

Utveckling av vibrationsmättningsmodul för hand- och armvibration

Ville Kiiski

Examensarbete för ingenjörsexamen

Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik

Vasa 2023

EXAMENSARBETE

Författare: Ville Kiiski

Utbildning och ort: El- och automationsteknik, Vasa

Inriktning: Automationsteknik

Handledare: Matts Nickull

Titel: Utveckling av vibrationsmätningsmodul för hand- och armvibration

Datum: 5.6.2023 Sidantal: 31

Abstrakt

Detta examensarbete hanterar design och utvecklingsprocessen för tillverkning av en batteridrivna vibrationssensormodul för mätning av hand- och armvibrationer. Arbetet har gjorts i samarbete med Mirka Ab Power Tools-enheten och begränsas till hårdvaran. Mirka har specialiserat sig inom ytbehandling och har idag ett brett utbud av produkter inom slipning och polering.

Risker med långvarig utsättning för vibrationer är kända och måste därför övervakas. Otillräcklig övervakning kan leda till permanenta skador till nervsystemet och blodcirkulationen i handen och armen. ISO 5349-1:2001 standarden hanterar allmänna riktlinjer för utvärdering av risker då en person utsätts för vibrationer under en viss tidsperiod.

Mirkas slipmaskiner som produceras idag har inbyggd kapabilitet att mäta vibrationer medan äldre maskiner inte har denna funktionalitet. Sensormodulen skulle monteras externt på en slipmaskin och därefter samla och rapportera vibrationsdata till övervakningssystemet.

Språk: svenska

Nyckelord: kretskort, vibration, pcb

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Ville Kiiski

Koulutus ja paikkakunta: Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Automaatiotekniikka

Ohjaaja(t): Matts Nickull

Nimike: Tärinäanturimoduulin kehitys käsitärinän mittaukseen

Päivämäärä: 5.6.2025 Sivumäärä: 31

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö käsittelee akulla toimivan tärinäanturimoduulin suunnittelu- ja kehitysprosessia. Moduuli on suunniteltu käsitärinän mittaukseen ja on tehty yhteistyössä Mirka Oy Power Tools-osaston kanssa. Mirka on erikoistunut pintakäsittelyyn ja tarjoaa laajan valikoiman hioma- ja kiillotustuotteita.

Käsitärinän pitkäaikaisen altistumisen vaarat ovat tunnettuja ja ne on todettu, joten työssä niitä on seurattava. Liiallinen altistuminen voi tuottaa pysyviä vammoja käden ja käsivarren hermostoon ja verenkiertoon. ISO 5349-1:2001 standardi käsittelee yleisiä ohjeistuksia tärinälle altistumisen tuottamista vammoista määrätyllä aikavälillä.

Mirkan valmistavat nykyaikaiset hiomakoneet pystyvät itse mittaamaan käytön yhteydessä luodun tärinän mutta vanhemmilla hiomakoneilla ei ole tätä sisäänrakennettua toimintaa. Tärinäanturimoduuli kiinnitettäisiin ulkoisesti hiomakoneeseen, jonka jälkeen anturi mittaisi käytössä tuotetun tärinän ja raportois sen valvontajärjestelmälle.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: piirilevy, tärinä, pcb

BACHELOR'S THESIS

Author: Ville Kiiski

Degree Programme: Electrical Engineering and Automation, Vaasa

Specialisation: Automation

Supervisor(s): Matts Nickull

Title: Development of Vibration Sensor Module for Measuring Hand-arm Vibration

Date: June 5nd, 2023 Number of pages: 31

Abstract

This thesis covers the design and production process of developing a battery-driven vibration sensor module for measuring hand-arm vibration. The project has been done in collaboration with Mirka Ltd Power Tools department. Mirka is specialised in surface finishing and offers a wide range of sanding and polishing products.

The dangers and risks associated with prolonged exposure to hand-arm vibrations are known and must therefore be monitored. Inadequately doing so may cause permanent damage to the nervous system and blood circulation in the hand and arm. The ISO 5349-1:2001 standard offers general guidelines on how to measure and evaluate the risks of vibration exposure during a set amount of time.

Today Mirka produces sanders with built-in capabilities to measure and monitor vibrations, but older machines do not have this function. The sensor module is mounted externally to such machines so that vibrations can be measured, and the data sent to a monitoring system.

Language: Swedish

Key words: circuit board, vibration, pcb

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Uppgiftsbeskrivning.....	2
2	Teori	2
2.1	ISO 5349-1:2001.....	3
2.2	Mikrokontroller	4
2.3	Vibrationsmätning (accelerometer)	4
2.4	Kommunikation	6
2.4.1	Intern kommunikation	6
2.5	Batteri	8
2.6	Altium Designer	10
2.6.1	Komponentbibliotek.....	10
2.6.2	Kretsritning.....	11
2.6.3	PCB-layout.....	12
2.7	Gerber	15
3	Utveckling.....	15
3.1	MCUn (Mikrokontrollermodulen)	16
3.2	Accelerometern.....	19
3.3	Batterikrets och laddare.....	20
3.3.1	USB Typ-C.....	20
3.3.2	Batteriladdare	21
3.3.3	Batterinivå.....	22
3.4	Övervakningskrets.....	23
3.5	Spänningsregulator	24
3.6	Altiumlösningen.....	25
4	Resultat	27
5	Diskussion	28
6	Källförteckning.....	29

1 Inledning

Även i vår eviga marsch emot automatisering och fjärrkontroll av arbetsprocesser i namnet av effektivitet, säkerhet och ekonomisering, kommer det att finnas ett behov för att manuellt utföra en arbetsuppgift som bara en arbetare med erfarenheten och ögat för kan utföra.

Av denna orsak har företag som utvecklar arbetsmaskiner satt signifikant fokus på användarvänlighet och säkerhet i nya verktyg, speciellt eldrivna verktyg. Men vad händer med pneumatiska verktyg eller äldre maskiner som är fullt funktionerande, men som saknar dessa kritiska funktioner för arbetssäkerheten?

Detta examensarbete handlar om planerings-, utvecklings- och fabrikationsprocessen för att tillverka ett kretskort för vibrationsmätning för en slipmaskin. Målet var att producera en modul som kan monteras på en slipmaskin för övervakning av mängden vibrationsexponeringen som en operatörs kropp utsätts för. Den insamlade datan rapporteras till ett övervakningssystem via Bluetooth eller Wifi för uppföljning och eventuella åtgärder.

1.1 Bakgrund

Examensarbetet utfördes på Mirka Ab under Power Tools-enheten. Mirka grundades år 1943 och har sedan dess blivit en specialist inom ytbehandling. Idag har Mirka ett brett utbud av produkter inom slipning, polering och relaterade tillbehör.

Orsaken till behovet av en externt monterad vibrationssensor ligger i standarden ISO 5349-1:2001. Standarden hanterar allmänna riktlinjer för utvärdering av risker då en person utsätts för vibrationsexponering under en 8 timmars tidsperiod, beroende på frekvensen och amplituden av vibrationerna. För att se till att en operatörs arbetsmiljö och utrustning inte kommer att orsaka skador, så måste de vibrationer som hen utsätts för mätas och utvärderas.

Nyare modeller av el- och batteridrivna slipmaskiner som Mirka tillverkar har inbyggd kapabilitet att mäta de vibrationer som maskinen skapar, men äldre maskiner och de pneumatiska slipmaskinerna saknar denna funktion. Modulen uppgift är att komplettera dessa brister.

1.2 Uppgiftsbeskrivning

Arbetet innehåller planering, design, tillverkning och testning av en vibrationssensormodul. Modulen skall vara batteridrivna och kommunicera med ett övervakningssystem över Bluetooth eller Wifi.

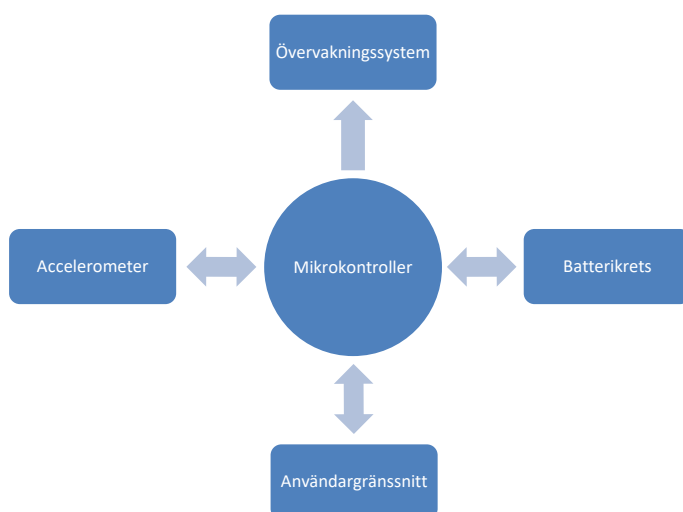
När modulen är aktiv mäter den vibrationer med en accelerometer och behandlar den insamlade datan före den rapporteras till övervakningssystemet. Accelerometern och mikrokontrollern som skall användas är komponenter som redan används av Mirka eller är under aktiv utveckling för att göra designprocessen smidigare.

Detta examensarbete begränsades till utveckling och testning av hårdvaran.

2 Teori

Vid användning av arbetsmaskiner är vibrationer en central fråga vad beträffar användbarhet och säkerhet. För detta ändamål finns standarder som dels ger en fingervisning om vad som är rimliga gränsvärden, men också hur dessa skall mätas och tolkas för att undvika skador.

För att undvika dessa skador måste den dagliga vibrationsexponeringen och vibrationens acceleration som handen utsätts för mätas. Mätningen kan göras med extern modul som innehåller en 3-axlig accelerometer. För kontinuerlig övervakning kan en extern modul också användas men en inbyggd sensor på maskinen är det moderna och praktiska alternativet.



Figur 1. Översiktsbild på hur de olika delarna samverkar.

2.1 ISO 5349-1:2001

Internationella standardiseringsorganisationens, ISO, standard ISO 5349–1:2001 specificerar allmänna krav på mätning och rapportering för exponering av handvibrationer i tre ortogonala axlar. Standaren definierar sätt att ta i beaktan och filtrera vibrationer av olika frekvenser för jämlig mätning (SIS, u.å.).

I företeckningen över yrkessjukdomar (769/2015) definierar Finska statsrådets förordning vita fingrar och polyneuropati i de övre extremiteterna som yrkessjukdomar orsakade av vibration. Vita fingrar orsakas av blodkärlskrämp, vasospasam, som hindrar blodcirkulation till fingrarna, därav namnet *vita fingrar* (Arbetshälsoinstitutet, u.å.).

Andra kännetecken än bleknade fingrar är försämrad känsel och funktion av fingrarna. Om vibrationsexponeringen inte upphör, så kommer de påverkade områden att växa. En person som har blivit drabbad av vita fingrar behöver inte nödvändigtvis bli utsatt för vibrationer för att symptomen kan framträda. Stress, rökning, kyla, fukt, andra sjukdomar och mediciner kan trigga symtomen (Svenska Arbetsmiljöverket, u.å.).

Polyneuropati kommer i flera olika varianter men gemensamt för alla är utbredd funktionsnedsättning i kroppens perifera nerver (Neuro, u.å.). När vibration riktas mot händerna drabbas känselnerverna, men även de motoriska never. Symptom är vanligtvis domningar och stickningar i fingrar och händer, minskad känslighet för beröring i fingrarna, fumlighet i händerna och minskad tryckkraft (Arbetshälsoinstitutet, u.å.).

2.2 Mikrokontroller

Mikrokontrollern, ENG: Microcontroller, Microcontroller-unit, MCU, utvecklades ur idén att kombinera en processor, minne, ROM, Read-Only Memory, och kringutrustning i samma kapsel och ser ut som vilken som helst mikrokrets som kunde användas i inbyggda/inbäddade system. De första mikrokontrollerna kom ut på marknaden i början av 1970-talet och enligt Stan Augarens (1983, s. 38) bok *State of the Art : A Photographic History of the Integrated Circuit* var det Texas Instruments ingenjörerna Gary Boone och Michael Cochran som uppfann den första ”mikrodatorn”, TMS 1000.

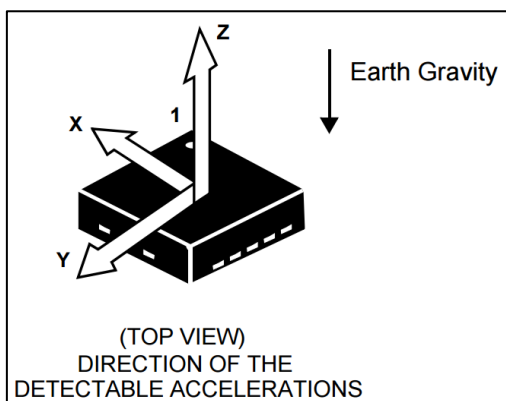


Figur 2. TI TMS 1000 Mikrokontroller. (CHM, u.å.).

Moderna mikrokontroller är uppbyggda i stort sett av samma grundkomponenter som de första mikrodatorerna. En mikroprocessor, arbetsminne, programminne, kringutrustning och olika slag av I/O, Input/Output, enheter inom samma kapsel som kan fungera som en autonom styrenhet eller som en del av en större helhet.

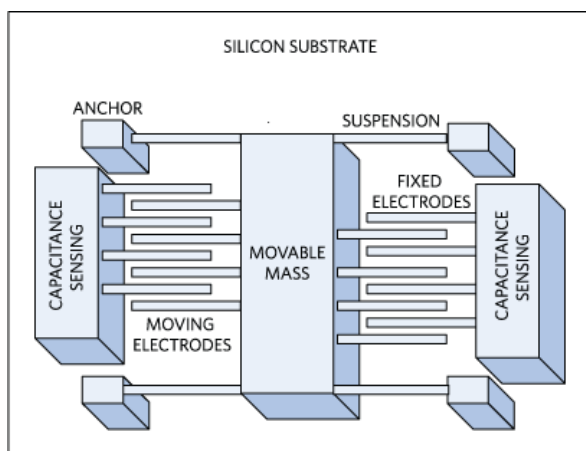
2.3 Vibrationsmätning (accelerometer)

Accelerometern är en givare som detekterar förändringen i hastighet över en viss tidsperiod. Denna kraft tolkas som acceleration och mäts i enheten m/s^2 . På grund av att acceleration är beroende av en tidskomponent, så kommer en accelerometer i fritt fall att visa en acceleration på $0 m/s^2$. Med att placera tre sensorelement i tre olika orienteringar så fungerar helheten som en 3-axlig accelerometer kapabel att mäta acceleration i tre dimensioner.



Figur 3. De tre dimensioner som acceleration kan mätas i. (Sparkfun, u.å.).

Den mest allmänna typen av accelerometer som används idag är den kapacitiva typen. När givaren utsätts för rörelse så ändrar kapacitansen på givarelementet. Denna ändring i kapacitans omvandlas till en spänning som kan tolkas som en acceleration. Dessa accelerometrar har blivit populära pga. deras användning i mobiltelefoner och nyttjande av MEMS, Micro-Electro-Mechanical Systems, fabrikationsteknologi som gör tillverkning i stora kvantiteter väldigt ekonomiskt (TE Connectivity, u.å.).



Figur 4. Mekanisk modell av en kapacitiv accelerometer. (Analog Devices, u.å.).

2.4 Kommunikation

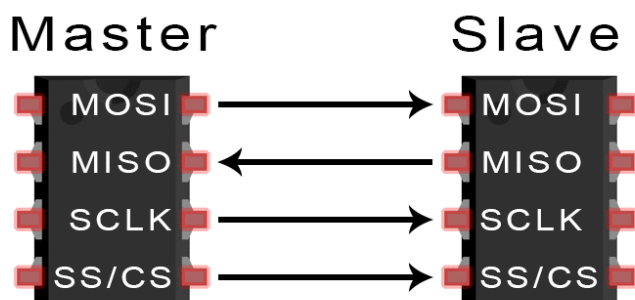
Kommunikationen som sker kan delas i två kategorier, intern och extern. Intern kommunikation består av kommunikationen på kretskortet, mellan mikrokontrollern och accelerometern i detta projekt, medan extern kommunikation skulle bestå av kommunikationen mellan kretskortet och övervakningssystemet. På grund av att detta examensarbete begränsats till hårdvara så behandlas inte extern kommunikation.



Figur 5. Kommunikationsschema.

2.4.1 Intern kommunikation

Kommunikationen mellan mikrokontrollern och accelerometern sker via Serial Peripheral Interface-protokollet. SPI är en form av seriekommunikation som kräver en masterenhet och en slavenhet men antalet slavenheter är teoretisk oändligt. SPI-kommunikation kräver fyra trådar mellan masterenheten och slavenheten.



Figur 6. SPI mellan en master- och en slavenhet. (Circuit Basics, u.å.).

De fyra signalerna som krävs för SPI-kommunikation är:

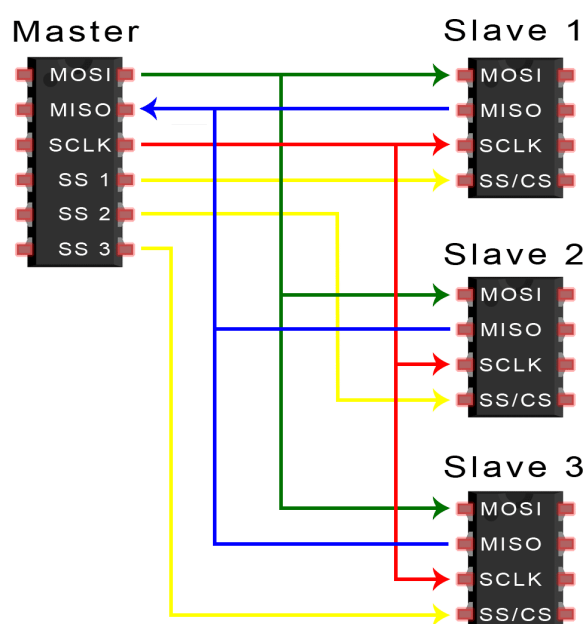
MOSI (Master Output/Slave Input) – Utgående datalinjen från masterenheten till de slavenheter som är tillkopplade.
--

MISO (Master Input/Slave Output) – Inkommande datalinjen till masterenheten från slavenheterna.

SCLK (Clock) – Klocksignalen genererad av masterenheten.

SS/CS (Slave Select/Chip Select) – Signallinjen för masterenheten att välja vilken slavenhet den vill kommunicera med.

När kommunikation mellan flera olika slavenheter krävs, så delar enheterna på MOSI, MISO och klocksignalen medan masterenheten väljer vilken slavenhet den vill kommunicera med genom att sicka signal via den korresponderande signallinjen.



Figur 7. SPI-koppling mellan en masterenhet och tre slavenheter. (Circuit Basics, u.å.).

Kommunikation mellan masterenheten och slavenheten sker i tre eller fyra steg.

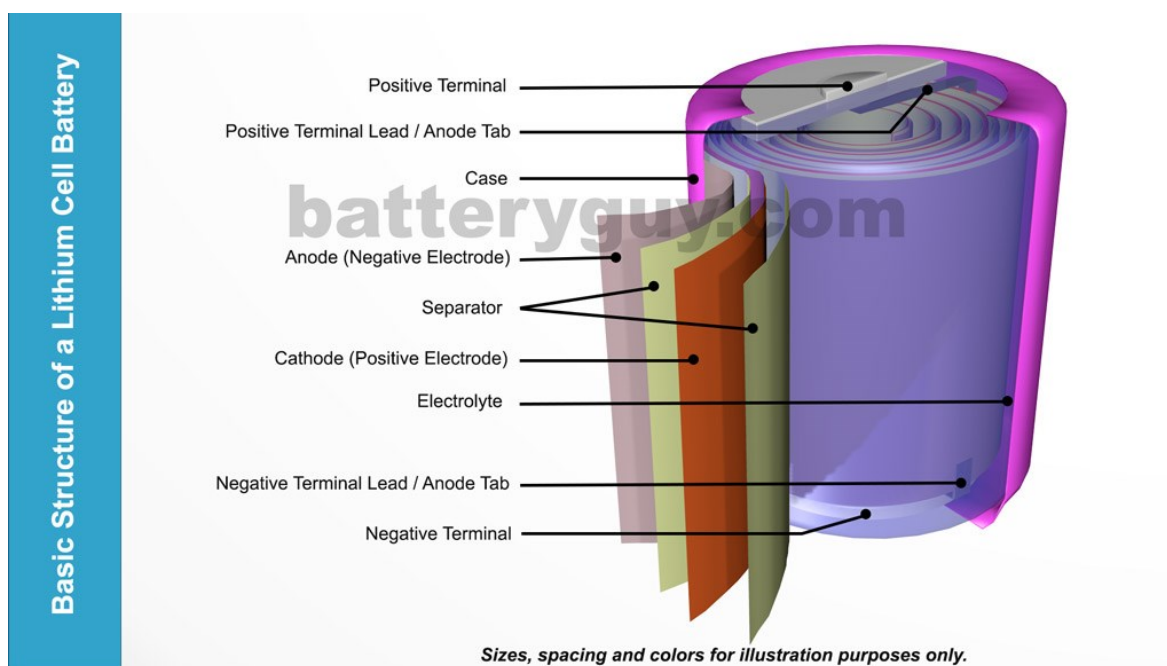
1. Masterenheten aktiverar klocksignalen.
2. Den korrekta SS/SC signalen, om flera slavar är kopplade, körs från hög till lågt läge för att aktivera slavenheten.
3. Masterenheten skickar ut data på MOSI-linjen. Om ett svar inte krävs av slavenheten i fråga så tar kommunikationen slut.
4. Om ett svar krävs av slavenheten så svarar den på MISO-linjen.

2.5 Batteri

När det finns ett behov av att välja ett laddbart batteri för ett personligt projekt eller för en nyutvecklad produkt, står två batteriteknologier som de populäraste alternativen, litiumjonbatteri och litumpolymerbatteri, på engelska Lithium-Polymer/LiPo och Lithium-Ion/Li-Ion. Fastän batterierna är väldigt liknande till varandra så har de vissa skillnader som påverkar deras prestanda.

Litiumbatterier är uppbyggda av fyra komponenter.

- Katod - Positiva polen som oftast består av grafit.
- Anod – Negativa polen som består till största delen av litium.
- Separator – Ett material som separerar katoden och anoden elektriskt så att interna kortslutningar inte förekommer i batteriet.
- Elektrolyten – Mediet som tillåter joner att förflytta sig mellan anoden och katoden.



Figur 8. Typisk konstruktion på ett litiumcellbatteri. (TheBatteryGuy.com, 2020).

Det som huvudsakligen skiljer litium-jonbatterier från litumpolymerbatterier är typen av elektrolyt. Elektrolyten i litium-jonbatterier är i vätskeform medan i litium-polymerbatterier är det ett gel-liknade material. (Ahmad, 2022).

Några för- och nackdelar med båda batterityperna:

Litium-jonbatteri

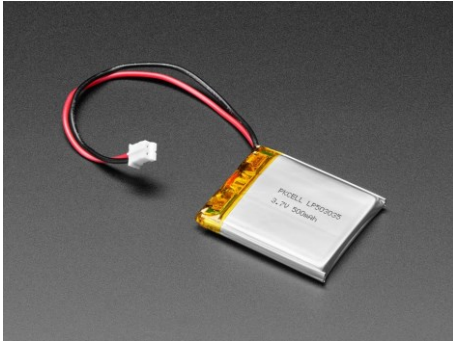
- + Billigare på grund av massfabrikation
- + Större energitäthet
- + Längre livslängd
- Skörare
- Större chans för elektrolytläckage

Litium-polymerbatteri

- + Säkrare p.g.a. robustare konstruktion
- + Mindre passiv urladdning
- + Mångsidigare angående form och konstruktion på grund av gel-liknande elektrolyt
- Kortare livslängd



Figur 9. Samsung SDI 18650 Li-Ion battericell. (TME, u.å.).



Figur 10. Typisk litium-polymerbatteri på den kommersiella marknaden. (Adafruit, u.å.).

2.6 Altium Designer

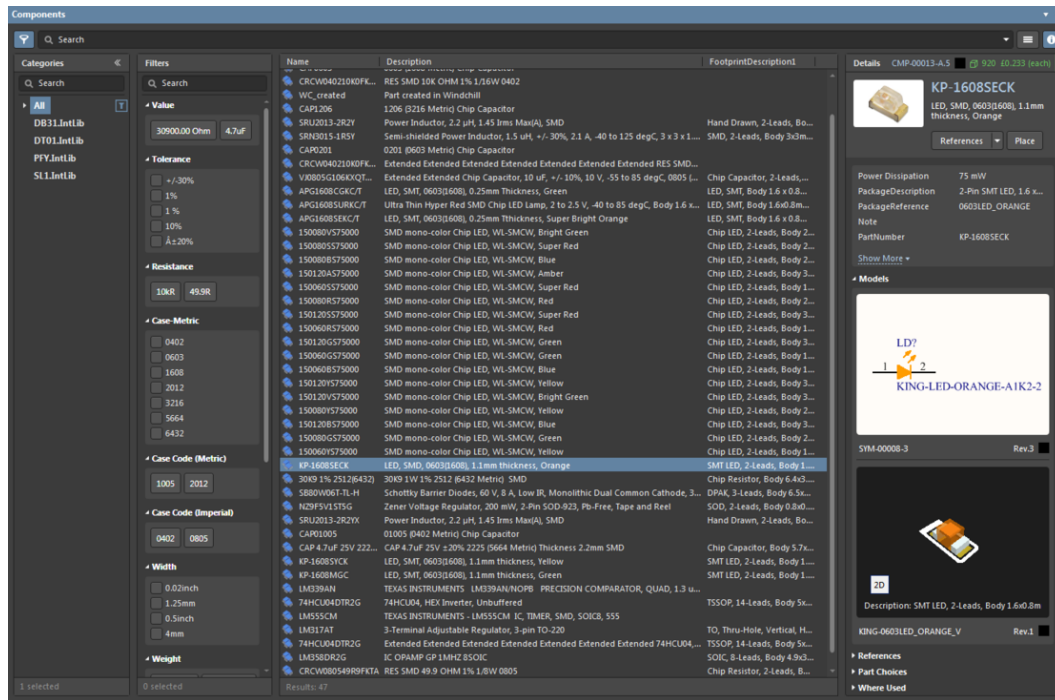
Altium Designer är ett ECAD/EDA, Electronic Computer-Aided Design/Electronic Design Automation, program används för planering av kretskort. Altium Designer är det mest använda kretskortsdesignprogrammet i världen, med över 35 år av erfarenhet. (Altium, u.å.a).

Altium Designer ger möjligheten att arbeta med kretsritning, PCB-layout, hantering av kretskortet i en 3D miljö och mera i en sömlös arbetsmiljö. Altium klarar också av att jobba parallellt i med MCAD/MDA, Mechanical CAD/Mechanical Design Automation, program såsom SOLIDWORKS och Autodesk Fusion 360, för en smidigare arbetsprocess med mekaniska designen i ett projekt eller under produktutveckling. (Altium, u.å.b).

Altium erbjuder omfattande dokumentation och guider för diverse problem som kan uppstå under designprocessen. Med Altium Designer extensiva användning i industrin och mångsidiga användarbas så förekommer sällan problem som inte kan lösas.

2.6.1 Komponentbibliotek

Altiums komponentbibliotek tillåter hantering av projektets komponenter endera lokalt eller via en central databas tillgänglig för ett helt designteam. Nya komponenter kan skapas snabbt manuellt med valbara parametrar, importeras manuellt via filer från tillverkare eller importeras automatiskt mha. Manufacturer Part Search-funktionen.



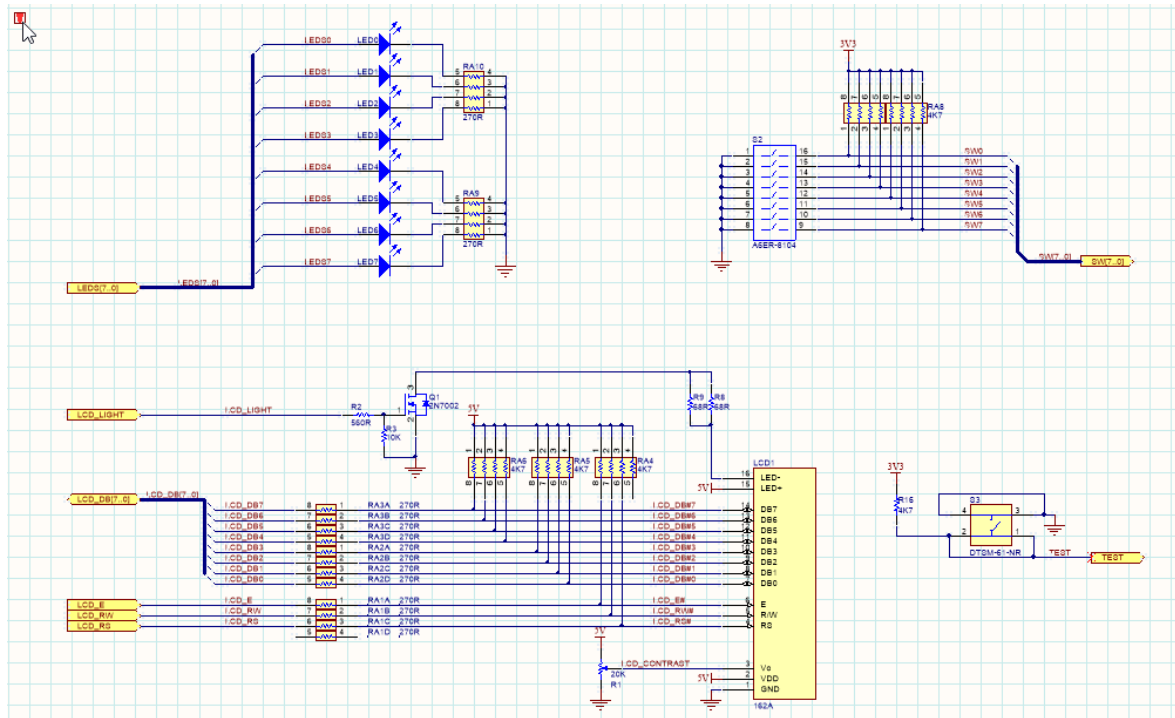
Figur 11. Komponentbiblioteket. (Altium, 2018).

2.6.2 Kretsritning

I kretsritningsverktyget skapas den logiska representationen av den uppgift din krets eller komponent skall utföra. Detta kan göras på ett schemablad för enkla designer eller spridas ut på flera blad som är kopplade till varandra för mera komplexa kretsar.

Komponenterna som behöves för kretsen kan läggas till direkt via drag-and-drop från komponentbibliotekpanelen i schemaeditorn. Om existerande delkretsar från tidigare projekt används kan man kopiera in de delar man behöver eller om hela scheman användas kan de kopieras in direkt utan att originalen editeras. (Altium, 2022a).

Ur kretsritningsverktyget kan kretsen exporteras direkt till layout-verktyget.

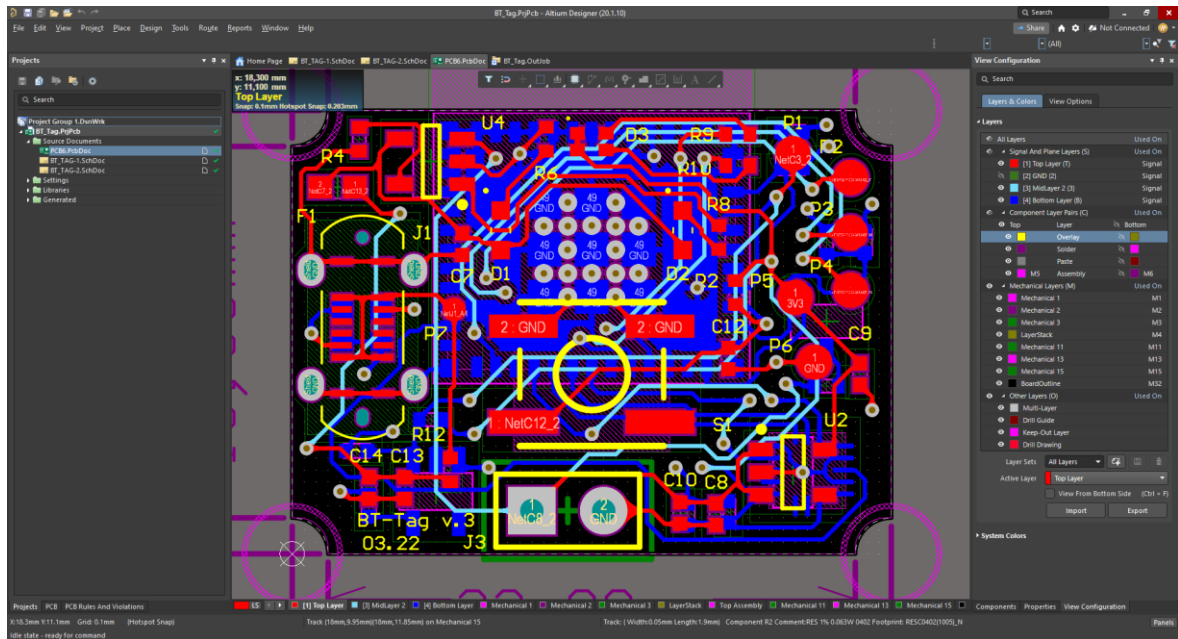


Figur 12. Kretsritning i Altium. (Altium, 2022a).

2.6.3 PCB-layout

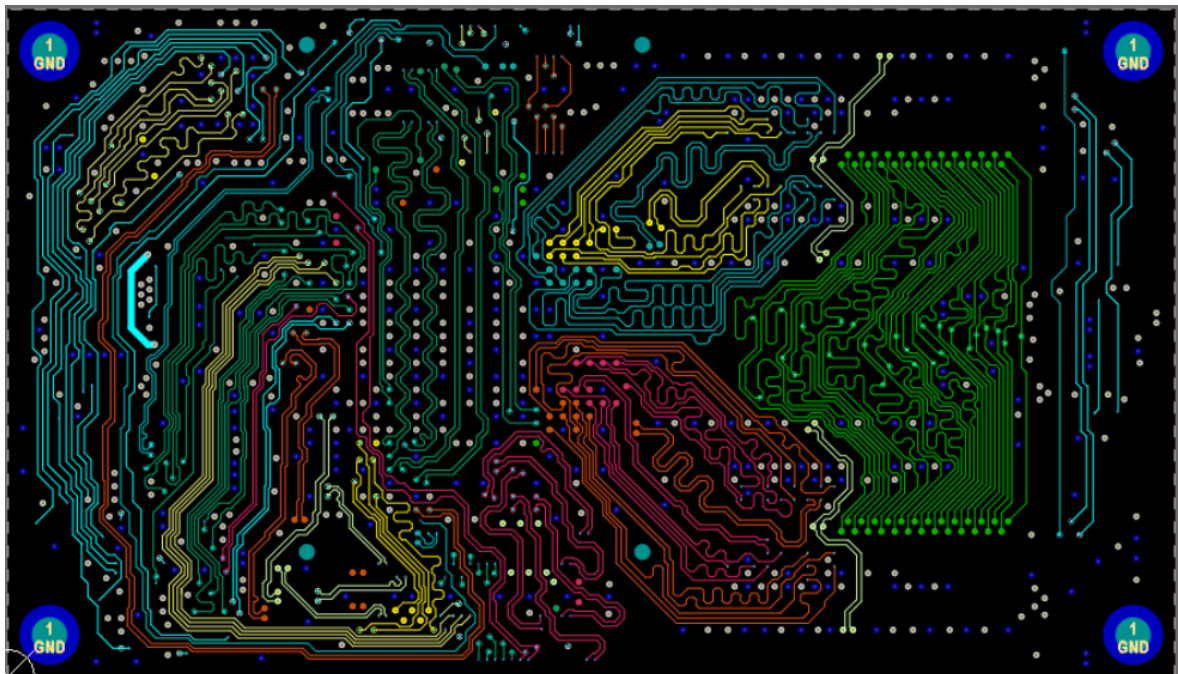
Altium Designers PCB verktyg ger möjligheten att jobba med både rigida och flexibla material i ett fullständigt 3D arbetsutrymme.

Kretskortet du kan skapa kan vara av vilken form som helst till en maximal storlek av 254 cm x 254 cm, 100" x 100". Det är också möjligt att arbeta med designer som använder sig av ett moderkort och ett eller flera dotterkort anslutna via band- eller flatkablar. Ett kretskort kan maximalt ha 32 signallager och 16 materiallager. (Altium, 2022b).



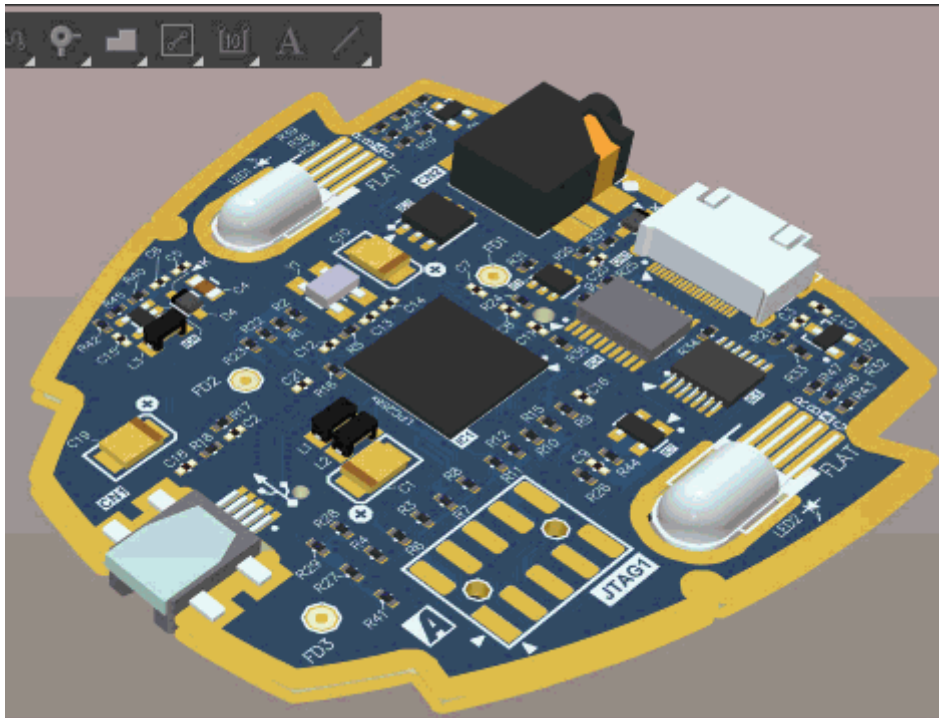
Figur 13. PCB-layout i Altium Designer.

Kontakterna mellan komponenterna kan ritas in manuellt eller via det så kallade Routing-verktyget. I verktyget kan man ställa in brädden på konduktiva materialet, prioritering för specifika signaler, hur aggressiva vinklar och hörn får förekomma, mm.



Figur 14. Exempel på ett kretskort med focus på routing. (Altium, 2022c).

3D-vyn ger möjligheten att hantera kretskortet fritt och att se hur alla komponenter sitter på kortet. Om designen består av flera individuella kort kan man se hur de sitter ihop med varandra mekaniskt.

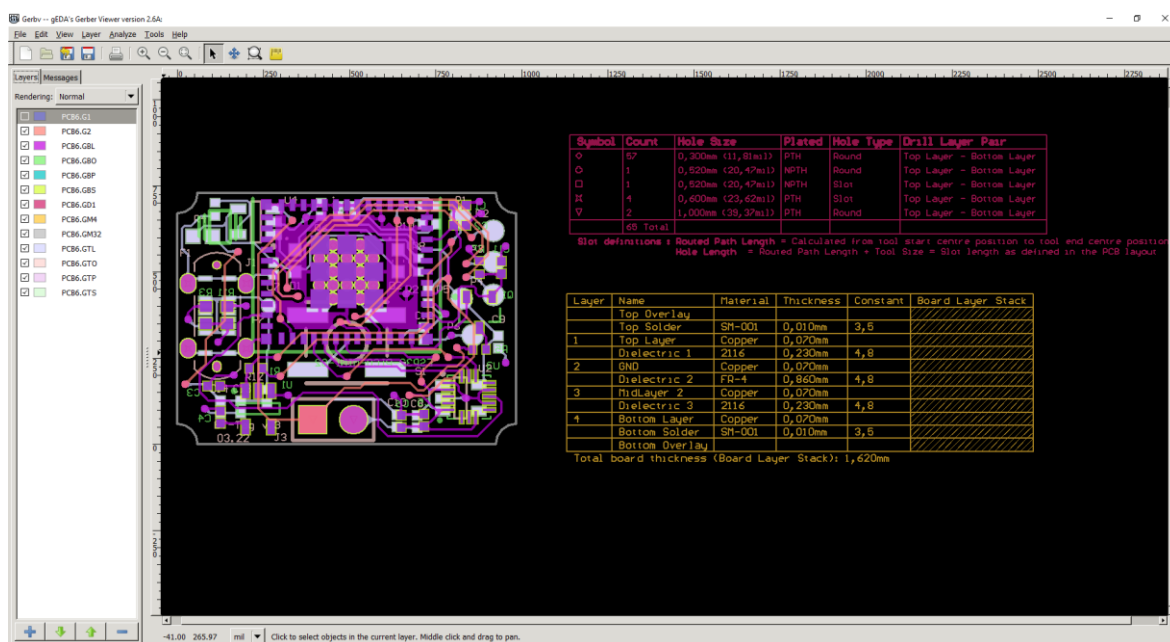


Figur 15. 3D-vyn av ett kretskort i Altium Designer. (Altium, 2022b).

2.7 Gerber

Gerber är dagens de facto-standard för filtyp av ritningar vid tillverkning av mönsterkort, ENG: printed circuit board/PCB, och är även kallad ”rygggraden för elektronikfabrikations industrin” (Ucamco u.å.).

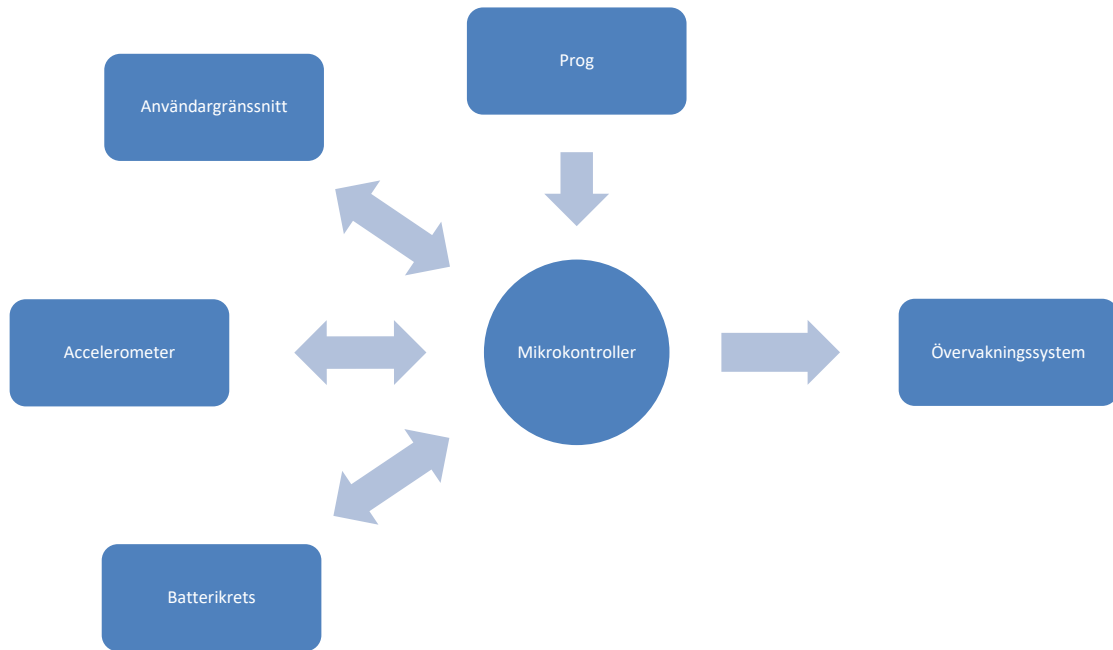
Gerbv är ett öppen kod-program som används för att visualisera gerber instruktioner. Programmet är ett bra sätt att dubbelkontrollera de gerber filer som genererats av ECAD programmet inför fabrikation.



Figur 16. Vyn i Gerbv.

3 Utveckling

Från och med tidigt i projektet bestämdes vilka huvudkomponenter som skulle användas. Genom att använda samma eller liknande komponenter som redan används i Mirkas existerande produkter eller produkter under aktiv utveckling, blir designprocessen simplificerad. Komponenterna i fråga är Espressif ESP32 mikrokontroller och STMicroelectronics LIS3DH accelerometer. Den specifika mikrokontroller inom ESP32 familjen av produkter som skulle användas ändrade under designperioden med slutligen valdes modulen ESP32-PICO-MINI-02.

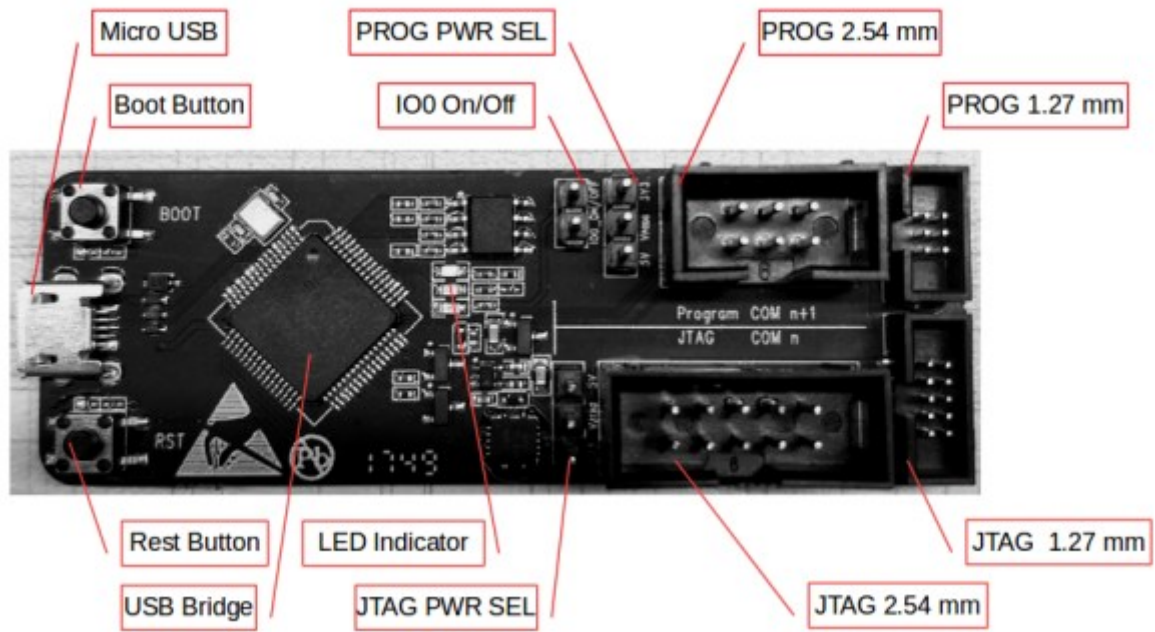


Figur 17. Interaktionsschema över systemet.

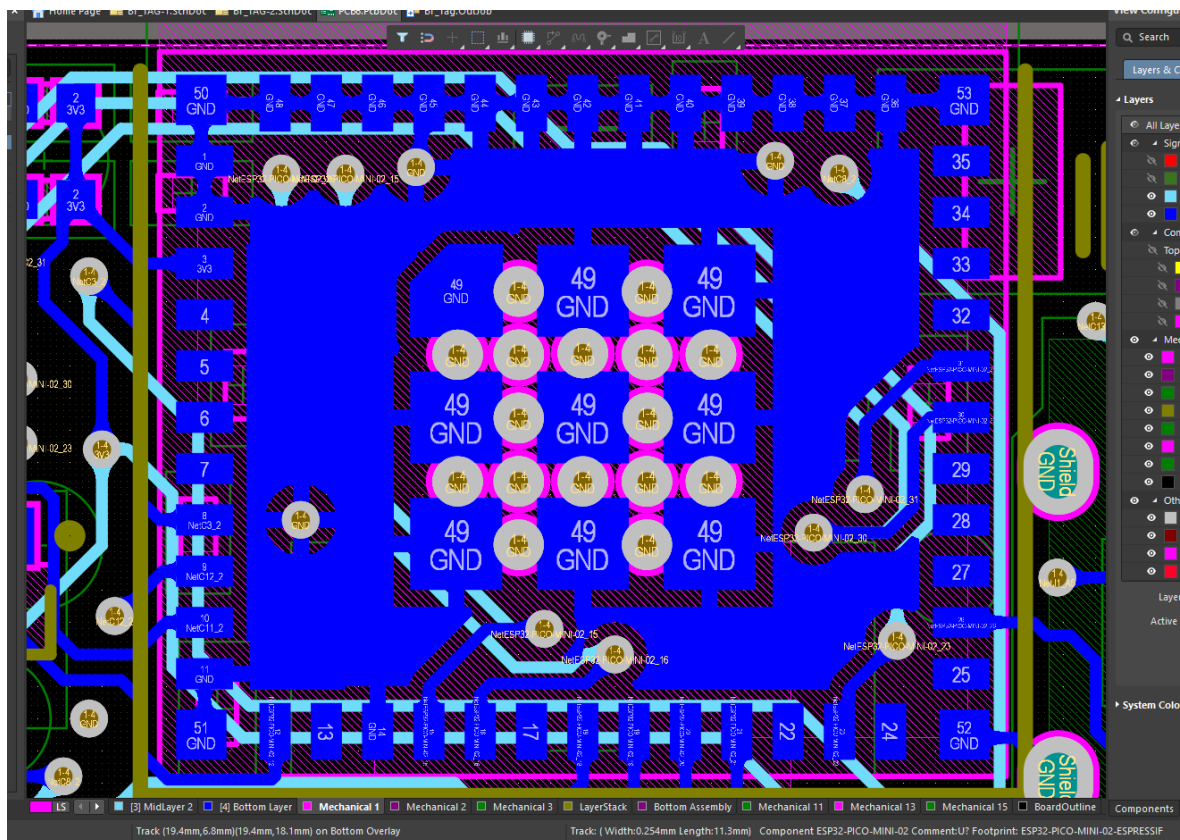
3.1 MCUn (Mikrokontrollermodulen)

Espressif Systems mikrokontrollermodul ESP32-PICO-MINI-02 är utrustad med en Xtensa dual-core 32-bitars LX6 mikroprocessor, 8 MB av intern SPI flash minne, kapabilitet för trådlös kommunikation över WiFi och Bluetooth och ett generöst antal av funktioner över 27 GPIO, General-purpose input/output, portar. (Espressif, 2022).

För nyckelfunktionen av kretskortet dvs. vibrationsmätningen så används IO portarna 12–15 och 20. IO12–15 hanterar SPI-kommunikationen mellan mikrokontrollern och accelerometern medan IO20 är en avbrottssignal från accelerometern till mikrokontrollern.



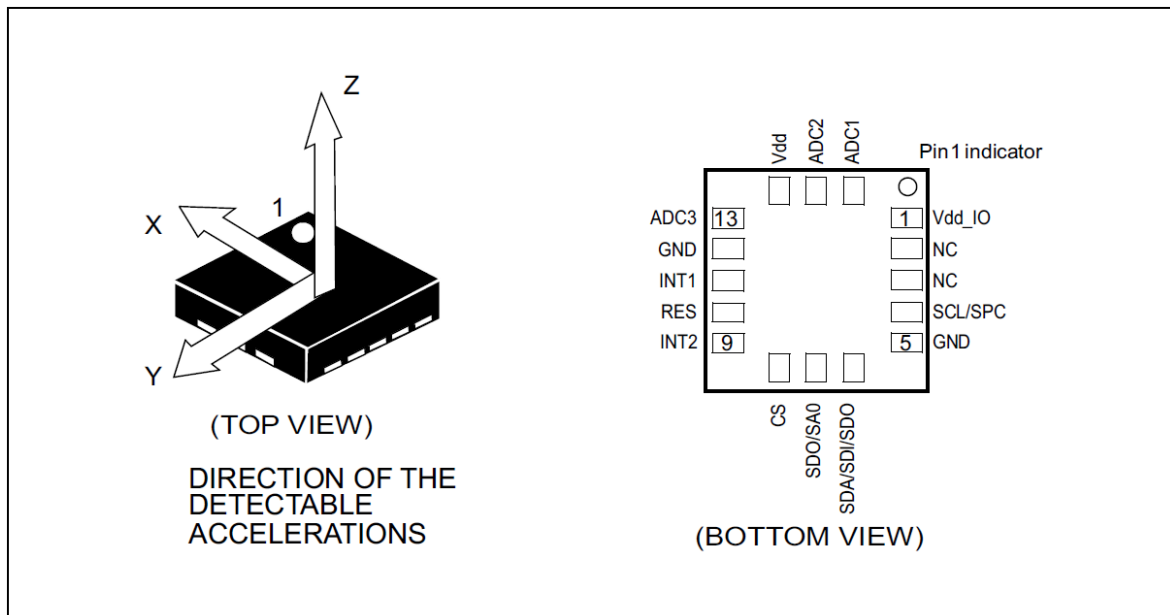
Figur 19. ESP-Prog kort. (Digikey, u.å.).



Figur 20. ESP32-PICO-MINI-02 PCB-layout/footprint i Altium Designer.

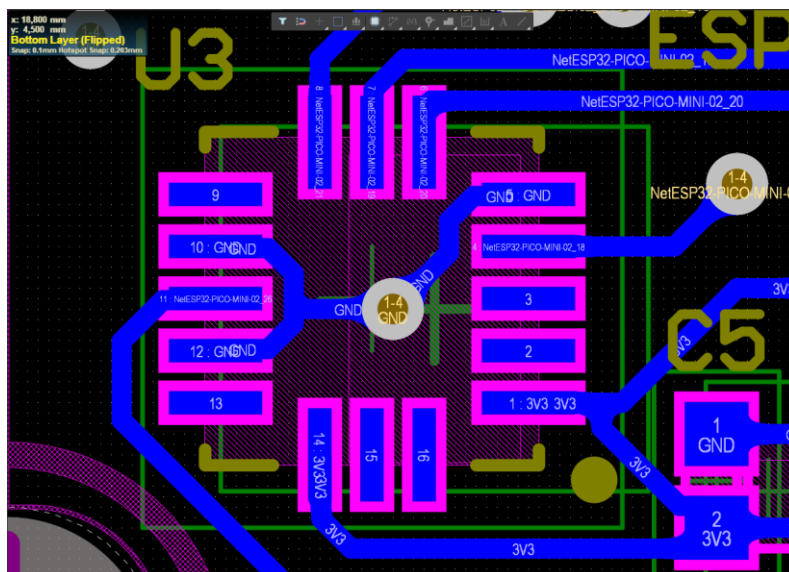
3.2 Accelerometern

STMicroelectronics LIS3DH är en låg effekt, hög performans tre-axel linjär accelerometer som hör till nano-familjen av produkter.



Figur 21. LIS3DH kopplingspunkter. (ST, 2016).

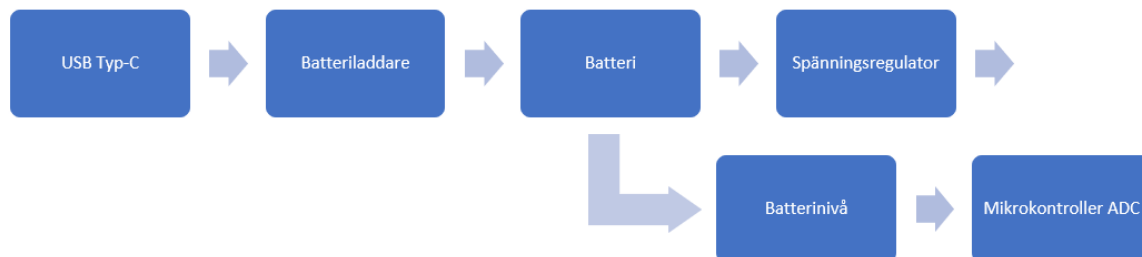
De fyra portarna som hanterar kommunikationen mellan mikrokontrollern och accelerometern på accelerometersidan är portarna 4, 6, 7 och 8. Port 4 hanterar klocksignalen för dataöverföringen. Portarna 6 och 7 är portarna för data in och ut. CS på port 8 är kontrollsignalen/Enable-signalen för aktivering av seriekommunikation.



Figur 22. LIS3DH PCB-layout/footprint i Altium Designer.

3.3 Batterikrets och laddare

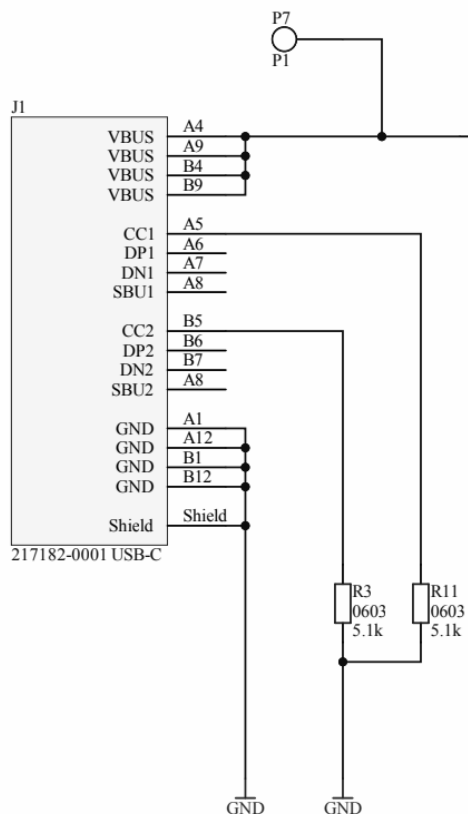
Till batterikretsen tillhör de komponenter och delkretsar som har som uppgift att endera ladda batteriet eller monitorerna batterispänningsnivån och själva batteriet.



Figur 23. Flödesschema över batterikretsen.

3.3.1 USB Typ-C

USB Typ-C är den nya standarden när det kommer till val av laddningsport på mobila apparater därför bestämdes det att Typ-C skulle användas i detta projekt fastän vi inte kommer att kunna utnyttja majoriteten av de förmåner USB Typ-C ger på grund av att igen USB drivare används.



Figur 24. USB Typ-C porten i kretsschemat.

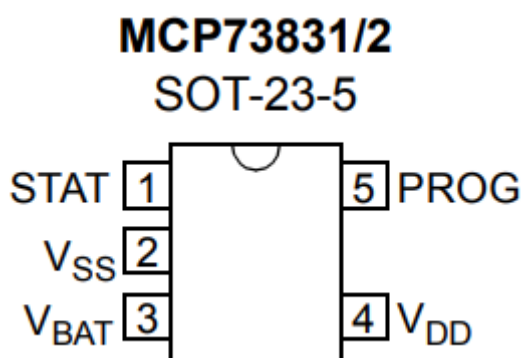
Molex 217182-0001 vertikala USB Typ-C porten valdes på grund av begränsat utrymme på kretskortet.



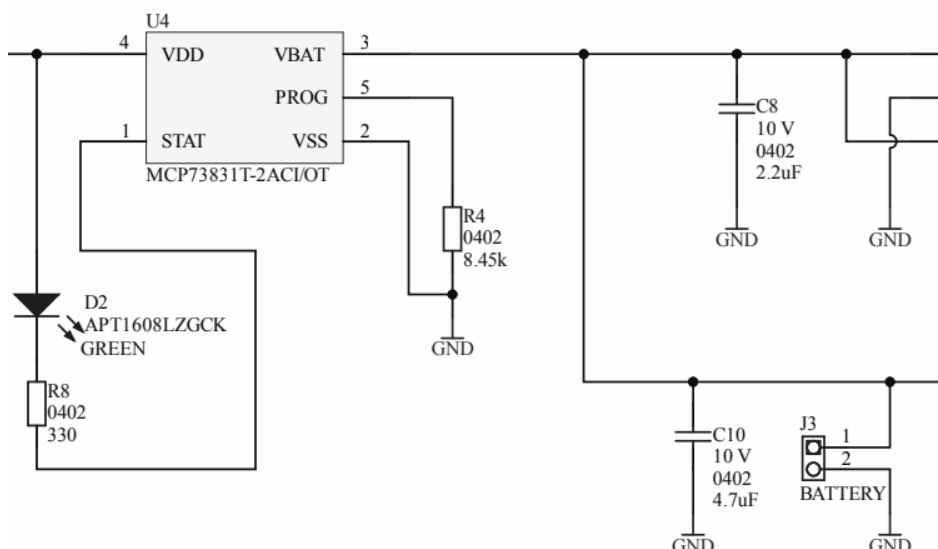
Figur 25. Molex 217182001. (Molex, u.å.).

3.3.2 Batteriladdare

Microchip Technology MCP73831 är en linjär batteriladdare och kommer i ett antal olika modeller med olika laddningsspänningar och kapslingar. I detta arbete används MCP73831T-2ACI/OT modellen som har en laddningsspänning på 4,2 VDC och kommer i SOT-23-5 kapslingen. Laddaren är kapabel att ladda både litium-jonbatterier och litium-polymerbatterier men är begränsad till endast en battericell.



Figur 26. MCP73831 kapsling och portar. (Microchip, 2020).



Figur 27. Batteriladdarkrets.

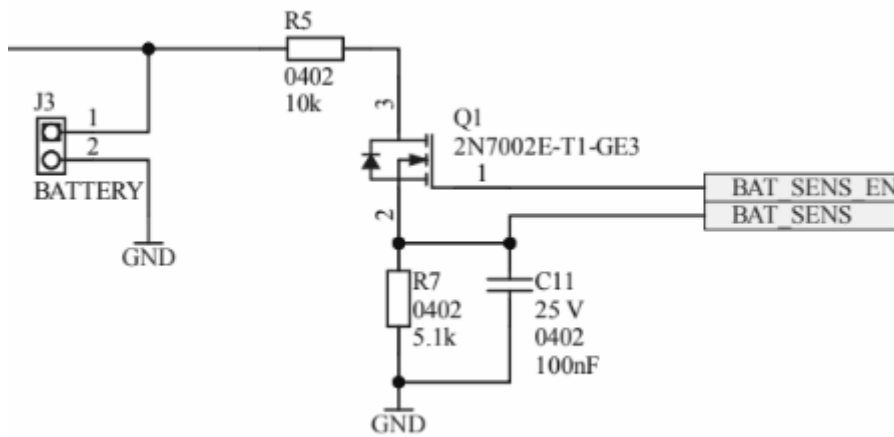
För att reglera laddningsströmmen till batteriet kopplas en resistor till PROG-porten på pin5. MCP73831 har inbyggd funktion för drivning av en statusindikator LED på STAT porten på pin1. Alternativt kan också STAT signalen användas för att kommunicera laddarens status till en mikrokontroller.

VBAT på pin3 är kopplingspunkten till batteriet och resten av batterikretsen.

3.3.3 Batterinivå

Övervakning av batterinivån under operation är en väsentlig funktion av alla batteridrivna apparater. ESP32-familjen av mikrokontroller integrerar två 12-bitars SAR ADC:n, Successiv Approximation Analog/Digital-Omvandlare, för mätning av analoga signaler. Noggrannheten på omvandlarna kan konfigureras enligt behov och effektsnålhet att operera mellan 9- och 12-bitar. Batterinivåövervakningen hanteras av SAR ADC1, kanal-7 som ligger på I35, pin10.

För att läsa av batterispänningen utan att överbelasta ADC:n så används en spänningsdelare. I denna konfiguration kommer spänningen mellan R5 och R7 som ADC:n mäter att vara ungefär 1/3 (33,8 %) av den verkliga spänningen i batteriet. Spänningsdelaren aktiveras med en hög signal från mikrokontrollern till en Vishay Semiconductors 2N7002E-T1-GE3 n-kanal MOSFET.

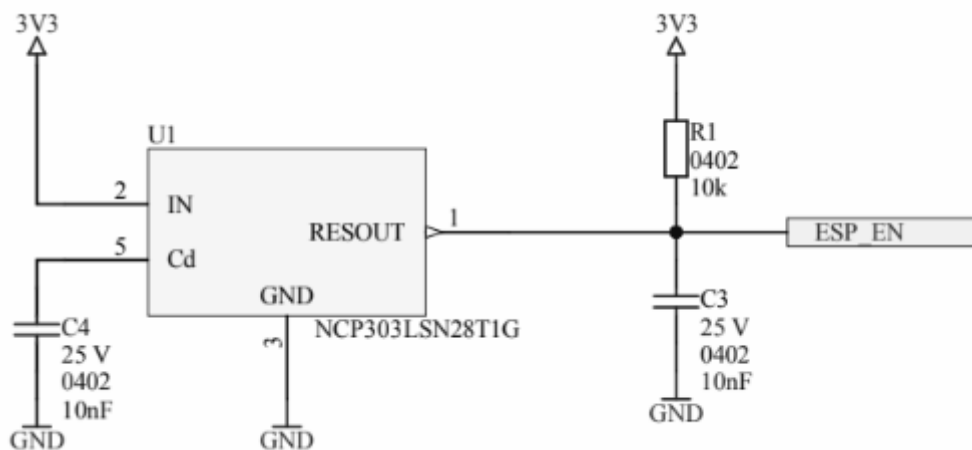


Figur 28. Batterinivåövervakningskrets.

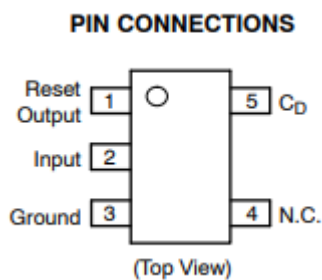
3.4 Övervakningskrets

Onsemi NCP303LSN28T1G spänningsdetektorn fungerar som en underspänningsdetektor. Då laddningen i batteriet faller så lågt att 3,3 V inte kan uppehållas av spänningsregulatorn kommer spänningsdetektorn att bryta Enable signalen till mikrokontroller och lägga den i Deep-sleep.

Övervakningskretsen fungerar som ett sista backupsystem att stänga av mikrokontrollern på ett korrekt sätt och med detta se till att batteriet inte skadas på grund av låg spänningsnivå.



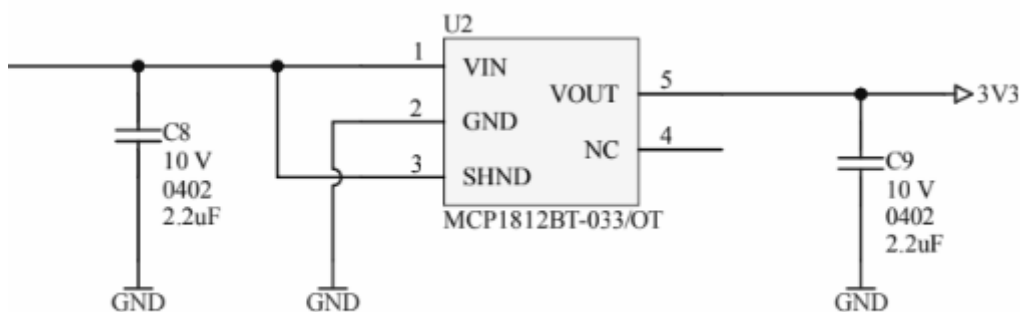
Figur 29. 3V3 övervakningskrets.



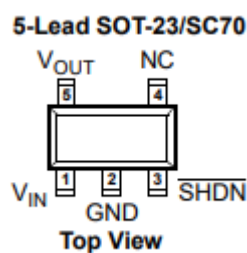
Figur 30. NCP303LSN28T1G portar. (Onsemi, 2021).

3.5 Spänningsregulator

Microchip Technology MCP1812BT-033/OT är en 3,3 V spänningsregulator med ett brett inspänningsområde av 1,8 V till 5,5 V. Modulen har en maximal utström på 300 mA och en väldigt låg vilostrom på 250 nA. Låg vilostrom är otroligt viktigt när det kommer till stand-by batteriliv och minimering av energiförbrukning då systemet är inaktivt.



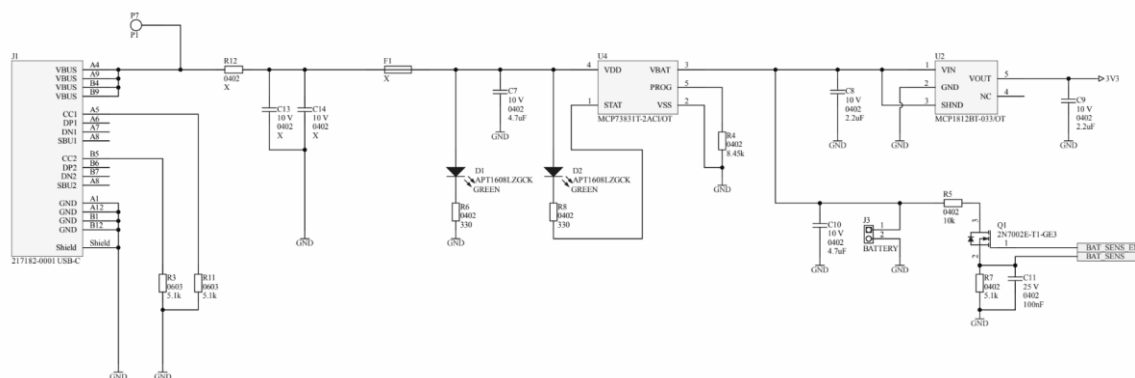
Figur 31. 3V3 Spänningsregulatorkrets.



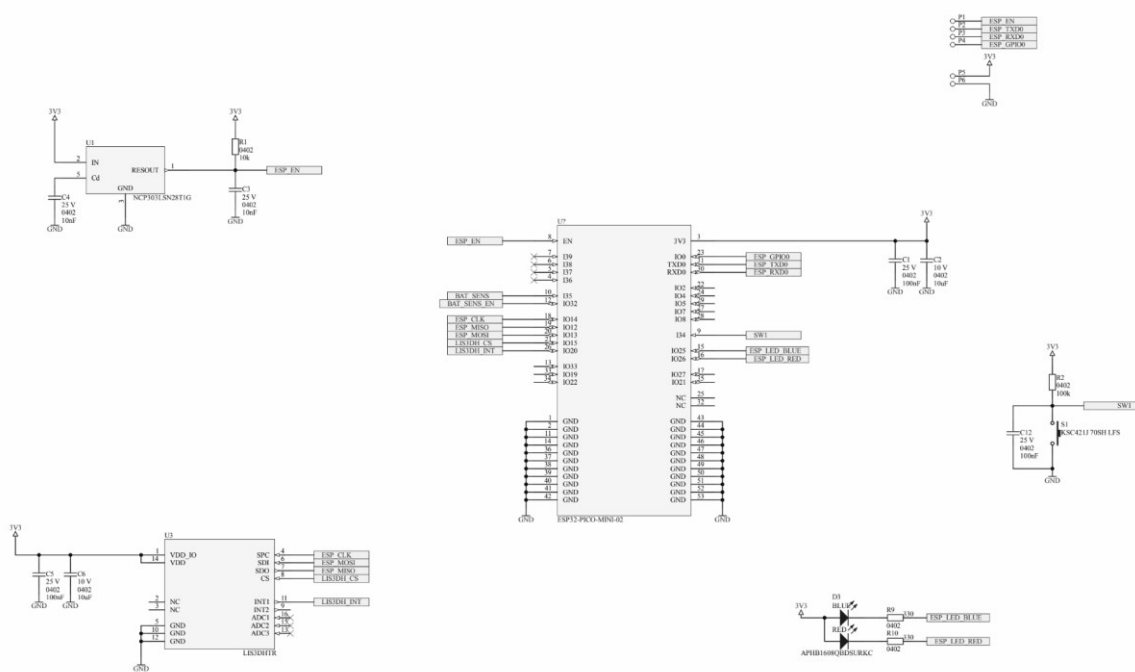
Figur 32. MCP1811B kapsling och portar. (Microchip, 2018).

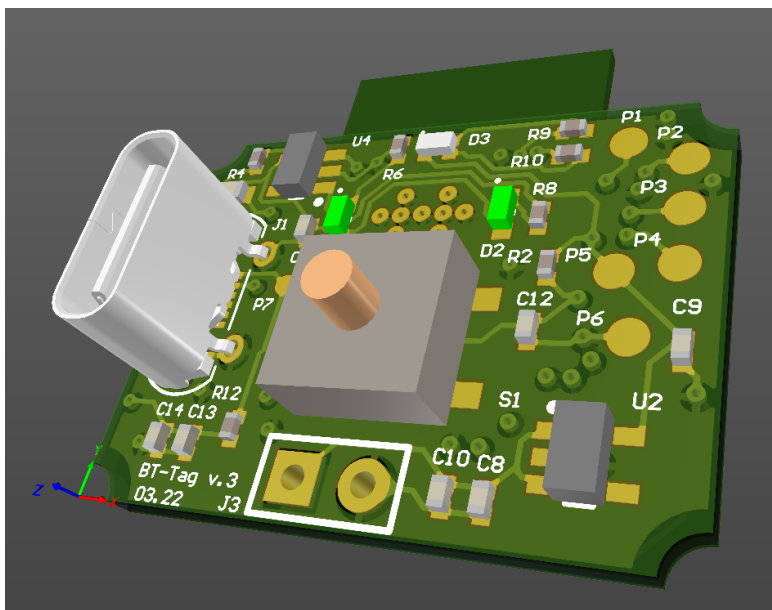
3.6 Altiumlösningen

Den slutliga helhetslösningen ser ut enligt följande. I figur 33 finns matningsschemat. Schemat innehåller Laddningsporten, batteriladdaren, spänningsregulatorn och batterinivåkretsen. Figur 34 sammanfattar mikrokontrollerschemat som innehåller accelerometern, övervakningskretsen och programmeringskontakterna. Figur 35 och 36 visar 3D-modeller av slutresultatet.

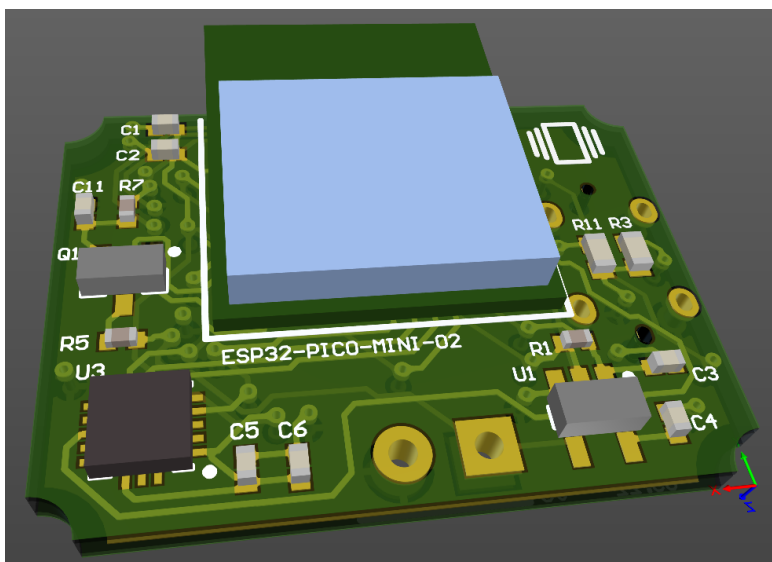


Figur 33. Matningsschema.





Figur 35. Framsidan av kretskortet i 3D.



Figur 36. Baksidan av kretskortet i 3D.

4 Resultat

Målet med uppgiften var att utveckla en vibrationssensor som kan användas för att mäta de hand- och armvibrationer som en slipmaskinoperatör utsätts för under sitt arbete. För att utföra detta behövs en sensor för mätning av vibrationerna, en styrenhet för att driva sensorn, en kraftkälla och diverse delkretsar.

Som drivenhet och hjärnan av operationen fungerar en ESP32-PICO-MINI-02 mikrokontrollermodul. Modulens breda arrangemang av funktioner, möjlighet att kommunicera över både Bluetooth och Wifi och låg effektförbrukning både under operation och i spar-läge gör den till ett utmärkt alternativ för batteridrivna apparater. Vibrationsmätningen sköts av en STM LIS3DH 3-axel accelerometer. Nyckelkrav är hög precision och låg effektförbrukning. Som kraftkälla används ett laddbart litiumbatteri. Batteriet laddas via USB Type-C och laddningen regleras av Microchip Technology MCP73831T och spänningsregulatorn MCP1812BT skapar en 3,3 V källa som driver alla de diverse komponenterna. Då att ett laddbart litiumbatteri används, får inte spänningsnivån falla för lågt. Batterinivån mäts med ena av mikrokontrollerns inbyggda ADC:n. Detta är då endast spänningsnivån på batteriet och mäter inte 3,3 V matningsspänningen till mikrokontrollern och accelerometern. Onsemi NCP303LSN28T1G spänningsdetektorn övervakar 3,3 V källan och låter mikrokontrollern starta upp eller stänger av den om en tillräcklig spänning är tillgänglig respektive om spänningen är för låg.

Kretsarna är delade i två distinkta delar. Batterisidan och mikrokontrollersidan. Batterisidan innehåller allt det som krävs för att skapa 3,3 V spänningskällan, det vill säga batteriet, laddarkretsen, batterispänningens övervakning och spänningsregulatorn. Batterisidan fungerar i allmänhet oberoende av mikrokontrollern och påverkas endast av batterispänningssamplingen dock detta påverkar inte funktionaliteten. Mikrokontrollersidan hanterar huvudfunktionaliteten av kretskortet dvs. vibrationsmätningen med accelerometern och alla de andra delkretsar som krävs.

5 Diskussion

Som med alla utvecklingsprojekt så är det lätt att vara efterklok och med all den information och erfarenhet som samlats vara självkritisk. Detta ger dock en utmärkt möjlighet att lära sig.

Under testningsprocessen hittades ett designmisstag som hindrade kretskortets huvudfunktionalitet. Den SPI signalbus som användes har ett antal förutsättningar som måste mötas när mikrokontrollern startar upp och accelerometer hindrade detta. Ett antal tillfälliga lösningar föreslogs för att kunna få kretskortet att starta upp så att ett s.k. konceptvaliderings test kunde utföras med dessa försök misslyckades. För att åtgärda felet skulle kretskortet behöva ritas om så att accelerometern var kopplad till en annan SPI-signalbus och nya kort tillverkas med uppdaterade komponenter.

Fastän huvudfunktionaliteten inte kunde testas så testades de delkretsar som var oberoende av mikrokontrollerns funktionalitet, dvs. batterisidan. Batteriladdar-, batterinivå- och spänningsregulatorkretsarna fungerar enligt design och inom felmarginaler. Jag är nöjd att batterisidan presterar såsom planerat.

För vidare utveckling skulle jag fokusera på att korrigera den existerande designen eller skifta fokus och utveckla en ny design. I det första fallet skulle en uppdatering av komponenter och modifiering av layouten vara först på arbetslistan. Den existerande layouten är fokuserad på att tryckknappen är placerad för smidig användning men i en uppdaterad design skulle fokusera på att minimera totala storleken medan de implementerade eller potentiella funktionerna som tryckknappen har vore automatiserade eller fjärrstyrda. De existerande designfelen som kom fram under testprocessen skulle också fixas. En ny design kunde vara en ännu mera simplificerad version som inte skulle fungera med laddbart batteri utan skulle använda knapp/klockbatteri och ett minimalt fysiskt användargränssnitt.

Som helhet har hela processen varit otroligt intressant och lärorikt fastän det varit svårt och inte gått helt som jag hoppats. Svårigheten att lära sig att använda ett professionellt ECAD-program som Altium Designer komplicerade processen men erfarenheten jag fått anser jag vara oersättligt. Jag vill tacka Mirka och personalen på Power Tools för all den hjälp och stöd jag fått under arbetsprocessen.

6 Källförteckning

Adafruit. (u.å.) *Lithium Ion Polymer Battery - 3.7v 500mAh*. Hämtat 6.11.2022. <https://www.adafruit.com/product/1578>

Ahmad, K. (2022). *Lithium-Ion Batteries vs. Lithium-Polymer: Which One's Better? I: MUO: Technology Explained*. Hämtat 6.11.2022. från <https://www.makeuseof.com/lithium-ion-vs-lithium-polymer-which-is-better/>

Altium. (u.å.a) *Altium at a Glance*. Hämtat 13.11.2022. <https://www.altium.com/company/altium-overview>

Altium. (u.å.b) *Altium Designer*. Hämtat 13.11.2022. <https://www.altium.com/altium-designer/>

Altium. (2018) *Accessing Your Own Parts through the Components Panel in Altium Designer*. Hämtat 13.11.2022. <https://www.altium.com/documentation/altium-designer/components-panel?version=19.0>

Altium. (2022a) *Capturing Your Design Idea as a Schematic in Altium Designer*. Hämtat 13.11.2022. <https://www.altium.com/documentation/altium-designer/capturing-your-design-idea-as-a-schematic-overview>

Altium. (2022b) *Laying out Your PCB in Altium Designer*. Hämtat 13.11.2022. <https://www.altium.com/documentation/altium-designer/laying-out-your-pcb-overview>

Altium. (2022c) *Laying out Your PCB in Altium Designer*. Hämtat 13.11.2022. <https://www.altium.com/documentation/altium-designer/routing-the-pcb>

Analog Devices. (u.å.) *Accelerometer and Gyroscopes Sensors: Operation, Sensing, and Applications*. Hämtat 3.5.2023. <https://www.analog.com/en/technical-articles/accelerometer-and-gyroscopes-sensors-operation-sensing-and-applications.html>

Arbetshälsoinstitutet. (u.å.) *Handvibration*. Hämtat 13.10.2022. <https://www.ttl.fi/sv/teman/arbetarskydd/exponering-riskfaktorer-i-arbetsmiljon/fysikaliska-agenser-pa-arbetsplatsen/vibration/handvibration>

- Augarten, S. (1983). *State of the Art: A Photographic History of the Integrated Circuit*. Hämtat från. <https://smithsonianchips.si.edu/augarten/p38.htm>
- CHM, Computer History Museum. (u.å.) *TMS 1000 4-Bit microcontroller, TI, 1976*. Hämtat 23.10.2022. <https://www.computerhistory.org/revolution/digital-logic/12/284/1564>
- Circuit Basics. (u.å.) *BASICS OF THE SPI COMMUNICATION PROTOCOL*. Hämtat 30.10.2022. <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-spi-communication-protocol/>
- Digikey. (u.å.) *Introduction to the ESP-Prog Board*. Hämtat 21.1.2023. https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Esspressif%20PDFs/Intro_to_the_ESP-Prog_Brd_Web.pdf
- Espressif. (2022) *ESP-PICO-MINI-02 Datasheet Version 1.2*. Hämtat 15.1.2023. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-pico-mini-02_datasheet_en.pdf
- Espressif. (2023) *ESP32 Technical Reference Manual*. Hämtat 5.2.2023. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
- Microchip. (2018) *MCP1811A/11B/12A/12B Datasheet DS20006088B*. Hämtat 5.2.2023. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP1811A-11B-12A-12B-Data-Sheet-20006088B.pdf>
- Microchip. (2020) *MCP73831/2 Datasheet DS20001984H*. Hämtat 29.1.2023. <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/APID/ProductDocuments/DataSheets/MCP73831-Family-Data-Sheet-DS20001984H.pdf>
- Molex. (u.å.) *USB Typ-C Connector 2171820001*. Hämtat 29.1.2023. https://www.molex.com/molex/products/part-detail/io_connectors/2171820001
- Neuro. (u.å.) *Polyneuropati*. Hämtat 13.10.2022. <https://neuro.se/diagnoser/polyneuropati/>
- Onsemi. (2021) *NCP302, NCP303 Datasheet Rev.27*. Hämtat 5.2.2023. <https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/ncp302-d.pdf>
- Sparkfun. (u.å.) *Experiment 8: Activity Tracker*. Hämtat 23.10.2022. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/sparkfun-inventors-kit-for-photon-experiment-guide/experiment-8-activity-tracker>

ST. (2016) *LIS3DH Datasheet DocID17530 Rev 2*. Hämtat 29.1.2023.
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis3dh.pdf>

Svenska Arbetsmiljöverket. (u.å.) *Risker med vibrationer*. Hämtat 13.10.2022.
<https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/vibrationer/risker-med-vibrationer/#3>

Svenska Institutet för Standarder, SIS (u.å.). *Vibration och stöt - Mätning och bedömning av vibrationer som överförs till handen - Del 1: Allmänna riktlinjer*. Hämtat 13.12.2022.
<https://www.sis.se/produkter/miljo-och-halsoskydd-sakerhet/vibration-med-avseende-pa-manniskor/ssiso53491/>

TE connectivity. (u.å.) *Vibration Sensors, Accelerometer Types*. Hämtat 23.10.2022.
<https://www.te.com/usa-en/products/sensors/vibration-sensors/intersection/types-of-accelerometers.html>

TheBatteryGuy.com. (2020) *What are Lithium-Ion batteries?* Hämtat 6.11.2022.
<https://batteryguy.com/kb/knowledge-base/what-are-lithium-ion-batteries/>

TME. (u.å.) *INR 18650-25R*. Hämtat 6.11.2022. <https://www.tme.eu/fi/details/accu-inr18650-25r/akut/samsung-sdi/inr-18650-25r/>

Ucamco. (u.å.) *Gerber Format*. Hämtat 13.12.2022 <https://www.ucamco.com/en/gerber>