

Atte Paananen

POROJEN SEURANTALAITTEEN PIIRILEVYN UDELLEENSUUNNITTELU

POROJEN SEURANTALAITTEEN PIIRILEVYN UUELLEENSUUNNITTELU

Atte Paananen
Opinnäytetyö
Syksy 2022
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma, laite- ja tuotesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Atte Paananen

Opinnäytetyön nimi: Porojen seurantalaitteen piirilevyn uudelleensuunnittelu

Työn ohjaajat: Kari Jyrkkä ja Timo Vainio

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2022

Sivumäärä: 24

Opinnäytetyön tilaaja Anicare Oy halusi päivittää porojen seurantaan tarkoitetun Rudolf-laitteensa piirilevyn uuden järjestelmäpiiriversion myötä. Työn tavoitteena oli suunnitella piirilevy vastaamaan uuden version vaatimuksia sekä samalla katselmoida levyn muutkin komponentit ja mahdollisesti muuttaa suunnitelmaa. Lopuksi testattiin levyn toimivuus sekä verrattiin suorituskykyä aiempaan versioon. Piirilevyn valmistuksesta vastasi Anicare Oy:n alihankkija.

Suunnittelussa käytettiin apuna aiempaa versiota, koska uuden piirilevyn tuli olla samankokoinen vanhemman version kanssa, jotta välttyttiin kotelon uudelleensuunnittelulta. Lisäksi vanhemman levyn antennilinjojen komponentit pidettiin ennallaan ja näin välttyttiin antennien viritykseltä.

Lopputuloksena oli toimiva piirilevy pienemmällä virrankulutuksella sekä paremmalla radion suorituskyvyllä kuin aiempi versio.

Asiasanat: IoT, piirilevysuunnittelu, poronhoito

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Information Technology, Option of Device and Product Design

Author: Atte Paananen
Title of thesis: Redesign of the circuit board of a reindeer tracker
Supervisors: Kari Jyrkkä and Timo Vainio
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2022
Number of pages: 24

The purpose of this thesis was to redesign and test a circuit board for an existing reindeer tracking device. The main goal was to redesign it for the new version of the system-in-package. Secondary goal was to inspect the rest of the components and optimize if needed. This thesis was commissioned by Anicare Oy.

The circuit board was designed using Altium Designer EDA and the board was manufactured and assembled by a subcontractor of Anicare. After design and manufacturing the boards were tested and their power consumption and performance were measured.

The redesign was a success, and the new boards were fully functional after adding one missing resistor. The new design consumes 69% less energy while having better RF-reception and thus being more reliable compared to the original design.

Keywords: IoT, hardware design, circuit board, reindeer husbandry

ALKULAUSE

Haluan kiittää Anicare Oy:tä mahdollisuudesta suorittaa opinnäytetyö. Lisäksi kiitos Oulun ammattikorkeakoululle opinnäytetyön ohjaamisesta.

Oulussa 4.10.2022

Atte Paananen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	KATSELMOINTI	9
2.1	Järjestelmäpiiri	9
2.2	Kiihtyvyyssanturi	9
2.3	Virranhallinta	10
2.3.1	Boost-konvertteri	10
2.3.2	Jänniteregulaattori	11
2.4	SIM-kortti	11
2.5	Laitteen käynnistyskytkentä	12
2.6	RF-vahvistin	13
3	PIIRILEVYN SUUNNITTELU	14
3.1	Kirjastojen luonti	14
3.2	Suunnittelun asetusten määrittely	14
3.3	Simulointi	15
3.4	KytKentäkaavion suunnittelu	16
3.5	Layoutin suunnittelu	16
3.6	Valmistustiedostojen luonti	16
4	TESTAUS	18
4.1	Fyysinen katselmointi	18
4.2	Käynnistyksen sekä virransyötön toiminnan varmistus	19
4.3	Laitteen toiminnan varmistus	19
4.4	Virrankulutus- ja suorituskykymittaukset	19
5	YHTEENVETO	22
	LÄHTEET	24

SANASTO

BOM	Bill Of Materials, materiaalilista. Lista piirilevyn valmistamiseen tarvittavista komponenteista
Boost-konvertteri	Komponentti, jolla jännite nostetaan korkeampaan potentiaaliin.
GPIO	General-Purpose Input/Output, järjestelmäpiirin yleiskäyttöinen pinni, jonka ominaisuuksia voidaan muuttaa ohjelmalla
I2C	Inter-Integrated Circuit, komponenttien väliseen kommunikaatioon käytetty väylä
SiP	System in Package, yksittäinen komponentti, joka koostuu useasta erisirusta.
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter, universaali asynkroninen lähetin-vastaanotin

1 JOHDANTO

Anicare Oy:n Rudolf-laite on porojen seurantaan kehitetty laite (kuva 1). Laitteen pääkomponenttina on Nordic Semiconductorin valmistama nRF9160 SiP, josta on julkaistu uusi revisio. Uuden version myötä osa kytkennöistä on muuttunut sekä valmistajan suosittelemiin oheiskomponentteihin on tullut joitain muutoksia. Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja testata piirilevy uudelleen siten, että siinä voidaan käyttää uudempaa versiota järjestelmäpiiristä. Lisäksi levyn kaikki komponentit ja kytkennät käydään läpi ja niille etsitään mahdollisia parempia vaihtoehtoja.



KUVA 1. Anicare Rudolf -seurantalaite (1)

2 KATSELMOINTI

Projektin aluksi katselmoitiin laitteen pääkomponentit ja niiden saatavuudet sekä selvitettiin, onko niille olemassa parempia vaihtoehtoja. Tässä luvussa käydään läpi piirilevyn eri osat yksi kerrallaan sekä selitetään niihin liittyvien komponenttien valintaprosessi. Komponenttien tarkat tiedot jätetään mainitsematta tilaajan pyynnöstä.

Koska laite kiinnitetään poron korvaan eikä siihen päästä käsiksi pitkiin aikoihin, pyrittiin löytämään komponentit, joissa on tarvittavat ominaisuudet mahdollisimman pienessä koossa sekä pienellä virrankulutuksella. Valintoihin vaikuttivat myös komponenttien hinnat sekä saatavuus.

2.1 Järjestelmäpiiri

Laitteen pääkomponenttina toimii Nordic Semiconductorin valmistama SiP. Kyseisessä komponentissa on integroituna samaan pakettiin Arm-prosessori sekä LTE- ja GPS-modeemi. Piiristä on julkaistu uusi versio, jolle luvataan parempaa suorituskäytettä, pienempää virrankulutusta sekä uusia ominaisuuksia. Uuden version integraatio oli pääsyynä piirilevyn uudelleensuunnittelulle.

2.2 Kiihtyvyyssanturi

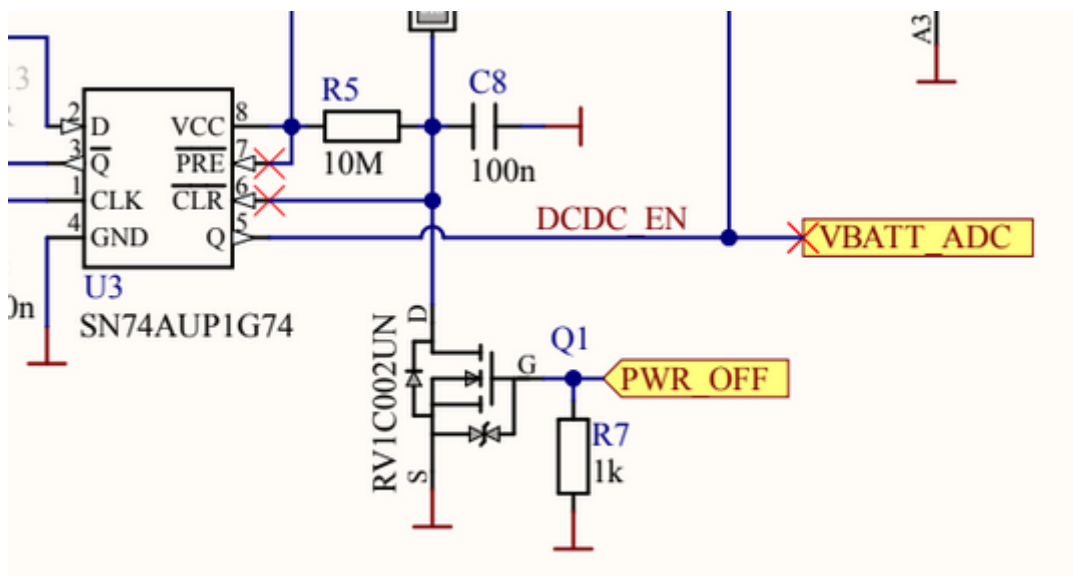
Laitteella on käytössä STMicroelectronicsin kiihtyvyyssanturi. Kiihtyvyyssanturi seuraa poron liikettä, josta järjestelmäpiiri pystyy erottamaan eläimen terveydentilaan liittyviä asioita. Lisäksi kiihtyvyyssanturi pystyy lähettämään prosessorille keskeytyksen poron ollessa liian kauan paikoillaan. Tätä ominaisuutta käytetään hyväksi kuolinilmaisussa.

Kiihtyvyyssantureita vertaillen alkuperäinen anturi osoittautui parhaaksi ja se päätettiin pitää ennallaan. Kyseinen anturi kykenee mittaamaan jopa 16 g:n kiihtyvyyksiä jopa 1 600 Hz:n taajuudella. Lisäksi sitä pystyy konfiguroimaan I2C-väylän kautta ja valitsemaan parhaan mahdollisen tilan kuhunkin tilanteeseen ja siten valitsemaan pienen virrankulutuksen ja tarkkojen mittausten välillä. Pienimmän virrankulutuksen tilassa se kuluttaa vain alle 0,5 mikroampeeria. (2.)

Parhaalla vaihtoehdoisella kiihtyvyyssanturilla päästäisiin 100 Hz:n näytteistystaajuudella jopa nykyistä anturia pienempään virrankulutukseen. (3.) Nykyisellä toiminnallisuudella alkuperäinen kiihtyvyyssanturi on kuitenkin parempi, eikä sitä ole ainakaan tässä vaiheessa järkevää vaihtaa.

2.3 Virranhallinta

Alkuperäisessä piirilevyversiossa pariston 3 V:n jännite nostetaan ensin 3,6 V:iin boost-konvertterillä järjestelmäpiiriä varten. Tämä 3,6 V:n jännite reguloitiin 3,0 V:iin muita komponentteja sekä järjestelmäpiirin GPIO-pinnejä varten. Komponentteja katselmoitaessa selvisi, että järjestelmäpiirin minimikäyttöjännite on 3,0 V, eikä jännitettä tarvitse nostaa 3,6 V:iin. Jänniteregulaattori päätettiin poistaa kokonaan ja ottaa käyttöön yhteinen 3,3 V:n käyttöjännite. Nostamalla GPIO-jännite 3,3 V:iin vältyttiin myös vuotamasta virtaa pariston jännitteenmittauspinnan kautta pariston jännitteen ollessa yli 3,0 V pariston elinkaaren alussa. Kuvassa 2 näkyy kytkentä, jossa vuotaminen tapahtui.



KUVA 2 Kiihun ulostulosta (pinni 5) vuotaa virtaa täydellä paristolla VBATT_ADC-pinniin vanhemmassa piirilevyversiossa prosessorin GPIO-jännitteen ollessa 3,0V.

2.3.1 Boost-konvertteri

Alkuperäisessä piirilevyversiossa pariston jännite nostetaan Maxim Integratedin valmistamalla boost-konvertterilla 3,6 volttiin SiP:iä varten. Kuten edellä jo mainittiin, päätettiin jännite pudottaa 3,3 volttiin, koska se soveltuu kaikille laitteen komponenteille pois lukien SIM-kortti, joka saa 1,8

voltin käyttöjännitteensä järjestelmäpiiriltä. Tämä onnistuu helposti vaihtamalla konvertterin jännitevalintavastuksen koko vastaamaan datalehdessä ilmoitettua vastusta. (Taulukko 1.) Lisäksi komponentin paketti päätettiin vaihtaa hieman suurempaan, koska alkuperäisen paketin kontaktien juottamisessa on ollut ongelmia. Näin saadaan toivottavasti parannettua valmistuksen saantoprosenttia ja laitteista luotettavampia.

TAULUKKO 1 Ote boost konvertterin jännitevalintataulukosta (4.)

V_{OUT} (V)	STD RES 1% (k Ω)
3,0	133
3,1	113
3,2	95,3
3,3	80,6
3,4	66,5
3,5	56,2
3,6	47,5

2.3.2 Jänniteregulaattori

Alkuperäisessä piirilevyversiossa 3,6 voltin käyttöjännite alennetaan jänniteregulaattorilla 3,0 volttiin GPIO-pinnejä, kiihtyvyyssanturia sekä RF-vahvistinta varten. Uuden 3,3 voltin käyttöjännitteen ansiosta regulaattori voidaan jättää pois, koska kiihtyvyyssanturi ja RF-vahvistin molemmat toimivat myös 3,3 voltin käyttöjännitteellä.

2.4 SIM-kortti

Laitteella on käytössä eSIM eli MFF2-kokoluokan SIM-kortti, joka juotetaan levyille jo valmistusvaiheessa, eikä perinteistä muovista SIM-korttia tarvitse asettaa laitteeseen. Sirutyypin SIM-kortin käyttöön on päädytty pääasiassa koon vuoksi. MFF2-SIM on piirilevy-pinta-alaltaan alle kolmanneksen pienimmän perinteisen SIM-kortin, Nano SIM-kortin pinta-alasta. (5.) Opinnäytetyön kirjoittamishetkellä ei ole parempia SIM-vaihtoehtoja. Tulevaisuudessa voidaan siirtyä iSIM-kortin eli integroidun SIM-kortin käyttöön, mutta se vaatii teknologian kypsymistä sekä standardointia ja tuen komponenttivalmistajalta.

2.5 Laitteen käynnistyskytkentä

Jännitteen kytkemiseen käytetään Texas Instrumentsin valmistamaa D-kiikkua sekä Littelfusen reed-magneettikytkintä. Kytkimellä luodaan kiikulle kellopulssi, jonka kiikku kytkee edelleen boost-konvertterin aktivointipinniin, mikä käynnistää laitteen.

Laitteella on päädytty käyttämään magneettikytkintä siksi, että se mahdollistaa käynnistyksen magneetilla kuoren läpi, vaikka laite on liimalla suljetussa kotelossa. Käytössä oleva magneettikytkin on Reed-kytkin, jonka toiminta perustuu kahden lasiputken sisällä olevan johtimen yhdistämiseen magneettikentän avulla. (Kuva 3.) Kytkimen vahvuutena on olematon vuotovirta, mutta heikkoutena lasisen putken hauraus, mikä on hankaloittanut laitteen tuotantoa.



KUVA 3 Reed-kytkimen kaksi johdinta voidaan kytkeä toisiinsa laitteen kuoren läpi magneetin avulla. (6.)

Vaihtoehtoisesti voitaisiin käyttää Hallin ilmiöön perustuvaa kytkintä. Tällaisen kytkimen vahvuutena Reed-kytkimeen verrattuna on mekaaninen kestävyys, minkä ansiosta ladonta helpottuisi, kun kytkimet voitaisiin latoa koneella kuten mikä tahansa muu komponentti. Katselmointivaiheessa mahdolliseksi korvaajaksi löytyi Crocus Technologyn magneettikytkin (7). Sen virrankulutus on vain noin 100nA tai alle prosentin koko laitteen keskimääräisestä virrankulutuksesta, mikä ei vaikuttaisi merkittävästi laitteen elinikään. Lisäksi sen pieni koko voisi mahdollistaa sen sijoittamisen samalle puolelle muiden komponenttien kanssa, mikä voisi mahdollistaa kaikkien komponenttien latomisen samalle puolen piirilevyä ja näin pienentää valmistuskustannuksia, sekä laitteen kokoa. Lopulta päätettiin kuitenkin pitää alkuperäinen kytkin, koska yllä mainitun kytkimen saatavuus oli olematon, eikä muita sopivia vaihtoehtoja löytynyt.

Myös kiikku päätettiin pitää ennallaan, koska se on yksinkertainen sekä suhteellisen halpa toteutus, joka on jo käytössä todettu toimivaksi. Lisäksi vastaavia kiikkuja samanlaisella paketilla ja kytkennöillä on saatavilla myös muilta valmistajilta, jolloin voidaan minimoida riski saatavuusongelmille.

2.6 RF-vahvistin

GPS-signaalin vahvistamiseen on käytetty vahvistinta, joka on optimoitu GPS-signaalien taajuuksille. Antenniliinjat on viritetty kyseiselle vahvistimelle sopiviksi ja todettu toimiviksi, joten ne päätettiin pitää ennallaan.

3 PIIRILEVYN SUUNNITTELU

Tässä luvussa kuvataan piirilevyn suunnitteluprosessia sekä työvaiheita. Suunnitteluun käytettiin Altium Designeria, jolla myös vanhempi suunnittelu oli tehty. Näin päästiin alkuun hieman nopeammin. Altium oli minulle uusi työkalu, mutta perustoiminnaltaan se on lähellä muita vastaavia ohjelmia ja oli siten suhteellisen helppo ottaa käyttöön. Passiivikomponenttien simulointiin käytettiin LTSpice-ohjelmaa, joka on Analog Devicesin tarjoama ilmainen elektroniikkasimulaattori.

3.1 Kirjastojen luonti

Piirilevyn suunnittelua aloittaessa täytyi luoda käytetyistä komponenteista kirjastot kytkentäkaaviota ja layoutia varten. Nämä kirjastot sisältävät tiedot komponenttien ominaisuuksista, kuten fyysiset mitat ja kytkennät.

Kirjastojen luonti oli suhteellisen helppoa, koska osalle komponenteista oli luotu kirjastosymbolit jo aiemmassa piirilevyversiossa. Lisäksi Altiumissa on sisäänrakennettuna työkalu, jolla arvot voi hakea eri toimittajien mm. Digikeyn valikoimasta. Tämä nopeuttaa työtä huomattavasti sekä pienentää inhimillisen virheen riskiä, koska arvoja tai kytkentäkuvia ei tarvitse lisätä manuaalisesti.

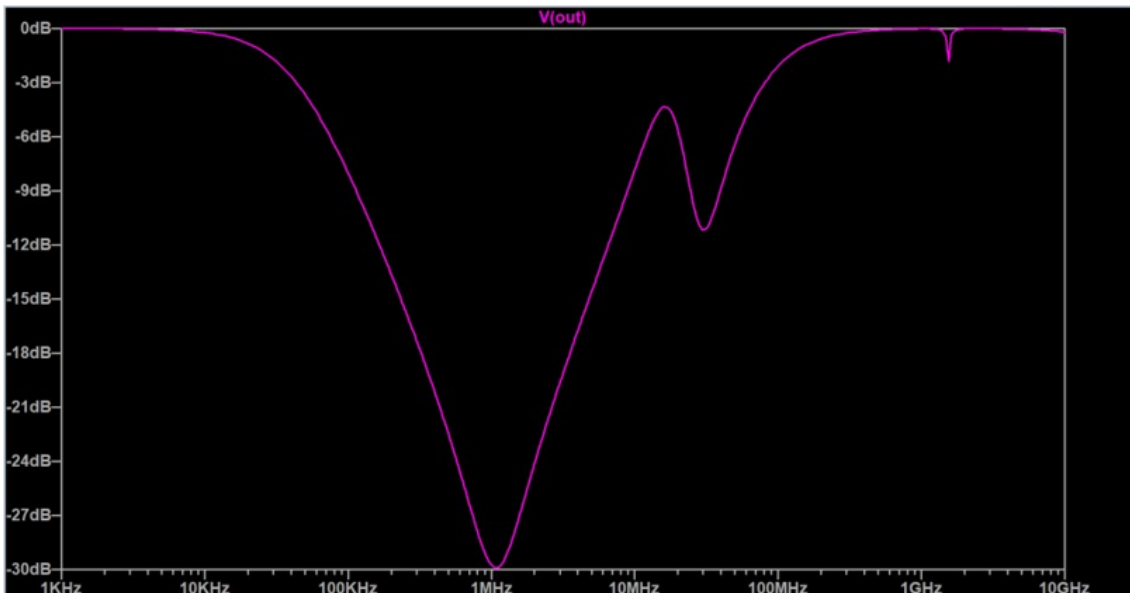
3.2 Suunnittelun asetusten määrittely

Ennen varsinaista piirilevyn suunnittelua ohjelmaan asetetaan raja-arvot suunnittelua varten. Raja-arvojen asettaminen on tärkeää, jotta saadaan suunniteltua valmistuskelpoinen piirilevy. Niiden avulla ohjelma tietää piirilevyn valmistajan valmistustoleranssit. Arvot valittiin Anicaren alihankkijan ilmoittamien arvojen mukaan. Arvojen asettamisen jälkeen suunnitteluohjelma varoittaa niiden rikkomisesta, esimerkiksi liian lähekkäin olevista vedoista.

3.3 Simulointi

Suunniteltaessa elektroniikkaa on otettava huomioon komponenttien aiheuttamat häiriöt ja pyrittävä suodattamaan ne pois mahdollisimman hyvin komponenttien oikeanlaisen toiminnan varmistamiseksi. Häiriöiden eri taajuudet saadaan ideaalitalanteessa helposti suodatettua erikokoisilla kondensaattoreilla, jotka resonoivat häiriötaajuuksien kanssa suodattaen ne pois. Käytännössä näin ei kuitenkaan koskaan ole, koska kaikilla todellisilla kondensaattoreilla on parasitiittista resistanssia ja induktanssia, jotka vaikuttavat resonanssitaajuuteen ja on siksi otettava huomioon. Tämä on käytännössä erittäin hankalaa määrittää laskemalla, minkä vuoksi yleensä käytetään simulointia.

Simulointiin käytettiin LTSpice-ohjelmaa, jolle on useimmilla komponenttivalmistajilla valmiit mallit, jotka ottavat huomioon komponenttien parasitiittiset ominaisuudet. Tämä helpottaa työtä huomattavasti, kun riittää että lataa simulointimallit ja luo niiden avulla simuloitavan kytkennän. Sen jälkeen voidaan simuloida häiriön eri taajuuksien käyttäytymistä kytkennässä ja hienosäätää kytkentää varmatoimisemmaksi. Kuvassa 5 näkyy järjestelmäpiirin jännitesyötön simuloinnin tulos komponenttivalmistajien malleja käyttäen. Kuvajasssa noin 15MHz:n kohdalla oleva piikki on esimerkki parasitiittisten ominaisuuksien aiheuttamasta heikennyksestä suodatustehossa.



KUVA 5 Kuvakaappaus järjestelmäpiirin käyttöjännitteen häiriönsuodatuksen simuloinnista.

Jos suodatus suunniteltaisiin pelkästään kapasitanssiarvojen avulla, voisi suunnittelu epäonnistua ja pahimmassa tapauksessa häiriöt jopa voimistua joillain taajuuksilla. Vaikka simulointi onkin hyvä

tapa varmistaa suodatuksen toiminta, on syytä muistaa, ettei sekään ole täydellinen vaan piirilevyllä on aina joitain parasiittisia ominaisuuksia kuten johdinten välinen kapasitanssi, joita ei voi ottaa huomioon. Ottamalla huomioon suurimmat vaikuttavat tekijät päästään yleensä kuitenkin riittävään hyvään lopputulokseen ja lopullinen toiminta voidaan varmistaa piirilevyn prototyyppiä testaamalla ja mittaamalla.

3.4 Kytkentäkaavion suunnittelu

Kytkentäkaavion pohjana käytettiin aiemman piirilevyversion kytkentäkaaviota. Aluksi kytkentään suoritettiin käyttöjännitteen muutos poistamalla jänniteregulaattori sekä muuttamalla boost-konvertterin ulostulojännite vaihtamalla jännitteenvaihtavastuksen kokoa.

Seuraavaksi käytiin läpi komponenttien datalehtien referenssikytkennät ja päivitettiin oheiskomponentit niiden mukaiseksi. Suurin osa oheiskomponenteista pysyi ennallaan, mutta joidenkin vastusten ja kondensaattoreiden arvoja muutettiin tai niitä jouduttiin lisäämään tai poistamaan.

















3.5 Layoutin suunnittelu

Kytkentäkaavion valmistuttua Altium Designerissä komponenttimuutokset voidaan päivittää helposti layoutiin yhdellä klikkauksella. Komponentit, joille löytyy vastaavuudet, menevät automaattisesti samalle paikalle kuin aiempi komponentti. Uudet komponentit ilmestyvät piirilevyn ulkopuolelle, mistä ne voidaan siirtää halutuille paikoille. Itse layoutin suunnittelu oli aika helppoa, joskin aikaa vievää. Asetettujen raja-arvojen ansiosta ei suunnittelussa tarvinnut huolehtia komponenttien liian lähekkäisestä sijoittelusta tai muista mahdollisista mittoihin liittyvistä virheistä vaan ohjelma varoitti niistä. Suurin haaste oli mahduttaa aiempaa suurempi boost-konvertteri sekä kondensaattorit pienelle levyille, mutta pienellä uudelleenjärjestelyllä ne saatiin mahtumaan.

3.6 Valmistustiedostojen luonti

Kun piirilevyn suunnittelu oli valmis, siitä luotiin valmistustiedostot piirilevyvalmistajalle. Tämäkin onnistui Altium Designerissa suhteellisen vaivattomasti siihen tarkoitettulla työkalulla.

Valmistustiedostoihin kuuluivat levyn varsinaiseen valmistukseen vaadittavat Gerber-, NC-, ODB-, Pick Place- ja levyn laminointitiedostot. Gerber- ja ODB- tiedostoissa on levyn valmistukseen tarvittavat tiedot, kuten levyn mitat ja juotteenestopinnoitteen sijainti. NC-tiedostoissa on reikien ja läpivientireikien poraamiseen tarvittava tieto. Pick Place -tiedosto kertoo ladontakoneelle kunkin komponentin sijainnin ja kierron. Levyn laminointitiedosto kertoo piirilevyn valmistajalle, millaisista kerroksista piirilevy halutaan valmistettavan. (kuva 6.)

Board Stack Report					
Stack Up		Layer Stack			
Layer	Board Layer Stack	Name	Material	Thickness	Constant
1		Top Paste			
2	   	Top Solder	SM-001	0,025mm	4
3		TOP_COPPER	Copper	0,035mm	
4		Pre-Preg_1	2116	0,110mm	4,4
5	   	L2_COPPER	Copper	0,018mm	
6		Core	4 x 7628	0,787mm	4,6
7	   	L3_COPPER	Copper	0,018mm	
8		Pre-Preg_2	2116	0,110mm	4,4
9		BOT_COPPER	Copper	0,035mm	
10	   	Bottom Solder	SM-001	0,025mm	4
11		Bottom Paste			
Height : 1,164mm					

KUVA 4 Rudolf-laitteen piirilevyn kerrokset.

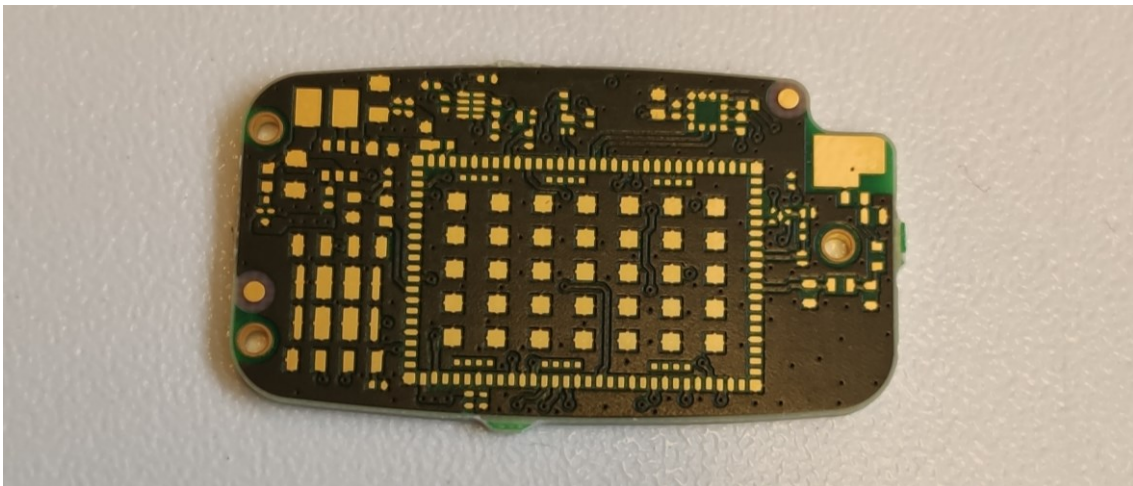
Lisäksi valmistajalle toimitetaan BOM eli komponenttilista, jonka avulla valmistaja hankkii valmistukseen tarvittavat komponentit sekä tulosteet kytkentäkaaviosta ja layoutista, joita valmistaja voi käyttää apuna muun muassa varmistaessaan työn laadun.

4 TESTAUS

Tässä luvussa käydään läpi valmiin levyn testaamista ja suorituskykyä sekä verrataan mitattuja tuloksia vanhaan levyyn.

4.1 Fyysinen katselmointi

Piirilevyjen testaus aloitettiin varmistamalla ensin kalustamattomien piirilevyjen kunto. Aluksi levyt tutkittiin silmämääräisesti läpi ja varmistettiin, että juotteenestopinnoitetta oli vain siellä, missä sitä kuuluikin olla eikä se peittänyt minkään komponentin kontakteja. Lopuksi käytiin vielä läpi kaikki kytkennät yleismittarilla ja varmistettiin, ettei mikään kontakti ole oikosulussa maahan. (kuva 7.)



KUVA 5 Kalustamattomasta levystä varmistettiin valmistuksen onnistuminen

Sen jälkeen levyt kalustettiin Anicaren alihankkijan toimesta, minkä jälkeen levyt silmäiltiin vielä kertaalleen läpi mahdollisten tinasiltojen tai muiden valmistusvirheiden varalta. Mitään vikaa levyissä ei kuitenkaan havaittu. Lopuksi varmistettiin levyn yhteensopivuus kotelon ja pariston kanssa.

4.2 Käynnistyksen sekä virransyötön toiminnan varmistus

Seuraavaksi aloitettiin levyjen toiminnallisuuden testaaminen varmistamalla ensin käynnistyskytken toimivuus. Toimivuus varmistettiin käynnistämällä laite normaaliin tapaan magneettikytkimellä ja mittaamalla kiikun ulostulojännite. Tämä toistettiin kymmenelle laitteelle, joista kaikki käynnistyivät kuten pitikin, joten kytkennän voidaan olettaa toimivan.

Tämän jälkeen varmistettiin yleismittarilla, että laitteen virransyöttö toimii kuten pitääkin. Jännitemittarilla varmistettiin, että laitteen eri komponenttien käyttöjännitteet vastasivat suunnitelmassa määritettyjä arvoja. Virtamittarilla varmistettiin, ettei laitteella ole oikosulkuja eikä mikään komponenteista kuluta poikkeuksellisen suurta määrää virtaa.

4.3 Laitteen toiminnan varmistus

Kun saatiin varmistettua laitteen oikeanlainen käynnistys, siirryttiin testaamaan itse laitteen perustoimintaa. Laitteen prosessorille asennettiin laiteohjelmiston uusin versio virheenkorjausominaisuuksien kanssa, jolloin laitteesta saatiin tulostettua tietoja. Modeemille asennettiin testaamishetkellä uusin valmistajan nettisivuilta saatava ohjelmisto.

Kun ohjelmistot saatiin asennettua, laite kytkettiin tietokoneeseen UARTin avulla, jolloin tietokoneelle saatiin tulostettua tiedot kiihtyvyyssanturin ja SIM-kortin alustamisesta. Komponenttien onnistuneella alustamisella varmistettiin niiden oikea toiminta. Samalla varmistettiin LEDien toiminta varmistamalla, että ne vilkkuvat laitteen käynnistyessä, mikä on osa laiteohjelmiston käynnistysprosessia.

Lopuksi varmistettiin laitteen modeemin ja RF-vahvistimen toiminta yhdistämällä laite verkkoon sekä hakemalla sijainti GPS:n avulla.

4.4 Virrankulutus- ja suorituskykymittaukset

Laitteen virrankulutusmittaukset suoritettiin eri tilanteissa yhdessä vanhemman piirilevyversion kanssa, jolloin saatiin vertailukelpoista dataa. Kaikki mittaukset toistettiin molemmille laitteille viisi

kertaa ja niistä otettiin keskiarvot, jotta sattuman vaikutusta saatiin pienennettyä ja mittaustuloksista luotettavampia. Mittalaitteena sekä virtalähteenä käytettiin Nordic Semiconductorin Power Profiler Kit 2:ta. (kuva 8.)



KUVA 6 Power Profiler Kit II on Nordic Semiconductorin pienten virtojen mittaukseen kehittämä laite (8.)

Virrankulutusmittausten ohella otettiin talteen GPS-sijainnin hakemiseen kulunut aika. Näin pystyttiin vertailemaan laitteiden GPS-suorituskykyä. Suorituskykyerot johtuvat järjestelmäpiiriin modeemiin tehdyistä parannuksista sekä uudemman modeemiohjelmiston optimoinneista.

Virrankulutusmittaukset jaettiin karkeasti kolmeen osaan: verkkokommunikaatiotilaan, GPS-hakutilaan ja virransäästötilaan. Verkkokommunikaatiomittaus sisältää palvelimen kanssa kommunikoinnin ja datan lähettämisen lisäksi verkkoon rekisteröitymisen. GPS-haun mittaus sisältää varsinaisen GPS-haun lisäksi A-GPS -datan lataamisen ja syöttämisen GPS-modeemille. Virransäästötilassa on mitattu ainoastaan virrankulutus virransäästötilassa.

Virransäästötilan virrankulutusta mitatessa huomattiin sen olevan yli 1,5 mA, mikä on yli 100-kerertainen datalehtien perusteella laskettuun teoreettiseen kulutukseen verrattuna. Ongelmaa tutkittaessa huomattiin ylimääräisen virrankulutuksen vähenevän, kun RF-vahvistin irrotettiin levyiltä. Tämä vaikutti omituiselta, koska RF-puoli oli pidetty koskemattomana. Lopulta järjestelmäpiiriin datalehdeltä löytyi maininta, jossa kehoitettiin vetämään RF-vahvistimen ohjauspinni maahan vastuksen läpi, koska kelluva pinni voi aiheuttaa ylimääräistä virrankulutusta. Kyseinen maininta oli jäänyt

huomiotta suunnitteluvaiheessa, mutta onneksi levyllä oli tarpeeksi tilaa kyseisen pinnin vierellä, jotta vastus voitiin juottaa käsin jälkepäin. Vastuksen lisäämisen jälkeen virrankulutus putosi lähelle teoreettista arvoa.

Uuden piirilevyn verkkokommunikaation virrankulutukseksi saatiin keskimäärin 22,8 mA, mikä on noin 5 % suurempi kuin vanhemman piirilevyn kulutus vastaavassa tilanteessa. Suurempi kulutus johtunee uudemman modeemin suuremmasta lähetystehosta ja se suoriutuikin kommunikaatiosta melkein 3 % nopeammin kuin vanha levy, mikä kaventaa kokonaisenergiankulutuksen eron noin 3,5 prosenttiin, mikä johtuu todennäköisesti mittausvirheestä. Uusi piirilevyversio ei siis tuonut parannusta verkkokommunikaation virrankulutukseen.

GPS-haussa puolestaan nähtiin merkittävä parannus niin virrankulutuksessa kuin sijainninhaun vaatimassa ajassa. Keskimääräinen virrankulutus tippui yli 15 % ja sijainnihakuun vaadittu aika melkein 19 %. Sijainnihakuun vaadittu kokonaisenergia tippui siis jopa 31 %, mikä on todella merkittävä asia laitteen eliniän kannalta GPS-haun ollessa suurin yksittäinen virrankuluttaja. Lyhentyneen hakuajan pitäisi myös parantaa sijainninhaun luotettavuutta, mikä voi edelleen pienentää laitteen virrankulutusta, koska sijaintia haetaan harvemmin turhaan onnistumatta siinä.

Myös virransäästötilan virrankulutuksessa saatiin aikaan huomattavaa parannusta. Aiemman piirilevyversion virrankulutusta saatiin pienennettyä jopa 69 %. Tämä johtunee uuden järjestelmäpiirin pienemmästä virrankulutuksesta sekä virransyöttökytkennän optimoinnista. Virrankulutus pieneni vain 12 mikroampeeria, mikä voi vaikuttaa mitättömältä erolta. Todellisuudessa sen merkitys on todella suuri, kun otetaan huomioon, että laite on virransäästötilassa yli 99 % ajasta.

Laitteen keskimääräinen kulutus putosi 25,0 mikroampeerista 11,6 mikroampeeriin. Uuden laitteen virrankulutus on siis 53,6 % pienempi kuin vanhan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että laitetta voidaan käyttää yli kaksinkertainen aika samoilla ominaisuuksilla. Tämä avaa uusia mahdollisuuksia lisätä toiminnallisuutta laitteeseen tai vaihtoehtoisesti pienentää laitteen paristoa ja sen myötä keventää ja pienentää laitteen fyysistä kokoa.

5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli suunnitella porojen seurantaan tehdyn laitteen piirilevy uudelleen, koska laitteessa käytetystä järjestelmäpiiristä on julkaistu uusi versio. Samalla käytiin läpi koko piirilevy ja pyrittiin optimoimaan sitä.

Työssä päästiin alussa määriteltyihin tavoitteisiin. Piirilevy saatiin muutettua uudelle piiriversiolle sopivaksi sekä samalla parannettiin laitteen virransyöttöä pudottamalla käyttöjännite sekä poistamalla tarpeeton regulaattori piirilevyltä. Samalla laitteen virrankulutus pieneni noin puoleen alkupeiräisestä suorituskvyn parantuessa.

Piirilevyn valmistusvaiheessa ilmeni pieniä viivästyksiä koronaviruspandemian aiheuttamana, mutta suuremmilta ongelmilta vältyttiin. Piirilevyjä testatessa huomattiin liian suuri virrankulutus, joka johtui suunnitteluvirheestä. Virhe onneksi löytyi suhteellisen nopeasti ja saatiin korjattua, minkä jälkeen laite toimii odotetulla tavalla.

Jatkossa piirilevyä voidaan kehittää edelleen vaihtamalla siihen tässä työssä mainittu tai jokin muu Hallin ilmiöön perustuva magneettikytkin, jolloin tuotantokustannuksia saataisiin madallettua sekä laitteesta kestävämpi. Lisäksi voidaan harkita pariston pienentämistä, koska laitteen virrankulutus saatiin huomattavasti matalammaksi, minkä ansiosta sama elinikä voidaan saavuttaa reilusti pienemmällä paristolla. Tämä puolestaan tekisi laitteesta pienemmän ja kevyemmän ja siten eläimille entistäkin harmittomamman.

Toinen vaihtoehto on pitää nykyinen paristo, jolloin voidaan lisätä esimerkiksi kiihtyvyyssanturin ja sijainnin taajuutta tai tarkkuutta, mikä onnistuu ohjelmallisesti ilman muutoksia piirilevyyn. Piirilevylle voitaisiin myös lisätä Bluetooth-radio, joka mahdollistaisi muun muassa Bluetooth Mesh -verkon luomisen laitteiden välille porojen ollessa tokassa, mikä voisi vähentää virrankulutusta entisestään sekä helpottaa tietyn poron löytämistä tokasta esimerkiksi sairaustapauksessa.

Toisaalta paristo voitaisiin pyrkiä korvaamaan akulla ja latauspiirillä, mikä voisi tehdä laitteesta nykyistä ekologisemman, sillä se ei olisi kertakäyttöinen. Akkujen pienempää kapasiteettia voitaisiin kompensoida esimerkiksi pietsoelementillä, joka lataisi akkua poron liikkeestä aiheutuvan värinän avulla.

Opinnäytetyössä käytetyt työkalut ja teknologiat olivat minulle ennestään pintapuolisesti tuttuja ja osasin niiden perusteet, mutta työtä tehdessäni osaamiseni ja ymmärtämiseni syventyivät huomattavasti. Olin ensimmäistä kertaa mukana viemässä piirilevyprojektin loppuun. Oli mielenkiintoista nähdä, kuinka eri tahot työskentelevät keskenään ja kuinka paljon näinkin pienessä laitteessa on eri asioita, jotka on otettava huomioon, jotta varmistetaan toimiva lopputulos. Työssä opituista taidoista on varmasti hyötyä minulle tulevaisuudessa niin työssä kuin harrastuksissakin.

LÄHTEET

1. Anicare Oy. Rudolf Device. Hakupäivä 9.4.2022. <https://anicare.fi/en/tuote/rudolf-device/>.
2. STMicroelectronics 2022. Accelerometers. Hakupäivä 28.9.2022 <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/accelerometers.html>.
3. Analog Devices. Accelerometers. Hakupäivä 28.9.2022 https://www.analog.com/en/parametricsearch/11175#.
4. Maximintegrated 2022. Step-Up Switching Converters – Boost Switching Regulators. Hakupäivä 28.9.2022 <https://www.maximintegrated.com/en/products/power/switching-regulators/step-up-boost.html>.
5. Kroodo, Märt 2019. Differences between SIM types – which SIM to choose? 1oT. Hakupäivä 12.3.2022 <https://1ot.mobi/resources/blog/differences-between-sim-types-which-sim-to-choose>.
6. Littelfuse 2022. Reed Switches. Hakupäivä 28.9.2022 <https://www.littelfuse.com/products/magnetic-sensors-and-reed-switches/reed-switches.aspx>.
7. Crocus Technology 2022. CT81xx. Hakupäivä 18.9.2022 <https://crocus-technology.com/products/ct81xx/>.
8. Nordic Semiconductor. Power Profiler Kit II. Hakupäivä 23.5.2022 <https://www.nordicsemi.com/Products/Development-hardware/Power-Profiler-Kit-2>.