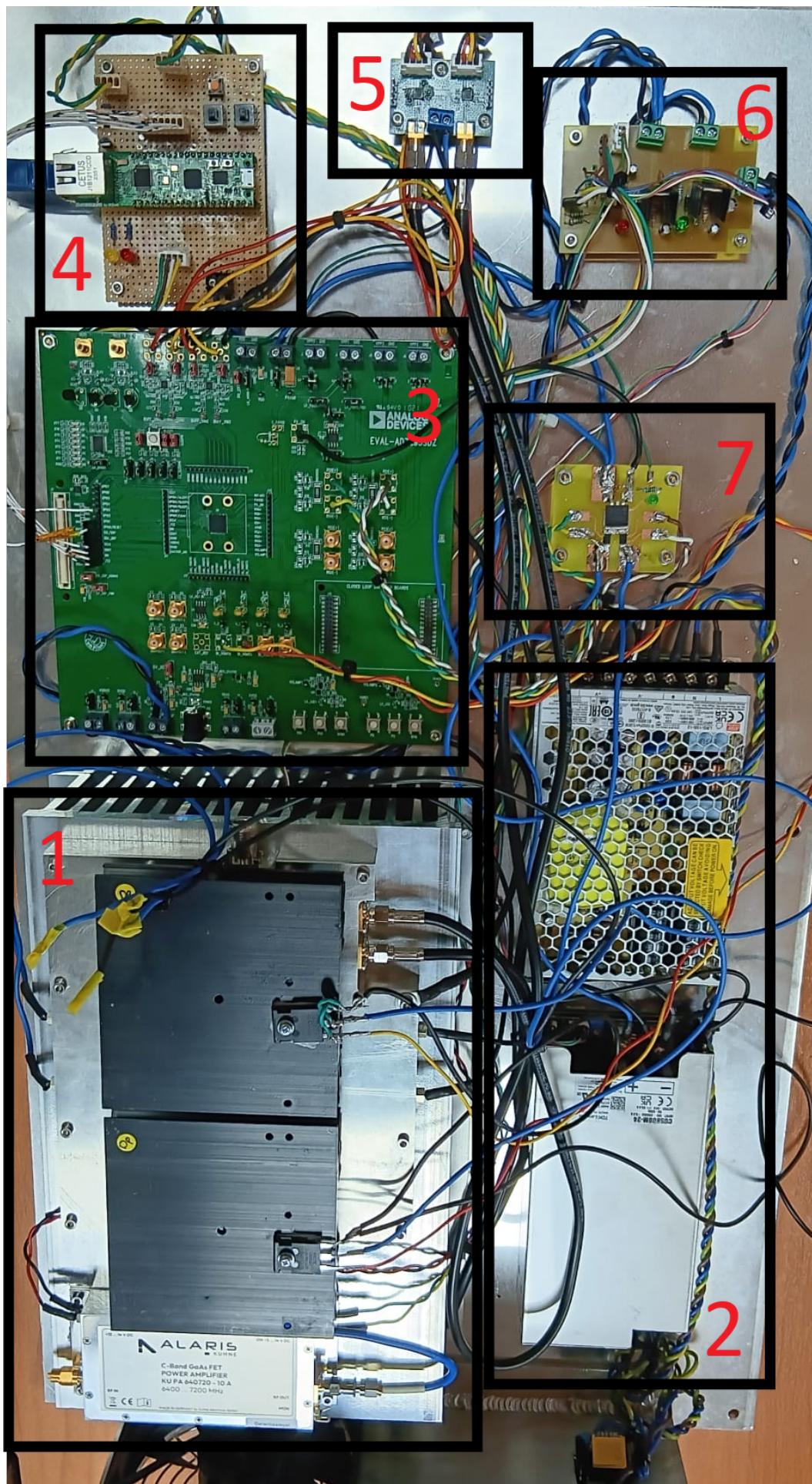
Tika izveidota četru slāņu plate. Iespiedplates izstrādē liels uzsvars tika veikts uz pāris komponenšu izvēli, kondensatoru rezonances frekvencei bija jābūt augstākai par mērāmo, celiņa platumam ieejā bija jābūt tādam, lai trakts būtu salāgots ar 50 ohm pretestību, SMA konektora kontaktlaukuma izmērs nedrīkstēja pārsniegt celiņa platumu, lai neveidotos signāla atstarojumi savienojuma vietā. Komponentes tika novietotas pēc iespējas tuvāk integrālajai shēmai, lai atbrīvotos no liekas parazītiskās induktivitātes. Trasējums veikts pēc datu lapas ieteikuma.



Att. 2.19. Jaudas noteikšanas iespiedplate

2.4.1 Gala prototips

1. pozīcijā ir HPA un uz viņa novietotie testa lauktranzistori, kas simulē jaudas pastiprinātājus.
2. pozīcijā ir līniju iezīmētie industriālie barošanas avoti.
3. pozīcijā ir monitorēšanas izstrādes plate.
4. pozīcijā ir mikrokontroliera plate.
5. pozīcijā ir RMS jaudas mēritājs.
6. pozīcijā ir pārveidotāju un barošanas avota vadības shēma.
7. pozīcija ir ieslēgšanas/izslēgšanas shēma ar strāvas mērišanu.



Att. 2.20. Prototipa stends

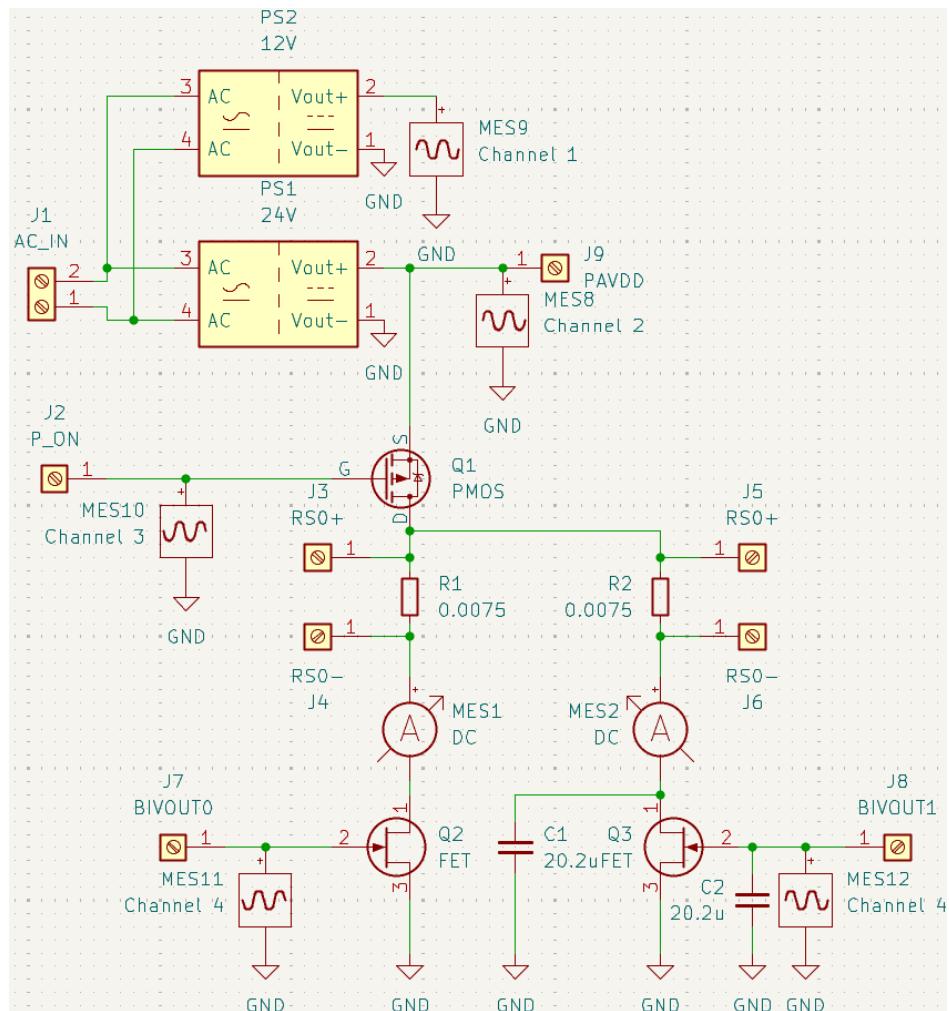
3 Testi

Testi tika sadalīti vairākās daļās, lai pārliecinātos par atsevišķu apakšsistēmu funkcionalitāti. Visi testi izriet no specifikācijas, lai pārbaudītu sistēmu atbilstību. Testi ietver darba punkta iestatīšanu RF jaudas pastiprinātājam, digitālās logikas barošanas risinājuma novērtējumu, jaudas detektora elektrisko parametru noteikšanu pie 7.2 GHz un tīkla vadību ar TCP protokolu. Testos tiek izmantotas tādas mēriekārtas kā Metex M-3604D digitālais rokas multimetrs [26], Fluke 87 digitālais multimetrs [27], SIGLENT SDS-1104X-U osciloskops [28], Rohde&Schwarz signāla ģenerators SMP04 [29], Rohde&Schwarz VNA ZVK [30], BaseTech BT-305 barošanas avots [31] un IGBT SPL 1020 XE 200W DC programmējamo slodzi [32]. Testa sadaļas:

- Darba punkta iestatīšanas/atiestatīšanas.
- 5 un 9 V barošanas risinājuma novērtējums.
- Jaudas detektora un koaksiālo kabeļu novērtējums.
- Sistēmas vadība caur tīklu.

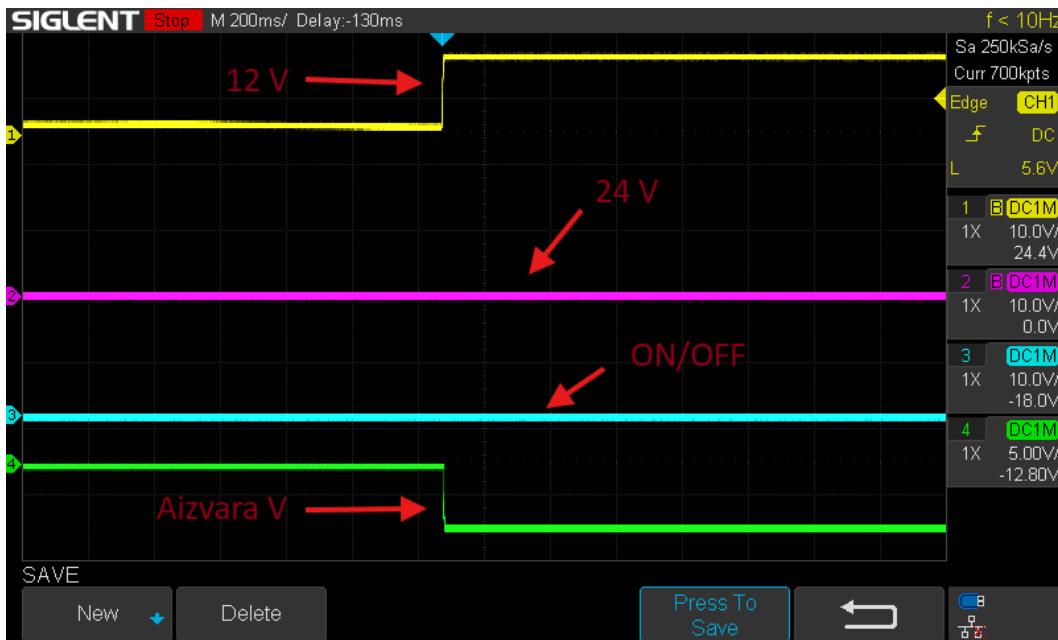
3.1 HPA darba punkta iestatīšana/atiestatīšana

Darba punkta noteikšanai (skat. 3.1. att.) tika mērīta notece strāva , 12 un 24 V industriālā barošanas avota līnijas, ieslēgšanas/izslēgšanas slēdža vadības signāls un RF jaudas pastiprinātāja aizvara spriegums. Noteces strāva jaudas pastiprinātājam tiek mērīta ar multimetru, bet pārējie sistēmas parametri - ar osciloskopu.



Att. 3.1. Darba punkta iestatīšanas/atiestatīšanas testa diagramma

Visās oscilogrammās 1. kanāls ir 12 V līnija, 2. kanāls ir 24 V līnija, 3. kanāls ir ieslēgšanas/izslēgšanas vadības signāls un 4. kanāls ir RF jaudas pastiprinātāja aizvara spriegums.



3.2. att. ieslēdzoties sistēmai, tiek ieslēgts 12 V barošanas avots, kas nodrošina jaudu visiem 9 V un 5 V patēriņtājiem, tālāk jaudas pastiprinātāja aizvara spriegums tiek iestatīts uz -5 V, lai to aizvērtu. 24 V barošanas avots netiek ieslēgts, jo to dara mikrokontrolleris ar manuālu vai tīkla komandu, tāpēc arī nevar novērot 24 V vadības spriegumu ieslēgšanas/izslēgšanas slēdzim.





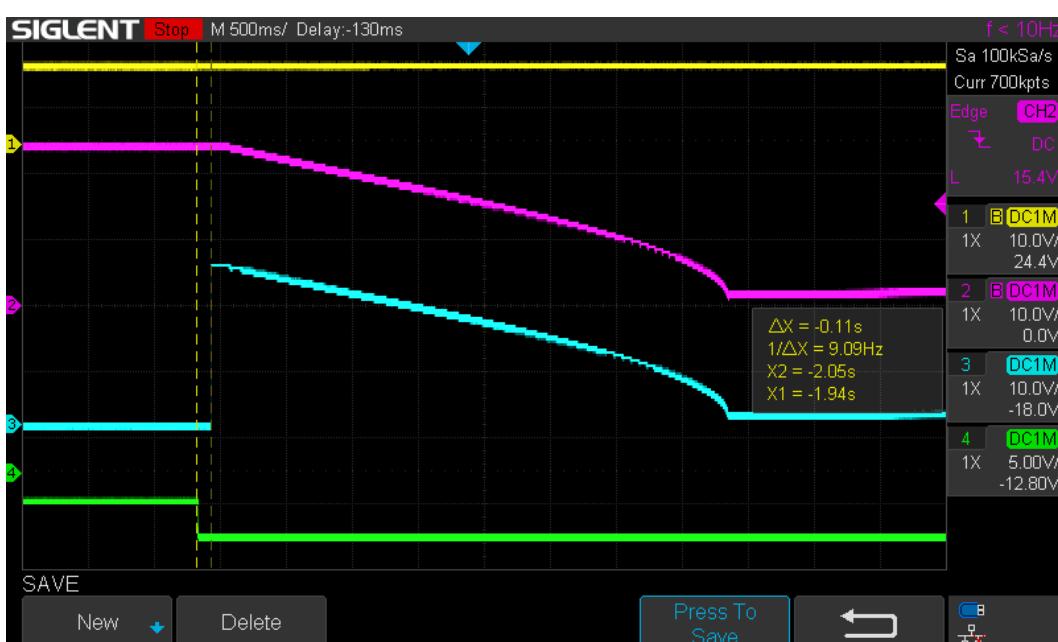
Att. 3.4. Sistēmas ieslēgšanās oscilogramma ar testa lauktranzistoru un filtra kondensatoru

3.3. un 3.4. attēlā var redzēt darba punkta iestatīšanu, kur 3.4 attēlā tiek simulets pats RF pastiprinātājs, pieliekot klāt kondensatorus filtrs. Kad tiek saņemta starta komanda mikrokontrollerī, tad tiek ieslēgts 24 V barošanas avots, kur momentā tiek nodrošināts aizvara spriegums ieslēgšanas/izslēgšanas p-kanāla lauktranzistoram, lai tas būtu aizvērtā stāvoklī. Tad pēc pāris milisekundēm tiek atvērts lauktranzistors un pēc datu lapas nodrošināta vismaz 100 milisekunžu aizture pēc p-kanāla lauktranzistora aktivizēšanas, lai nostabilizētos pārējie procesi.

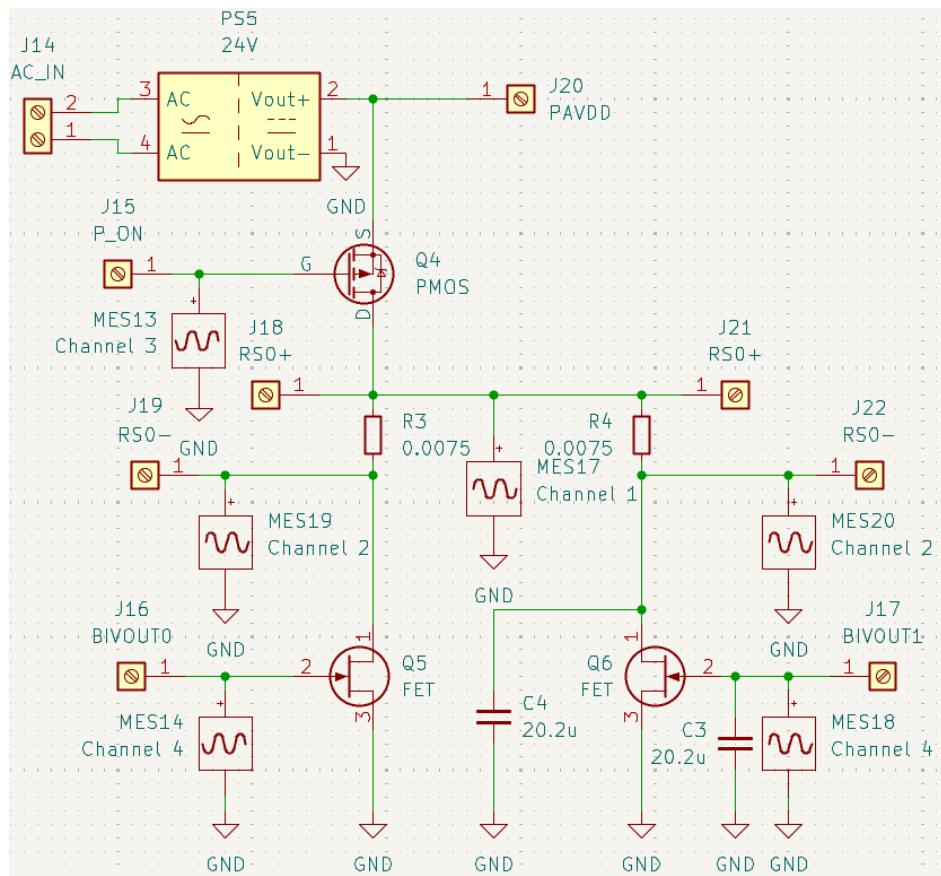


Att. 3.5. Noteces strāvas kreisajam un labajam plecam RF jaudas pastiprinātājam

3.5. attēlā var redzēt noteces strāvas abiem RF jaudas pastiprinātāja pleciem. Kreisajā pusē 2.98 A tiek nodrošināti testa tranzistoram bez kapacitātīvas slodzes un labajā pusē 2.95 A ar kapacitātīvu slodzi, kas simulē RF jaudas pastiprinātāju.



3.6. un 3.7. att. var redzēt sistēmas izslēgšanās procesu. Kad tiek saņemta komanda mikrokontrollierī par sistēmas atslēgšanu, tad RF jaudas pastiprinātājam tiek aizvērts, un pēc 100 milisekundēm aizvērts ieslēgšanas / izslēgšanas slēdzis un izslēgts 24 V industriālais barošanas avots.



Att. 3.8. Darba punkta iestatīšanas/atiestatīšanas testa diagramma ar differenciālo pāri

3.8. att. 1. un 2. kanāls veido diferenciālo pāri, kur tiek mērīts šunta rezistora sprieguma kritums, 3. kanāls mēra vadības signālu ieslēgšanas/izslēgšanas slēdzim un 4. kanāls aizvara spriegumu jaudas pastiprinātājam.

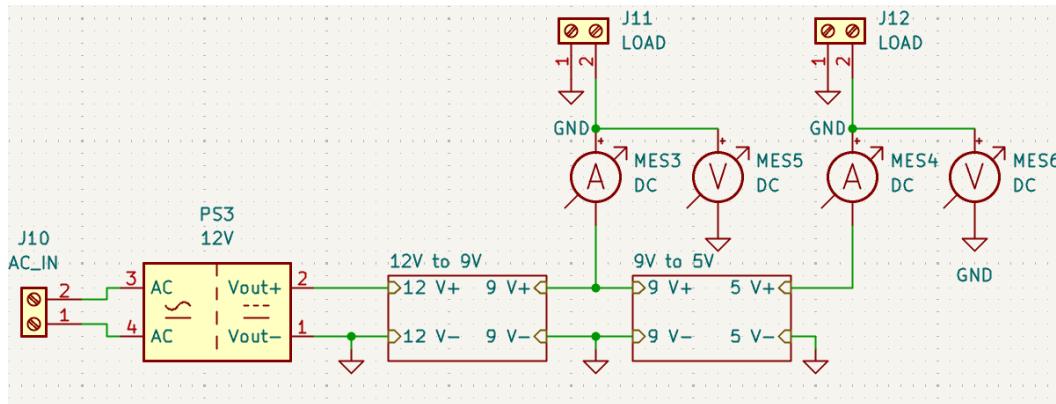


Att. 3.9. Sprieguma krituma noteikšana uz šunta rezistora

Osciloskopam mazākajā mērīšanas diapazonā ir mazāki kanāla trokšņi, tāpēc osciloskopa tausti tika iestatīti uz 10x un osciloskopā nokonfigurēts uz 1x, lai varētu mērīt lielāku signālu ar mazāku sprieguma diapazonu, bet, neskatoties uz to, 1V mērīšanas diapozonam ir 100 mV pk-pk troksnis, tādēļ nebija iespējams izmērīt 22 mV sprieguma kritumu uz šunta rezistora, bet, kad beidzas pārejas process, tad var redzēt, ka troksnis sāk svārstīties ap citu vērtību, bet tas nedod noteiktu vērtību.

3.2 Elektrobarošanas plates testi

Testā tika novērtēts iekārtu jaudas patēriņš un elektrobarošanas risinājuma novērtējums.



Att. 3.10. 9 un 5 V barošanas testa diagramma

3.9. att. redzams testa iekārtu slēgums elektriski principiālajā lēdē un slodzes pie-slēguma vieta.

Tabula 3.1. 9 V elektrobarošanas

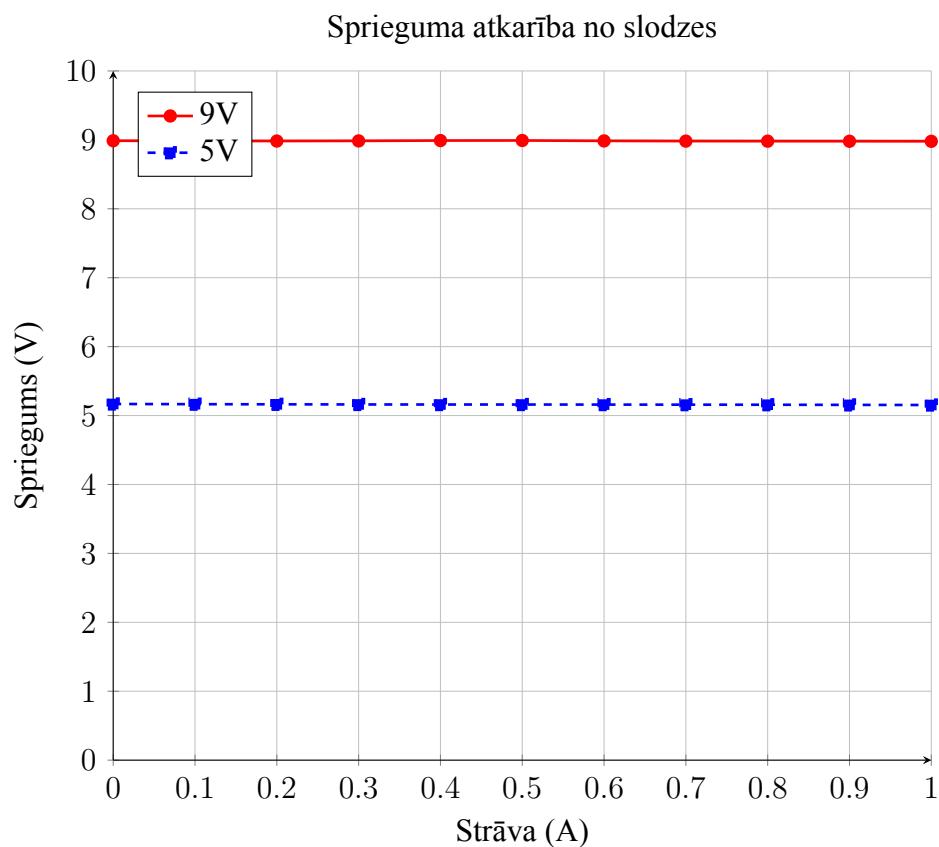
Ieejas parametri		Izejas parametri		Slodze, Ω	Eff, %
Spriegums, V	Strāva, A	Spriegums, V	Strāva, A		
12.04±0.12	0.02±0.01	8.95±0.01	0.01±0.00	14280.00±0.00	37.16
12.06±0.12	0.12±0.01	8.96±0.01	0.10±0.00	90.14±0.00	61.91
12.02±0.12	0.22±0.01	8.96±0.01	0.20±0.00	44.84±0.00	67.76
12.03±0.12	0.32±0.02	8.98±0.01	0.30±0.00	29.90±0.00	69.98
12.03±0.12	0.42±0.02	8.98±0.01	0.40±0.00	22.44±0.00	70.09
12.00±0.12	0.53±0.02	8.99±0.01	0.50±0.00	17.96±0.00	70.68
11.99±0.12	0.63±0.02	8.99±0.01	0.60±0.00	14.98±0.00	71.40
11.98±0.12	0.73±0.02	9.00±0.01	0.70±0.00	12.85±0.00	72.04
11.98±0.12	0.83±0.02	9.00±0.01	0.80±0.00	11.25±0.00	72.41
11.97±0.12	0.93±0.03	9.00±0.01	0.90±0.00	10.01±0.00	72.76
11.96±0.12	1.03±0.03	9.00±0.01	1.00±0.00	8.99±0.00	73.06

Izveidotais 9 V pārveidotāja risinājums spēj nodrošināt nepieciešamo jaudu slodzei.

Tabula 3.2. 5 V elektrobarošanas

Ieejas parametri		Izejas parametri		Slodze, Ω	Eff, %
Spriegums, V	Strāva, A	Spriegums, V	Strāva, A		
8.95±0.01	0.02±0.01	5.15±0.01	0.01±0.00	13020.00±0.00	28.61
8.96±0.01	0.11±0.01	5.15±0.01	0.10±0.00	51.22±0.00	52.02
8.96±0.01	0.21±0.01	5.16±0.01	0.20±0.00	25.70±0.00	54.50
8.98±0.01	0.31±0.02	5.16±0.01	0.30±0.00	17.19±0.00	55.37
8.98±0.01	0.41±0.02	5.16±0.01	0.40±0.00	12.89±0.00	56.10
8.99±0.01	0.51±0.02	5.16±0.01	0.50±0.00	10.31±0.00	56.28
8.99±0.01	0.61±0.02	5.16±0.01	0.60±0.00	8.59±0.00	56.42
9.00±0.01	0.71±0.02	5.15±0.01	0.70±0.00	7.35±0.00	54.87
9.00±0.01	0.81±0.02	5.14±0.01	0.80±0.00	6.43±0.00	56.52
9.00±0.01	0.91±0.03	5.15±0.01	0.90±0.00	5.72±0.00	56.60
9.00±0.01	1.01±0.03	5.15±0.01	1.00±0.00	5.14±0.00	56.66

Izveidotais 5 V pārveidotāja risinājums spēj nodrošināt nepieciešamo jaudu slodzei. Slēdzot to kaskādes slēgumā pēc 9 V elektrobarošanas avota, tiek paaugstināta lineārā sprieguma efektivitāte, jo ir mazāk jaudas jāizkliedē uz sevis.

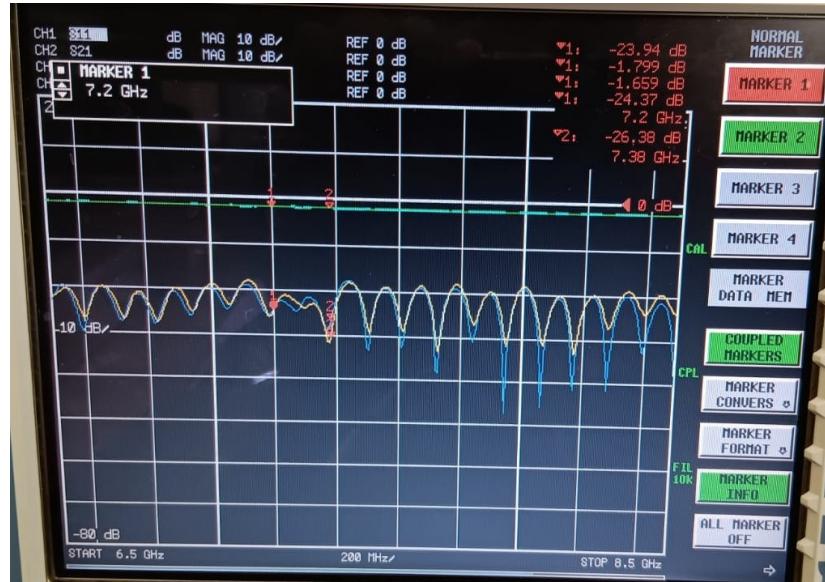


Att. 3.11. Strāvas-srieguma raksturlīkne 9V un elektrobarošanas līnijām

Grafiski atveidoti iegūtie rezultāti. Maksimālais strāvas patēriņš 9 V līnijai ir 310 mA un 5 V līnijai 110 mA.

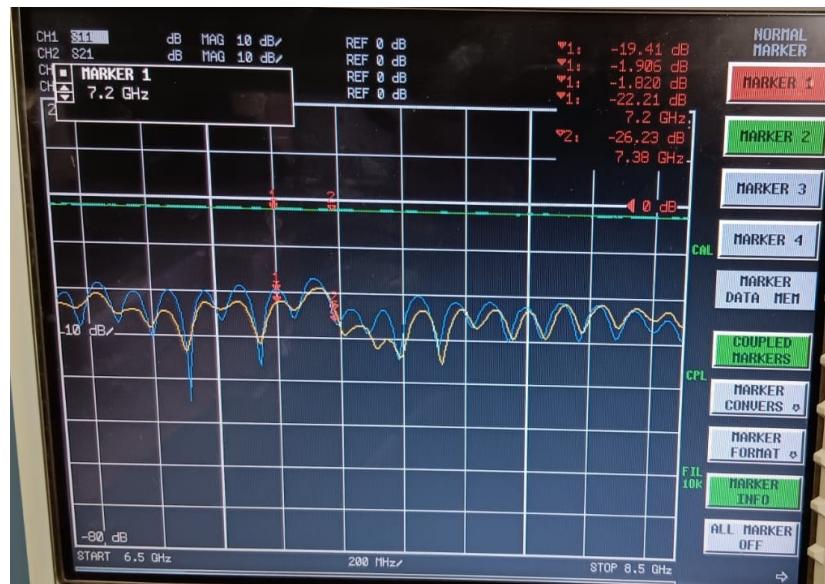
3.3 True RMS jaudas detektora un RF kabeļu tests

S-parametru noteikšanai tiek veikti no 6.5 līdz 8.5 GHz diapozonā. Tieki veikts koaksiālo kabeļu RFC1 un RFC2 S-parametru (skat. att. 2.1.), kas savieno atzarotāja P_{fwd} un P_{ref} ar jaudas detektoru un jaudas detektora novērtējums. Tad jaudas detektora izejas sprieguma atkarība no ieejas signāla jaudas pie 7.2 GHz.



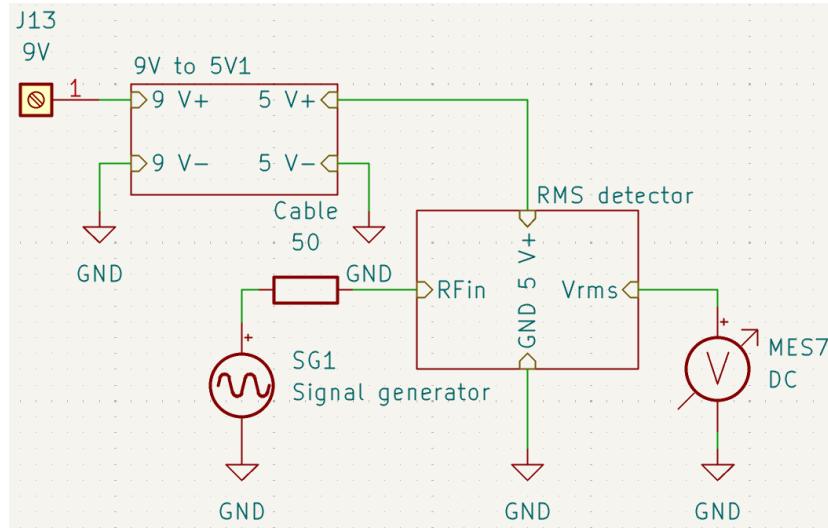
Att. 3.12. Izstarotās jaudas koaksiālais kabeļa S-parametri

Lielākā daļa no ienākošās jaudas koaksiālajā kabelī netiek atstarota (S_{11} un S_{22}) atpakaļ -24 dB, kas ir aptuveni 0.4% no jaudas, bet, neskaitoties uz to, pašā vadā ir -1.8 dB zudums (S_{21} un S_{12}), kas ir aptuveni 33% no ienākošās jaudas.



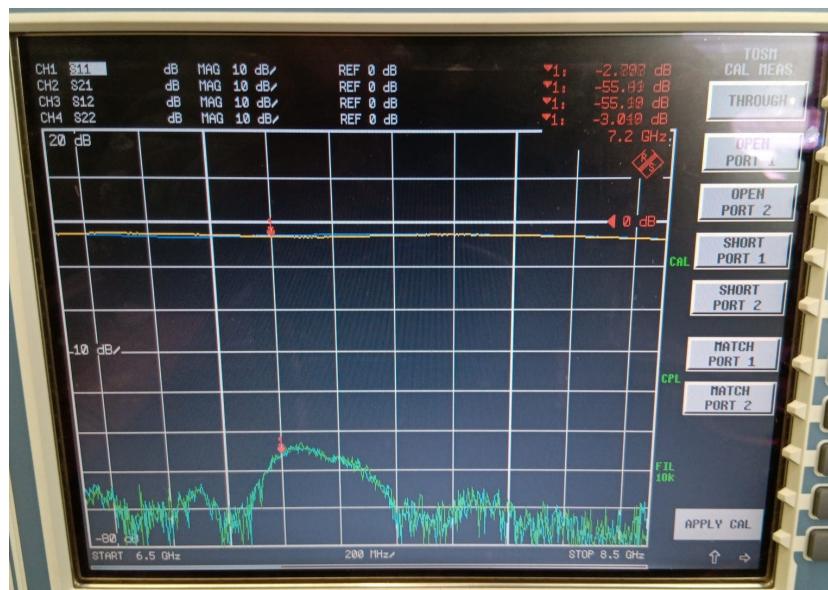
Att. 3.13. Atstarotās jaudas koaksiālais kabeļa S-parametri

Lielākā daļa no ienākošās jaudas koaksiālajā kabelī netiek atstarota (S_{11} un S_{22}) atpakaļ -20 dB, kas ir aptuveni 1% no jaudas, bet, neskaitoties uz to, pašā kabelī ir -1.9 dB zudums (S_{21} un S_{12}), kas ir aptuveni 36% no ienākošās jaudas.



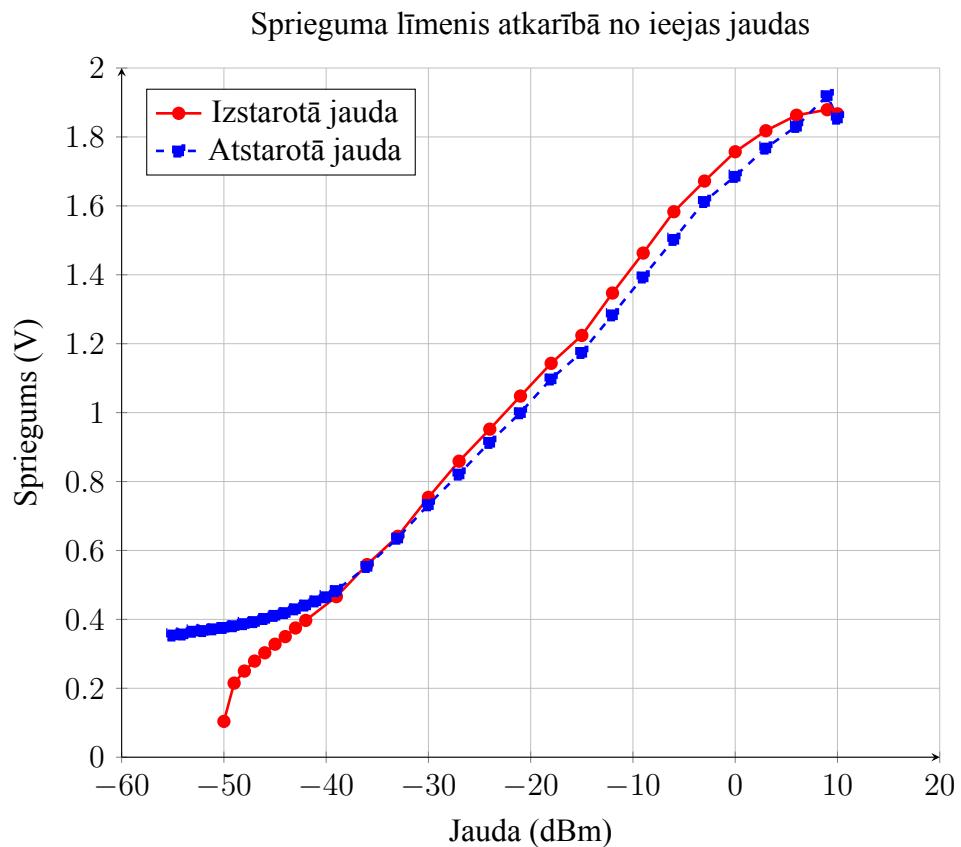
Att. 3.14. Jaudas detektora testu diagramma

3.14. att. redzams testa iekārtu slēgums elektriski principiālajā shēmā.



Att. 3.15. S-parametri jaudas detektoram

Izstarotā un atstarotā jaudas kanāli atstaro aptuveni pusi no ienākošā signāla jaudas. Savstarpējā portu izolācija ir laba, kas tiek panākta ar metalizētiem urbumiem.



Att. 3.16. Izejas sprieguma ietekme uz ieejas jaudu

Iegūstot izejas sprieguma līmeņu atkarības no ieejas jaudas, tika ņemti vērā signāla ģeneratora un vada zudumi. Līkne, kas tika iegūta abos kanālos, ir ļoti līdzīga ražotāja dotajai specifikācijai. Jutības diapazons ir no -50 līdz 9 dBm, kur 0 dBm atbilst 100 W, tad mēs varam izmērīt no 1 mW līdz 794,3 W.

3.4 Tīkla testi

Šajā testā tiek pārbaudīta vadības sistēma no operatora datora līdz mikrokontrolieram ar skripta palīdzību, kas rakstīts Python priekš Windows OS. Tests tika veikts izolētā tīklā, kur atradās tikai divas ierīces: operātora dators un mikrokontrolieris ar visu X-joslas sistēmu.

Att. 3.17. Klienta konfigurēšana lokālajā tīklā

Tests sākās ar skripta uzsākšanu. Terminālī redzams logo, palīgrinda un to, ka veiksmīgi ir pieslēdzies pie TCP servera, kurš uzreiz pēc pieslēgšanās atsūta savu nosaukumu un versiju. Tad lietotājam tiek sniegtā informācija par komandu, kura uzsāk monitorēšanu un darba punkta iestatīšanu. Pēc tā tiek aicināts ievadīt komandu.

```
setmon=5  
Monitoring interval set to 5 seconds
```

Att. 3.18. Monitorēšanas cikla aizkaves mainījumi

Redzams monitorēšanas intervāla iestatīšanu no noklusētās vērtības 30 sec uz 5 sekundēm.

```

RECEIVED: {'command': 'pon', 'value': '1'}
Received: {'command': 'pon', 'value': '1'}
Received: {'pa_on_state': '1', 'psu_pg_state': '1', 'open_loop_mode': '0', 'rs0': '0.023 V', 'rs0_alert_high': '0', 'rs0_alert_low': '1', 'alert0_state': '1', 'isense0': '-0.007 A', 'isense1': '-0.020 A', 'Ug0': '-4.664 V', 'Ug0_margin': '4.664 V', 'Ug1': '-4.664 V', 'Ug1_margin': '4.664 V', 'temperature': '25.161 °C', 'temperature1': '23.000 °C', 'temperature2': '23.125 °C', 'temp_Fpwr': '30.562 °C', 'temp_Rpwr': '30.180 °C', 'temperature3': '25.250 °C', 'refpwrl': '-50.998 dBm', 'refpwr': '0.001 W', 'fwdpwr': '-51.662 dBm', 'fwdpwr': '0.001 W', 's11_param': '-0.664'}

```

Att. 3.19. Darba punkta iestatīšana un telemetrijas virkne

Tad tika uzsākta sistēmas darbība ar komandu ”start”, kur var redzēt, ka tika nosūtīta komanda pon=1 un saņemta atbilde no mikrokontroliera pon=1, kas liecina par to, ka komanda tika saņemta un veiksmīgi apstrādāta. Pēc kā seko monitorēšanas telemetrijas ik pēc 5 sekundēm.

```

setcurr=2.45
Sent: setcurr=2.45
Enter command ('help' for options): Received: {'raw': 'Current set to 2.450'}

```

Att. 3.20. Darba punkta notece strāvas iestatīšana

Tad tiek iestatīts cita darba punkta strāva no 3 A uz 2.45 A, kur mikrokontrolieris arī deva atbildi, ka tā tika veiksmīgi uzstādīta.

```

mon
mon
Sent: mon
Enter command ('help' for options): Received: {'pa_on_state': '1', 'psu_pg_state': '1', 'open_loop_mode': '0', 'rs0': '23.979 V', 'rs0_alert_high': '0', 'rs0_alert_low': '0', 'alert0_state': '0', 'isense0': '2.428 A', 'isense1': '2.428 A', 'Ug0': '-1.974 V', 'Ug0_margin': '2.428 A', 'Ug1': '-1.974 V', 'Ug1_margin': '2.428 A', 'temperature': '23.875 °C', 'temperature2': '23.875 °C', 'temp_Fpwr': '31.706 °C', 'temp_Rpwr': '31.833 °C', 'temperature3': '26.750 °C', 'refpwrl': '-50.881 dBm', 'refpwr': '0.001 W', 'fwdpwr': '-51.662 dBm', 'fwdpwr': '0.001 W', 's11_param': '-0.780'}

```

Att. 3.21. Strāvas maiņas telemetrijas virkne

Tad var redzēt, ka telemetrijas virknē ir aizvara spriegums cits un notece strāva 2.426 A.

```

stop
Sent: pon=0
System stopped
Enter command ('help' for options): Received: {'command': 'pon', 'value': '0'}
Received: {'command': 'pon', 'value': '0'}
Monitoring stopped

```

Att. 3.22. Darba punkta atiestatīšana

Aktīvu sistēmu var deaktivizēt ar komandas nosūtīšanu ”stop”, kas uzreiz uz mikrokontrolieri nosūta komandu pon=0 un izbeidz monitorēšanas pavedienu.

```
monitoring stopped
exit

Stopping client...
Sent: pon=0
Client stopped
PS C:\Users\rodri\Desktop\bak_rl\software\scripts> █
```

Att. 3.23. Skripta izslēgšana

Ar exit vai ctrl+c var izbeigt skripta darbību, kur tiek aizsūtīta komanda pon=0, lai izslēgtu sistēmu, ja tā bija aktīva, un atvienojas no servera, tad izbeidz visu aktīvo pavedienu darbību.

4 Secinājumi un priekšlikumi

Sistēmas prototips ir novests līdz stadijai, kad var tikt uzstādīts RT-16 radioteleskopā X-joslas raidīšanas sistēmā. Modulārās sistēmas izvēle ar vairākām apakšsistēmām, kuras ir savstarpēji atsaistītas, lai nodrošinātu vienkāršu apakšsistēmu nomaiņu gadījumos, kad sistēma ir bojāta. Tas ātri pārvērtās par grūti pārvaldāmu sistēmu. Tāpēc visas apakšsistēmas nepieciešams integrēt vienā iespiedplatē, samazinot savstarpējo savienojumu skaitu ar vadiem un padarot visu sistēmu vieglāk pārvaldāmu, bet neizdevās laika trūkuma dēļ realizēt.

Darba punkta iestatīšana un atiestatīšana atbilst norādītajai tehniskajai specifikācijai. HPA monitorēšanai tiek veiktas sprieguma, temperatūras un caurplūstošas strāvas pārbaudes. Tieka sasniegta 3 A notece strāva 31.75 ms, lai uzlabotu pārejas procesu HPA. Raidīšanas laikā tiek atslēgta noslēgtā cilpa, kas nodrošina darba punkta iestatīšanas strāvu, lai HPA varētu nodrošināt lielāku jaudu, jo vadības ar atgriezenisko saiti gadījumā, palielinoties notecei strāvai, raidīšanas brīdī darba punkta iestatīšanas integrālā shēma to kompensē, mainot aizvara spriegumu.

RMS jaudas detektoram neizdevās nodrošināt -5 dB atstarojuma koeficientu kā norādīts datu lapā, izdevās panākt datu lapā minētu 60 dB mērišanas diapozonu un noteikt attiecīgo jaudu no 1 mW līdz 100 W. To ir iespējams kompensēt ar ieejas filtra kondensatora vērtības maiņu, ko laika trūkuma dēļ netika izdarīts.

Lai palielinātu sistēmas efektivitāti, jāizvieto lineārā sprieguma stabilizatori ar ekvivalentiem impulta tipa stabilizatoriem. Tika arī nodrošināta tīkla vadīšana caur TCP protokolu un Python skripts sistēmas aktivizēšanai un konstantas telemetrijas virknes saņemšanai un atveidošanai terminālī cilvēkam saprotamākā reprezentācijā.

Jaudas detektorus nepieciešams izstrādāt uz atsevišķām iespiedplatēm, lai nodrošinātu labāku savstarpējo kanālu izolāciju, lai gan tā tagad arī ir ļoti laba, bet ja nebūtu uz vienas iespiedplates, tad būtu -70 dB.

Nepieciešams izveidot komandas, kur var nepieciešamības gadījumā manuāli aktivizēt/deaktivizēt noteiktas sistēmas daļas darba punkta un monitorēšanas IC, lai varētu sistēmu padarīt universālu, nevis tikai šim noteiktajam jaudas pastiprinātājam.

Izmantotās literatūras un avotu saraksts

- [1] Safran Data Systems, “Cortex crt - software defined radio,” n.d., [cites April 14, 2025]. [Online]. Available: <https://satsearch.co/products/safran-data-systems-cortex-crt>
- [2] everythingRF, “Frequency converters,” N/A, [cites May 24, 2025]. [Online]. Available: <https://www.everythingrf.com/browse/frequency-converters>
- [3] KUHNE electronics, “Rf power amplifiier 6400-6200 mhz 10w,” N/A, [cites May 24, 2025]. [Online]. Available: <https://shop.kuhne-electronic.com/kuhne/en/shop/professionell/prof-leistungsverst/KU+PA+640720-10+A+-+RF+Power+Amplifier/?card=494>
- [4] M. Bleideris, “X-band transmitter system engineering cdr milestone report,” VIRATEC, Technical Report, 2024.
- [5] California Institute of Technology, “Frequency and channel assignments,” 2020, [cites April 25, 2025]. [Online]. Available: <https://deepspace.jpl.nasa.gov/dsndocs/810-005/201/201D.pdf>
- [6] L. Riordan, “Discrete- and integrated control of power amplifiers in base-station applications,” 2008, [cites May 5, 2025]. [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/power-amplifier-control-in-base-stations.html>
- [7] Analog Devices, “12-bit power amplifier current controller,” 2018, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad7293.pdf>
- [8] Texas Instruments, “12-bit integrated power-amplifier monitor and control system,” 2014, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/amc7834.pdf>
- [9] Analog Devices, “12-bit monitor and control system,” 2016, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad7294.pdf>
- [10] Texas Instruments, “8-channel power-amplifier monitor and controller,” 2024, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/amc7908.pdf?ts=1747388138334>
- [11] B. Schweber, “Rf power measurement using rms detectors,” 2014, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: <https://www.digikey.lv/en/articles/rf-power-measurement-using-rms-detectors>

- [12] L. E. Frenzel, “Rf detectors for wireless devices,” N/A, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/frequently-asked-questions/201551981detector_faq.pdf
- [13] Linear Technologies, “40mhz to 10ghz rms power detector,” 2024, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ltc5582.pdf>
- [14] Analog Devices, “10 mhz to 10 ghz, 67 db trupwr detector,” 2023, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adl5906.pdf>
- [15] Linear Technologies, “6 ghz rms power detector,” 2010, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/5587f.pdf>
- [16] Analog Devices, “100 mhz to 6 gh trupwr detector,” 2015, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adl5500.pdf>
- [17] tiepie, “Differential measurements,” N/A, [cites May 5, 2025]. [Online]. Available: <https://www.tiepie.com/en/articles/differential-measurements>
- [18] ROHDE & SCHWARZ, “Understanding s-parameters,” 2020, [cites May 24, 2025]. [Online]. Available: https://www.rohde-schwarz.com/us/products/test-and-measurement/essentials-test-equipment/spectrum-analyzers/understanding-s-parameters_257831.html#galler-7
- [19] R. Laurinovičs, “Bakalaura darba izstrādnes,” 2025, [cites May 29, 2025]. [Online]. Available: https://github.com/ElectroIGO/bak_rl
- [20] TDK, “Ac-dc power supply,” 2024, [cites May 24, 2025]. [Online]. Available: https://product.tdk.com/en/search/power/switching-power/ac-dc-converter/info?part_no=CUS800M-24
- [21] MEAN WELL, “150w signle output switching power supply,” 2025, [cites May 24, 2025]. [Online]. Available: <https://www.meanwell.com/Upload/PDF/LRS-150/LRS-150-SPEC.PDF>
- [22] A. Devices, “Ad7293 evaluation board,” N/A, [cites May 5, 2025]. [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/resources/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/EVAL-AD7293.html>
- [23] Analog Devices, “System demonstration platform,” N/A, [cites May 5, 2025]. [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/resources/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/SDP-B.html?doc=EVAL-AD7293SDZ-UG-817.pdf>

- [24] WizNet, “W5500-evb-pico,” 2025, [cites May 5, 2025]. [Online]. Available: <https://wiznet.io/products/evaluation-boards/w5500-evb-pico>
- [25] WIZnet, “Ws5500 datasheet,” 2013, [cites May 26, 2025]. [Online]. Available: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Shields/W5500_datasheet_v1.0.2_1.pdf
- [26] B&B Electronics, “True rms handheld multimeter,” 1997, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: https://data.kemt.fei.tuke.sk/Meranie_BC/_materialy/Pristroje/Multimeter%20metex%203640.pdf
- [27] Fluke, “Industrial multimeter,” 2022, [cites May 16, 2025]. [Online]. Available: <https://www.fluke-direct.com/pdfs/cache/www.fluke-direct.com/87-5/datasheet/87-5-datasheet.pdf>
- [28] SIGLENT, “Digital oscilloscope,” 2020, [cites May 25, 2025]. [Online]. Available: <https://telonic.co.uk/jg/wp-content/uploads/2021/08/Siglent-SDS1000X-U-Series-Datasheet-Telonic.pdf>
- [29] ROHDE & SCHWARZ, “Microwave signal generator,” 2004, [cites May 24, 2025]. [Online]. Available: <https://www.testequipmenthq.com/datasheets/Rohde-Schwarz-SMP04-Datasheet.pdf>
- [30] ——, “Vector network analyzer,” 2012, [cites May 25, 2025]. [Online]. Available: https://www.rfesolutions.com/pdf/analyzers/network_analyzers/ZVK40--Operating_Manual.pdf
- [31] BASETECH, “Bt-305,” 2011, [cites May 25, 2025]. [Online]. Available: <https://cdn.soselectronic.com/productdata/31/2c/e2eb8346/bt-305.pdf>
- [32] SIGLENT, “Sdl100x series programmable dc electronic load,” 2019, [cites May 25, 2025]. [Online]. Available: https://siglentna.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/05/SDL1000X_DataSheet_DS0801X-E01F.pdf

GALVOJUMS

Ar šo es, Rodrigo Laurinovičs, galvoju, ka šis bakalaura darbs ir manis paša patstāvīgi izpildīts oriģināls darbs. Visi informācijas avoti, kā arī no tiem ķemtie dati un definējumi ir norādīti darbā. Šis darbs tādā vai citādā veidā nav iesniegts nevienai citai pārbaudījumu komisijai un nav nekur publicēts.

Esmu informēts (-a), ka mans bakalaura darbs tiks ievietots un apstrādāts Vienotajā datorizētajā plaģiāta kontroles sistēmā plaģiāta kontroles nolūkos.

2025. gada 30. maijā

(paraksts)

Es, Rodrigo Laurinovičs, atļauju Ventspils Augstskolai savu bakalaura darbu bez atlīdzības ievietot un uzglabāt Latvijas Nacionālās bibliotēkas pārvaldītā datorfīklā Academia (www.academia.lndb.lv), kurā tie ir pieejami gan bibliotēkas lietotājiem, gan globālajā tīmeklī tādā veidā, ka ikviens tiem var piekļūt individuāli izraudzītā laikā, individuāli izraudzītā vietā.

Piekriņu _____

Nepiekriņu _____

2025. gada 30. maijā