



TIETO- JA SÄHKÖTEKNIIKAN TIEDEKUNTA
ELEKTRONIIKAN JA TIETOLIKENNETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

KANDIDAATINTYÖ

TERMISEN KIIHTYVYYSANTURIN KARAKTERISOINTI

Tekijä

Roni Koskela

Ohjaaja

Timo Rahkonen

Toukokuu 2023

Koskela R. (2023) Termisen kiihtyvyyssanturin karakterisointi. Oulun yliopisto, tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta, elektroniikan ja tietoliikennetekniikan tutkinto-ohjelma. Kandidaatintyö, 18 s.

TIIVISTELMÄ

Tässä työssä suunniteltiin ja toteutettiin pieni piirilevy MXA2500U kiihtyvyyssanturille. Kiihtyvyyssanturi on terminen ja tarkoitettu kestäämään hyvin suuria kiihtyvyyksiä, jonka takia se on herkkä ympäristön lämpötilan vaihteluille. Työssä oli tarkoituksena testata kiihtyvyyssanturin herkkyyttä ympäristön lämpötilan muutoksille. Piirilevyn suunnitteluun käytettiin KiCadia, joka on ilmainen ja avoimen lähdekoodin ohjelmisto.

Piirilevyä käytettiin alustavasti lämpötilagradienttien testaukseen tuomalla juotoskolvin kärki kiihtyvyyssanturin viereen. Nähtiin että tämä aiheutti noin 4 asteen muutoksen anturin mittaamaan painovoimavektoriin.

Avainsanat: piirilevy, kiihtyvyyssanturi, lämpötila.

Koskela R. (2023) Characterization of a thermal accelerometer. University of Oulu, Degree Programme in Electronics and Communications Engineering. Bachelor's Thesis, 18 p.

ABSTRACT

In this thesis, a small circuit board was designed and implemented for the MXA2500U thermal accelerometer. It can tolerate very high accelerations, which is why it is sensitive to environmental temperature fluctuations. The purpose of this thesis was to test the sensitivity of the accelerometer to changes in ambient temperature. KiCad, a free open source software, was used to design the circuit board.

The circuit board was used for preliminary temperature gradient tests simply by bringing a point heat source next to the IC chip. It was seen that a tip of a soldering iron caused about 4 degrees of deflection in the gravity vector measured by the chip.

Key words: accelerometer, circuit board, temperature.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

1	JOHDANTO	7
2	KIIHTYVYYSANTURIEN PERIAATTEITA	8
	2.1 MXA2500U terminen kiihtyvyyssanturi	8
3	PIIRISUUNNITTELU	9
	3.1 KiCad	9
	3.2 Piirikaavio ja -kuvio	9
4	TESTAUS JA TULOKSET	13
	4.1 Testijärjestely	13
	4.2 Tulokset	15
5	POHDINTA	16
6	YHTEENVETO	17
7	LÄHDELUETTELO	18

ALKULAUSE

Tämä kandidaatintyö on tehty Oulun yliopiston Tieto- ja sähkötekniikan tiedekuntaan. Haluan kiittää Timo Rahkosta hyvästä aiheesta ja ohjauksesta. Iso kiitos myös vanhemmilleni ja kavereille tuesta ja motivoinnista työn kirjoittamiseen.

Oulussa 16.5.2023

Roni Koskela

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

T_{OUT}	Temperature (Analog voltage), lämpötila
A_{OUTY}	Y-Axis Acceleration Signal, Y-akselin kiihtyvyyssignaali
Gnd	Ground, maa
V_{DA}	Analog Supply Voltage, analoginen käyttöjännite
A_{OUTX}	X-Axis Acceleration Signal, X-akselin kiihtyvyyssignaali
V_{ref}	Reference voltage, viitejännite
V_{DD}	Digital Supply Voltage, digitaalinen käyttöjännite
PCB	Printed Circuit Board, painettu piirilevy
g	Acceleration of free fall, putoamiskiihtyvyys

1 JOHDANTO

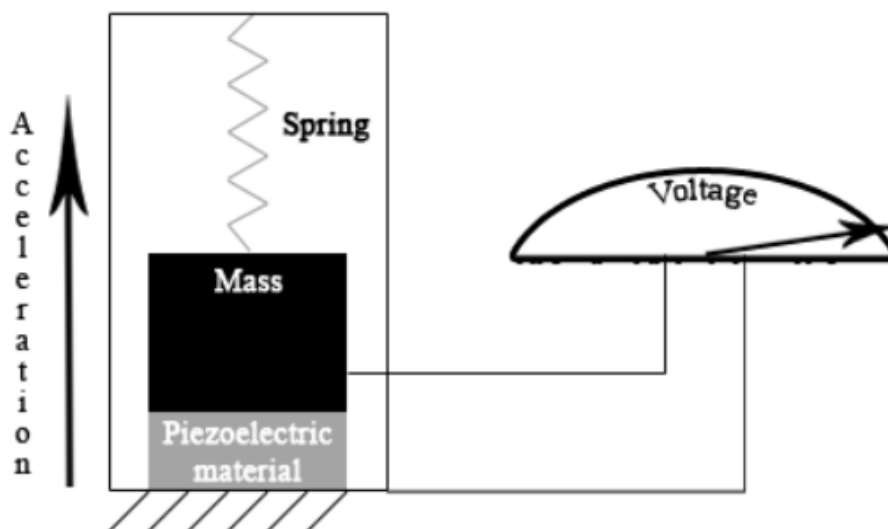
Kiihtyvyyssanturi mittaa kappaleen kiihtyvyyttä. Kiihtyvyyssantureita käytetään monissa sovelluksissa, kuten autoteollisuudessa, lentokoneollisuudessa, älykelloissa ja puhelimissa sekä terveydenhuollossa. Näillä voidaan mitata kiihtyvyyden lisäksi myös liikettä sekä kallistuskulmaa.

Useimmissa kiihtyvyyssantureissa on ripustettu massa, joka mittaa voimaa. Mekaaninen rakenne tekee niistä kuitenkin arkoja koviin kolauksille. Termisesti on kuitenkin mahdollista tehdä kiihtyvyyssanturi, joka kestää hyvin kovia kolhuja. Kiihtyvyyden arvoihin vaikuttavat lämpötilan muutokset (lämpötilagradientti) havaitaan ilman kuplan liikkeen avulla, joka toimii ikään kuin vatupassina. Terminen mittaus on kuitenkin arka ympäristön lämpögradien-teille. MXA2500U-laitteen datalehdessä [1] mainittiin lämpötilagradienteista, mutta mitään lukuarvoja ei ollut. Niinpä tässä työssä toteutettiin MXA2500U-piirille pieni piirilevy [2], ja tutkittiin sen avulla piirin lähtöjen herkkyyttä ympäristössä oleville lämpötilagradienteille.

Tämä tutkielma sisältää teoriaa kiihtyvyyssanturien periaatteista, piirisuunnittelusta, mittauksista ja tuloksista sekä pohdintaosan ja yhteenvedon.

2 KIIHTYVYYSANTURIEN PERIAATTEITA

Yleensä kiihtyvyyssantureissa on massa, joka on kiinnitetty jousen tai piezoelektrisen materiaalin avulla. Kun kappale, johon anturi on kiinnitetty, kiihtyy, massa pyrkii pysymään paikallaan Newtonin ensimmäisen lain mukaan, mutta jousi tai piezoelektrinen materiaali taipuu voiman vaikutuksesta. Kiihtyvyyssantureita on muun muassa mekaanisia, termisiä, kapasitiivisia ja piezoelektrisiä [6]. Nämä eroavat toisistaan rakenteen perusteella. Kuvassa 1 on esitetty, miten voiman vaikutus näkyy piezoelektrisen materiaalin kautta jännitteessä [5].



Kuva 1. Esimerkki piezoelektrisen kiihtyvyyssanturin sisästä.

2.1 MXA2500U terminen kiihtyvyyssanturi

MXA2500U on pieni laite, joka mittaa kiihtyvyyttä, kun esine joko liikkuu tai on paikallaan. Toisin kuin useimmat muut kiihtyvyyssanturit, se käyttää kiihtyvyyden mittaamiseen lämmönjohtumista ja toimii kuten muutkin kiihtyvyyssanturit, joissa on massa. [1] Menetelmän etuina on suurempi mekaaninen kestävyys: laitteen luvataan sietävän 50 000 g:n kiihtyvyyksiä. Laite on analoginen ja pystyy havaitsemaan hyvin pieniä kiihtyvyyden muutoksia, mikä on hyödyllistä monissa sovelluksissa. Analogisuuden takia resoluutiota voidaan parantaa suodattamalla. Kiihtyvyyssanturi mittaa kahden akselin kiihtyvyyttä, X- ja Y- suunnassa.

Esimerkiksi autoteollisuudessa sitä käytetään ajoneuvojen turvallisuuden parantamiseen. Sitä voidaan käyttää aktiiviseen jousitukseen ja ABS-jarrujen toimintaan. Yksi sovelluskohteista on myös toimistotarvikkeet, kuten hiiret, älykynät ja puhelimet. Näissä kiihtyvyyssanturia käytetään erilaisten liikkeiden ja kallistuksen tunnistamiseen. Turvallisuusalalla tätä voidaan soveltaa esimerkiksi kaasujohtojen ja hissien toimintaan. Pelialalla kiihtyvyyssanturia hyödynnetään kallistuksen tunnistamisessa peliohjaimissa. [1]

3 PIIRISUUNNITTELU

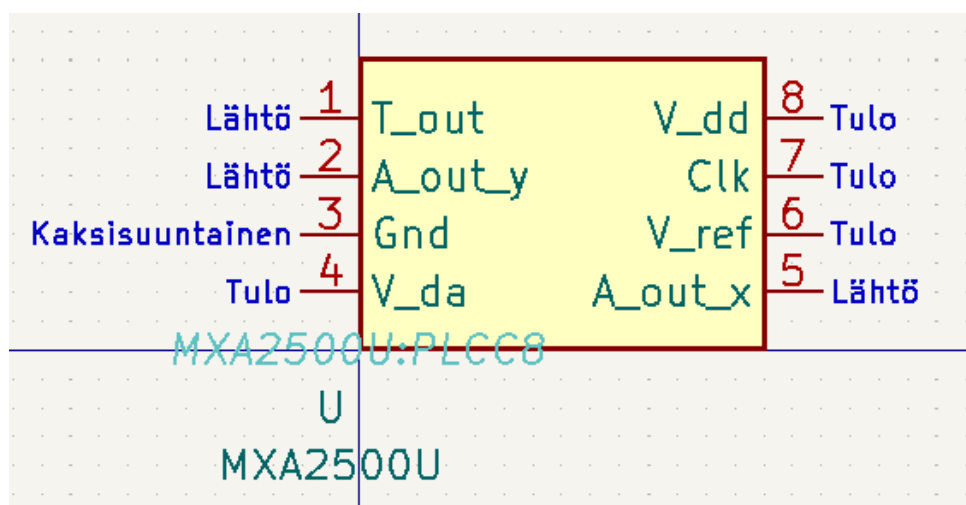
3.1 KiCad

KiCad [3] on ilmainen ja avoimen lähdekoodin ohjelmisto, jota käytetään painettujen piirilevyjen suunnitteluun. Siinä on työkalut piirikaavioiden luomiseen ja muokkaamiseen, PCB-suunnitteluun ja valmistustiedostojen luomiseen. Se on tarkoitettu kaikille, jotka haluavat suunnitella elektroniikkaa, oli kyseessä sitten harrastus, opiskelu tai ammatillinen käyttö.

Jean-Pierre Charras julkaisi KiCadin vuonna 1992. Sen jälkeen sitä on kehitetty koko ajan ja nykyään kehityksestä vastaa KiCad Development Team. [3]

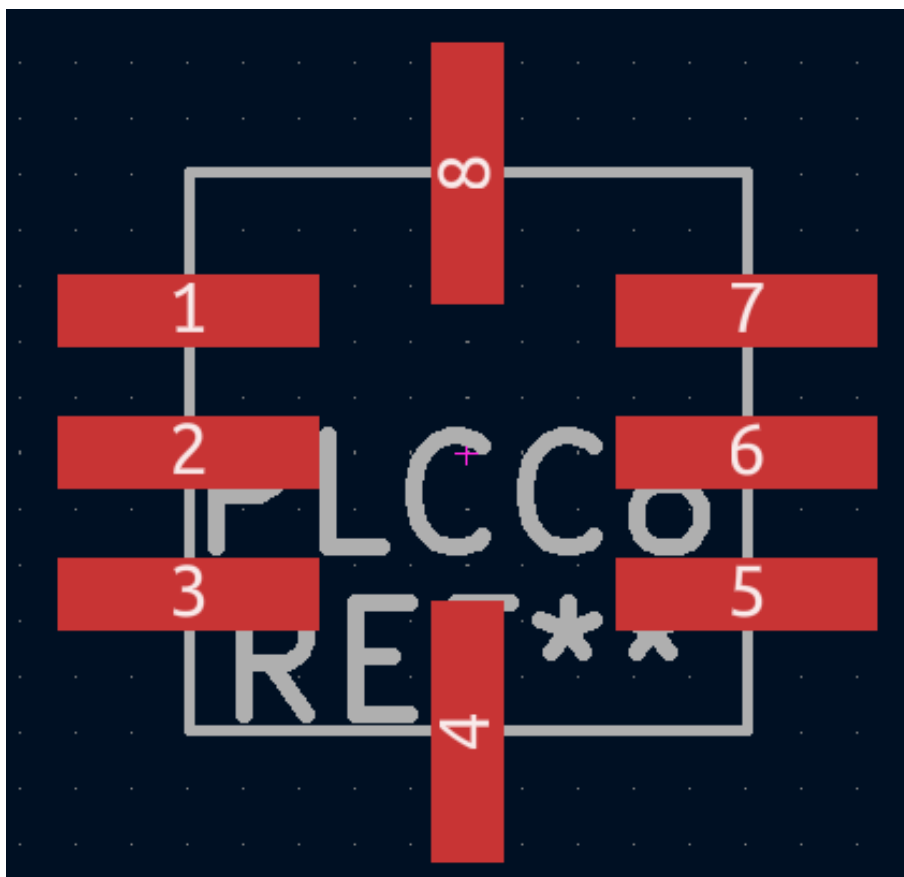
3.2 Piirikaavio ja -kuvio

Suunnittelu aloitettiin tekemällä symboli MXA2500U-komponentille. Sen tekemisessä ei mennyt kovin kauan. Datalehdessä [1] katsottiin pinnien nimet ja merkittiin suunnat tuloiksi tai lähdöiksi. Ground eli maataso merkittiin kaksisuuntaiseksi. Kun symboli oli valmis, sille tehtiin jalanjälki, jotta se saataisiin PCB Editoriin (Kuva 2).



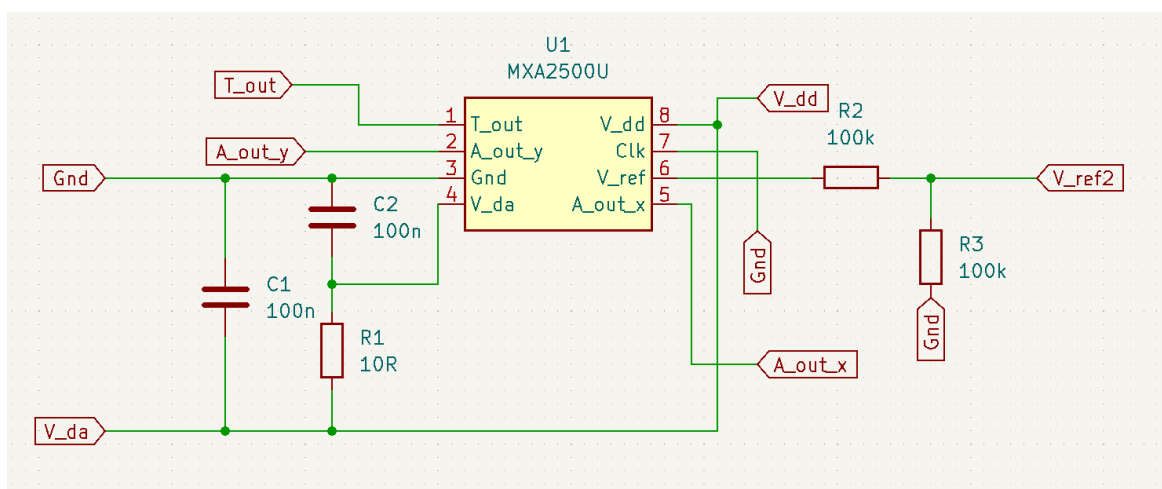
Kuva 2. Symboli MXA2500U-komponentille.

MXA2500U-footprintin eli jalanjäljen tekeminen oli myös suhteellisen nopeaa. Siihen mitat saatiin käytännössä suoraan datalehdessä. [1] Ulkoreunan pituus ja leveys ovat molemmat 5 mm. Tyynyt eli padit ovat 0,64 mm x 2,34 mm ja niiden välinen etäisyys 0,64 mm. Jalanjälki on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. MXA2500U-komponentin jalaanjälki.

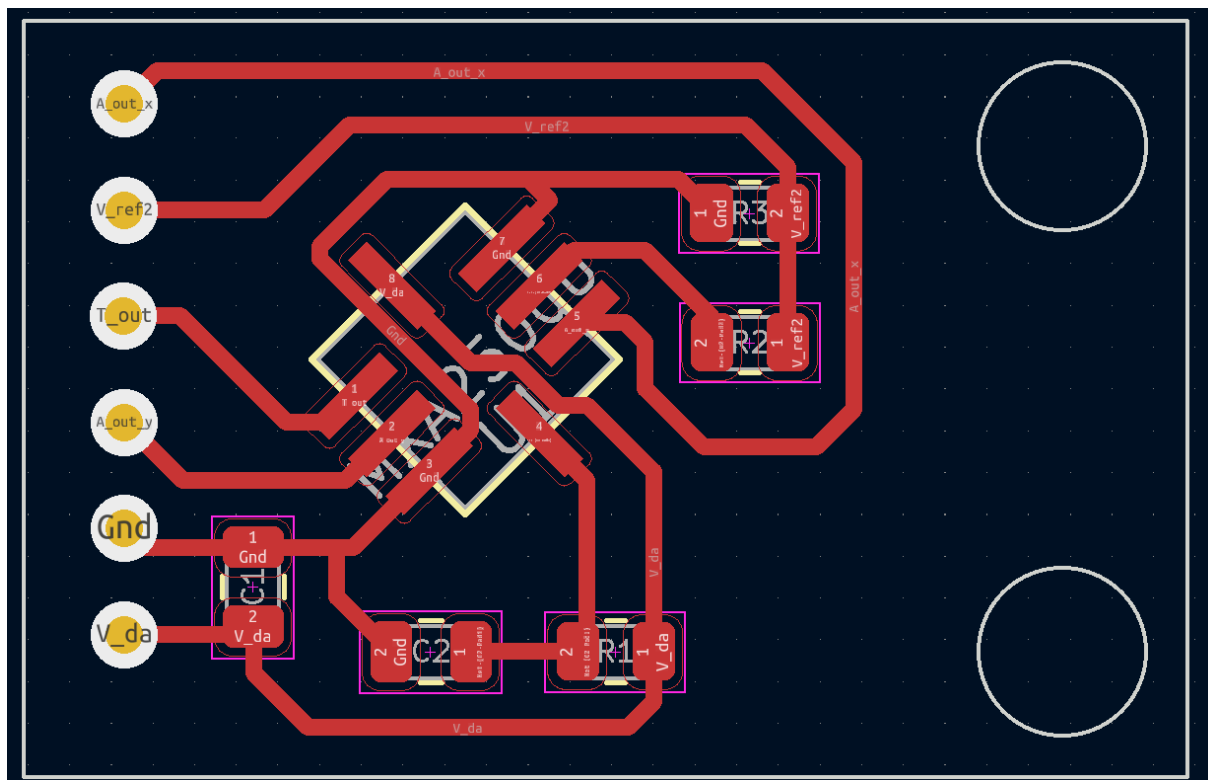
Piirikaavio (schematic) suunniteltiin seuraavaksi. Piiriin sisältyy kaksi käyttöjännitepinniä, analoginen ja digitaalinen. Referensijännitteelle (V_{ref}) on myös oma pinni. V_{ref} on 2.5V ja signaalien nollassa puolet siitä, joten kahdella $100k\Omega$ vastuksella saatiin jännitejako, joka vaimentaisi juuri sopivasti. Datalehdestä kävi myös ilmi, että mikään pinni ei kestä kuormittamista yli $100\ \mu A$ [1]. Kello-signaali kytkettiin maahan, sillä tässä tapauksessa piiri ei tarvinnut ulkoista kelloa. Lopuksi kiihtyvyyssanturin pinneille laitettiin lähdöt. Piirikaavio on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Suunniteltu piirikaavio.

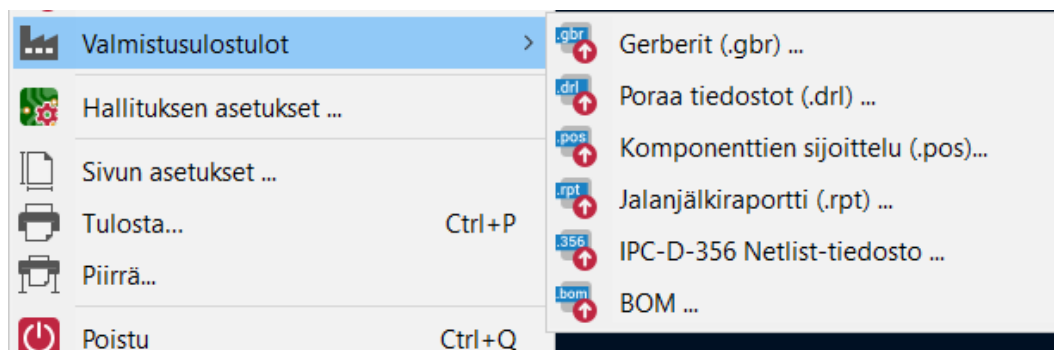
Piirikaavion jälkeen suunniteltiin itse piirilevy (Kuva 5). Piirikaavio laitettiin KiCadissa PCB Editoriin. Tämä vaihe vei eniten aikaa. Editorissa tehtiin muun muassa seuraavat asiat:

- Läpiviennit (2,54 mm etäisyydet toisistaan)
- Komponenttien siirtäminen oikeille paikoilleen ja kääntäminen
- Ulkoreunan ja ruuvien reikien piirtäminen
- Reittien suunnittelu ja piirto

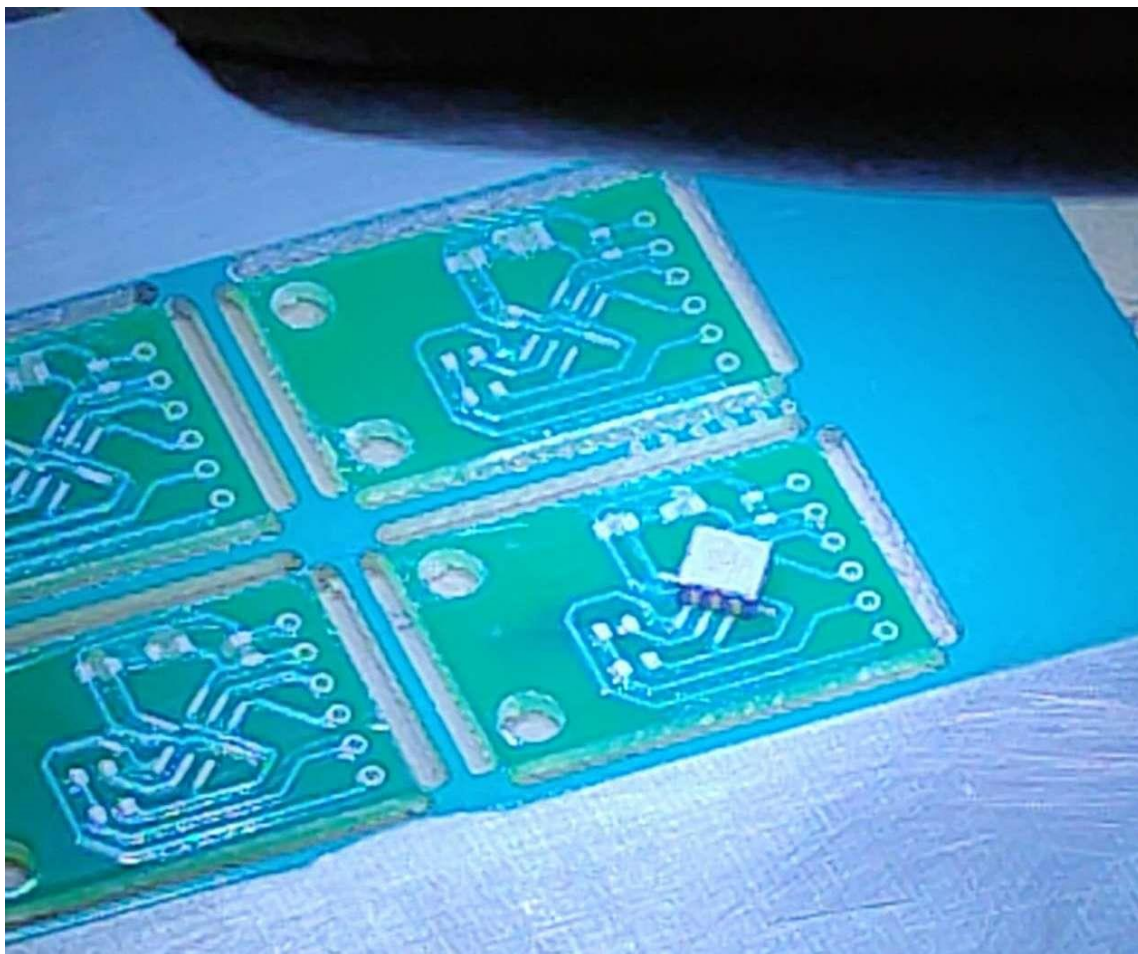


Kuva 5. Suunniteltu piirilevy KiCadissa.

Piirilevyn valmistamiseen tarvittiin Gerber- (.gbr) ja poratiedostot (.drl) (Kuva 6). Tiedostot lähetettiin Oulun yliopiston pajalle, valmiit piirilevyt (Kuva 7) sai käydä hakemassa noin viikon päästä. Piirilevyjä tehtiin 6 kappaletta, joista parhaaseen juotettiin komponentit testausta varten.



Kuva 6. Valmistustiedostot.

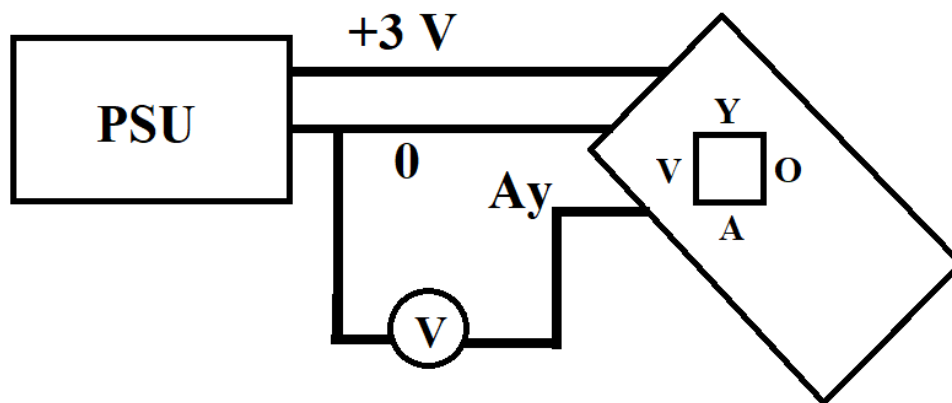


Kuva 7. Piirilevy ennen komponenttien juottamista.

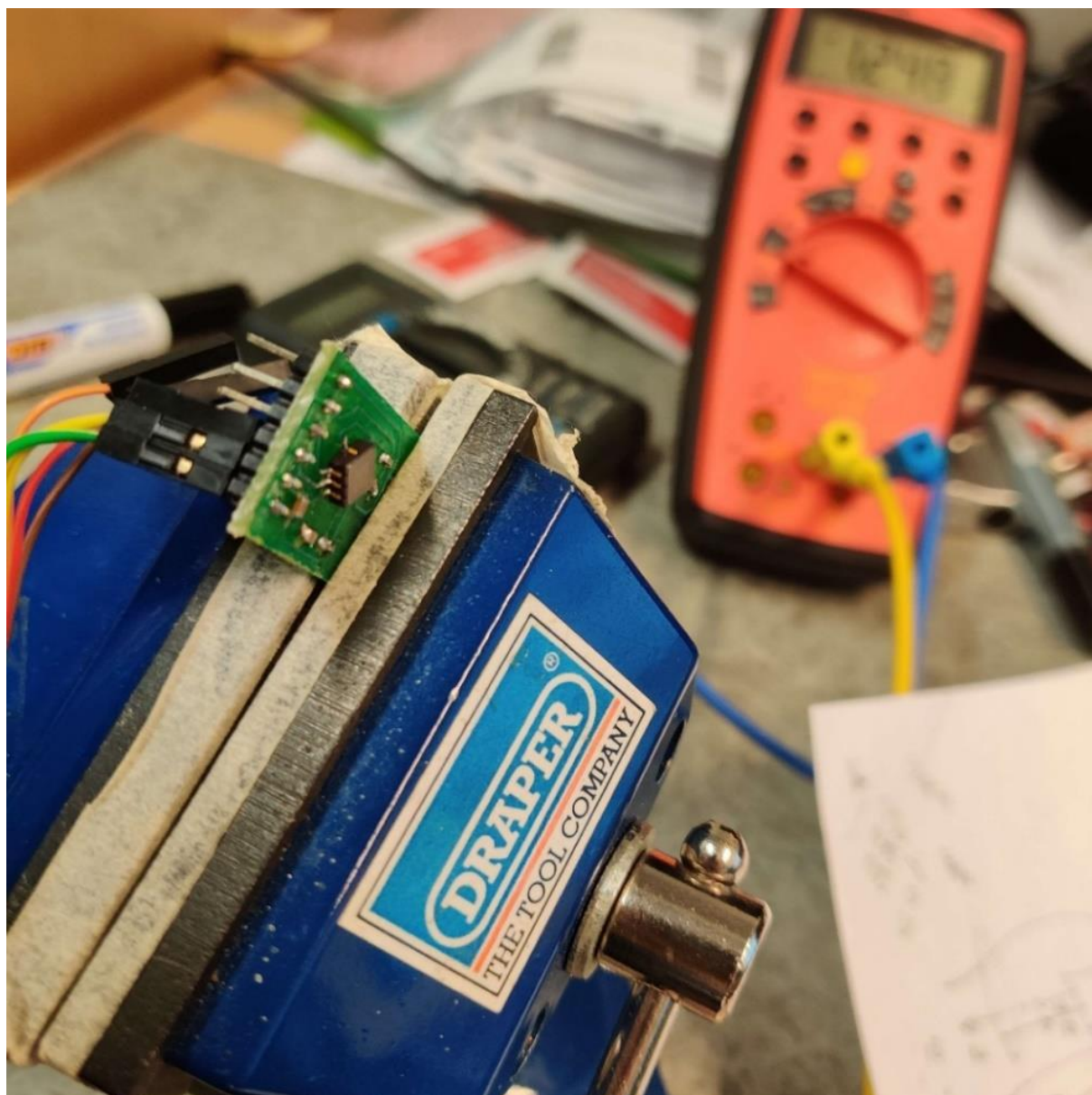
4 TESTAUS JA TULOKSET

4.1 Testijärjestely

Kiihtyvyyssanturia testattiin laittamalla piirilevy 45° kulmaan ja itse anturi pystyasentoon. Jännitelähteestä (PSU) tuotiin 3 V sähkö levyille ja Ay-pinnin (Y-akselin kiihtyvyyssignaali) arvoja mitattiin yleismittarilla. Ilmaa kiihtyvyyssanturin ympäriltä lämmitettiin noin 15 – 30 sekuntia juotoskolvilla ja tutkittiin miten vaakasuuntaista kiihtyvyyttä kuvaavan jännitteen arvo muuttuu. Testijärjestely on esitetty kuvissa 8 ja 9.



Kuva 8. Havainnollistava kuva testijärjestelystä. Piirilevy on kuvassa oikealla.



Kuva 9. Testijärjestely

4.2 Tulokset

Taulukossa 1 on esitetty mittaustulokset millivolteina. Lämpötilalla tarkoitetaan kolvin kärjen lämpötilaa. Tulosten perusteella jännite muuttui 35 – 40 mV, kun kolvin lämpötila oli 400 °C ja kiihtyvyyssanturia lämmitettiin oikealta puolelta. Vasemmalta puolelta muutos oli 25 – 30 mV. Datalehden [1] mukaan laitteen herkkyys on 500mV/g huoneenlämmössä 25 °C. Putoamiskiihtyvyyden tunnuksena on käytössä g ja sen arvo on noin 9,81 m/s² [4].

Tämän jälkeen kolvin lämpötila asetettiin 200 °C:een ja mittaukset tehtiin uudestaan. Jännitteen arvot pienenevät hieman, oikealta puolelta tuloksiksi saatiin muutoksen suuruudeksi 14 – 20 mV. Muutos vasemmalta mitattuna oli noin 16 – 20 mV.

Tavallisen juotostinan sulamispiste on 183 °C. Koska tina ei sulanut, eikä sen haluttukaan sulavan, piirilevyn lämpötila jäi tämän alle. Toisaalta piirilevy tuntui sormissa kuumalta, joten lämpötila oli luultavasti 50 – 80 °C välillä.

Taulukko 1. Tulokset millivolteina (mV)

Lämpötila/Sijainti	400 °C	400 °C	200 °C	200 °C
Oikea	1285	1290	1270	1263
Keskijännite	1250	1249	1250	1249
Vasen	1225	1220	1230	1233
Yläpuoli	1257		1249	
Keskijännite	1248		1248	
Alapuoli	-		1255	

5 POHDINTA

Kun kolvin lämpötila oli 200 °C niin muutos oikealla (14 – 20 mV) ja vasemmalla (16 – 20 mV) oli suunnilleen sama. Sen sijaan kun kolvin lämpötila oli 400 °C niin vasemman puolen muutos (25 – 30 mV) oli huomattavasti pienempi kuin oikean puolen (35 – 40 mV). Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että kolvin kärki saattoi olla liian vähän aikaa paikallaan Ay-pinnan vieressä. Kolvin kärjen asento saattoi myös olla huonosti.

Oletetusti suuremmassa lämpötilassa tapahtui suurempi muutos jännitteessä. Kun kolvin lämpötila oli 400 °C jännite oli noin kaksi kertaa suurempi verrattuna 200 °C:een.

Kiihtyvyyssanturin yläpuolelta mitattuna jännite pysyi 200 °C lämpötilassa keskijännitteen suuruisena. Sen sijaan 400 °C lämpötilassa yläpuolelta mitattu jännite oli hieman suurempi (noin 10 mV) kuin keskijännite. Alapuolelta mitattuna 200 °C lämpötilassa saatiin myös hieman keskijännitettä suurempi tulos. Mittauksia ei tehty alapuolelta 400 °C lämpötilassa.

Tulosten perusteella jännitteen arvot muuttuivat siis noin 15 – 35 mV. Tästä voidaan laskea kulma painovoimavektorille ottamalla arkustangentti ja vertaamalla sitä 500mV:n arvoon. $\text{Arctan}(15/500) = 1,718^\circ$ ja $\text{arctan}(35/500) = 4,004^\circ$. Eli anturin mittaamassa painovoimavektorissa nähtiin noin 2 – 4 asteen muutos.

Lämpötilakameran käyttö olisi ollut mittauksessa kätevää, sillä levyn tarkka lämpötila olisi ollut hyvä tietää.

KiCadin käyttäminen oli yllättävän helppoa, vaikka minulla ei ollut paljon aikaisempaa kokemusta piirilevyjen suunnittelusta. Se on siis aloittelijoille hyvä ohjelmisto, jos on tarvetta suunnitella piirilevy.

6 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin pieni piirilevy MXA2500U kiihtyvyyssanturille. Työssä oli tarkoituksena testata kiihtyvyyssanturin herkkyyttä ympäristön lämpötilan muutoksille. Koska kiihtyvyyssanturi on terminen, se on herkkä ympäristön lämpötilan vaihteluille.

Aluksi kiihtyvyyssanturille tehtiin symboli ja jalanjälki KiCadissa. Sen jälkeen suunniteltiin piirikaavio ja itse piirilevy. Suunnitellun piirilevyn tiedostot lähetettiin Oulun yliopiston pajalle valmistettavaksi. Seuraavaksi piirilevyyn juotettiin komponentit kiinni testausta varten.

Kiihtyvyyssanturista mitattiin Y-akselin kiihtyvyyssignaalia yleismittarilla ja jännitteiden arvot kirjattiin ylös millivoltteina. Mittaus toteutettiin siten, että ilmaa kiihtyvyyssanturin ympäriltä lämmitettiin juotoskolvin kärjellä noin puoli minuuttia. Juotoskolvin lämpötilat olivat 400 °C ja 200 °C.

7 LÄHDELUETTELO

- [1] MXA2500U Datalehti ja tuotteen kuvaus (luettu 16.3.2023) URL:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/118307/ETC1/MXA2500U.html>
- [2] Li W. (luettu 16.3.2023) PCB:n kehityshistoria ja suuntaukset. URL:
<https://www.mokotechnology.com/fi/pcb-history-and-trends/>
- [3] KiCad (luettu 25.3.2023) URL: <https://www.kicad.org/about/kicad/>
- [4] SI-opas: suuret ja yksiköt, SI-mittayksikköjärjestelmä (Système international d'unités) (1974). Suomen standardisoimisliitto, Vakaustoimisto, Helsinki, 14 s.
- [5] Accelerometer Basics (luettu 8.5.2023) URL:
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/accelerometer-basics/all>
- [6] Chris W. (luettu 11.5.2023) Accelerometers. URL:
<https://www.explainthatstuff.com/accelerometers.html>