

July 1, 2021

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Jūrlietu un
zivsaimniecības fonds



Elektronikas un
telekomunikāciju fakultāte

Rīgas Tehniskās universitātes
Elektronikas un telekomunikācijas fakultātes
Radioelektronikas institūta
projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas
ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-
000001

Atskaite par projekta uzdevumu 4.1.

2021

Satura radītājs

1.	DP4. Pilnās funkcionalitātes prototipu realizācija un testēšana	3
U 4.1.	Pilnās funkcionalitātes prototipu salikšana	3
1.1.	Pilnās funkcionalitātes prototipu spiestās plates un to funkcionalitāte	3
1.2.	Mehānisko komponentu uzlabojumi un jaunie risinājumi	9
1.3.	Programmatūras uzlabojumi un jaunā funkcionalitāte un lietotāja interfeiss	11
1.4.	Akustisko signālu programmu izveide	17
1.5.	LoRa sinhronizācijas pēdējā realizācija	18
1.6.	Bezvadu uzlādes moduļu uzlabojumi un lietderības koeficienta palielināšana	24

1. DP4. Pilnās funkcionalitātes prototipu realizācija un testēšana

Dotās darba pakas ietvaros tiek nodrošināta vismaz 6 pilnās funkcionalitātes prototipu intensīvā testēšana Latvijas piekrastē. Testēšanas rezultātā tiks noskaidrotas jaunās funkcionalitātes priekšrocības un ieguvumi, kā arī realizēta iespēja aprobēt iekārtu dažādos laika apstākļos, dziļumos un gada mēnešos. Intensīvās testēšanas rezultātu apkopojums sniegs plašākas zināšanas par iekārtu pielietojšanas īpatnībām, darba režīmiem utt.

U 4.1. Pilnās funkcionalitātes prototipu salikšana

Dotā darba uzdevuma ietvaros tiek plānots kopumā izveidot 6 funkcionējošus prototipus, kas tiks izmantoti testēšanas fāzē. 3 DP1 ietvaros izveidotie prototipi tiks pilnveidoti un to funkcionalitāte tiks paplašināta, izmantojot DP3 izstrādātos moduļus, kā arī tiks izveidoti papildus 3 prototipi. Vismaz 3 prototipi tiks aprīkoti ar jauno komunikāciju moduļiem. Tiks veikta visu prototipu funkcionālā testēšanas laboratorijā.

Darba uzdevuma ietvaros tiks izveidota iekārtas lietošanas pamācība zvejniekiem, kas ļaus daudzkārt atvieglot iekārtas ekspluatāciju un testēšanu.

1.1. Pilnās funkcionalitātes prototipu spiestās plates un to funkcionalitāte

Elektronisko shēmu pirmajā realizācijā bojas darbību nodrošināja 6 plates. Katras plates funkcionalitāte ir aprakstīta tabulā:

Plates nosaukums	Funkcionalitāte	Kastes Nr.
BMS plate	Nodrošina akumulatora šūnu vienmērīgu uzlādi un pasarga akumulatoru no dziļās izlādes un pārāk lielas uzlādes.	1
Bezvadu uzlādes sistēmas uztvērējs	Pārveido ar spoli uztverto augstfrekvences maiņspriegumu līdzspriegumā un nodrošina bojas iekšēja akumulatora uzlādi	1
Barošanas plate	Pārveido 13 V akumulatora spriegumu uz 5 V un 3,3 V, nodrošina patērētās strāvas mērījumus.	2
Skaņas ģenerēšanas plate	Ģenerē roņu atbaidīšanai nepieciešamos akustiskos signālus.	2
Komunikācijas plate	Nodrošina telemetrijas datu pārsūtīšanu uz serveri un attālinātu iekārtas konfigurēšanu.	2
Vadības plate	Realizē iekārtas mezglu kontroli un saziņu ar akumulatoru blokiem.	2

Optimizācijas nolūkos ir nepieciešams samazināt 2. kastē izvietoto plašu skaitu līdz 2. Tas ļaus izmantot abos bojās nodalījumos vienādas kastes, turklāt kastes gabarīti būs mazāki.

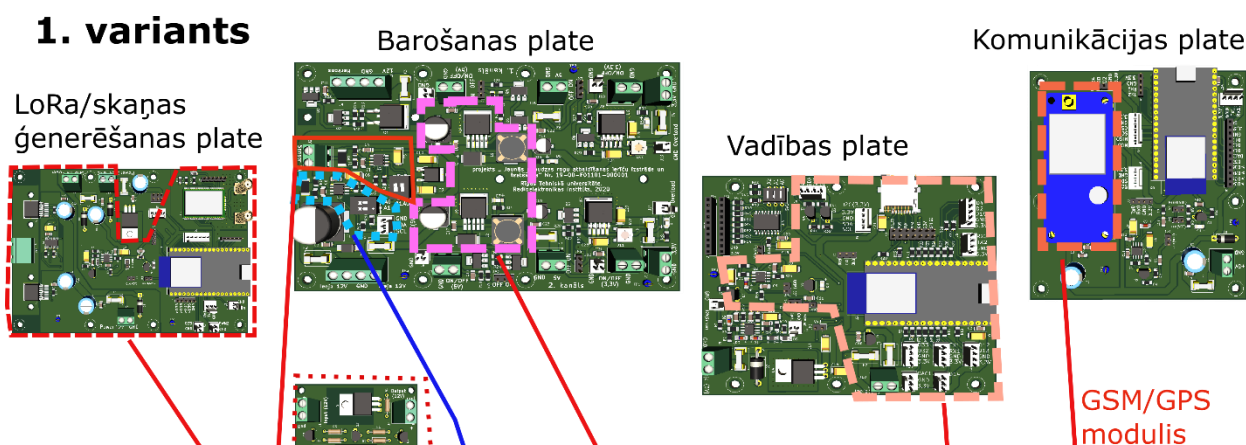
Tabulā ir sniegti dati par jaunās versijas plašu funkcionalitāti:

Plate	Funkcionalitāte
Vadības	Ir apvienotas vadības un komunikācijas plates. Uz plates ir vadības mikrokontrolieris un SIM7000

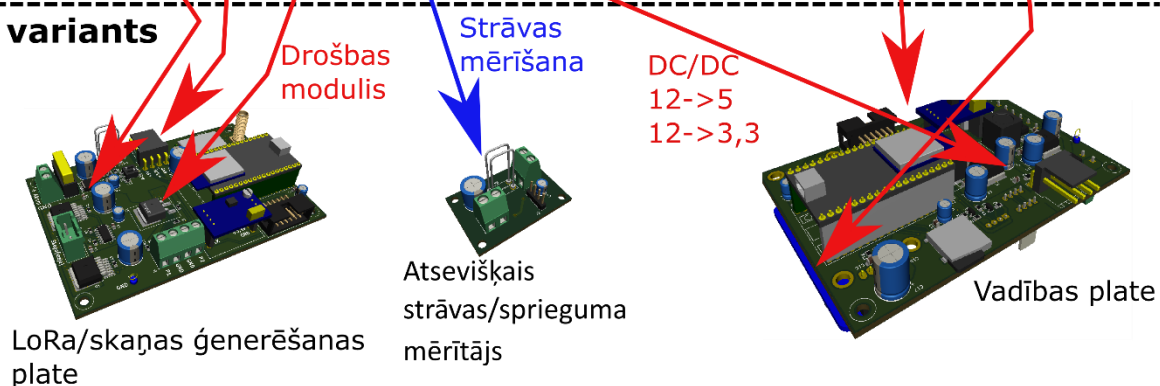
	sakaru modulis. Kā arī uz plates ir divi līdzsprieguma pārveidotāji: 13 V -> 5 V un 13 V -> 3,3 V.
Skaņas ģenerācijas	Uz plates atrodas akustiskā signāla ģenerators, LoRa sinhronizācijas bloks, patērētās strāvas mērītājs kā arī avārijas skaņas atslēgšanas un skaļruņa pieslēgšanas detektēšanas loģika.

Zemāk, attēlā, tika parādīta plašu izmaiņas kopējā koncepcija (ģenerācijas un taisngriešanās plates akumulatoru uzlādei bezvadu sistēmai šeit nav parādīti).

1. variants



2. variants



Vadības plate.

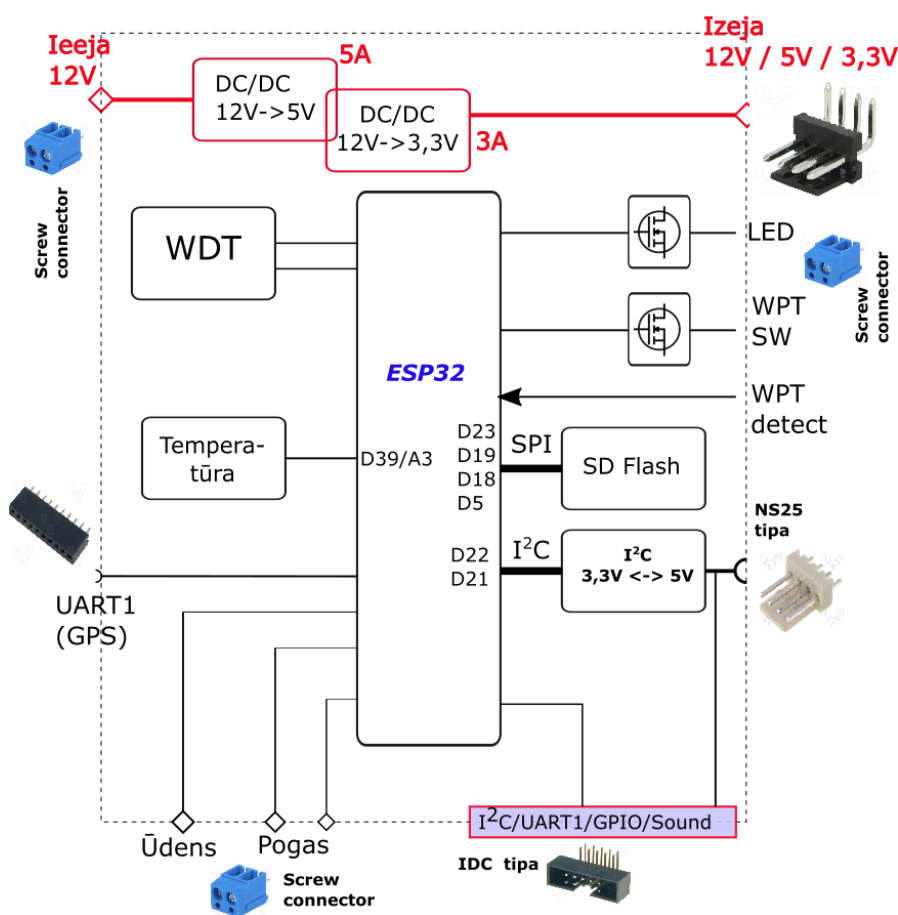
Prakse parādīja, ka visas elektronikas barošanai nav nepieciešams izmantot divas līnijas (katrā ir divi avoti 5V un 3,3V), ka bija pirmā variantā barošanas platē. Līdz ar to, tagadējā variantā palika tikai viens sprieguma avots 5V un vēl viens 3,3V. Abos gadījumos, lietderības koeficienta palielināšanai, tika izmantota *Step-down* shēma. Kā arī tika izņemta avotu izslēgšanas funkcija.

Ņemot vērā, ka ESP32 kontaktu skaits apmierina tagadēju uzdevumu, no shēmas tika izņemts arī datu līniju paplašinātājs uz PCF8574 bāzes.

Analogo līnijas operacionālais pastiprinātājs arī izradījās lieks, tā kā strāvas mērīšanas pārveidotājs INA219 normāli izpilda arī dotas funkcijas.

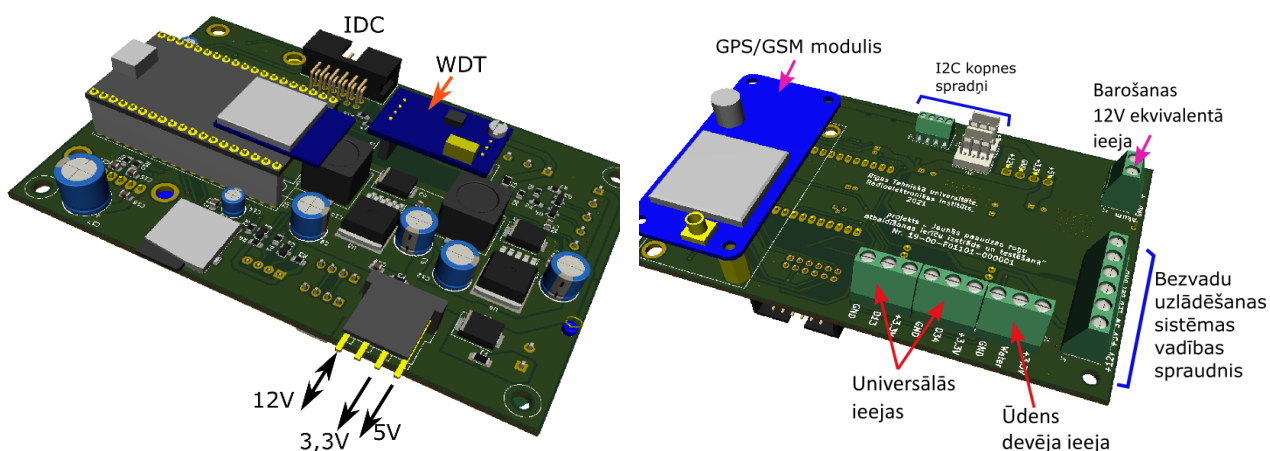
Watch Dog Timer (WDT) tagad tika izveidots kā neliela papildplate.

Blok-diagramma ar galvenajiem mezgliem un konektoriem, kas nodrošina savienojumus ar ārēji pieslēdzamiem moduļiem un komponentiem ir parādīta attēlā:



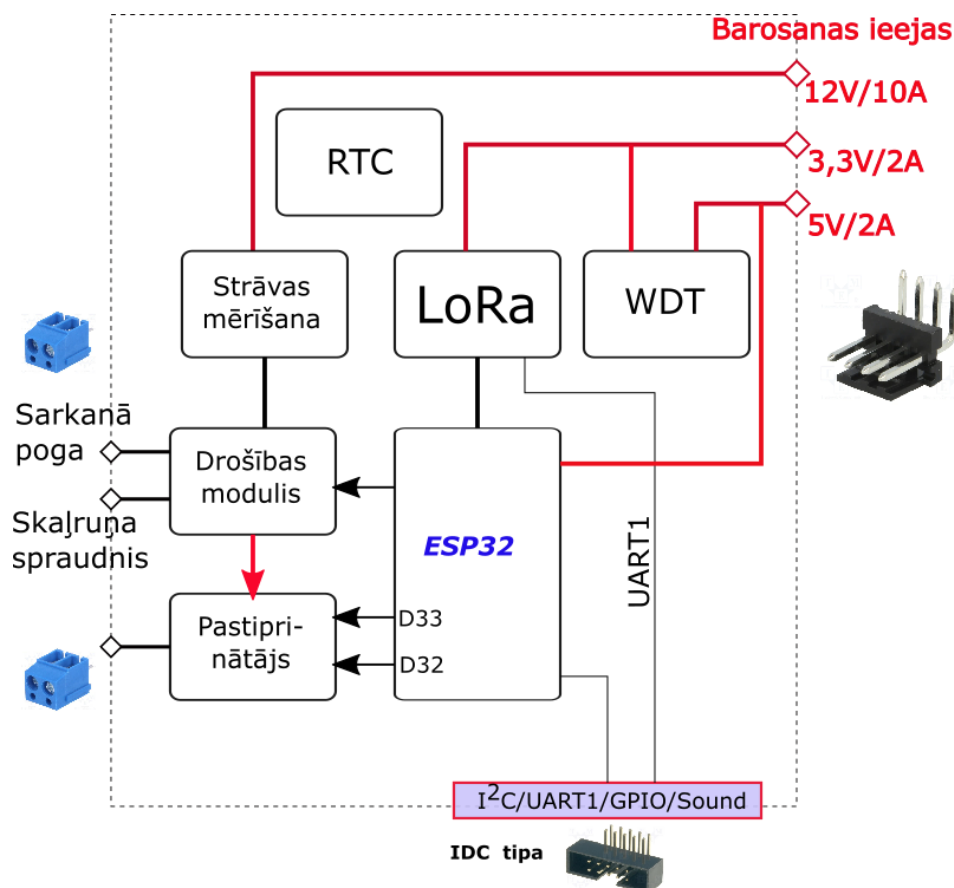
Svarīgākais jauninājums ir IDC tipa konektora izmantošana starpplašu savienojumā. Kabelis ir plāns un tehnoloģiski to ir iespējams vieglāk uztaisīt.

Zemāk tika parādīts dažu moduļu izkārtojums un spraudņu funkcijas.

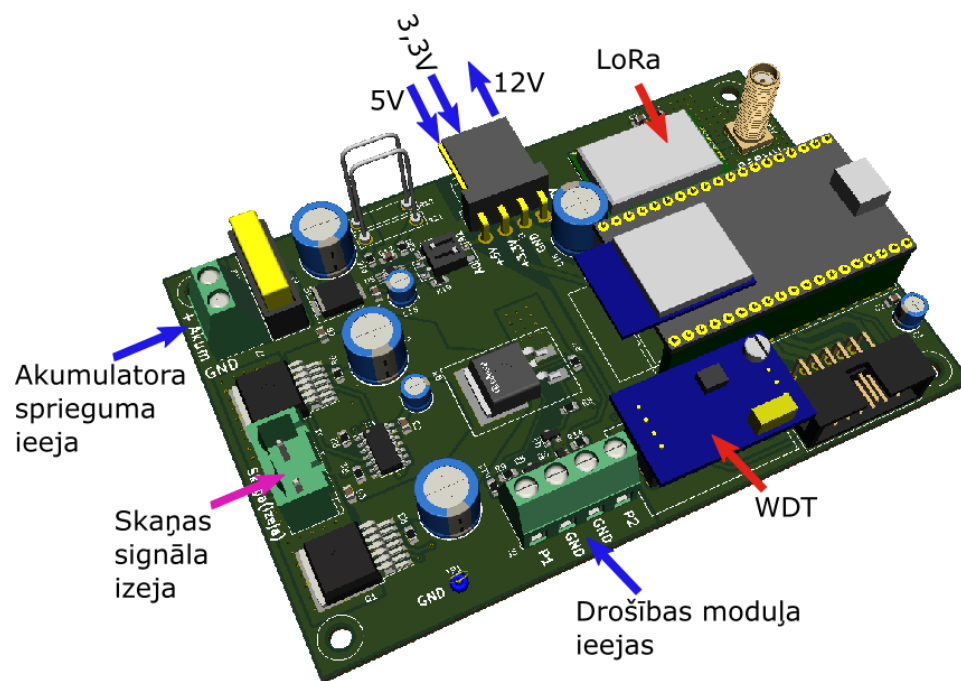


Skaņas ģenerācijas plate.

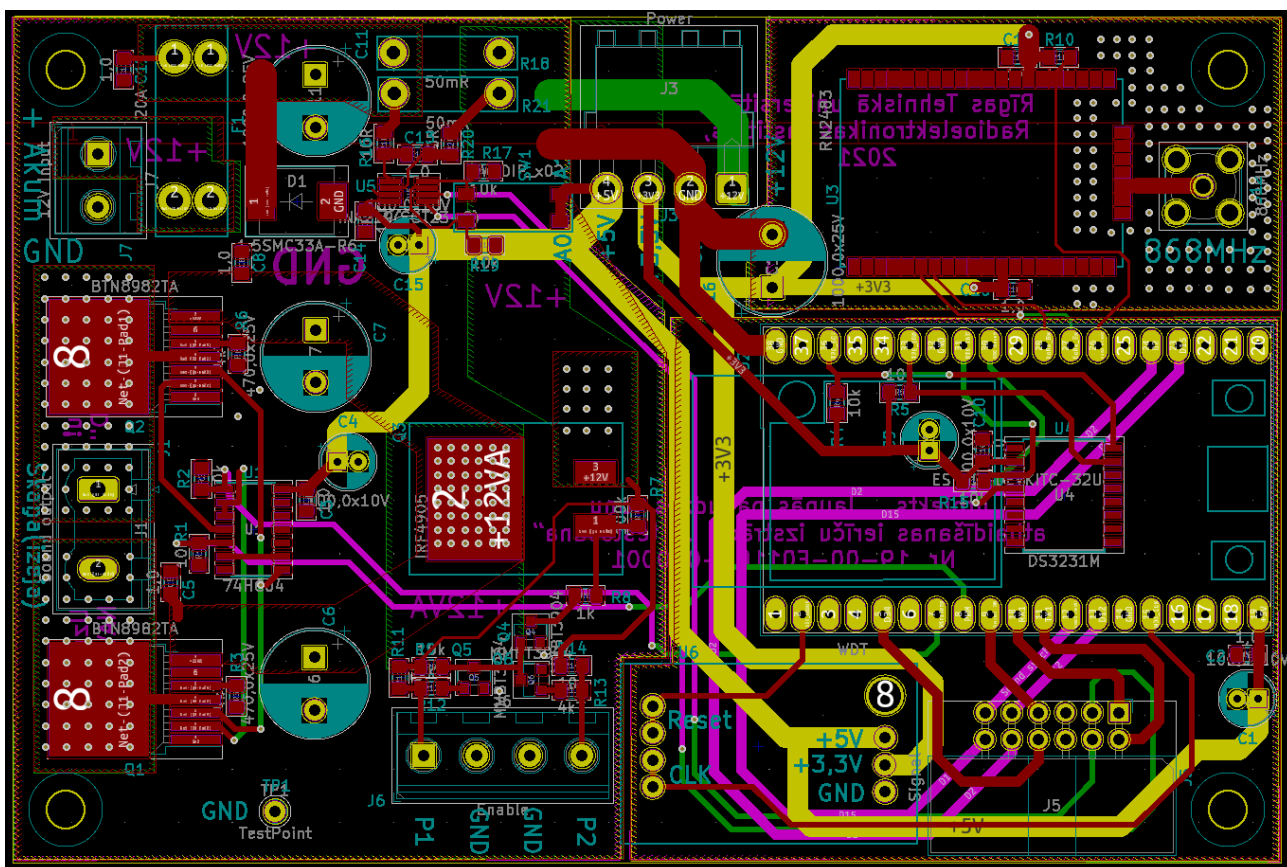
Salīdzinot ar iepriekšējo plates variantu no plates tika izņemts lineārais sprieguma stabilizators. Savā kārtā tika pievienoti: Real Time Clock (RTC), drošības modulis (neļauj pieslēgt augstspriegumu pie izejas spraudņa kamēr nav pievienots skaļruņa kabelis – agrāk bija atsevišķa plate) un strāvas mērītāis.



WDT arī tika izveidots kā neliela papildplate.

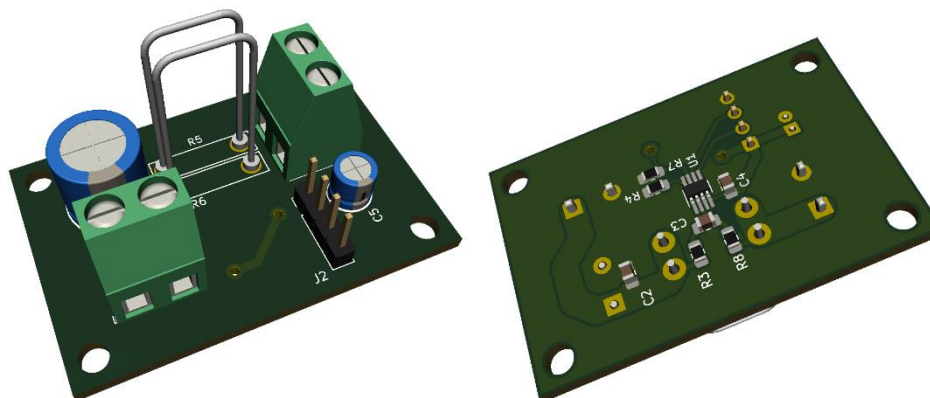


Dota plate ir vienīga, kas tika izveidota no četriem slāņiem.



Strāvas mērīšanas plate.

Skaņās ģenerācijas un bezvadu uzlādēšanas sistēmas taisngrieža plates (kur ir iebūvēti strāvas mērītāji) netika izmantoti ārējā akumulatora blokā. Līdz ar to bija izveidota atsevišķa papildplate.



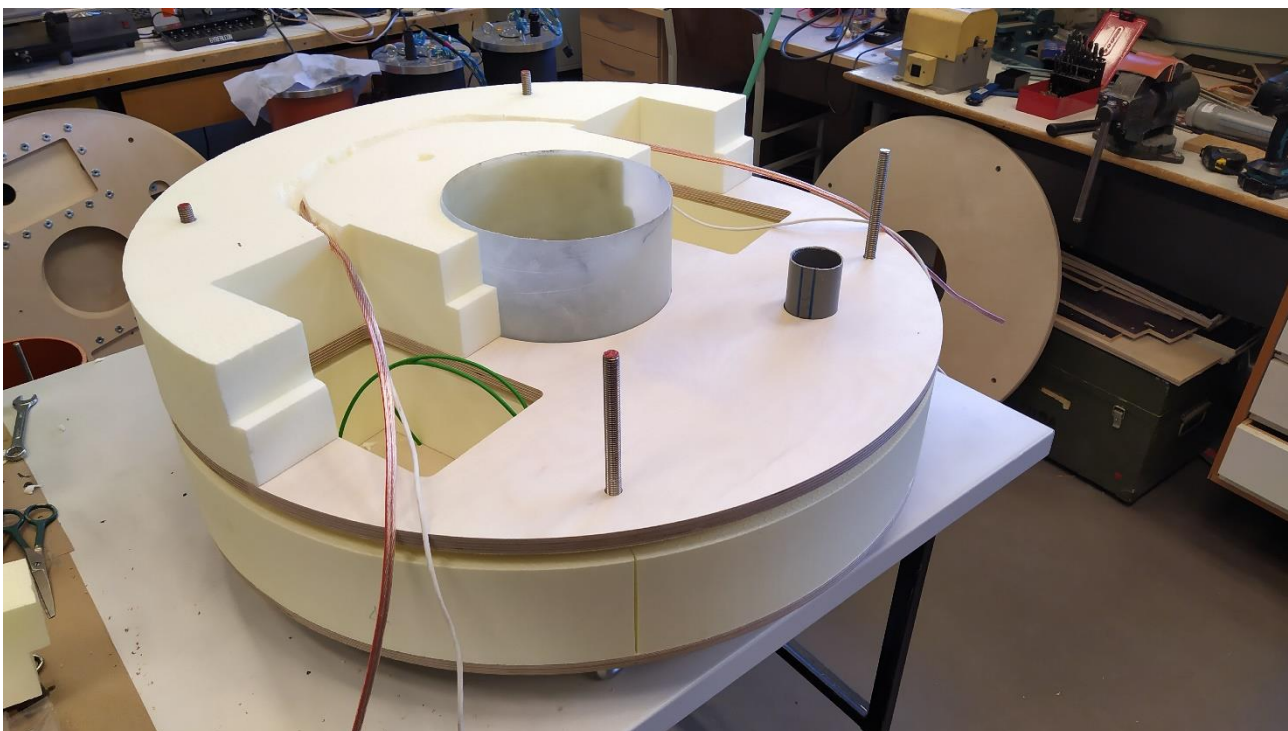
Lai vienkāršotu shēmu pārveidotāja INA219 I2C adrese var izvēlēties griežot attiecīgus celiņus (augšminētās platēs ir izmantoti speciālie slēdži).

Visas plates principiālās shēmas var redzēt pielikumā 1.

1.2. Mehānisko komponentu uzlabojumi un jaunie risinājumi

Bojas konstrukcijas uzlabojumi

Bojas konstrukcijā ļoti svarīgs ir iekšējais caurums kurā tiek ievietots diezgan smags ārējo akumulatoru bloks. Apakšējā putuplastā detaļā ir ievietota uztverošā spole, kuru ir nepieciešams pasargāt no mehāniskiem bojājumiem, jo tas nomaīnā būtu ļoti darbietilpīgs process. Iepriekšējā versijā tika izmantots ieliktnis no PVC caurules, kuru ir grūti kvalitatīvi izgatavot ar laboratorijā esošo aprīkojumu. Tāpēc tika pieņemts lēmums taisīt iekšējo aizsargcauruli no kompozītmateriāla: epoksīdsveķiem un stikla auduma. Izveidotā caurule ir tikai 1 līdz 2 mm bieza, cieši pieguļ sienam un ir viegla. Bojas salikšanas process ar jauno aizsargcauruli ir parādīts attēlā:



Ārējo akumulatoru bloku uzlabojumi

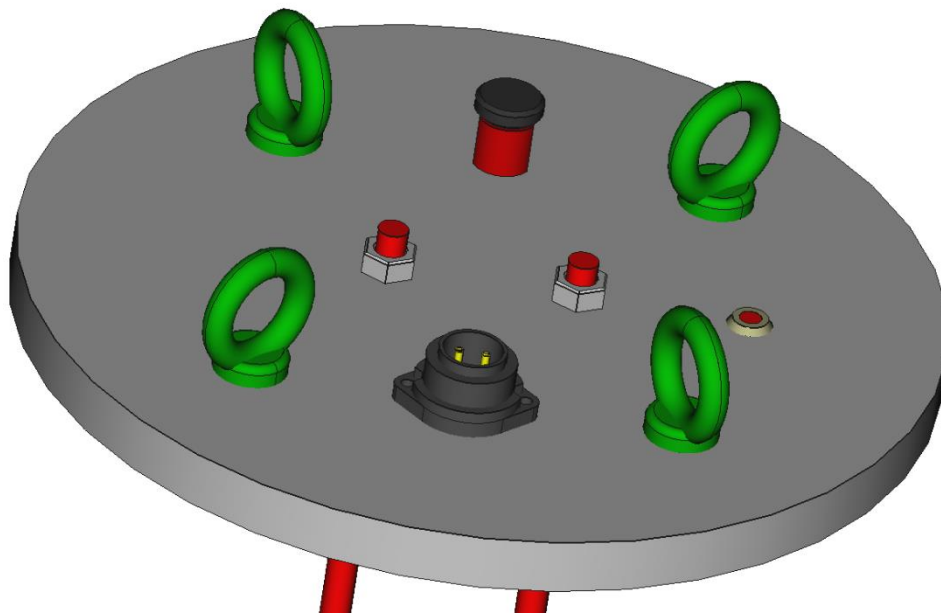
Bezvadu enerģijas pārvades sistēmas raidītāja aktivācijas poga

Veicot testus tika konstatēts, ka bezvadu enerģijas pārvades aktivācijas poga nav īpaši ērta. Tā iespējams piesaista putnu uzmanību, kuri ar saviem knābjiem mehāniski sabojā pogu. Izmantotai pjezoelektriskā efekta pogai ir ļoti kompakts korpuss un nav kustīgu detaļu, kas nodrošina perfektu hermetizāciju, bet diemžēl tā neizturēja testu reālos ekspluatācijas apstākļos. Tas vietā tika izvēlēta SWITCH-10-5A-R1-RP, kas ir paredzēta tieši jūras pielietojumiem un spēj izturēt iegremdēšanu līdz 1 km dziļumam:



Ārējo akumulatoru bloku vāka modifikācija

Pirmajos trīs prototipos tika izmantots ārējo akumulatoru bloka vāks ar biezumu 30 mm no alumīnija. Tam ir diezgan liels svars un tāpēc bija pieņemts lēmums mainīt vāka biezumu uz 15 mm un atbilstoši modificēt bezvadu uzlādes aktivācijas pogas, indikācijas diodes, uzlādes konektora un vītņu stieņu stiprinājumu vietas.



Vāka rasējums tika parādīts pielikumā 2.

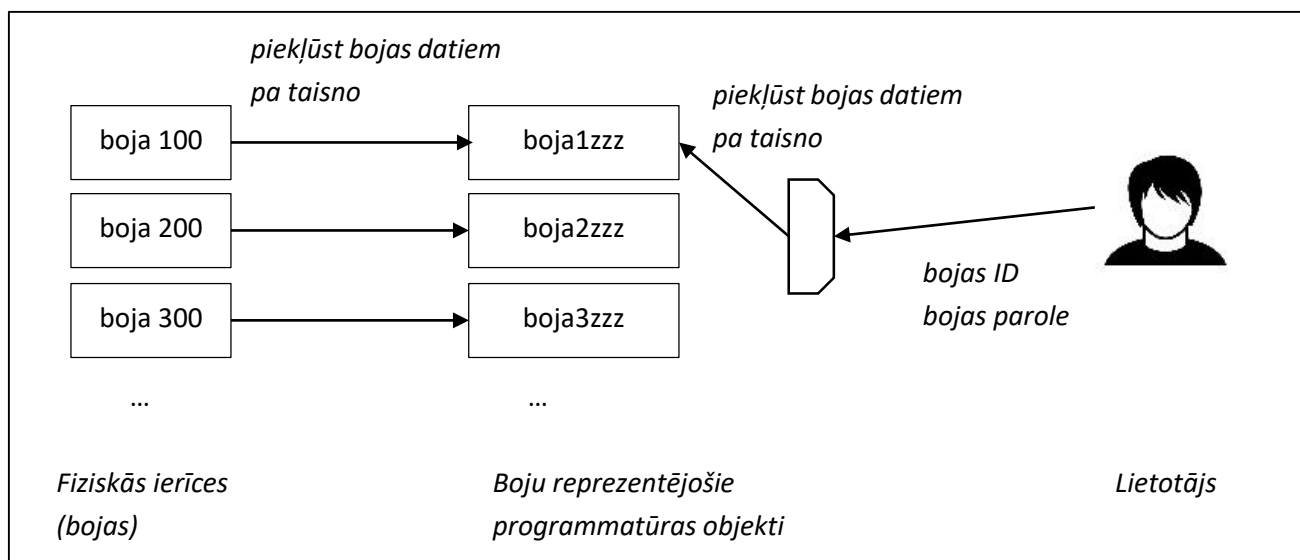
1.3. Programmatūras uzlabojumi un jaunā funkcionalitāte un lietotāja interfeiss

1.3.1. Lietotāju ieviešana roņu servera pusē

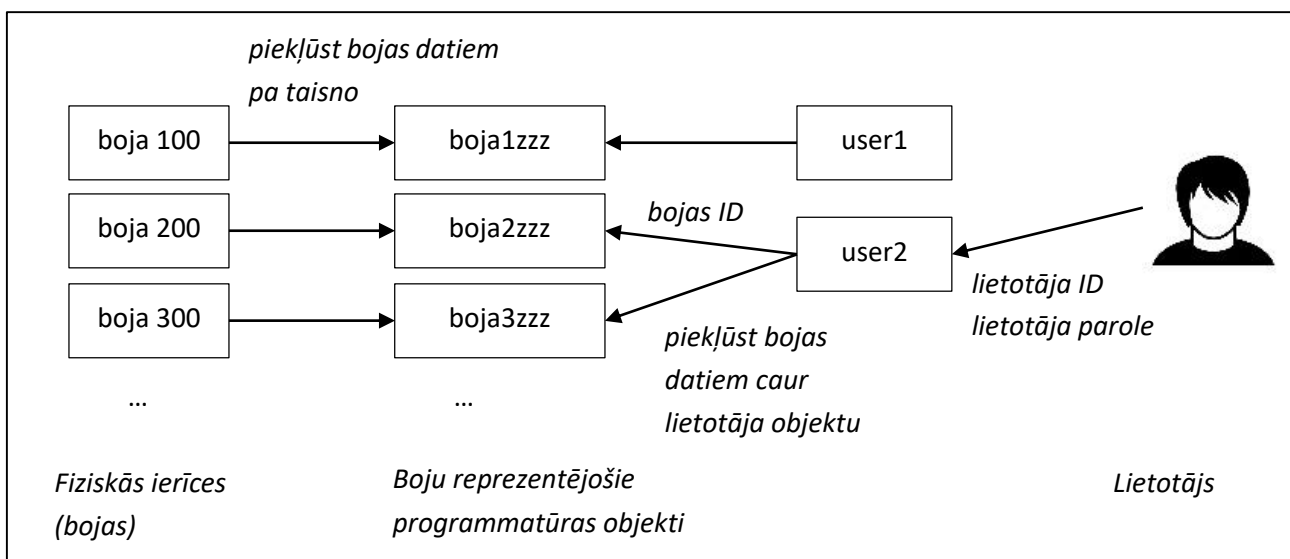
Bojas testēšanas laikā ļoti svarīga loma ir atgriezeniskai saitei par bojas stāvokli, ieskaitot:

- spēju ērti pārlūkot bojas darba parametrus (spriegums, iztērētais lādiņš, GPS lokācija),
- savlaicīgi izziņot par ārkārtas stāvokļiem (ūdens korpusā, pārāk augsta temperatūra, spriegums pa zemu), kā arī
- regulāri ziņot par specifiskiem notikumiem (piem. nepieciešamību nomainīt akumulatoru).

Lai šo atgriezenisko saiti nodrošinātu ērtāku tika mainīts piekļuves modelis bojas datiem. Attēls 1.3.1. ilustrē ieviestās izmaiņas:



a) vecais



b) jaunais

1.3.1. att. Datu piekļuves modeļa pārmaiņas

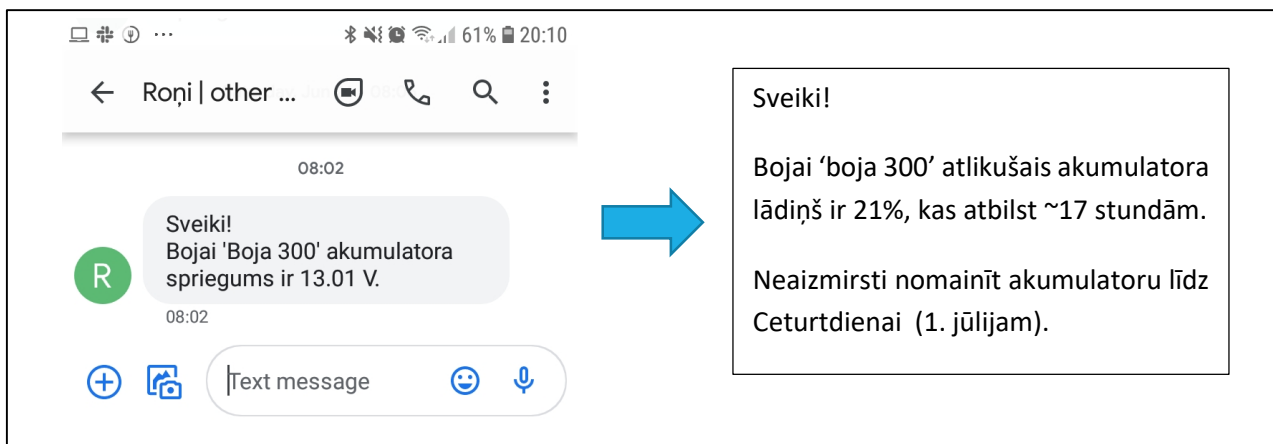
Šis jaunais datu piekļuves modelis sniedz virkni priekšrocību un ļauj:

1. atdalīt apkalpojošu personālu (piem. administratoru) no gala patērētājiem (zvejniekiem), piešķirt pārlūkojamās / pārvaldāmās bojas un piekļuves tiesības (nākotnē),
2. lietotājam nav jāzina nekas par boju objektu parametriem (piem. paroles), bet lietotāja paroli ir vieglāk nomainīt nepārprogrammējot dzelžus,
3. lietotājs vienā login sesijā spēj pārlūkot visas savas bojas,
4. notikumu apstrādi un izziņošanu var konfigurēt lietotāja līmenī (piemēram, administratoram tiek izziņotas ārkārtējas situācijas, bet parastām lietotājam tikai par akumulatora maiņu).

1.3.2. Papildus funkcionalitāte servera pusē

Katram lietotājam un katrai lietotājam piešķirtai bojai var nokonfigurēt notikumu, piemēram, reizi dienā uzreiz pēc 10:00 sūtīt SMS ar akumulatora stāvokli uz noteiktiem numuriem. Šis ir konfigurējams konfigurācijas failos.

Tika ieviests atsevišķs objekts, kas glabā pēdējās akumulatora parametru vērtības – spriegums, strāva un lādiņš, ar nolūku ieviest precīzu atlikusi lādiņā un darbības laika noteikšanu. Tas ļaus sūtīt lietotājiem SMS ziņas nevis ar sprieguma vērtību, bet ar atlikušo darbības laiku:



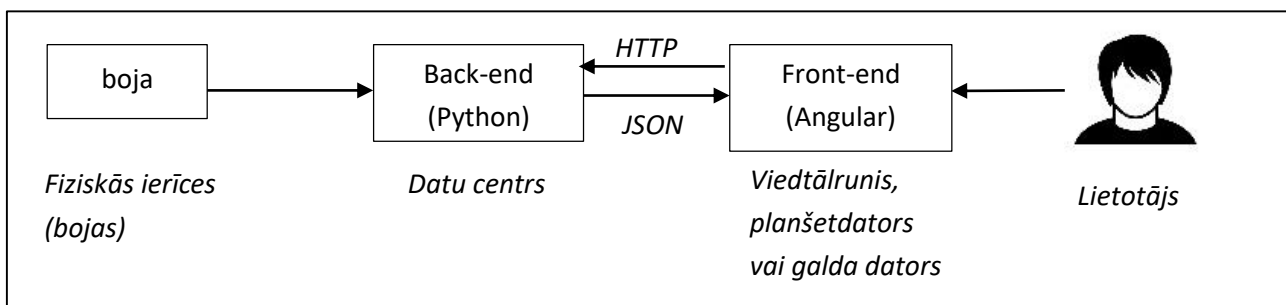
1.3.3. Lietotāja aplikācija

Lietotājs veic parametru un GNSS lokāciju monitoring caur lietotāja aplikāciju. Lai nodrošinātu dinamisku lietotāja interfeisu un iespēju veikt biežus aplikācijas atjauninājumus tiek lietota WEB aplikācija. Ieeja aplikācijā notiek atverot tīmekļa vietni <http://ronis.tk>. Minētais domēns tika rezervēts laika atvieglošu pieeju aplikācijai.

Sistēmas arhitektūra un tehnoloģijas

Monitoringa sistēma sastāv no:

- Back-end daļas (Python), kura lomā pilda speciāls modulis jau esošajā Roņu serverī
- Front-end daļas (Angular), kura tika izstrādāta no jauna.



1.3.4. att. Monitoringa aplikācijas arhitektūra

Komunikācija starp back-end un front-end notiek izmantojot standarta HTTP/JSON WEB aplikāciju tehnoloģiju.

Back-end tehnoloģija

Back-end ir izstrādāts Python programmēšanas valodā un izmanto HTTP/JSON bibliotēkas lai komunicētu ar Fron-end.

Front-end tehnoloģija

Front-end daļa izmanto Angular platformu lai izstrādātu aplikāciju un to darbinātu lietotāja iekārtā. Angular v11, kurajā tikai veikta izstrāde, izmanto TypeScript programmēšanas valodu. Aplikācija sastāv no sekojošiem moduļiem:

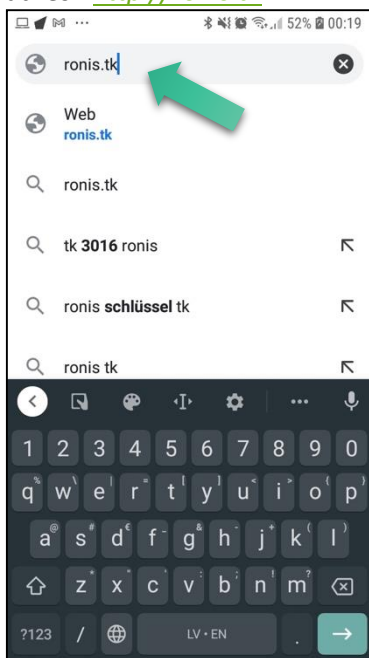
- Autorizācija
- Bojas izvēle
- Grafiku attēlošana
- Parametru vērtību attēlošana

Katrs no moduļiem var saturēt datu modeļus un apakšmoduļus, kas komunicē ar serveri.

Monitoringa aplikācijas 1.versijas funkcionalitāte

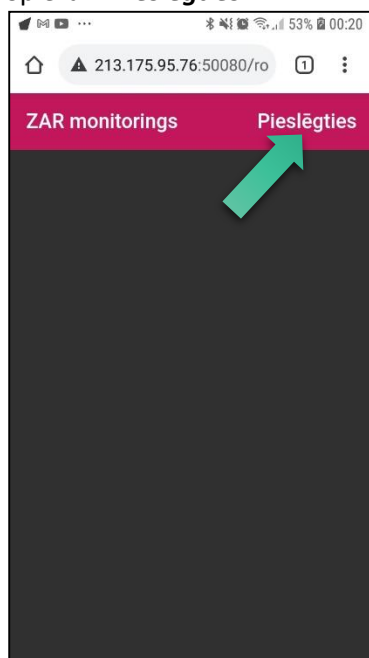
1. Solis

Pārlūkprogrammā ievadam web adresi: <http://ronis.tk>



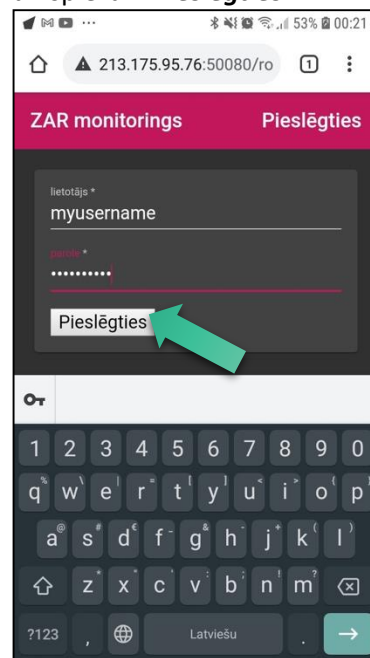
2. Solis

Ielādēties aplikācija.
Spiežam **Pieslēgties**



3. Solis

Ievadam lietotāja vārdu, paroli un spiežam **Pieslēgties**



4. Solis

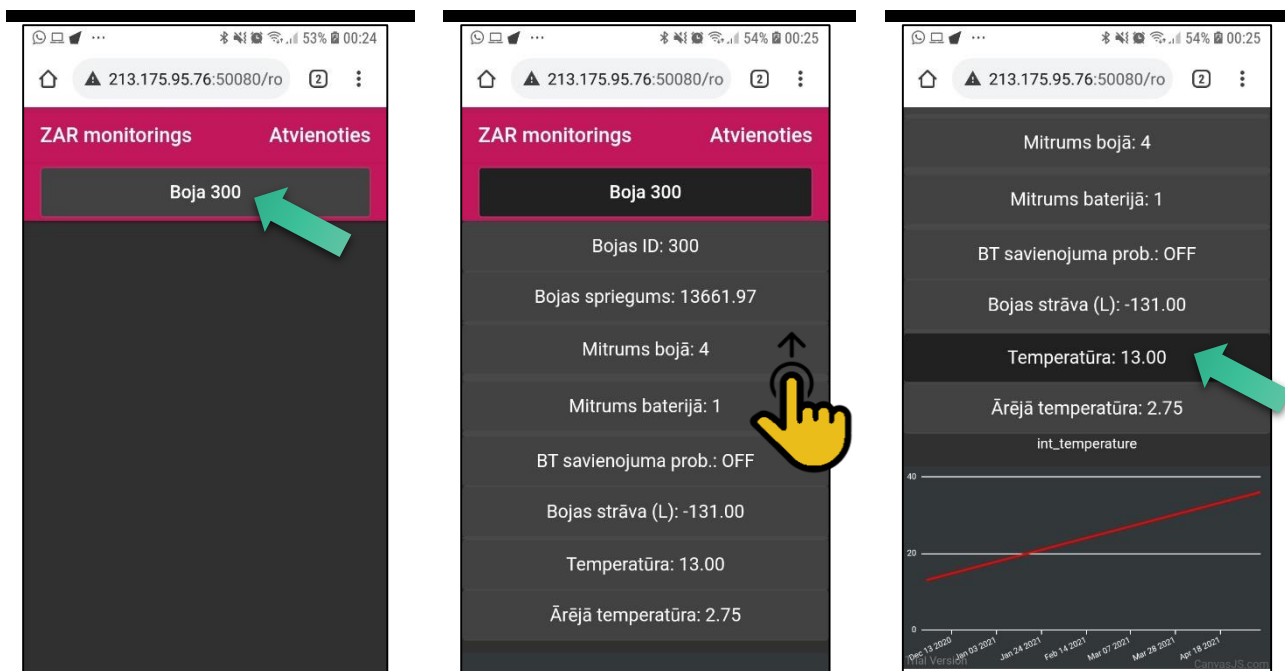
Izvēlamies interesējošo boju.
Nospiežot atkārtoti notiek datu aktualizācija.

5. Solis

Aplūkojam telemetrijas
parametru pēdējās vērtības.

6. Solis

Izvēloties interesējošu
parametru, apakšā varam
aplūkot grafiku

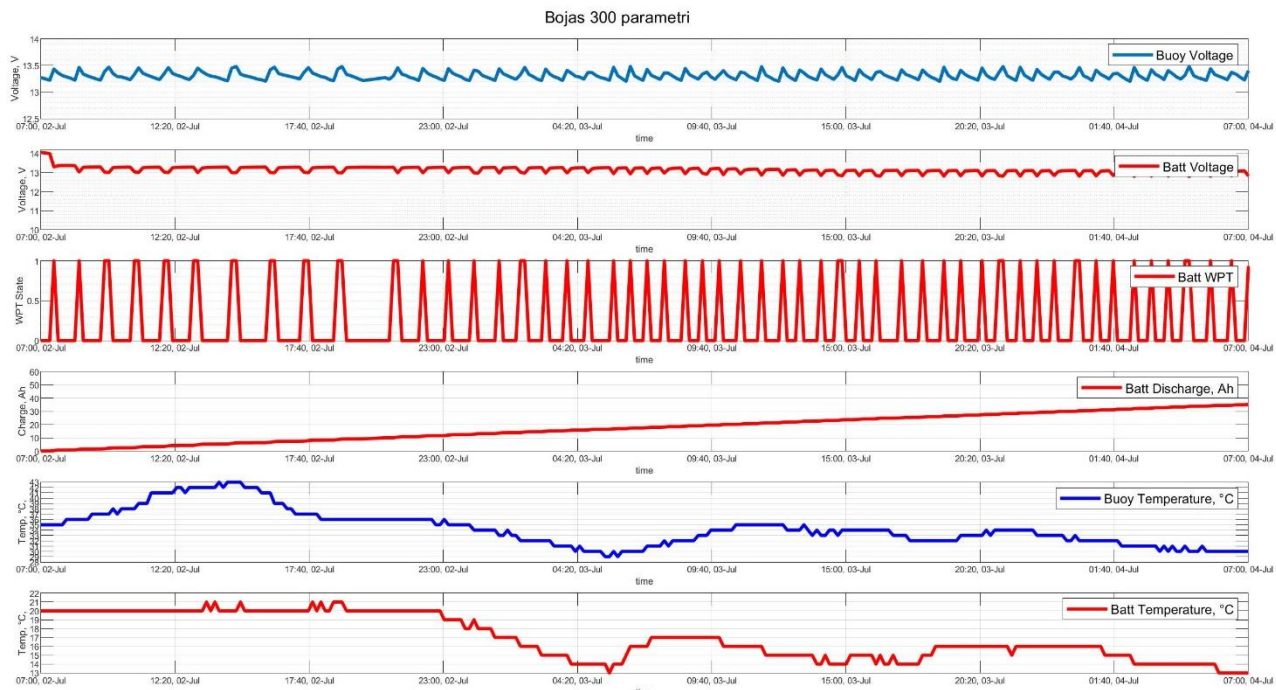
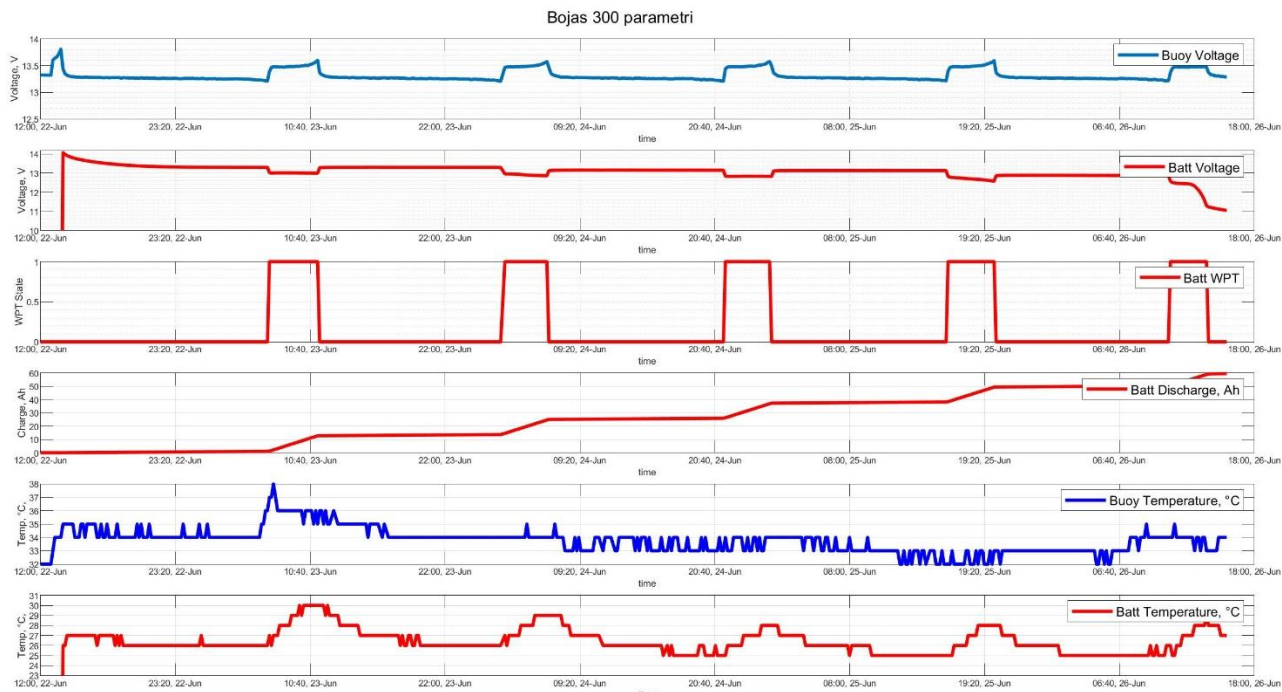


Monitoringa aplikācijas 2.versija

Tika uzsākta monitoringa aplikācijas 2. versijas, kas nodrošinās uzlabotu lietotāja interfeisu un lokācijas attēlošanu kartē, izstrāde.

1.3.5. Programmas uzlabojumi bojās un ārējā akumulatora darbībā

Precīzākai ārējā akumulatora līmeņa noteikšanai tika ieviesta papildus funkcionalitāte ārējā akumulatorā: tiek skaitīts patērētais baterijas līmenis ampēr-stundās (Ah). Šī informācija tālāk tiek nodota uz serveri. Šobrīd kopējā ārējo akumulatoru ietilpība ir aptuveni 60 Ah, kas ļauj nodrošināt bojās nepārtrauktu darbību ar bezvadu enerģijas pārvadi no 3 līdz 4 dienām pie esošā izvēlēta signāla ģeneratora signāla iestatījumiem. Veicot testēšanu ar bezvadu enerģijas pārvades ilgumu un veicot datu analīzi, ir redzams, ka bezvadu uzlādes režīms, kurā ilgstoši tiek veikta uzlāde (vairākas stundas) veicinās ārējā akumulatora bloka un elektronikas sasilšanu vairāk, nekā režīms kurā bezvadu uzlāde notiek īsāku laiku, bet bieži. Attēlā 1.3.4.1 ir parādīts uzlādes režīms, kur tiek veikta ilga bezvadu uzlāde (uzlādes aktīvais cikls ilgst 4 stundas, gaidīšanas cikls ilgst 16 stundas), ārējā akumulatorā temperatūra pieaug līdz par 5 grādiem, savukārt attēlā 1.3.4.2 ir parādīts ātrā bezvadu uzlāde (uzlādes aktīvais cikls ilgst 10 minūtes, gaidīšanas cikls ilgst 45 minūtes) ārējā akumulatora elektronika aktīvajā režīmā uzsilst tikai par 1 līdz 2 grādiem. Ātrajā bezvadu uzlādes režīmā patērētā akumulatora strāva Ah precīzāk ļaus lietotājam vienkāršāk redzēt baterijas izlādes trendu.



1.4. Akustisko signālu programmu izveide

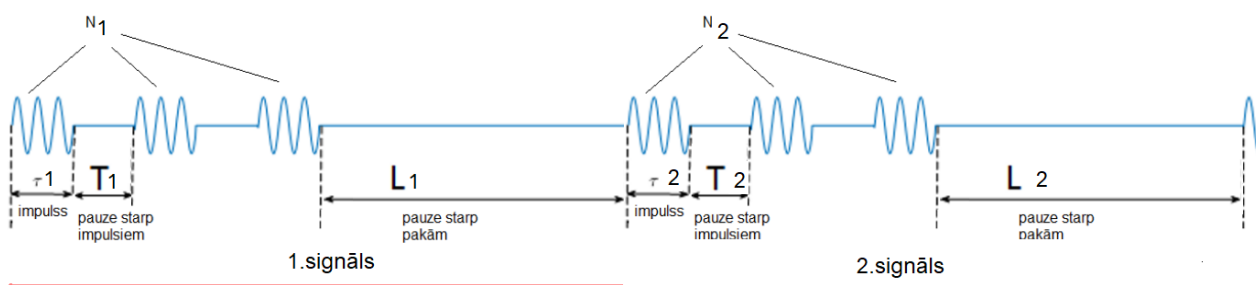
Izmaiņas skaņu apraksta protokolā

Testēšanas laikā tika nolemts, ka ģeneratoram vajadzētu paredzēt sekojošo iespēju. Sākumā tiek padots mazas jaudas skaļuma signāls - kas brīdina roņus, ka jāpeld projām. Tad pēc tam tiek padots lielas jaudas skaņas signāls, kas ir nepatīkams roņiem. Hipotētiski roņi iemācīsies reaģēt uz mazās jaudas skaļuma signālu un laicīgi peldēt projām. Kā arī šāda veidā tiek palielināta bojas autonomija. Lai to nodrošinātu, tika mainīts skaņas uzstādīšanas protokols. Salīdzinājums ar iepriekšēju protokola versiju ir parādīts 1.4.1.tabulā. Var redzēt ka protokols tagad dubulto skaņas signāla uzstādīšanas lauciņus - 1. un 2. signāliem. Pats signāls ir parādīts 1.4.1. attēlā. Redzam ka pēc 1.signāla pakas, kam seko pauze starp pakām seko 2.signāla paka, kam seko 2.signāla pakas pauze. Tad ir viens signāla periods. Tad viss atkārtojas. 1.4.2. tabulā ir parādīta sakarība starp dažiem attēla redzam parametriem un protokola vērtībām.

1.4.1. tabula. Iepriekšējā un jaunā signāla protokola salīdzinājums.

<i>Baīti</i>	<i>Nosaukums</i>		<i>Baīti</i>	<i>Nosaukums</i>	
0..2	Transporta dati		0..2	Transporta dati	
3	Sākuma frekvence		3	Sākuma frekvence	1.signāls
4	impulsa ilgums *10ms		4	impulsa ilgums *10ms	1.signāls
5	darba cikls 0-100		5	darba cikls 0-100	1.signāls
6	Gadījumveida frekvences maksimālā nobīde		6	Gadījumveida frekvences maksimālā nobīde	1.signāls
7	impulsu skaita pakāpe 0-8		7	impulsu skaita pakāpe 0-8	1.signāls
8	frekvences maiņas režīms (skat nākamo tabulu)		8	frekvences maiņas režīms (skat nākamo tabulu)	1.signāls
9	gadījumveida impulsu skaits (0/1)		9	gadījumveida impulsu skaits (0/1)	1.signāls
10	pauzes ilgums, s (0-100)		10	pauzes ilgums, s (0-100)	1.signāls
11	gadījumveida pauze (0/1)		11	gadījumveida pauze (0/1)	1.signāls
12	Beigu frekvence		12	Beigu frekvence	1.signāls
13	Skaļums		13	Skaļums	1.signāls
			14	Sākuma frekvence	2.signāls
			15	impulsa ilgums *10ms	2.signāls
			16	darba cikls 0-100	2.signāls
			17	Gadījumveida frekvences maksimālā nobīde	2.signāls
			18	impulsu skaita pakāpe 0-8	2.signāls
			19	frekvences maiņas režīms (skat nākamo tabulu)	2.signāls
			20	gadījumveida impulsu skaits (0/1)	2.signāls

	21	pauzes ilgums, s (0-100)	2.signāls
	22	gadījumveida pauze (0/1)	2.signāls
	23	Beigu frekvence	2.signāls
	24	Skaļums	2.signāls



1.4.1. att. Signāla viena perioda izskats.

1.4.2.tabula. Sakarība starp dažiem signāla protokola lauciņiem un signāla izskatu

$N1 = 2^{\wedge}$ impulsu skaita pakāpe 1.signālam
$N2 = 2^{\wedge}$ impulsu skaita pakāpe 2.signālam
$\tau 1 =$ impulsa ilgums *10ms
$\tau 2 =$ impulsa ilgums*10ms
$\tau 1/T1 =$ darba cikls 1
$\tau 2/T2 =$ tarba cikls 2
$L1 =$ pauze starp pakām 1.signālam
$L2 =$ pauze starp pakām 2.signālam

1.5. LoRa sinhronizācijas pēdējā realizācija

Dotajā atskatīšanas procesā tika pabeigta un testēta LoRa sinhronizācijas 2.versija, kas tika un tā tika aprobēta uz dzelžiem. Bet tika izstrādātā un testēta, pabeigta arī 3.versija. 2.un 3.versijai izmanto vienus un tos pašus “dzelžus” tikai 3.versija to dara efektīvāk, mazāk pārsūtot LORA sinhronizāciju signālus.

1.5.1. Sinhronizācijas algoritma apraksts

Aprakstot sinhronizācijas algoritmu tiks pielietotā sekojošā terminoloģija Boja – jaunpienācējs (NEWCOMER) tā boja kas vēl nav sinhronizēta, un piedāvā citiem sinhronizēties no jauna; Boja-komanda(Team), tās bojas kas līdz šī bija sasihronizēti savā starpā. Pēc veiksmīgas sinhronizācijas arī NEWCOMER pārveršās par TEAM.

Izpētot un testējot iepriekšējo Loras sistēmas realizāciju, atklājas sekojošie trūkumi, respektīvi, ja bojas tiek uzstādītas aptuveni vienā laikā, tad tie apmainās ar ziņojumiem, un sinhronizācija tiek pieņemta par labu bojai ar vēlāku laiku, citām bojām vēlreiz jāpārsūta tas ziņojums sk. tabulu 1.5.1.

1.5.1. tabula . Boju sinhronizācijas 2.un 3.versijas salīdzinājums.

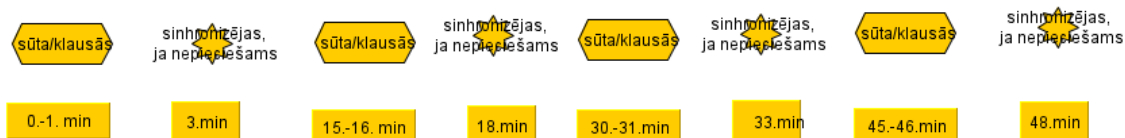
2.versija	3.versija
Absolūtā laika izmantošana visās bojās	
Sūta laiku ciklos notiks sinhronizācija	Sūta ziņu ka sinhronizācija notiks. Sinhronizācija notiks visām bojām zināmajā laikā
Katrai Bojas klausīšanas režīms nenoteiktajā laikā ar noteiktiem konstantiem laika intervāliem.	Katrai Bojai tiek noteikts laiks kad boja klausās. Piem. Boja klausīsies 0-1, 15-16, 30-31, 45-46 minūtē katrā stundā.
Ziņojums tiek sūtīts vairākkārt, tā, lai trāpītu bojas klausīšanas intervālā.	Ziņojums tiek sūtīts 2 reizēs 1.-8. sekundēs un 8.-15. sekundēs. Citas bojas vienmēr klausās kad tiek pārsūtīts ziņojums (ja nu vienīgi nepārsūta citus ziņojumus.) bet pārsūtīšanai tiek izvēlēts intervāls 16-60 sekundēs.
Trūkumi. Ja divas bojas vienlaikus tiek uzstādītas, tad vēlākā boja uzspiež visam citām savu sinhronizācijas laiku, ir jāveic tā pārsūtīšana	Ja divas bojas vienlaikus tiek uzstādītas, tad nekas nav jāpārsūta, jo sinhronizācija arī notiek noteiktajos laikos, resp. 3., 18., 33., 48. minūtē. Tad bojas tiek sinhronizētas vienlaicīgi. Nekas nav jāpārsūta.

Galvenā 3.versijas īpatnība, ka tagad viss notiek noteiktajos laikos. Visas bojas (TEAMS) vienlaikus sāk klausīties, un bojas (NEWCOMERS) sāk sūtīt 0.,15.,30.,45. minūtē (tiek runāts par absolūto laiku, stundas netiek ņemtas vērā). Boja-jaunpienācējs sūta sinhronizācijas aicinājumu arī šajā laikā. Boju sinhronizācija notiek arī noteiktajos laika momentos, respektīvi 3., 18., 33., 48. minūtē, ja iepriekšēja klausīšanas intervālā tika sūtīts/saņemts sinhronizācijas ziņojums sk. 1.5.1.att.

Intervāls, kas tiek atvēlēts, lai sūtītu/saņemtu ziņojumu ir noteikts vienāds ar vienu minūti. Darbību sadalījumu pa sekundēm, kas notiek šajā intervālā parāda 1.5.2.att. Respektīvi pirmā ziņojumu sūtīšana notiek pirmajās 7 sekundēs (1.-8.sekundes intervālā). Ziņa tiek sūtītā atkārtoti nākamajās 7 sekundēs (8.-15.sekundes intervālā). Pārējais intervāls tiek atvēlēts pārsūtīšanai.

Gadījumā ja būtu divi jaunpienācēji, ir ieslēgti aptuveni vienā laikā (laika intervālā 15 minūtēs) tie noteikti sūtītu savus ziņojumus vienlaicīgi. Lai izslēgtu šo situāciju, bojas aizsūtīšanas laiks 7 sekunžu laikā tiek noteikts ar gadījumu skaitļu ģeneratoru. Laika solis sūtīšanai ir 1ms, līdz ar to iznāk 7000 ms. Paša ziņojuma sūtīšana aizņem mazāk par 18 ms.

Kā izrādījās, NEWCOMER nav nekāda pamata pārsūtīt ziņu, jo, sūtot savas ziņas, tas jau inicializē sinhronizāciju. Bet tas noderīgs TEAM bojām. Tā kā laiks uz pārsūtīšanu ir ierobežots, ziņojums tiek pasūtīts nākamajās 7 sekundēs laikā intervāla 15.-22.sekundē, un 22.-29. sekundē. Bet bojas kad viņu saņēma pirmoreiz, drīkst to ziņojumu pārsūtīt uzreiz 22.-29.sekundē un 29.-36.sekundē. Tātad tīri teorētiski ziņojums pārsūtīšanas intervālā 15-60 varētu būt pārsūtīts $(60-15)/7 = 6$ reizēs. 1.5.2.att. Tā kā teams boja klausās, laiks lai izslēgtu klausīšanas režīmu, sūtītu ziņu, tad atkal sāk klausīties ir 82 ms. Bet ja šī momentā laikā boja palaidīs garām, kādu ziņu nebūs nekas traks, jo tā jau to sūta.



1.5.1.att. Boju klausīšanas un sinhronizācijas saraksts.



1.5.2.att. Aktivitātes sūtīšanas/klausīšanas intervālā.

1.5.2. Bojas ID un Gadījuma signāla ģenerēšana.

2.sinhronizācijas versijā katrai bojai būtu jābūt unikālam ID, 3.sinhronizācijas versija ID ir mazāknoderīgs, bet ļoti svarīgi ģenerētu unikālu seed gadījumu signālu pseidosecības inicializēšanai.

Lai to izdarītu, mums ir trīs iespējas:

1. izmantot bojas identifikatoru, kas tiek ierakstīts manuāli;
2. izmantot LORA moduļa iešūto unikālo ID numuru;
3. izmantot bojas ieslēgšanas laiku.

1. Bojas identifikators ir divu baitu skaitlis, kas ir piešķirts katrai bojai manuāli, programmējot vadības/komunikācijas kontrolieri. Metodes trūkums ir – nevar izslēgt cilvēcisko faktoru, ja nu gadījumā netiks piešķirts unikāls numurs. Metodes priekšrocība identifikators sastāv no 2 baitiem. Tas ir ļoti noderīgs 2.sinhronizācijas versijai, bet 3.versijai varētu būt arī citās alternatīvas.

2. Loras moduļa unikālais ID numurs piešķirts katram modulim rūpnīcā, un tam nav iepriekšēja moduļa trūkumu. Tas ir par lielu, lai tiktu izmantotam 2.sinhronizācijas versija, kad tas tiek pārsūtīts, bet tas der 3.sinhronizācijas versijai – lai identificētu random seed.

3. Bojas ieslēgšanas laiks. Izmantojot bojas ieslēgšanas laiku (ar soli: sekunde) ir unikālā iespēja, kā iegūt randomizāciju – jo ir ļoti maza vārbūtība, ka bojas tiks ieslēgtas vienlaicīgi vienā un tajā pašā laikā.

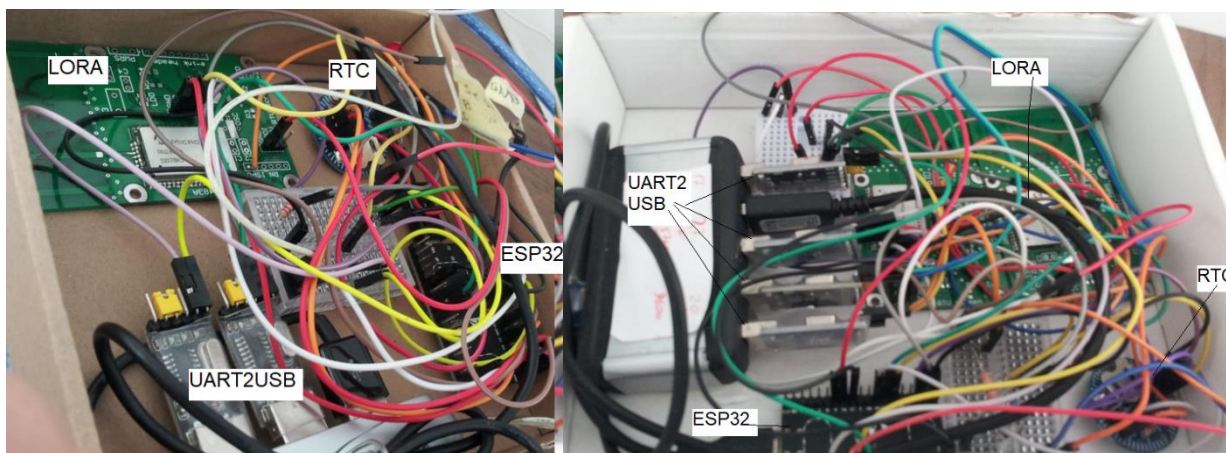
Pašreizēja programmatūras versija gadījumu skaitļu inicializators tiek iegūts kombinējot 1. un 3. pieejas. Vai tikai 3.pieeju, ja 1.nestrādā.

$$\text{Random_seed} = \text{ID} * (\text{hours} + 1) * (\text{minute} + 1) * (\text{second} + 1);$$
$$\text{Random_seed} = (\text{hours} + 1) * (\text{minute} + 1) * (\text{second} + 1);$$

Cipars kas ir iegūts ar 1. pieeju (ID) tiek pieprasīts vienu reizi vadības blokam un tad tiek saglabāts energoneatkarīgajā atmiņā.

1.5.3. Maketplates programmatūras izstrādei

Programmatūras izstrāde tika veikta paralēli ar plašu izstrādi, tāpēc sākumā idejas tika pārbaudītas uz paštaisītajiem prototipiem. 1.5.3.att ir parādīti prototipi, kas tiek pielietoti lai testētu LORAs programmatūru, laikā, kamēr pamatplate bija izstrādes stadijā. Prototipam ir tie paši moduļi kā gatavai platei LORA modulis, RTC – real time clock, ESP32 – mikrokontrolieris. Turklāt prototipiem tiek pielietoti arī UART2USB konvertori, lai sekotu UART komunikācijai starp LORA moduli un mikrokontrolieri, un arī simulētu saziņas interfeisu ar komunikācijas/vadības bloku.



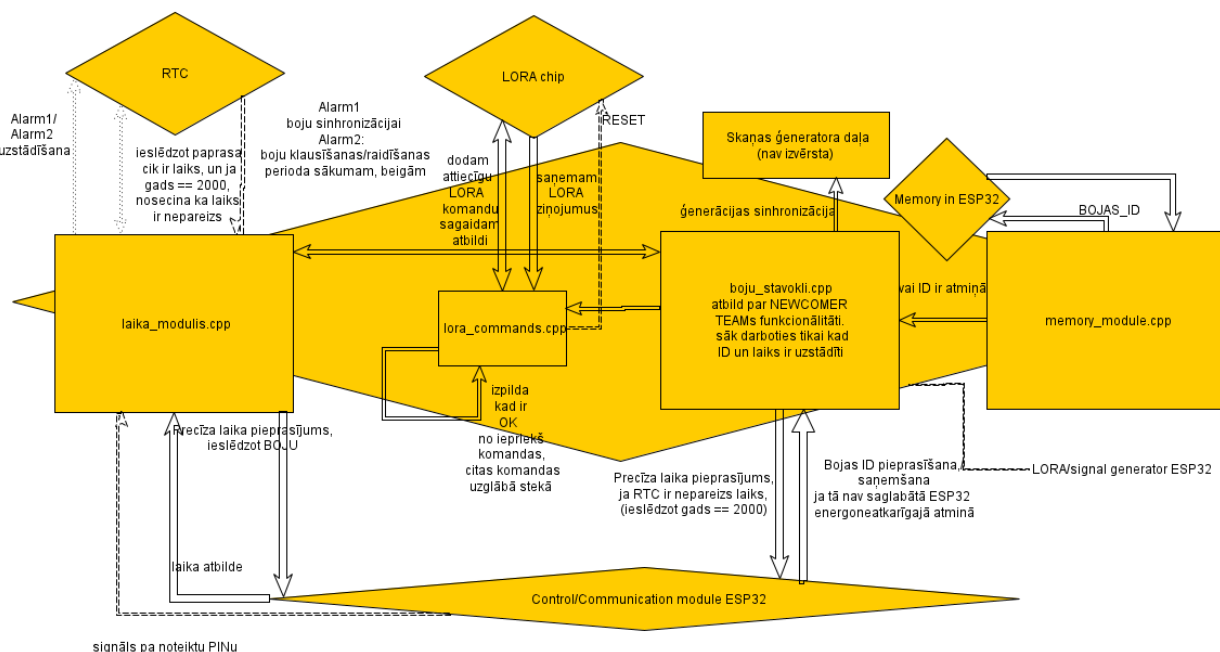
1.5.3.att. Prototipi, sinhronizācijas programmatūras izstrādei, pirms plates ir salodētas. Skats no ieskāpuses



1.5.4.att. Prototipi, sinhronizācijas programmatūras izstrādei. Skats ārpusē. LED parāda sinhronizācijas momentu. Ar vadiņiem var imitēt laika pienākšanu no vadības bloka, uzreiz divos prototipos, un tad secīgi no datora iesūtīt pareizu laiku, kas bija vadiņu saslēgšanas momentā.

1.5.4. Īss ieskats programmatūras moduļu funkcionālitate

Ar Loras sinhronizāciju saistīta programmatūra tika sadalīta vairākajos failos, kuros tā tika sadalīta pēc funkcionālitates principa (moduļos). Katram modulim ir viens source (*.cpp) viens header (*.h) fails. To visu moduļu galvenā funkcionālitate un savstarpēja sasaiste ir parādīta 1.5.5.attēlā.



1.5.5.att.Funkcionāla modulāra programmatūras attēlošana. (taisnstūri – programmatūras moduļi *.cpp un *.h faili, rombi – hardware daļas, taisnās bultiņas – starpmoduļu komunikācija (mainīgie), taisnās platas bultiņas UART interfeiss, pārtrauktās – savienotie pini, punktīra līnija – I2C interfeiss)

RTC čips tiek aprīkots ar diviem neatkarīgiem modinātājiem Alarm1, Alarm2. Nostrādājot modinātājam tiek sūtīts signāls pa vienu noteiktu pinu. Ar I2C interfeisu var noskaidrot kurš modinātājs nostrādāja sūtot

komandu **rtc.AlarmFired()**. Abi modinātāji tiek izmantoti: Alarm1 – lai paziņotu par sinhronizācijas laiku, Alarm2 – lai paziņotu par sūtīšanas/klausīšanas perioda sākumu un beigām.

Laika modulis (laika_modulis.cpp), atbild par komunikāciju ar RTC moduli, uzliec Alarm1, Alarm2, apstrādā RTC Alarm signālus.

Lora komandu modulis (lora_commands.cpp) – bija aprakstīts iepriekšējā atskaitē, atbild par to ka nav jāgaida LORA čipam adresētā komandas izpilde, saglābā visas komandas stekā, seko komandas izpildei, nepieciešamības gadījumā atkārto komandu, ja LORA čips uzkārs – restārtē čipu un atkārtoti veic inicializāciju radio noskaņošanai uz noteiktu frekvenci.

Boju stavokļu modulis (boju_stavokli.cpp)– dod komandas bojam klausīties, sūtīt ziņojumus, u.t.l., attiecīgi iepriekšējos punktos aprakstītai funkcionalitātei

Memory module - saglābā bojas ID, iekšējā atmiņā.

1.5.5. Secinājumi

3.versija nāca ar vairākiem vienkāršojumiem, salīdzinot ar 2.versiju. Darbībā versijai mazāk noslogo ēteru ar ziņojumiem. Versija ir pabeigta.

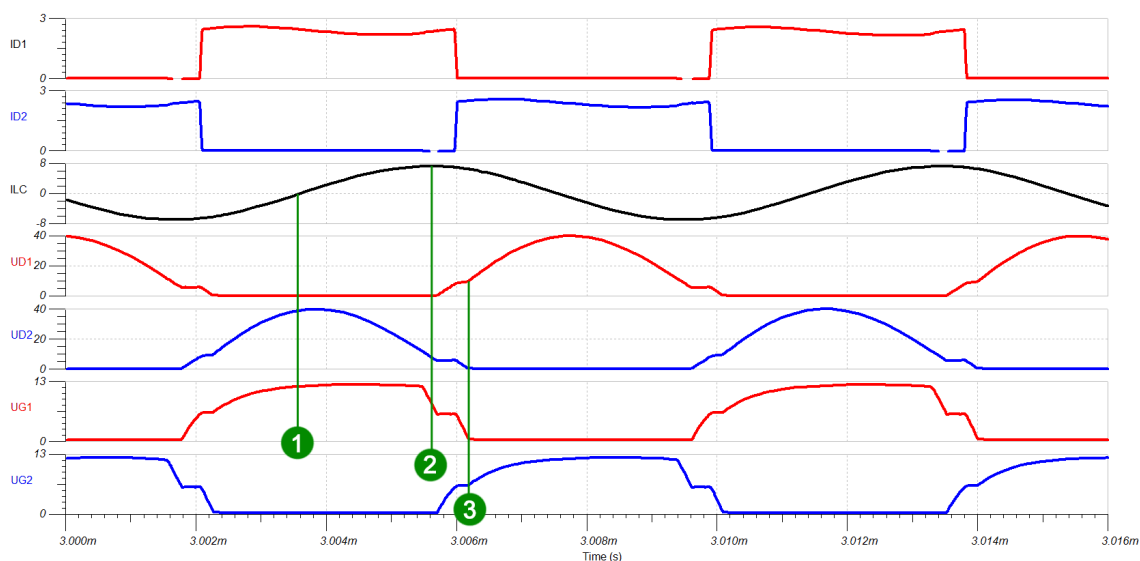
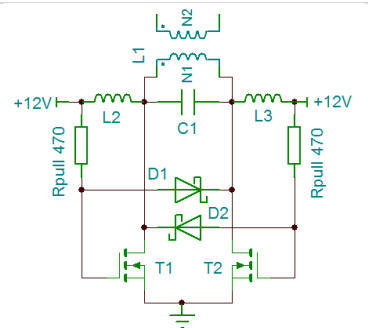
1.6. Bezvadu uzlādes moduļu uzlabojumi un lietderības koeficienta palielināšana

1.6.1. Iespējamo uzlabojumu modelēšana

Pirms aplūkot slēguma uzlabošanas iespējas, vēlreiz jāatgriežas pie sākotnējās shēmas.

Attēlā – raidītāja slēgums ar minimāli nepieciešamajiem elementiem. Un seko ar TINA simulāciju iegūtas strāvas un spriegumu līknes raidītājā, kas pietiekami precīzi atbilst reālā slēgumā novērotām. Sākot no augšas:

- pirmā un otrā tranzistora noteces strāva [A],
- strāva kontūrā [A],
- spriegums pirmā un otrā tranzistora notecē [V],
- pirmā un otrā tranzistora aizvara spriegums [V].



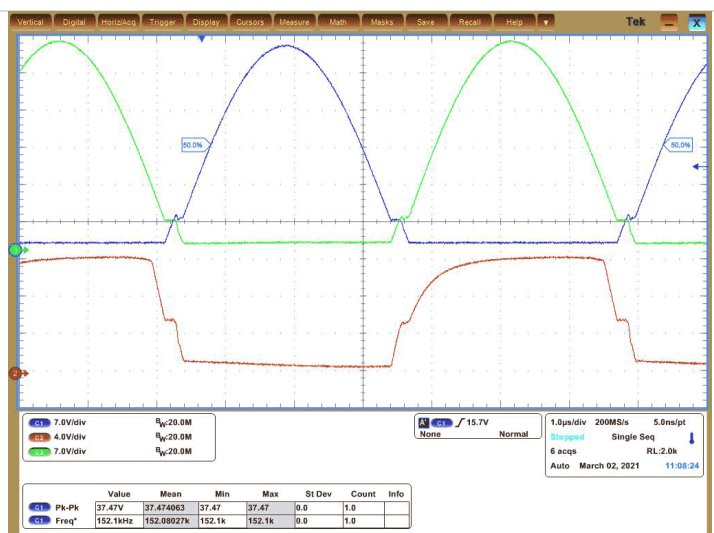
Svārstību kontūrā L1C1 strāva I_{LC} un spriegums uz tā (U_{D1} un U_{D2} starpība) ir fāzē nobīdīti par aptuveni 90° (precīzi 90° būtu pie nenoslogota kontūra).

Grafikos laika momentā “1” ir strāvas I_{LC} minimums un aptuveni sprieguma maksimums. Šajā laikā ir atvērts pirmais tranzistors T1, caur diodi D2 turot aizvērtu otro tranzistoru. Pēc $\frac{1}{4}$ perioda, laika momentā “2” ir strāvas maksimums un aptuveni sprieguma minimums. Šajā momentā spriegums U_{D2} samazinās tik tāl, ka aizveras pirmais tranzistors. Līdz ar to tiek atvērts otrais – turpinās svārstību otrais pusperiods.

Starp laika momentiem “2” un “3” ir redzams lauktranzistoru vadībai raksturīgais “Millera plato” gan aizvara, gan noteces spriegumu līknēs. Šajā laikā darbojas pretēji procesi: aizvara kapacitātes uzlādi (vai izlādi) bremzē

pretējā fāzē mainīgais noteces spriegums caur kapacitāti aizvars-notece. Vairumā lauktranzistoru slēgumu šis režīms ir nevēlams, jo tranzistors ir aktīvā režīmā (tajā izkliedējas ievērojama jauda) – to cenšas pēc iespējas saīsināt, samazinot aizvara vadības ķēdes pretestību vai lietojot speciālus draiveru (dziņu) mikroshēmas, kas spēj ātri pārlādēt aizvara kapacitāti.

Reālā shēmā vērojamās sprieguma formas labi atbilst simulācijai. Augšā – abu tranzistoru noteces spriegumi, apakšā – viena tranzistora aizvara spriegums.



Raidītāja puses lietderības koeficienta uzlabošanai redzami sekojoši pasākumi:

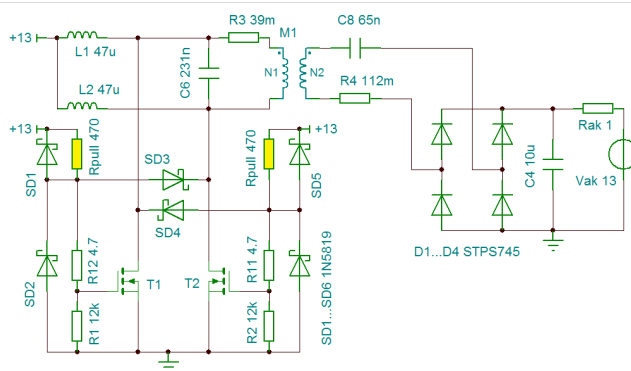
1. Dažādām jaudām paredzēti tranzistori atšķiras arī ar to vadībai nepieciešamo jaudu (resp. aizvara kapacitātes lādiņu). Ja mūsu gadījumā pārvadītā jauda ir 30W līmenī, lielākām jaudām paredzētu tranzistoru lietošana nozīmē tikai lieki tērētu enerģiju to vadībai.
Rezistoru R_{PULL} pretestības piemēklēšana konkrētajam tranzistoru tipam. No vienas puses – ik pusperiodu katra rezistora apakšējais gals caur attiecīgo diodi ir pieslēgts atvērta tranzistora notecei. Caur to plūst ievērojama strāva (piemērā aptuveni $\frac{12-1}{470} = 23mA$), ko varētu samazināt, palielinot R_{PULL} pretestību. No otras puses, lielāka R_{PULL} pretestība pagarinās “Millera plato” garumu. Te jāmeklē optimāla pretestības vērtība.
2. *Würth Elektronik* rakstā, no kura aizgūts slēgums, pieļauta nelielas kapacitātes kondensatoru pieslēgšana paralēli R_{PULL} rezistoriem.
3. Aizvaru vadībai jāizmēģina draiveru mikroshēmas.

Tabulā apkopoti būtiskākie dažu izvēlēto lauktranzistoru parametri:

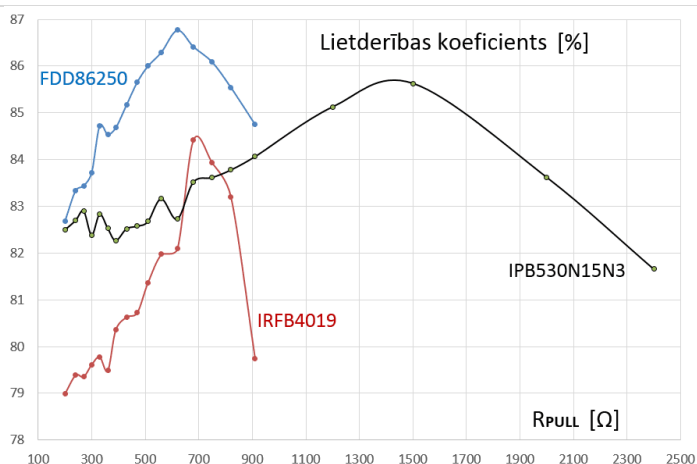
	FDD86250	IRFB4019PbF	IPB530N15N3
$U_{DS} \text{ max [V]}$	150	150	150
$I_D \text{ max [A]}$	50	17	21
$R_{DS(on)} \text{ max } [\Omega]$	0,020	0,080	0,053
$C_{in} \text{ [pF]}$	1900	800	667
Gate charge total Q [nC]	28	13	8,7

Pirmais tips (FDD86250) lietots Wurth 200W dizainā, otrais (IRFB4019) lietots mūsu sistēmā iepriekš, un trešais (IPB530) ir kandidāts nākotnei. Katrs nākošais tips atšķiras ar arvien mazāku aizvara summāro kapacitāti un arī pārslēgšanai nepieciešamo lādiņu. Tas ir pamats cerēt uz augstāku lietderības koeficientu raidītāja pusē.

Vispirms – ar programmatūru TINA iegūtie rezultāti.
Shēmas elementu nomināli atbilst reālā slēgumā lietotajiem.
Ar dzeltenu iezīmēti jau pieminētie R_{PULL} rezistori.
Labajā pusē sprieguma avots Vak un rezistors Rak aizvieto uzlādējamo akumulatoru.



Simulācijā primārā un sekundārā akumulatoru spriegums pieņemts 13V (atbilst tuvu pilnai uzlādei). Sekundārā akumulatora uzlādes strāva – 2...3A.



Rezultāti uzrāda skaidras tendences:

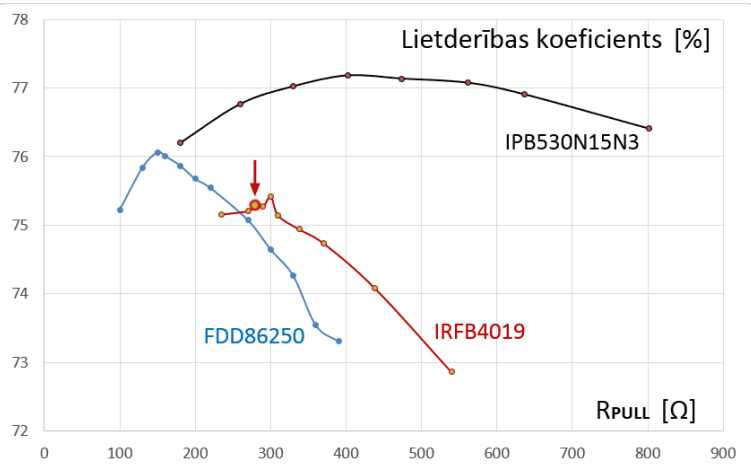
- Katram tranzistoru tipam ir optimāla R_{PULL} pretestības vērtība;
- Tranzistoram ar mazāku pārslēgšanai nepieciešamo aizvara lādiņu optimālā pretestība ir lielāka.

Seko praktisku mērījumu dati iepriekšējās paaudzes raidītāja shēmā.

Arī šeit sekundārā akumulatora uzlādes strāva ir 2,0...2,5A līmenī.

Primārā akumulatora spriegums 12,8...12,9V, sekundārā – 13,4...13,5V.

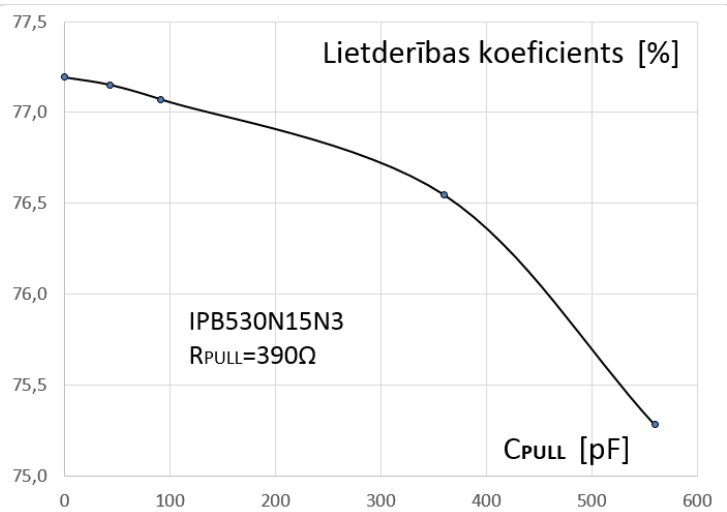
Sarkanā bulta norāda uz punktu – šāds ap 75,3% lietderības koeficients novērojams esošajā sistēmā.



Salīdzinot ar simulācijas datiem, šeit lietderības koeficients ir par 8...10% zemāks, kas apliecina ierobežotās simulācijas spējas atainot reālu shēmu ar visiem tās parazitiskajiem efektiem. Tomēr iepriekš minētās tendences saglabājas. Un pāreja no IRFB4019 uz IPB530N15 tranzistoriem (palielinot R_{PULL} no 270Ω uz 390Ω) uzlabo lietderības koeficientu no 75,3% uz 77,2%.

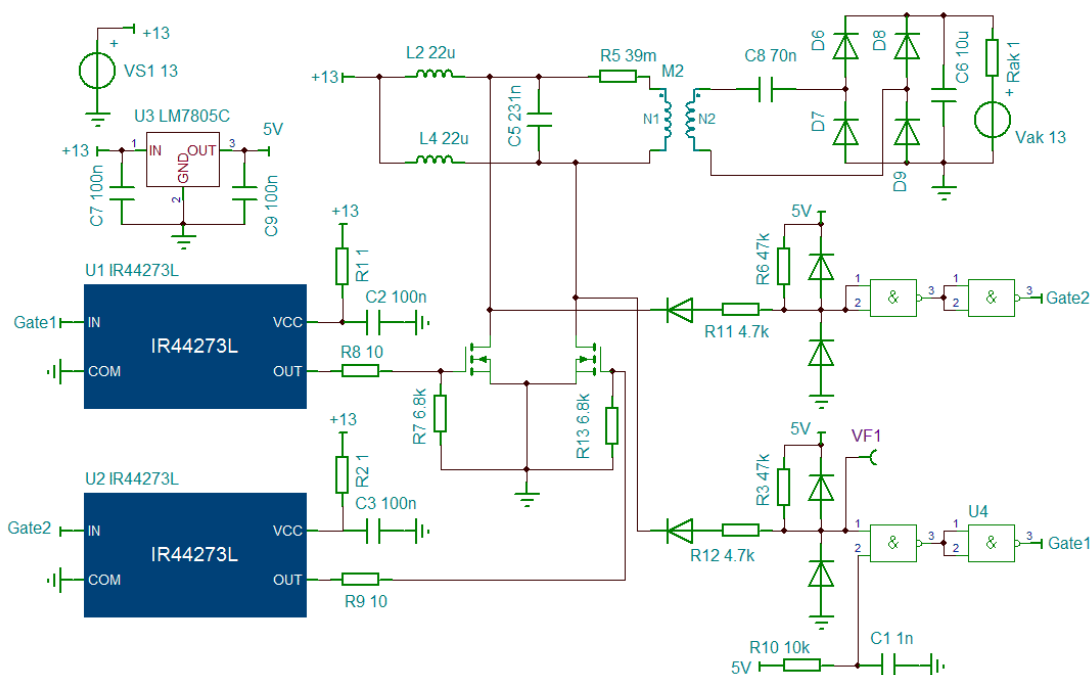
Pārbaudot reālā slēgumā kondensatoru pieslēgšanas paralēli R_{PULL} rezistoriem efektu, diemžēl jāsecina – konkrētajiem tranzistoriem tas nedod vēlamo efektu.

Vēl jo vairāk – ar 820pF kapacitātēm raidītājs bija normāli ieslēdzams, taču pēc vadības sprieguma noņemšanas tas palika dīvainā svārstību režīmā, patērējot ap 1A strāvu.



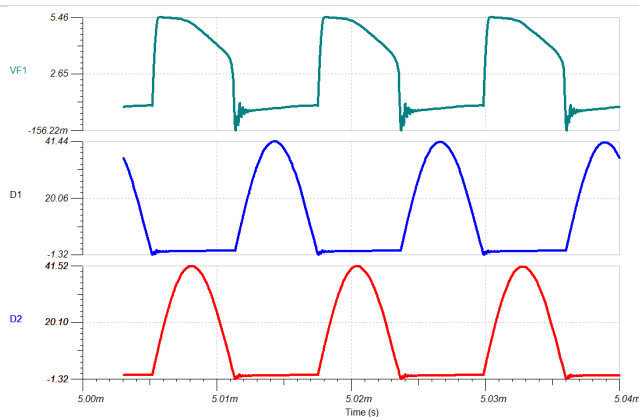
Sekojošā slēgumā pārbaudīta tranzistoru vadība no speciālām draiveru mikroshēmām:

- Ja iepriekš diodes no tranzistoru iztecēm tieši vadīja otra tranzistora aizvaru, šeit tās pieslēgtas loģisku elementu (Šmita triggeri) ieejām, kas sagatavo loģisku līmeņu signālu minēto draiveru vadībai.
- Ķēde R10C1 nodrošina shēmas asimetriju pēc barošanas pieslēgšanas. Bez tās svārstības nevar uzsākties.



TINA simulācijā sekundārais akumulators tiek uzlādēts ar 1,5A un kopējais lietderības koeficients ir 84%. Spriegumu formas ir tuvu ideālām.

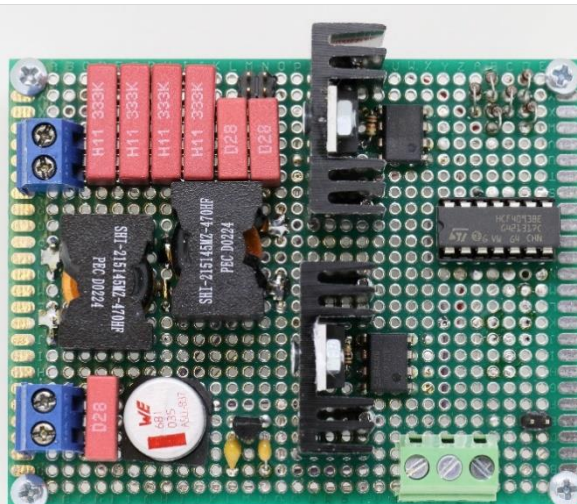
Grafikā VF1 ir spriegums loģiskā elementa ieejā. Tā izejā – tīrs meandrs.



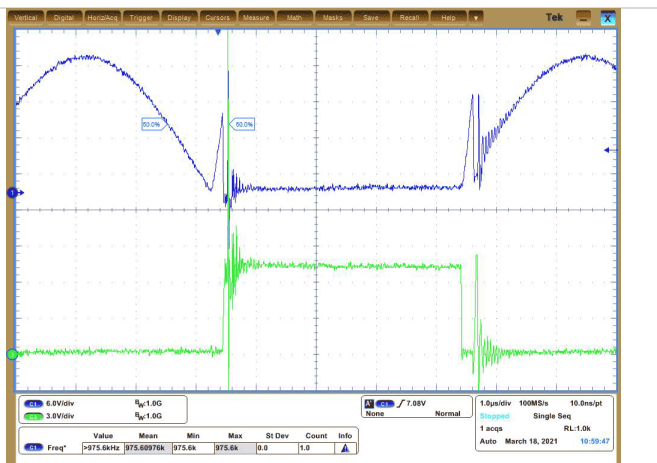
Šis slēgums tika pārbaudīts maketā ar:

draiveri – UCC37321P;

loģiskie elementi – SN74HC132 (ar 5V barošanu, ātrdarbīga mikroschēma) un otrā variantā – ar HCF4093BE (barota no 13V, ievērojami lēnāka).



Diemžēl reālā shēmā shēmā izpaudās simulācijā neparedzami efekti. Nākošā oscillogramma rāda dramatiskus izsvārstīšanās procesus tranzistoru pārslēgšanās laikā, lai arī kā loģiskie elementi tika izmantoti Šmita trigeri (ar t.s. histerēzes cilpu, kam vajadzēja novērst vai vismaz samazināt šādu efektu).



Abos variantos shēma bija darbināma tikai pie zema barošanas sprieguma, līdz 8...9V. Pie lielāka izsvārstījumu amplitūda kļuva tik liela, ka tika caursists viena no tranzistoriem aizvars. Bez tam shēma izrādījās jaudīgs elektromagnētisko traucējumu avots – tika traucēts gan telpā esošais FM radiouztvērējs (ap 90MHz), gan televizors ar istabas antenu (ap 700MHz). Līdz ar to jāpaliek pie iepriekšējā raidītāja dizaina, tālāki uzlabojumi veicami uztvērēja pusē.

Jāpiebilst, ka bezvadu jaudas pārvades kopējais lietderības koeficients mūsu gadījumā ir raidošās un uztverošās daļu attiecīgo koeficientu reizinājums.

Ja līdz šim ir iegūta 77% kopējā efektivitāte, to var dot gan 88% katrā no daļām atsevišķi, gan jebkura cita kombinācija, koeficientu vērtībām esot intervālā 77...99%.

Uztverošajā daļā lielākie zudumi paredzami taisngrieža diodēs. Līdz šim taisngriezī izmantotas STPS745FP tipa Šotki diodes. Šīs diodes ir ērtā, elektriski izolētā TO220 korpusā, kas ļauj uzstādīt uz radiatora bez papildus izolācijas. Modelēšanai ar TINA diodes modelis iegūts no https://www.st.com/content/st_com/en/products/diodes-and-rectifiers/schottky-barrier-diodes/power-schottky/power-schottky-medium-vf-and-ir/stps745.html#cad-resources.

Tālāk jānoskaidro – vai ir vērts aizvietot šīs diodes ar lauktranzistoriem un t.s. “ideālas diodes” kontroleriem, kas potenciāli nodrošinātu mazāku sprieguma kritumu tiešā virzienā.

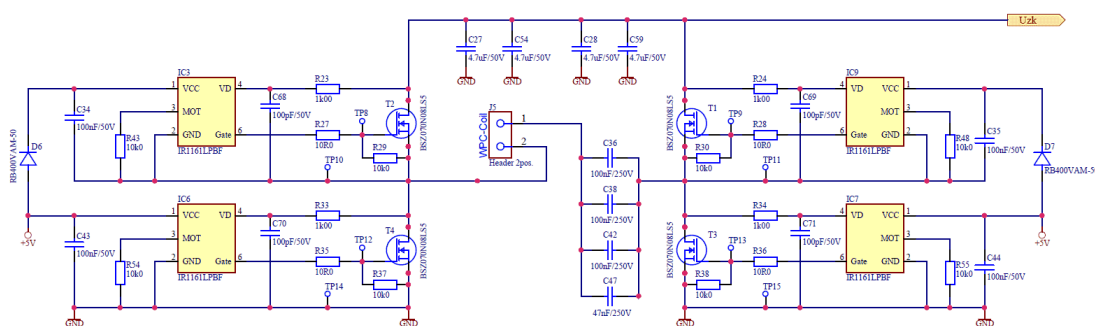
Tipiskā situācijā sekundārais (bojas) akumulators tiek uzlādēts ar 2,0 ... 2,2A strāvu. Pie šādas strāvas sprieguma kritums uz vienas diodes ir ap 0,46V. Pilnā tiltā tiek izkliedēta $2 \cdot 0,46 \cdot 2 = 1,84W$ jauda. Iepriekš noskaidrotajā labākajā gadījumā (77,18%, IPB530N15 tranzistori, $R_{PULL} = 390\Omega$) sekundārajā akumulatorā uzlāde notiek ar 29,68W jaudu, raidītājam patērējot 38,46W jaudu. Ja no pēdējās atņemam 1,84W, kopējam lietderības koeficientam jāsasniedz 81%. Reāli, taisngriezī izmantojot lauktranzistorus un “ideālas diodes” kontrolerus, ieguvums nebūs tik liels, taču 79...80% ir sasniedzami.

Salīdzinot ar iepriekšējā versijā sasniegto 75% kopējo lietderības koeficientu, 80% sasniegšana nozīmēs $\frac{80}{75} = 1,07$ reizes garāku sistēmas darbības laiku. Piem. 48 stundu darbība laiks pieaugs par 3 stundām.

Tehniskais termins minētajiem kontroleriem ir *Synchronous Rectification ICs*, un tie atrodami vairāku prestižu ražotāju sortimentā. Diemžēl vairums to paredzēti pustilta konfigurācijai darbam ar sadalītu sekundāro tinumu. Šeit pieminēti tikai tie, kas derīgi pilna tilta konfigurācijai pie viena sekundārā tinuma:

- Texas Instruments UCC24610/24612
- Infineon IR1161L

Texas Instruments mikroshēmai vēl vajadzīgi vairāk nekā 10 papildus elementu, turklāt vēl atsevišķa mikroshēmas barošana. Toties Infineon produktam – tikai 6 papildus elementi. Bez tam mums ir darbojošamies piemērs (no *Wurth Elektronik*) ar šās mikroshēmas pielietojumu akurāt vajadzīgā veidā:

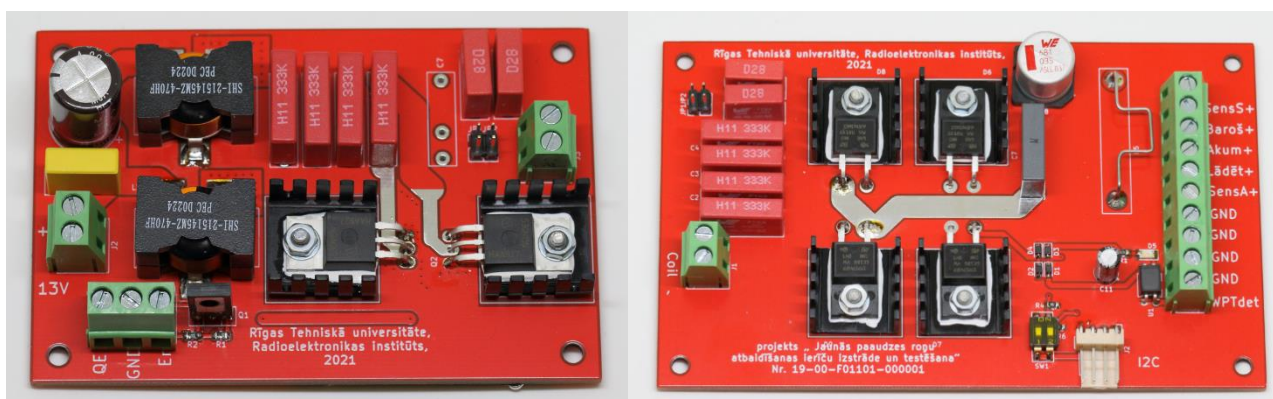


Secinājumi:

1. Piemērotāku raidītāja tranzistoru un to vadības ķēžu izvēle ļāvusi paaugstināt bezvadu jaudas pārvades lietderības koeficientu no 75% uz 77%.
2. Tālāks efektivitātes uzlabojums līdz 79...80% sasniedzams, nomainot Šotki diodes uztvērēja taisngriezi ar lauktranzistoriem un attiecīgām to vadības mikroshēmām.
3. Jārēķinās, ka katrs nākošais lietderības koeficienta pieaugums par 1% izmaksā arvien dārgāk. Piem. Šotki diožu aizvietošanas vismaz piekāršo taisngrieža izmaksas, kā arī ievērojami sarežģī spiesto plati.
4. Vēl tālāku efektivitātes uzlabojumu nevar panākt, nemainot bojas un akumulatoru bloka konstrukciju – lai uzlabotu raidītāja un uztvērēja spoļu savstarpējo saiti. Tomēr līdz ar to jāpārskatās ar sarežģītāku abu korpusu konstrukciju un/vai akumulatoru bloka nomainīšanas procedūru.

1.6.2. Iespējamo uzlabojumu eksperimentālā pārbaude

Iepriekšējās paaudzes ierīcēs praksē tika sasniegts bezvadu jaudas pārvades lietderības koeficients 74...75% līmenī. Tālāks uzlabojums sasniedzams, piemēklējot optimālas kontūru kapacitāšu vērtības, kā arī spoļu vijumu skaitu. Izstrādājot spiestās plates jaunajai paaudzei, jau tika paredzētas vairākas vietas kontūru kondensatoriem ar iespēju ielodēt gan 10nF, gan 33nF kondensatorus.



Pirmā mērījumu sērija veikta ar iepriekšējās paaudzes spolēm:

- Raidītāja pusē: 5 vijumi, 4mm² vads, spoles iekšējais diametrs 180mm
- Uztvērēja pusē: 7 vijumi, 2,5mm² vads, spoles iekšējais diametrs 215mm

Barošanas avots raidītāja pusē: barošanas bloks TTI EX4210R (regulējams līdz 42V 10A), kurā uzstādīts 13,4V spriegums. Kā slodze izmantots:

- akumulatoru ZG-LFP020AH (4 gab) baterija, analogiska bojā esošai, vidējā izlādes stāvoklī (ar spriegumu 13,2...13,3V),
- vai elektroniskā slodze TTI LD300 (regulējama līdz 80V, 80A).

Papildus tika izmantoti:

- strāvu mērīšanai – multimetri GwInstek GDM-396
- frekvences un spriegumu mērīšanai – osciloskops Tektronix MSO5204B.

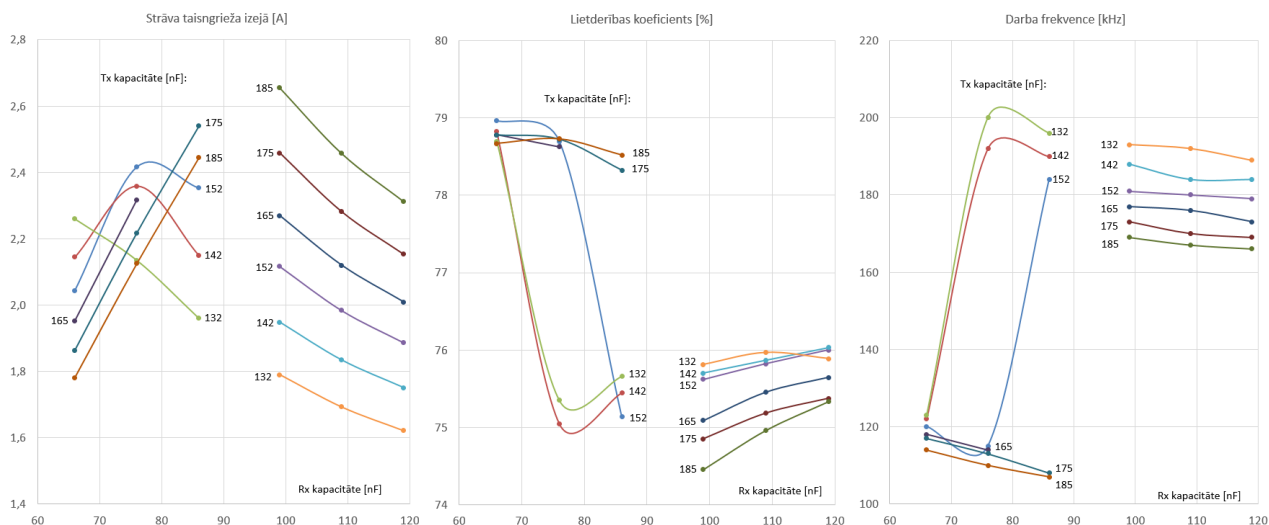
Mērījumu laikā kapacitātes tika mainītas:

- raidītāja pusē - 132 / 142 / 152 / 165 / 175 / 185 nF,
- uztvērēja pusē – 66 / 76 / 86 / 99 / 109 / 119 nF.

Labās puses grafikā (darba frekvence) redzama teorijas paredzētā situācija – saistīta kontūra pievienošana ģeneratora kontūram var ģenerācijas frekvenci gan palielināt, gan samazināt (bez uztvērēja kontūra ģenerācijas frekvence ir 140...150kHz). Darbojoties uz augšu nobīdītā frekvencē lietderības koeficients ir pirmajai paaudzei raksturīgs – 74...76% līmenī. Vienkāršākais izskaidrojums – teju dubultā frekvencē tranzistoru komutācijas zudumi izpaužas 2 reizes vairāk.

Optimāla kapacitāšu kombināciju šeit nosaka:

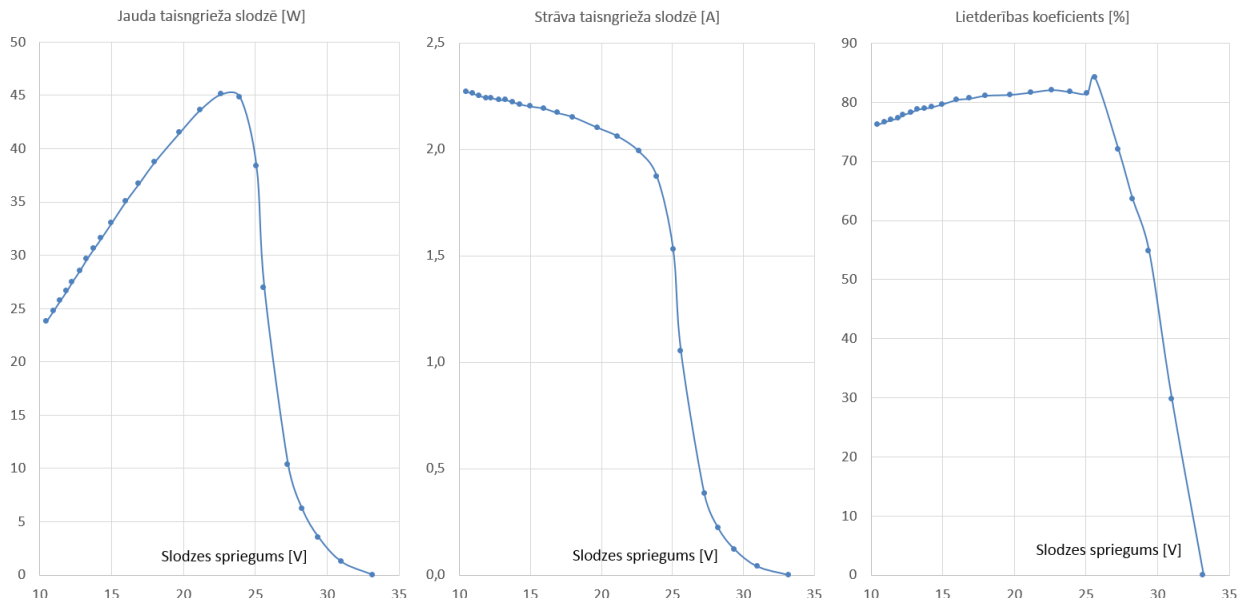
- darbs uz leju nobīdītā frekvencē (100-120kHz) ar lietderības koeficientu virs 78%;
- gan raidītājā, gan uztvērējā ar īsslēgu ir pieslēgts viens no papildus 10nF kondensatoriem – lai beigās kapacitāti varētu gan palielināt, gan samazināt par 10nF;
- strāva taisngrieža izejā ir 2,2 ... 2,4A līmenī, lai pat ar pieļaujamo spoļu nobīdi strāva būtu vismaz 2A. Bet lielāka nozīmē lietderības koeficienta samazināšanos (zudumi diodēs, utt).



Un optimāla kapacitāšu kombinācija būs:

- raidītājā: $5 \times 33\text{nF} + 1 \times 10\text{nF} = 175\text{nF}$
- uztvērējā: $2 \times 33\text{nF} + 1 \times 10\text{nF} = 76\text{nF}$

Sekojošie grafiki uzrāda jaudas pārvades parametrus pie mainīga slodzes sprieguma un minētās kapacitāšu kombinācijas:

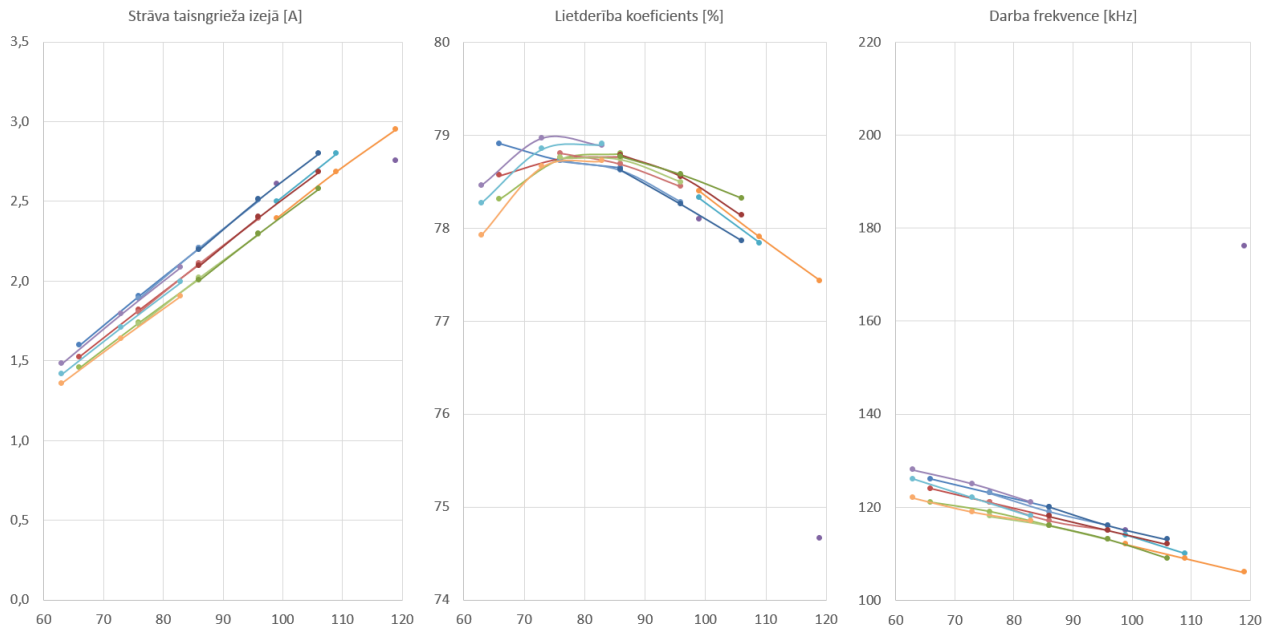


Te jāuzsver, ka normāli slodzes (resp. pieslēgta bojas akumulatora) spriegums ir robežās 12...14V. Kā redzams:

1. Šādā konfigurācijā maksimālā nodotā jauda (45W) būtu pie 23V slodzē. Derētu šo jaudas maksimumu pietuvināt akumulatora spriegumam.
2. Teorētiski iespējams gadījums, kad bezvadu uzlāde netiek laikus apturēta – tad agri vai vēl akumulatora kontroles (BMS) shēma atslēgs akumulatoru, lai nepieļautu tā bojājumu. Bet tad uztvērēja taisngriežim zūd slodze. Kā redzams grafikos, tā izejā būs 33...35V spriegums, kas var būt bīstams patērētājiem (filtru kondensatoriem, impulsu un lineāriem pārveidotājiem).

Abi apsvērumi mudina samazināt uztverošās spoles vijumu skaitu. Tālāk redzami rezultāti pie 6 vijumiem uztvērēja spolē. Mērījumu laikā kapacitātes tika mainītas:

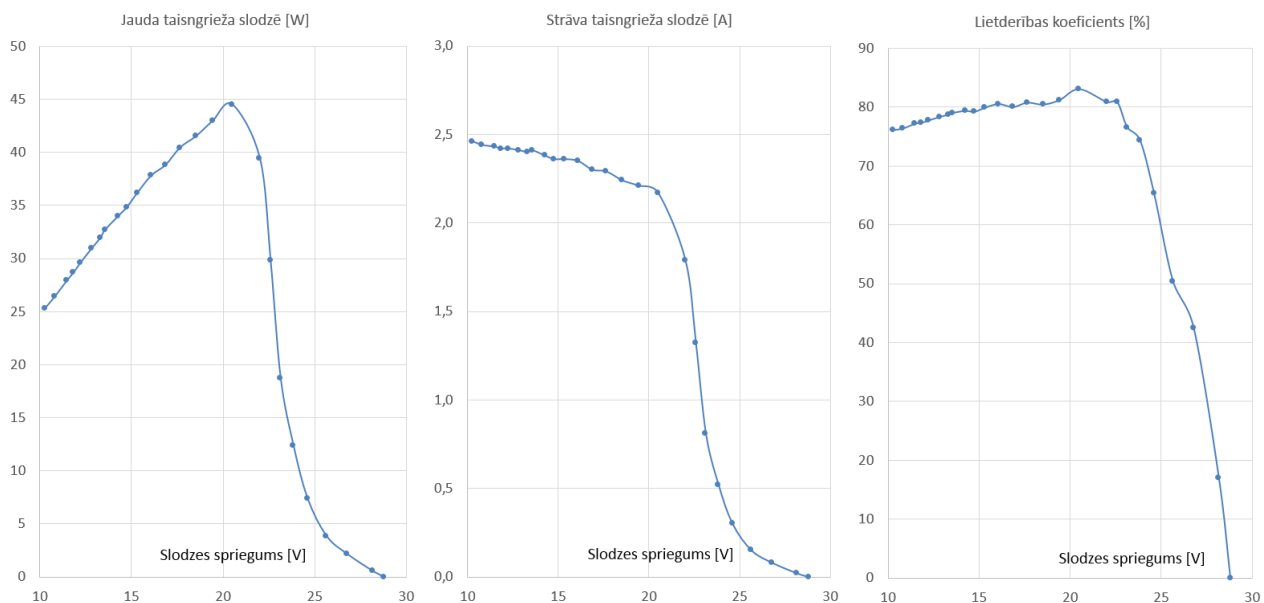
- raidītāja pusē - 165 / 175 / 185 nF,
- uztvērēja pusē – 63 / 66 / 73 / 76 / 77 / 83 / 86 / 96 / 99 / 106 / 109 / 119 nF.



Šeit vērojams darbs tikai lejup nobīdītā frekvencē (izņemot 2-3 kombinācijas). Un optimāla kapacitāšu kombinācija būs:

- raidītājā: $5 \times 33 \text{ nF} + 1 \times 10 \text{ nF} = 175 \text{ nF}$
- uztvērējā: $2 \times 33 \text{ nF} + 3 \times 10 \text{ nF} = 96 \text{ nF}$

Seko grafiki ar jaudas pārvades parametriem pie mainīga slodzes sprieguma un minētās kapacitāšu kombinācijas:

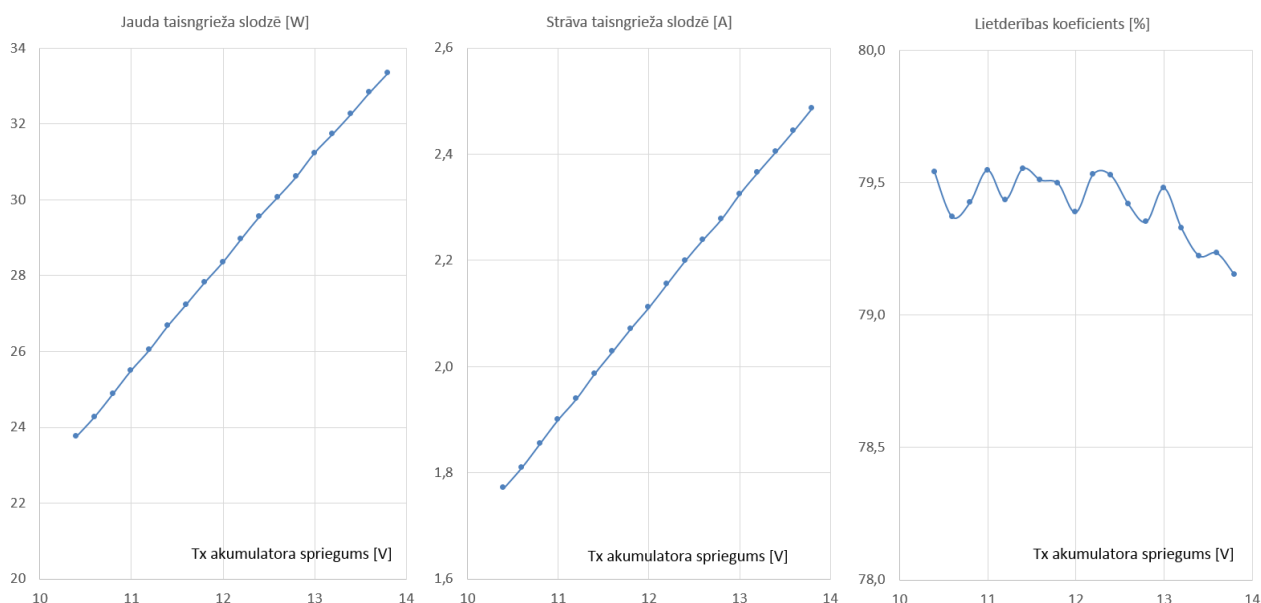


Redzams:

- jaudas maksimums nobīdījies no 24V uz 20V, paliekot tajā pašā 45W līmenī;
- tukšgaitas spriegums izejā samazinājies līdz 28...29V.

Te ir vietā jautājums – vai vēl vairāk nesamazināt uztverošās spoles vijumu skaitu (resp. līdz 5 vijumiem)? Iepriekš visi mērījumi ir veikti pie raidītāja akumulatora sprieguma 13,4V, kas atbilst šāda tipa akumulatoru izlādes līknes plato posma sākumam. Taču sagaidām, ka bojas uzlāde ar strāvu virs 2V notiks arī tad, kad raidītāja akumulatora lādiņš tuvojas izsīkumam, un tā spriegums nokrīt līdz 11,5...12,0V (izlāde zem 11,0 nav pieļaujama, par to gādā akumulatora aizsardzības plate).

Sekojošie grafiki rāda bojas akumulatora uzlādes strāvu pie mainīga raidītāja akumulatora sprieguma (bojas akumulatora spriegums – 13,39...13,44V):



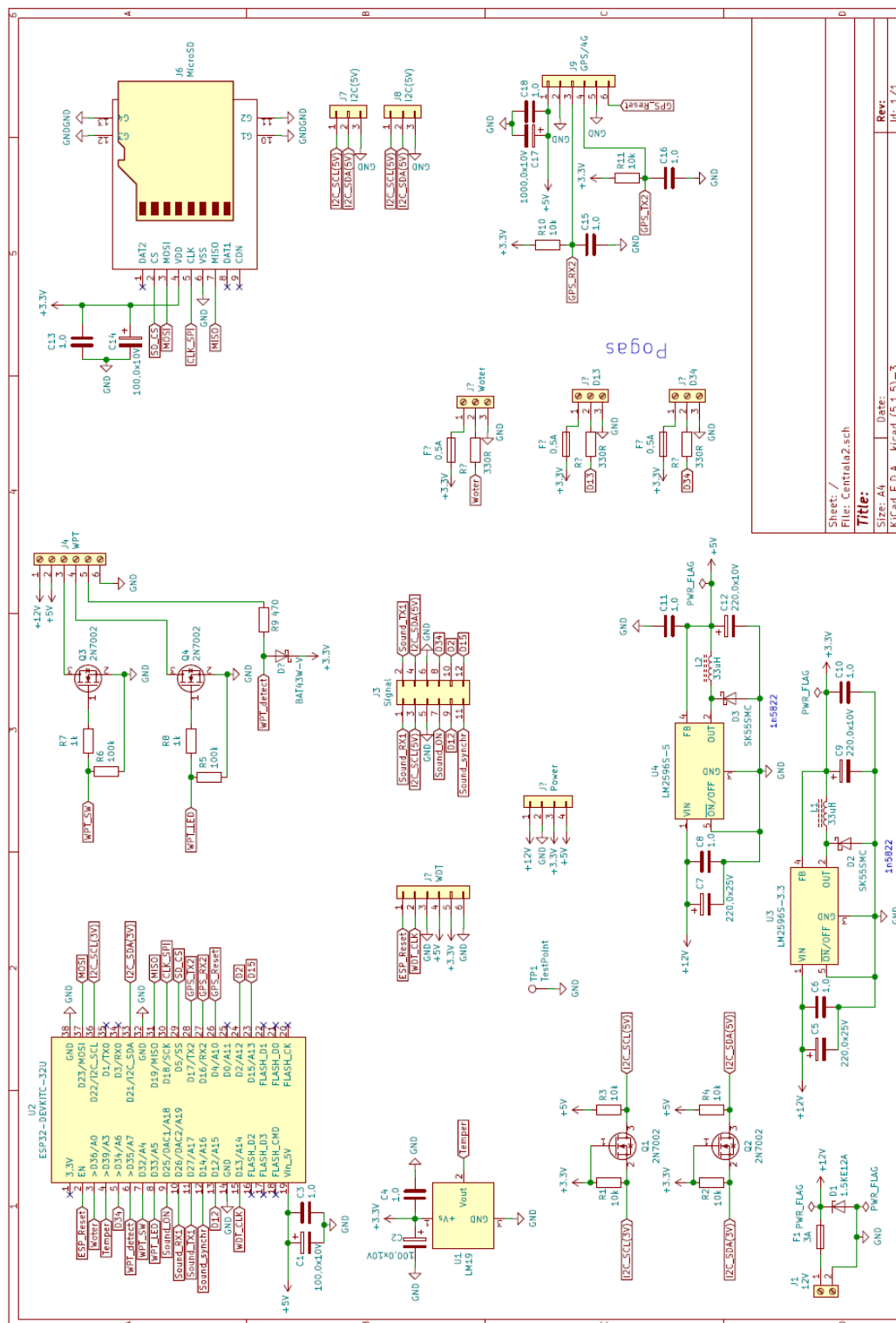
Kā redzams, vismaz 2A uzlādes strāva iespējama, ja raidītāja akumulatora spriegums ir virs 11,5V – tātad visā tā izlādes laikā. Samazinot vijumu skaitu līdz 5, attiecīgi samazināsies spolē inducētais spriegums. Un līdz ar to – arī uzlādes strāva raidītāja akumulatora izlādes beigu daļā. Līdz ar to būtu jāsamierinās ar retāku skaņas signālu ģenerēšanu (lai uzturētu bojas akumulatora jaudas balansu) vai arī īsāku boja darba laiku no vienas raidītāja akumulatora uzlādes.

Tātad paliekam pie 6 vijumiem uztvērēja spolē.

July 1, 2021

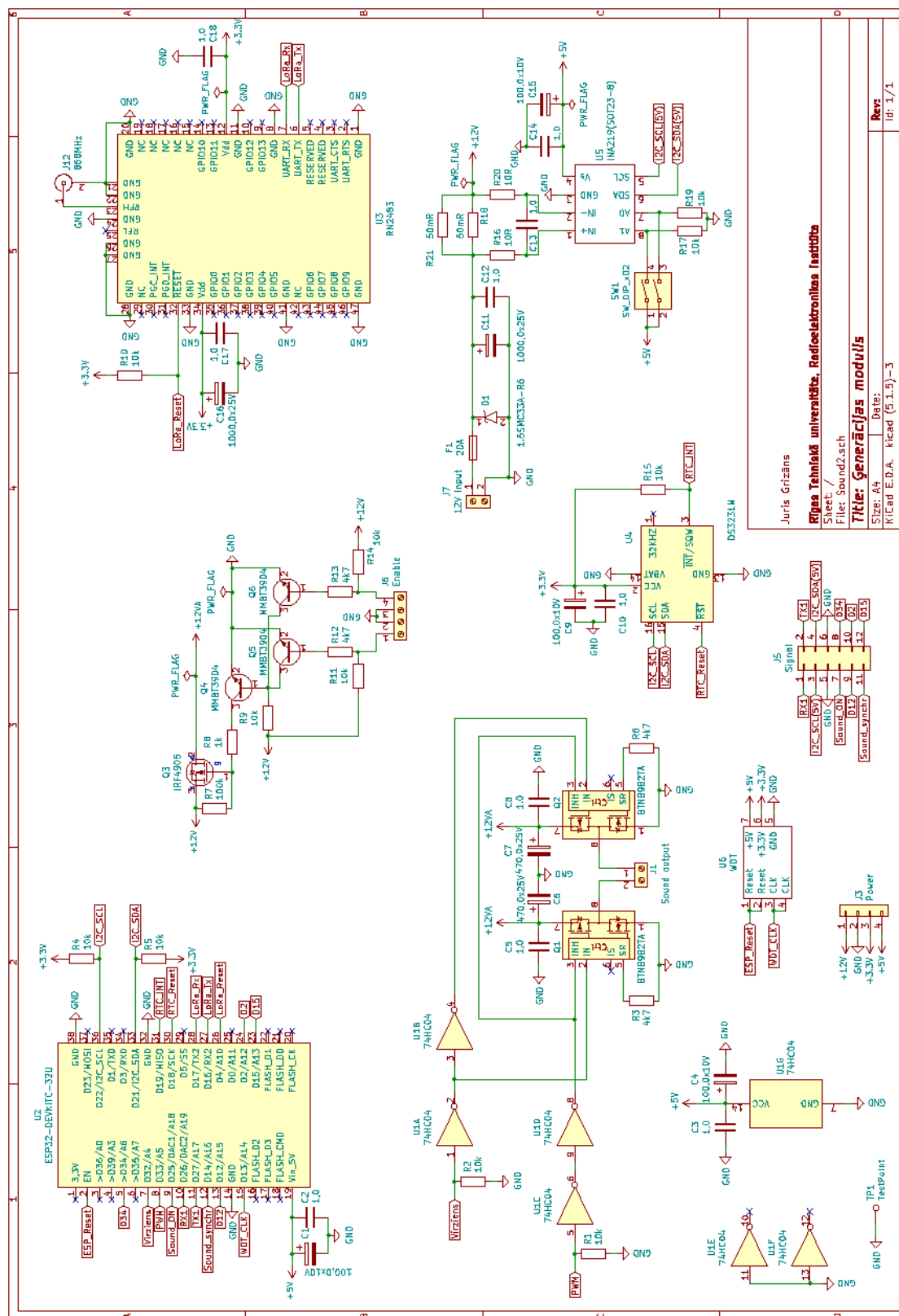
Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001

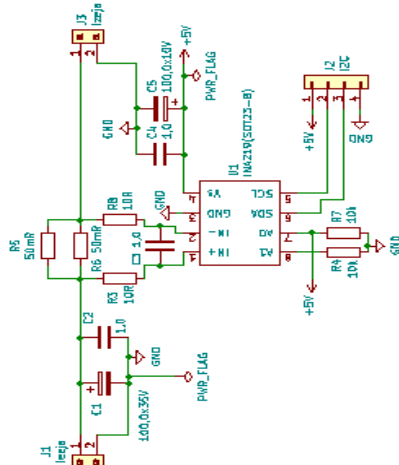
Pielikums 1. Plātes principiālas shēmas



July 1, 2021

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001

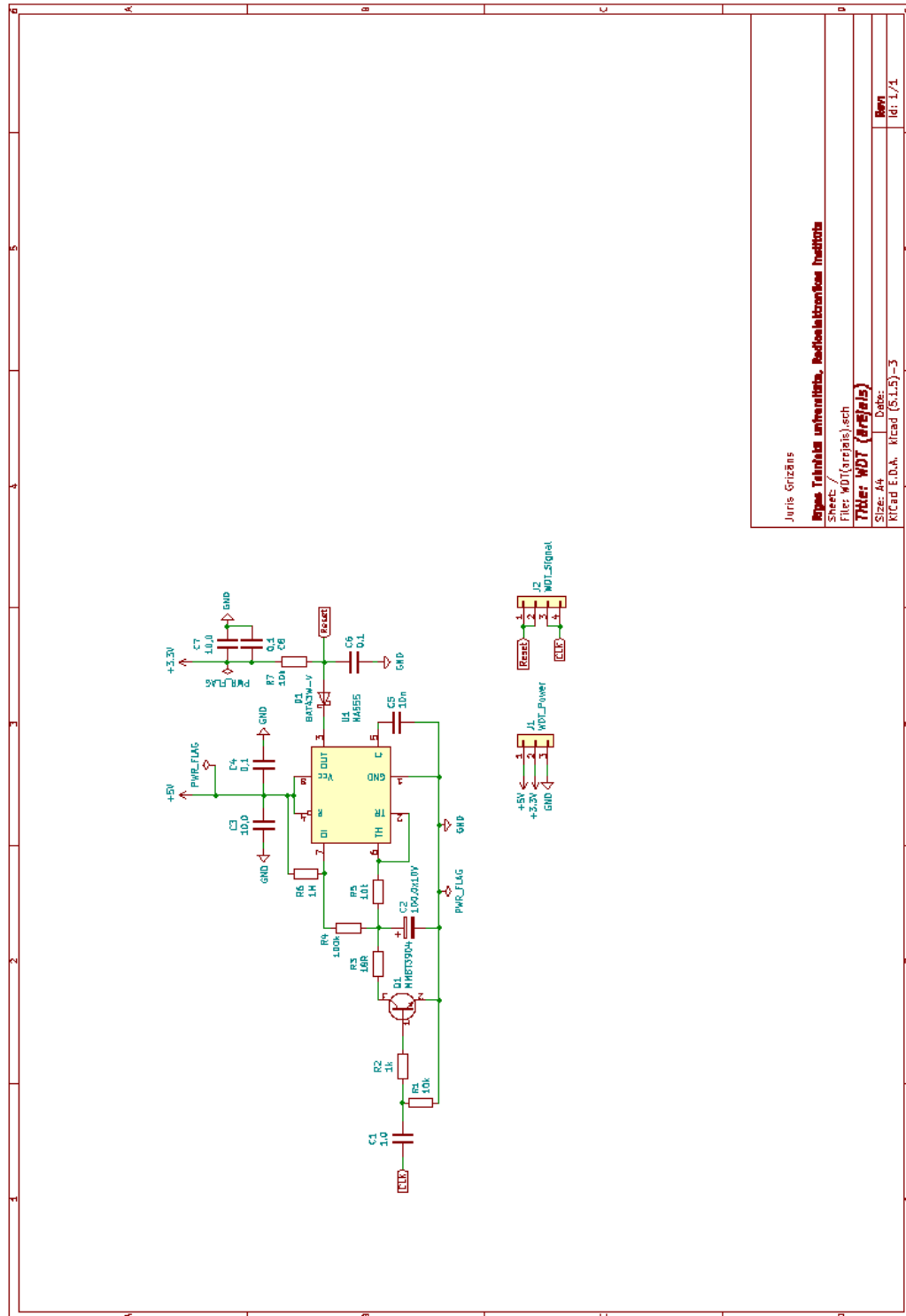




SIZE: HT	USE:	REF:
KICad E.O.A. kicad (5.1.5)-3		Id: 1/1

July 1, 2021

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



Juris Grizāns

Rīgas Tehniskā universitāte, Radioelektronikas institūts

Sheet: /

File: WDT(arejins).sch

Title: WDT (arejins)

Size: 14

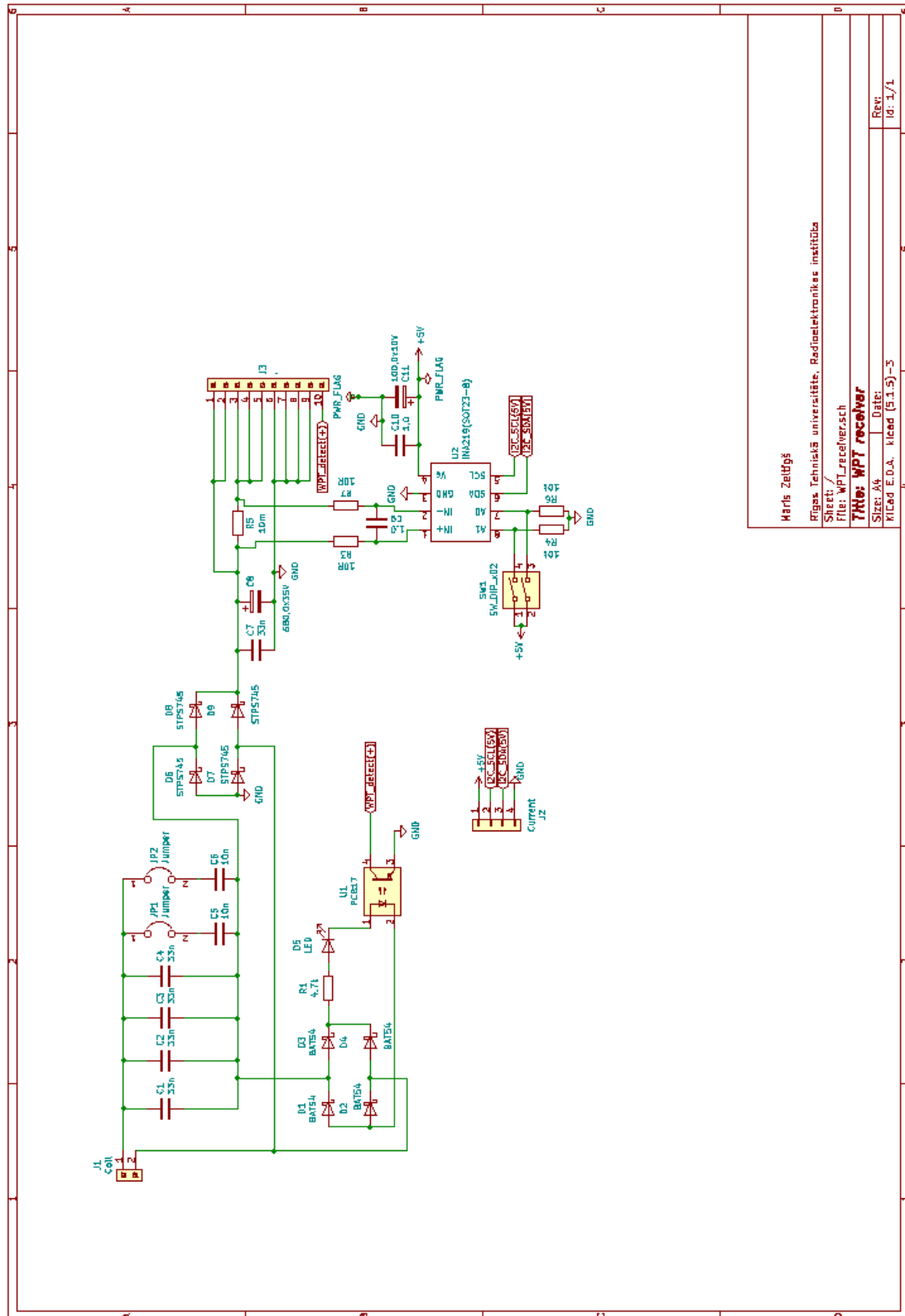
Unit: 1/1

Rev: 1

Rev: 1/1

July 1, 2021

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



Maris Zelds

Rīgas Tehniskā universitāte, Radioelektronikas institūts

SNR /

File: WPT_receiver.sch

Title: WPT receiver

Size: A4

Date:

KICad E.O.A. kicad (5.1.5) - 5

Rev:

Id: 1/1



July 1, 2021

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001

Pielikums 2. Arēja akumulatora bloka jaunā vāka rasējums

