

Tero Nyman

VENYMÄLIUSKATESTERI

Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Joulukuu 2021



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika 11.12.2021	Tekijä/tekijät Tero Nyman
Koulutus Sähkö- ja automaatiotekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi VENYMÄLIUSKATESTERI		
Työn ohjaaja Hannu Puomio		Sivumäärä 48+ 5
Työelämäohjaaja		
<p>Tässä opinnäytetyössä rakennettiin venymäliuska mittauslaitteisto. Opinnäytetyössä käsitellään mitta- piirin mitoittamista ja suunnittelua. Mittasignaalin käsittelyyn käytettiin Arduino Uno -kehitysalustaa ja käyttöliittymä rakennettiin Raspberry Pi 4 -tietokoneelle. Mittalaitteistolle suunniteltiin kotelointi ja johtosarjat. Mittalaitteisto kalibroitiin testerillä, joka rakennettiin opinnäytetyötä varten. Opinnäyte- työn tuloksena valmistui laitteiston prototyyppi.</p>		

Asiasanat Arduino Uno, Mittaus, Raspberry Pi 4, Venymäliuska
--

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date 22.8.2021	Author Tero Nyman
Degree programme Electrical and automation engineering		
Name of thesis STRAIN GAUGE HARDWARE		
Centria supervisor Hannu Puomio	Pages 48 + 5	
Instructor representing commissioning institution or company		
<p>In this thesis, a strain gauge measuring equipment was built. The thesis discusses the dimensioning and design of the measurement circuit. The Arduino Uno development platform was used to process the measurement signal and the user interface was built on a Raspberry Pi 4 computer. Enclosures and wiring harnesses were designed for the measuring equipment. The measuring equipment was calibrated with a tester built for the thesis. As a result of the thesis, a prototype of the equipment was completed.</p>		
Key words Arduino Uno, Measure, Raspberry Pi 4, Strain gage		

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 MAATALOUSKONEIDEN TUOTEKEHITYS.....	3
2.1 Mekaaninen suunnittelu	4
2.2 Testausohjelmat.....	5
3 TAUSTATUTKIMUS.....	6
3.1 Hooken laki ja myötöraja	6
3.2 Muodonmuutokset	8
3.2.1 Vetojännitys	8
3.2.2 Puristusjännitys.....	9
3.2.3 Leikkausjännitys	10
3.2.4 Vääntöjännitys.....	11
3.2.5 Taivutusjännitys.....	12
3.2.6 Nurjahdus	14
3.2.7 Väsyminen ja väsymislujuus	15
3.3 Hydraulikkasyylinteri ja paine	17
3.4 Ohmin laki	19
3.5 Sähköteho.....	19
3.6 Kirchhoffin lait	20
3.7 Vastusten rinnan ja sarjaan kytkeminen	21
4 LAITTEISTON SUUNNITTELU	22
4.1 Mittauspiirin suunnittelu.....	22
4.2 Vahvistin	24
4.3 Operaatiovahvistimen valinta	26
4.4 Piirilevy	29
4.5 Signaalin käsittely	31
4.5.1 Arduino Uno	31
4.5.2 Raspberry Pi 4.....	32
4.6 Tehtävienjako	33
4.7 Arduinin ohjelma	35
4.8 Raspberry ohjelma.....	36
4.9 Laitteiston rakentaminen	42
4.9.1 Logiikkatasomuunnin	42
4.9.2 Step-down -virtalähteet ja koteloinnin kalusteet	42
5 TESTAUS	46
5.1 Testipenkki.....	46
5.2 Testisuunnitelma	47
6 POHDINTA	48
LÄHTEET	49

LIITTEET

LM324.....	51
LT1077.....	55
DDR30.....	59
MCP6V02.....	63
SUP53.....	68

KUVIOT

KUVIO 1. Jännitystila.....	6
KUVIO 2. Jännitys-venymäkäyrä.....	7
KUVIO 3. Vetojännitys.....	9
KUVIO 4. Puristusjännitys.....	9
KUVIO 5. Leikkausjännitys.....	10
KUVIO 6. Vääntöjännitys.....	12
KUVIO 7. Jännitys jakauma.....	12
KUVIO 8. Olakepalkin taivutus.....	13
KUVIO 9. Nurjahdus sauva.....	14
KUVIO 10. Eri kuormitustyyppit.....	16
KUVIO 11. Smithin väsymispiirros.....	16
KUVIO 12. Hydraulikkasyylinteri.....	17
KUVIO 13. Virtapiirin solmupiste.....	20
KUVIO 14. Virtapiiri.....	20
KUVIO 15. Mittauspiiri.....	22
KUVIO 16. Erotusvahvistin.....	25
KUVIO 17. Piirilevyn kytkentäkaavio.....	29
KUVIO 18. Viritys.....	33
KUVIO 19. Työkierto.....	34
KUVIO 20. Arduinon työkierto.....	35
KUVIO 21. Raspberryn Menu-valikon taajuussäätö.....	36
KUVIO 22. Raspberryn Menu-valikon tiedostonimen käsittely.....	37
KUVIO 23. Raspberryn Menu-valikon viritystoiminto.....	38
KUVIO 24. Raspberryn Menu-valikon poistumistoiminto.....	39
KUVIO 25. Raspberryn työkierto.....	40
KUVIO 26. Raspberryn sulkeminen.....	41
KUVIO 27. Kytkentäkaavio.....	45
KUVIO 28. Testipenkki ja koepala.....	46

KUVAT

KUVA 1. Kullervo.....	3
KUVA 2. Valtra S-malli.....	3
KUVA 3. Operaatiovahvistin LT1077.....	24
KUVA 4. Valmis piirilevy.....	30
KUVA 5. Valmiin piirilevyn kotelointi.....	30
KUVA 6. Arduino Uno.....	31
KUVA 7. Raspberry Pi 4.....	32
KUVA 8. Päävalikko.....	39

KUVA 9. Menu-valikko.....	40
KUVA 10. Työkierto.....	42
KUVA 11. Logiikkatasomuunnin.....	42
KUVA 12. Step-down DC/DC -muunnin.....	43
KUVA 13. Step-down DC/DC -muunnin.....	43
KUVA 14. Kotelointi.....	44
KUVA 15. Kotelointi sisältä.....	44

TAULUKOT

TAULUKKO 1. ML324 tekniset tiedot.....	27
TAULUKKO 2. LT1077 tekniset tiedot.....	27
TAULUKKO 3. MCP6V02 tekniset tiedot.....	28
TAULUKKO 4. Operaatiovahvistimien vertailu.....	28
TAULUKKO 5. Operaatiovahvistimien vertailu.....	28
TAULUKKO 6. Paine/Jännitystaulukko.....	47

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä suunniteltiin mobiili venymäliuskamittausjärjestelmä. Opinnäytetyössä tehty venymäliuskamittauslaitteisto suunniteltiin 12 voltin jännitteellä toimivaksi, jotta mittauksia voitaisiin tehdä liikkuvassa koneessa. Venymäliuskamittausta haluttiin testata mekaanisen suunnittelun tueksi. Tavoitteena oli rakentaa laitteisto, jonka avulla voidaan mitata voimia, joita esiintyy liikkuvissa koneissa. Liuskalta saatavan datan avulla voidaan optimoida teräsrakenteita ja näin ollen vähentää vaurioita. Liuskalta saatava signaalin käsittely tehtiin Arduino Unon ja Raspberry Pi 4:n avulla. Arduino käsitteli mittaussignaalia ja lähetti sen Raspberrylle tallennettavaksi. Raspberryn tehtävä oli muuttaa signaali jännitystilan suureeksi ja tallentaa tieto tekstitiedostoon, josta testin tulokset voidaan analysoida. Raspberryn avulla voitiin mittaustaajuutta säätää ja mittapiiri virittää. Mittausvahvistimeen rakennettiin viritustoiminto, jolla jännitetaso saatiin säädettyä halutulle välille. Lopullisen viritys voitiin tehdä Raspberryllä.

Laitteisto rakennettiin niin, että ilman suurempaa koulutusta voi maallikkokin käyttää laitteistoa. Raspberryn käyttöliittymä tehtiin niin helppokäyttöiseksi kuin mahdollista. Piirilevyille piti tehdä ensi viritys, jotta mahdolliset komponenttien valmistusvirheet eivät siirtäisi mittausaluetta pois keskialueelta. Piiri pystytään virittämään niin, että oletettu rasisalue on toispuoleinen, eli minimiulostulo jännitteen ja saturaatiojännitteen välillä olevaa mittauksen nollassa pystyttiin säätämään. Laitteen kalibroimiseksi rakennettiin testipenkki. Kalibrointi suoritettiin tunnetun tarkasti valmistetun koelevyn avulla. Tässä testipenkissä levyä vedettiin hydrauliiikkasyylinterillä. Koepalaan oli kiinnitetty venymäliuska ja hydrauliikkasyylinterin painelinjaan oli kytketty painemittari. Koepalan jännitystila pystyttiin laskemaan, koska kaikki poikkipinta-alat ja paine tunnettiin. Koepalassa testitilanteessa oleva jännitys voitiin laskea Hooken lain mukaan. Mittaus suoritettiin 20 baarin välein ja mittaus toistettiin neljä kertaa nousevasti ja laskevasti, jotta mittausvirhe tulisi huomioitua. Laitteisto mitoitettiin ± 400 MPa välille. Normaali S355-teräksen myötöraja on 355 MPa, joten koepala tehtiin lujemmasta teräksestä. Paine mitattiin Hydac HMG3000 -laitteistolla. HMG3000 on erittäin tarkka mittauslaite, jolla voidaan mitata painetta, virtausnopeutta ja lämpötilaa.

Lopputuotoksena valmistettiin laitteisto, jonka avulla saatiin kohtuullisen tarkasti mitattua rakenteessa esiintyviä kuormituspiikkejä. Arduino ilmoitti mittaussvälin pienimmän ja suurimman mittaustuloksen sekä tulosten keskiarvon, joka esiintyi mittaussvälillä. Mittaustaajuus rajoittaa tarkan mittatiedon saa-

mista. On todennäköistä, että suurin osa kuormituspiikeistä huomioidaan mittauksessa, mutta kuormituspiikin terävyys vääristyy, kun terävin osa saattaa olla kahden kellopulssin välissä. Työ antaa pohjaa myös erilaisille puntariratkaisuille sekä paineen mittaamiseen, sillä venymäliuskoja käytetään moninlaisissa anturisovelluksissa. Jatkokehitys mahdollisuutena onkin kehittää täysin digitaalinen vahvistinpiiri, jolloin Arduino jää tarpeettomaksi. Tällä hetkellä mittaussignaali käsitellään Arduinossa digitaaliseen muotoon ja välitetään I2C -väylää pitkin Raspberyllle. Vahvistuselektronikan voidaan rakentaa niin, että siinä on kaikki samat laskentatoiminnot, jolloin rakenne yksinkertaistuu.

2 MAATALOUSKONEIDEN TUOTEKEHITYS

Maatalouskoneiden kehitys on ollut hurjaa viime vuosikymmenten aikana. Alkujaan traktorit olivat höyrykoneella varustettuja. Suomeen traktorit tulivat vuonna 1901 ja ne olivat ruotsalaisia Avance-merkkisiä. Alkujaan traktoreissa ei ollut ilmakumirenkaita ja nostolaitetta. Vasta vuonna 1930 traktoreihin tuli ilmakumirenkaat ja kolmipistenostolaite. (Traktori 2021.)



KUVA 1. Kullervo. Ensimmäinen Suomessa valmistettu traktori (Kullervo 2021.)

Nykypäiväinen traktori on kasvanut jopa 400-hevosvoimaisiksi hirmuiksi. Samalla traktorin koko ja massa ovat kasvaneet. Nykypäivän traktorin massa saattaa olla yli kymmenen tonnia ja hydraulikkapumpun tuotto yli 200 L/min. (Valtra 2021.)



KUVA 2. Valtra S-malli. (Valtra 2021.)

Traktoreiden kehitys mahdollistaa yhä tehokkaampien maatalouskoneiden käytön. Traktoreiden lisääntynyt voima ja parantunut jousitus hytissä mahdollistavat työnopeuden kasvun. Työnopeuden kasvaessa kasvavat myös rasitukset työkoneisiin. Työkoneet mitoitetaan yleensä sen aikaisten normien mukaan. Vanhat työkoneet ovat mitoitettu huomattavasti pienempitehoisille traktoreille kuin nykypäivän traktorit ovat. Traktoreiden kehittyessä on myös työkoneiden kehityttävä. Nykypäivänä konevalmistajia on paljon ja kilpailu on kovaa. Takavuosina konevalmistajien oli mahdollista myydä uutta konetta asiakkaalle niin, että asiakkaat sietivät paremmin mahdollisia laiterikkoja. Nykypäivänä tämä ei ole mahdollista, sillä asiakkaille on tarjolla rutkasti erilaisia kone vaihtoehtoja ja vertailu internetissä on helppoa. Mahdolliset asiakkaat saavat nopeasti tiedon sosiaalisen median ja eri keskustelupalstojen avulla toimivista tai toimimattomista koneista.

2.1 Mekaaninen suunnittelu

Mekaanisessa suunnittelussa rakenne pyritään suunnittelemaan niin, että se kestää mahdolliset käyttörasitukset ja ylikuormitustilanteet. Rasitusten selvittämisessä voidaan käyttää apuna energian syöttölähteiden eli traktoreiden tehoja sekä olemassa olevaa suunnittelutietoa ja laskennallisia malleja. Rasitukset voidaan jakaa kahteen kategoriaan, staattisiin ja dynaamisiin. Staattinen rasitus ei yleensä ole ongelma, sillä se pystytään määrittelemään laskennallisesti riittävän tarkasti, mutta dynaamisen rasituksen määrittely vaatii enemmän työtä. Dynaaminen rasitus on joko veto-, puristus- tai näiden yhdistelmä kuormitusta. Dynaamisen tilanteeseen vaikuttaa myös staattinen kuormitus peruskuormituksena. (Airila, Ekman, Hautala, Kivioja, Kleimola, Martikka, Miettinen, Niemi, Ranta, Rinkinen, Salonen, Verho, Vilenius & Välimaa 2010, 16.)

Dynaaminen kuormitus syntyy esimerkiksi tieajossa tai pelolla, kun työkone on traktorin perässä ja ajetaan monttuun. Kuormituksia on siis monenlaisia ja niiden esiintymistäajuus vaihtelee. Tällainen vaihtelu aiheuttaa haasteita koneen rakenteen suunnittelussa. Staattinen kuormitus yleensä saadaan selville ennen testausta, joten testaus keskittyykin enemmän toiminnalliseen tarkasteluun. Suomen kesän ollessa lyhyt on testikausikin lyhyt. Väsymismurtuma vaatii useita tuhansia, ellei jopa satojatuhansia kuormitusvaihtelutoistoja, ennen kuin särö alkaa kasvaa (Airila ym. 2010). Näin ollen kaikki väsymismurtumat eivät testikauden aikana tule ilmi, vaan ne tulevat ilmi vasta seuraavilla testikausilla. Otantaa voidaan parantaa lisäämällä testikoneiden määrää, sillä eri kuljettajat käyttävät laitteita eri tavalla ja näin ollen kehityskohteiden kirjo laajenee. Mitä useamman testikauden koneella ajaa, sitä paremman

käsityksen koneen rakenteen lujuudesta saadaan. Dynaamisia kuormia voidaan kuitenkin mitata venymäliuskan tai kiihtyvyyssantureiden avulla (Fonselius, Pekkola, Selosmaa, Ström & välimaa 1996, 80-91). Saadulla mittatiedolla voidaan koneen rakennetta optimoida ja näin ollen prototyypistä tuotteeksi vaihe lyhenee. Tämän seurauksena tuotekehityskustannukset pienevät ja asiakasreklamaatiot vähenevät kestävämmän rakenteen myötä. Haasteena on kuitenkin löytää oikeat mittauskohteet, jossa voidaan olettaa väsymisvaurion syntyvän. Tässä työssä voidaan käyttää apuna FEA-simulaatioita, joiden tuloksista voidaan päätellä, missä mahdollinen jännityspiste esiintyy. Olemassa olevaa suunnittelutietoa voidaan myös hyödyntää mahdollisten vauriopaikkojen löytämiseksi.

2.2 Testausohjelmat

Koneen prototyyppiä testataan monessa vaiheessa. Kun mekaniikka ja automaatio on asennettu, voidaan aloittaa ohjelman ja automaation testaus testialueella. Alkutesteistä selviää nopeasti, onko liikeraidoissa ongelmia eli miten mekaniikan suunnittelu on onnistunut. Automaatiosta tutkitaan joka toiminto erikseen. Kun jokainen toiminto toimii oletetusti, voidaan työkiertoa simuloida. Kun automaatio- ja turvalaitetestit ovat valmiit, voi toiminnallinen testi alkaa. Toiminnallisessa testissä kone viedään työympäristöön, jossa ohjelman työkierto hiotaan loppuun ja mekaniikan eri osa-alueita kehitetään paremmaksi, jos ne eivät ole riittävän suorituskykyisiä. Toiminnallinen testivaihe on iterointia, jonka tuloksena kone kehitetään valmiiksi tuotteeksi tai palaa lähtöruutuun, jos koneen suorituskyky ei ole riittävä. Yleensä testausvaiheessa paljastuvat koneen heikot kohdat, joita täytyy vahvistaa.

3 TAUSTATUTKIMUS

Tässä osiossa käsitellään opinnäytetyössä käytettyjä laskennallisia kaavoja. Kaavakokoelmassa huomiointiin mahdolliset eri lukijaryhmät.

3.1 Hooken laki ja myötöraja

Ehkä tunnetuin materiaalitekniikan tutkija oli Robert Hook (1635-1703). Hook määritteli lineaarisen yhteyden kuormituksen ja siirtymän välillä. (Airila ym. 2010, 17.)

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

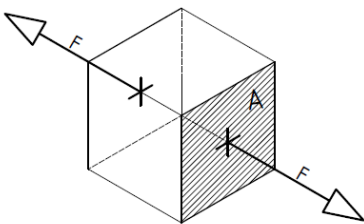
missä,

$$\sigma = \text{Jännitys} \quad [N/mm^2]$$

$$E = \text{Kimmokerroin} \quad [N/mm^2]$$

$\varepsilon = \text{Venymä}$. Kaavasta nähdään, että siirtymä on suhdeluku.

(Airila ym. 2010, 17).



KUVIO 1. Jännitystila. Voima jakaantuu pinta-ala yksikköä kohden.

Jännityksellä tarkoitetaan, sitä kuinka suuri voima kohdistuu neliömillimetrin pinta-alaan. Kimmokerroin on materiaali-kohtainen vakio, joka kuvaa materiaalin kykyä palautua muodon muutoksesta, kuten puristumasta tai venymästä. (Ikinen & Tuohi 2003, 287.)

Venymä on suhdeluku, joka kuvaa pituuden muutoksen suhdetta alkuperäiseen mittaan. Kun materiaali venyy ja sen pituus muuttuu, tapahtuu silloin myös poikittaissuunnan kutistumaa eli kuroutumista. Venymä tunnetaan myös nimellä strain. (Outinen, Salmi & Vulli 2007, 29.)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_1} = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \quad (2)$$

missä,

ε = Venymä.

L_1 = Alkuperäinen pituus [mm]

L_2 = Lopullinen pituus [mm]

Poikittaissuuntaisen venymälle saadaan seuraavanlainen kaava

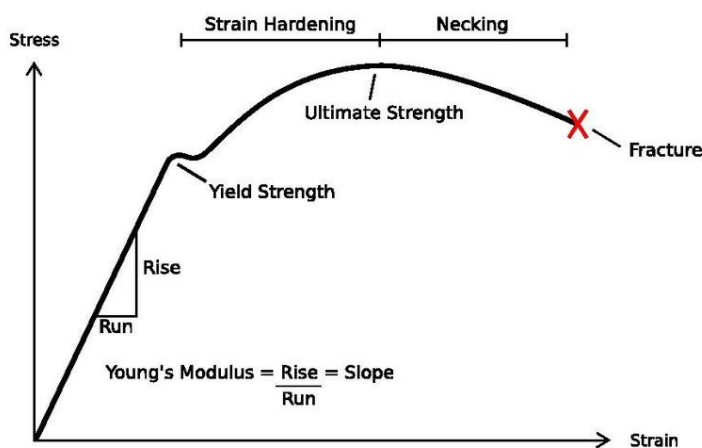
$$\nu = -\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon} \quad (3)$$

missä,

ν = Poissonin vakio

ε_i = Poikittaissuuntainen venymä

(Outinen ym. 2007, 30-31).



KUVIO 2. Jännitys-venymäkäyrä. Wikipedia:(Jännitys-venymäkäyrä 2021.)

Jännitys-venymäkäyrästä voidaan havaita materiaalin murtumisen eri vaiheet. Vaaka-akselilta voidaan lukea venymä ja pystyakselilta on jännitystila. Kuvaajasta nähdään, että venymä kasvaa lineaarisesti myötörajan asti. Oletetaan tässä vaiheessa, että koesauva on S355-terästä eli sitkeää terästä. Kun koe-

sauvaa ryhdytään kuormittamaan, venymä kasvaa lineaarisesti myötörajaan asti. Hooken laki on voimassa vain tämän lineaarisen alueen, jolloin venymä on vielä palautuvaa. Palautuvalla tarkoitetaan, että materiaaliin ei ole tullut vielä pysyviä muodonmuutoksia. Kun jännitys ylittää myötörajaa, tapahtuu materiaalissa pysyviä muutoksia ja venymä ei enää palaudu. Materiaali on siis myötölujittunut ja se venyy vain, jos jännitys ylittää sen jännitystilaa, mihin materiaali on venynyt. Kun jännitys kasvaa edelleen, saavutetaan jännityksen lakipiste eli murtolujuus. Kun murtolujuus on ylittynyt, alkaa materiaali kuroutumaan hyvin voimakkaasti kohti lopullista murtumaa. Haurailta materiaaleilla ei tällaista kuroutumisvaihetta ole. Lujilla teräksillä ei esiinny selvää myötörajaa vaan niiden myötörajaksi on sovittu 0,2 % pysyvän venymän raja. (Outinen ym. 2007, 34-36.)

3.2 Muodonmuutokset

Lujuusanalyysi jaetaan kolmeen pääkategoriaan: lujuuteen, jäykkyyteen ja stabiiliuteen (Outinen ym. 2007, 279.) Tässä opinnäytetyössä perehdytään vain pintapuolisesti lujuusoppiin, jotta saadaan peruskäsitys jännitystilasta, joita venymäliuskalla pyritään mittaamaan. Jäykkyyden tutkiminen jätettiin ulos tästä opinnäytetyöstä. Stabiiliteettiä käsitellään, koska liuskoilla pystytään mittaamaan voimia, jotka vaikuttavat esimerkiksi nurjahdukseen.

3.2.1 Vetojännitys

Vetojännitys on tilanne, jossa kappaletta vedetään tai kappale joutuu vedetyksi. Kappaleeseen kohdistuva voima aiheuttaa poikkileikkaukseen vetojännityksen Hooken lain mukaisesti. Vetojännitys esiintyy useassa tilanteessa, kuten lämpölaajenemisen, nostotöiden ja taivutuksen yhteydessä. (Outinen ym. 2007, 131.)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4)$$

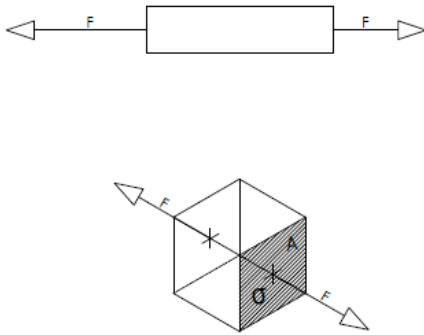
missä,

$$\sigma = \text{Jännitys} \quad [N/mm^2]$$

$$F = \text{Voima} \quad [N]$$

$$A = \text{Poikkipinnan pinta-ala} [mm^2]$$

(Airila ym. 2010, 17.)



KUVIO 3. Vetojännitys.

3.2.2 Puristusjännitys

Puristusjännitys on tilanne, jossa kappaletta puristetaan tai kappale joutuu puristuksiin. Kappaleeseen kohdistuva voima aiheuttaa poikkileikkaukseen puristusjännityksen Hooken lain mukaisesti. Puristusjännitys esiintyy useassa tilanteessa kuten lämpölaajenemisen, runkorakenteiden ja taivutuksen yhteydessä. (Outinen ym. 2007, 131.)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (5)$$

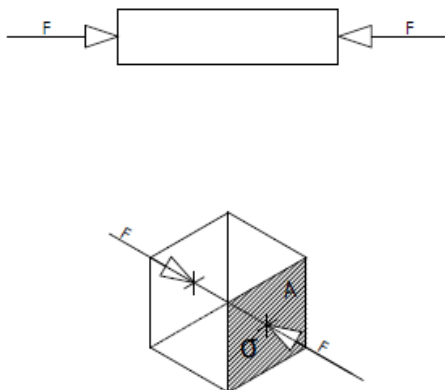
missä,

σ = Jännitys [N/mm^2]

F = Voima [N]

A = Poikkipinnan pinta-ala [mm^2]

(Airila ym. 2010, 17.)



KUVIO 4. Puristusjännitys.

3.2.3 Leikkausjännitys

Leikkausjännitys on tilanne, jossa hilatasot liukuvat toisiinsa nähden. Veto- ja puristustilanteissa voima kohdistuu suoraan poikkipintaa kohden, mutta leikkaustilanteessa voima aiheuttaa hilojen välistä liukumaa. Veto, puristus ja leikkaus esiintyvät lähes aina rasitustilanteessa. Teräksen leikkausmyötöraja on noin 50 - 60 % myötörajasta. Materiaaleille on määritelty liukukerroin, joka kuvaa materiaalin liukuominaisuutta. (Outinen ym. 2007, 55-56.)

$$\tau = G \cdot \gamma = \frac{F}{A} \quad (6)$$

missä,

$$\tau = \text{Leikkausjännitys} \quad [N/mm^2]$$

$$G = \text{Liukukerroin} \quad [N/mm^2]$$

$$\gamma = \text{Liukumakulma}$$

$$F = \text{Voima} \quad [N]$$

$$A = \text{Poikkipinnan pinta-ala} \quad [mm^2]$$

(Outinen ym. 2007, 55-56).

Liukukertoimen ja kimmokertoimelle löytyy kuitenkin yhteys. Liukukerroin riippuu kimmokertoimesta seuraavan yhtälön mukaisesti:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (7)$$

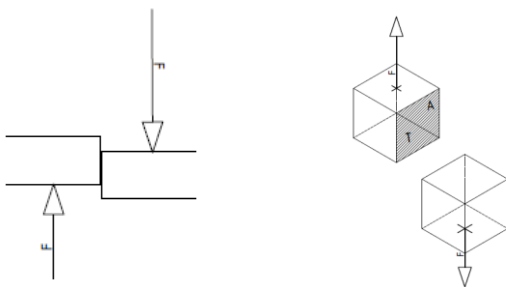
missä,

$$E = \text{Kimmokerroin} \quad [N/mm^2]$$

$$G = \text{Liukukerroin} \quad [N/mm^2]$$

$$\nu = \text{Poissonin vakio}$$

(Outinen ym. 2007, 56).



KUVIO 5. Leikkausjännitys.

3.2.4 Vääntöjännitys

Vääntöjännitys syntyy, kun kappaleeseen kohdistetaan vääntömomentti, joka yrittää kiertää sitä.

Vääntö synnyttää leikkausjännityksen kappaleen sisälle. Vääntöjännitys voidaan määrittellä kaavalla:

$$\tau = \frac{T}{W_v} \quad (8)$$

missä,

$$\tau = \text{Leikkausjännitys} \quad [N/mm^2]$$

$$T = \text{Vääntömomentti} \quad [Nm]$$

$$W_v = \text{Vääntövastus} \quad [mm^3]$$

(Outinen ym. 2007, 244-245).

Toisaalta vääntömomentti on:

$$T = F \cdot r \quad (9)$$

missä,

$$T = \text{Vääntömomentti} \quad [Nm]$$

$$r = \text{Vääntövarren pituus} \quad [mm]$$

(Outinen ym. 2007, 244-245.)

Vääntövastus voidaan laskea akseleille kaavalla:

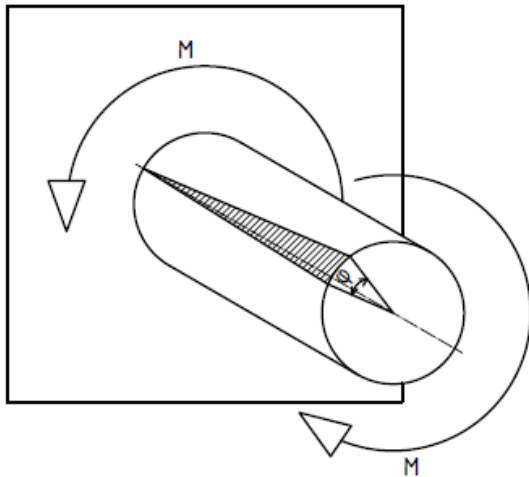
$$W_v = \frac{\pi \cdot d^2}{16} \quad (10)$$

missä,

$$W_v = \text{Vääntövastus} \quad [mm^3]$$

$$D = \text{akselin halkaisija} \quad [mm]$$

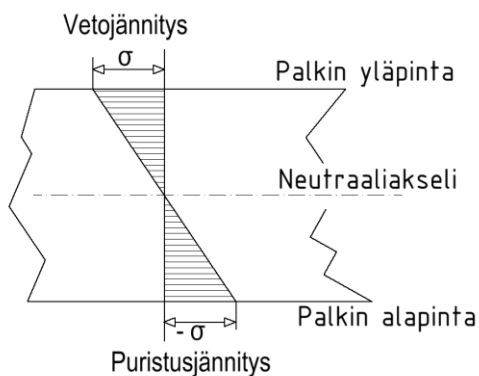
(Outinen ym. 2007, 244-245.)



KUVIO 6. Vääntöjännitys.

3.2.5 Taivutusjännitys

Kun voima kohdistetaan palkin selkään tai ulokkeen nokkaan, syntyy taivutusmomentti. Taivutusmomentti pyrkii taivuttamaan palkkia kaarelle. Taivutettava palkkiin syntyy jännitysjaakauma, jonka suuruus riippuu voimasta ja taivutusvastuksesta. Jos oletetaan, että olakkeen nokalle kohdistetaan voima, joka pyrkii taivuttamaan palkkia kaarelle alaspäin, synnyttää tämä taivutus vetojännityksen olakkeen yläpintaan ja puristusjännityksen olakkeen alapintaan. Taivutuksen yhteydessä esiintyy puristus-, veto- ja leikkausjännitys. Leikkausjännitys riippuu taivuttavasta voimasta ja palkin poikkipinta-alasta. Veto- ja puristusjännitys riippuu voimasta ja sen etäisyydestä tukipisteeseen sekä profiilin taivutusvastuksesta. (Outinen ym. 2007, 171-186.)



KUVIO 7. Jännitysjaakauma.

Taivutusjännitys voidaan laskea kaavalla:

$$\sigma = \frac{M}{W_t} \quad (11)$$

missä,

σ = Taivutusjännitys [N/mm^2]

M = Taivutusmomentti [Nm]

W_t = Taivutusvastus [mm^3]

(Outinen ym. 2007, 183).

Toisaalta taivutusmomentti on:

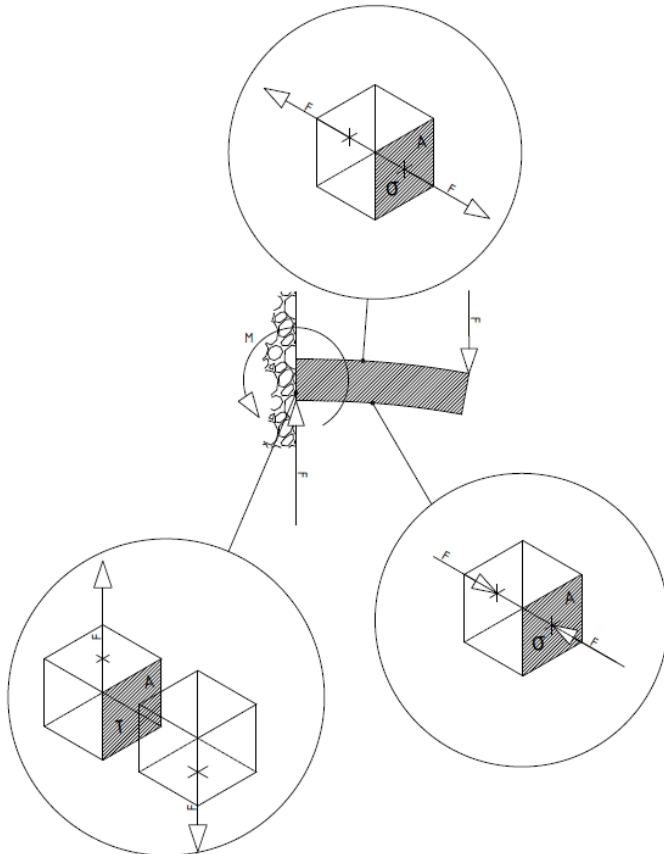
$$T = F \cdot l \quad (12)$$

missä,

T = Taivutusmomentti [Nm]

l = etäisyys tukipisteestä [mm]

(Outinen ym. 2007, 183).



KUVIO 8. Olakepalkin taivutus.

3.2.6 Nurjahdus

Nurjahdukseksi kutsutaan tilannetta, jossa puristukseen joutunut palkki taipuu sivusuunnassa. Nurjahdus herkkyyteen vaikuttavat sauvan profiili, pituus, tuenta, kimmokerroin ja voima. Pitkä ja hoikka sauva nurjahtaa helposti. Nurjahdus tapahtuu, jos nurjahdusmomentti on suurempi kuin tukimomentti. (Valtanen 2009, 453.)

Nurjahdusvoima voidaan laskea kaavasta:

$$F_n = \frac{\pi^2 E \cdot I}{l_n^2} \quad (13)$$

missä,

F_n = Nurjahdusvoima [N]

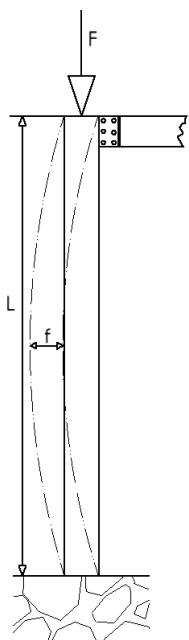
E = Kimmokerroin [N/mm^2]

I = Neliömomentti [mm^4]

l_n = Nurjahduspituus [mm]

(Valtanen 2009, 453).

Nurjahduspituus on eri asia kuin sauvan pituus. Riippuen tuennasta nurjahduspituus 0,5 – 2 kertaa sauvan pituus. (Valtanen 2009, 431.)



KUVIO 9. Nurjahdus sauva.

3.2.7 Väsyminen ja väsymislujuus

Väsymiskokeet aloitettiin 1870-luvulla Saksassa, jolloin August Wöhler teki kokeita koesauvoilla ja täysimittaisilla rakenteilla. Wöhler havaitsi, että väsymismurtuma johtui kuormituskertojen määrästä, epäjatkuvuuskohdista ja jännitystasosta. Kun jännitys oli tietyn rajan alapuolella, rakenne kesti äärettömän monta kuormituskertaa, ja tätä rajaa kutsutaan väsymisrajaksi. Vastaavasti, jos jännitystaso on yli väsymisrajan, kutsutaan tätä aluetta äärellisen kestoian alueeksi. Väsytykskokeessa väsymisraja määritetään 10^7 tai 10^8 kuormituskertaa nähden riippuen teräslaadusta. Kokeen aikana koekappaleeseen kohdistetaan vaihtokuormitus. Jos kappale kestää tämän kuormitusmäärän testatulla jännitystasolla, katsotaan kappaleen kestäväksi rajattomasti kyseistä kuormaa. Väsyttävä kuorma voi olla tyypiltään tykittävä tai vaihtokuormitusta ja kuormitukseen voi olla sekoittunut staattinen kuorma. Väsytykskokeiden tuloksista on tehty piirrokset, joista voidaan lukea väsymislujuus. Wöhler piirrokset ovat harvinaisempia, koska niiden tekeminen vaatii paljon kokeita. Tässä yhteydessä tutustumme Smithin väsymislujuuspiirrokseen. Piirroksista voidaan lukea väsymisraja, kun tunnetaan kuormitus. (Airila ym. 2010, 15 – 22.)

Väsymislujuus voidaan laskea kaavalla:

$$\sigma_D = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot \sigma_{D0} \quad (14)$$

missä,

σ_D = Väsymislujuus

σ_{D0} = Koesauvan väsymislujuus

K_1 = Pinnalaadun kerroin

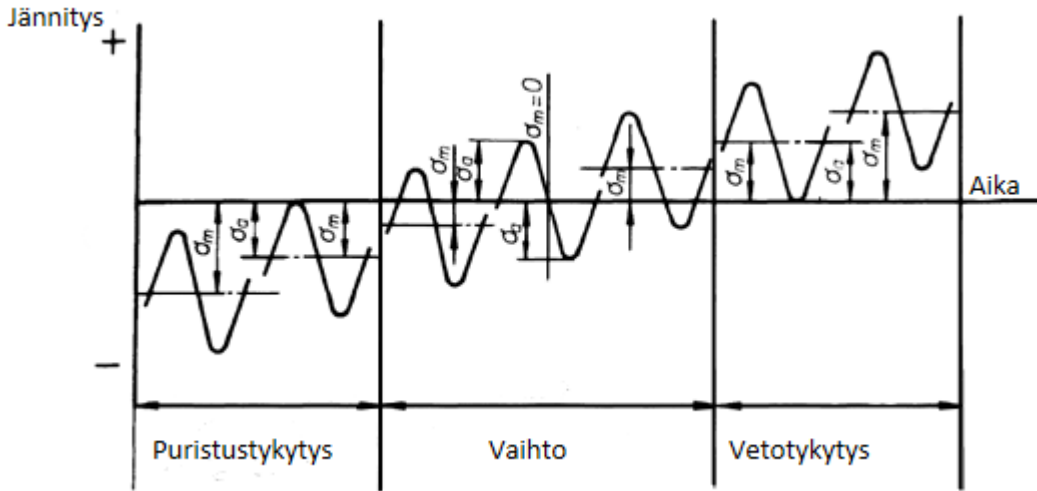
K_2 = Kokokerroin

K_3 = Luotettavuuskerroin

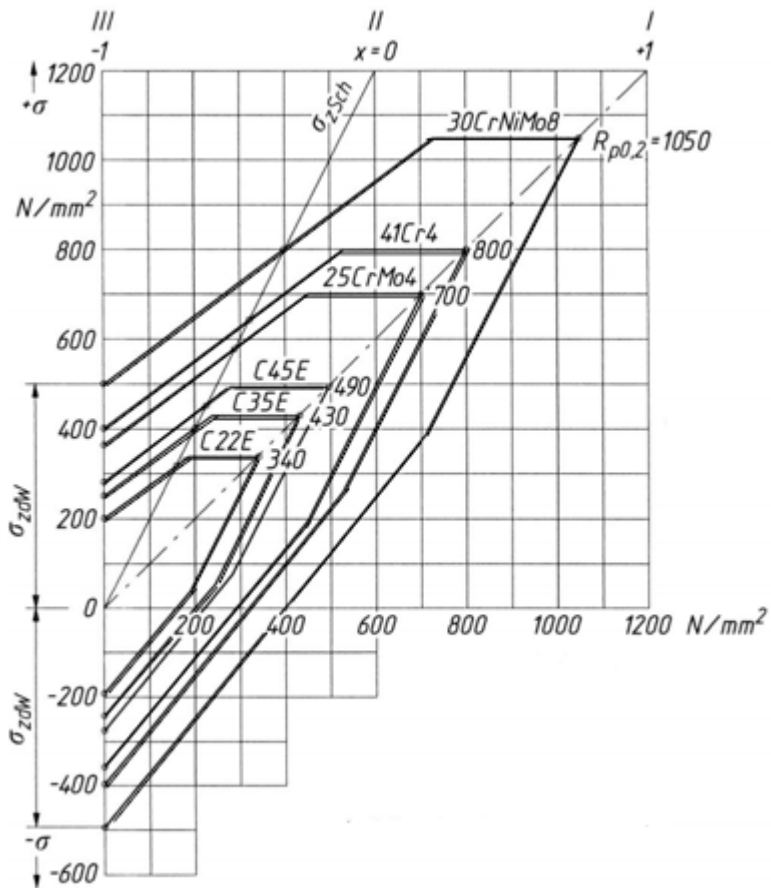
K_4 = Lämpötilakerroin

K_5 = Jännityshuippukerroin

(Airila ym. 2010, 29–56).



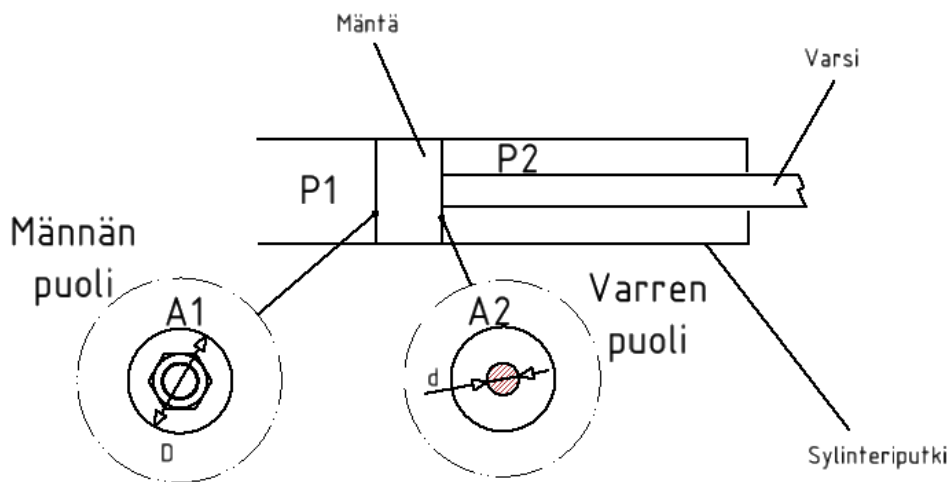
KUVIO 10. Eri kuormitustyyppit. (Mukaiillen SFS 3099.)



KUVIO 11. Smithin väsymispiirros (Mukaiillen Mauk 2009.)

3.3 Hydrauliiikkasylinteri ja paine

Sylinterin voima riippuu valitsevasta paineesta sekä männän ja varren halkaisijasta. Koska voima syntyy paineen vaikutuksesta pinta-alaan kohden, on huomattava, että männän ja varren puoli tuottavat eri voiman sylinterinvarrelle, sillä paineen vaikutuspinta-ala on pienempi varren puolella. Vastaavasti sylinterin liike on varren puolella nopeampi samalla öljyn tilavuusvirtauksella. (Ikinen & Tuohi 2003, 301, 305-306.)



KUVIO 12. Hydrauliiikkasylinteri

Hydrauliiikkasylinterin voima voidaan laskea kaavalla:

$$P = \frac{F}{A} \quad (15)$$

missä,

P = Paine [N/mm^2]

F = Voima [N]

A = Poikkipinnan pinta-ala [mm^2]

(Ikinen & Tuohi 2003, 301).

Männän puolen pinta-ala:

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \quad (16)$$

missä,

A= Poikkipinnan pinta-ala [mm^2]

D = Männän halkaisija [mm]

(Valtanen 2009, 24).

Varren puolen pinta-ala:

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot (D^2 - d^2) \quad (17)$$

missä,

A= Poikkipinnan pinta-ala [mm^2]

D = Männän halkaisija [mm]

d = Varren halkaisija [mm]

(Valtanen 2009, 24).

Pinta-alojen kaavasta voidaan päätellä, että sylinterin voima on sitä suurempi, mitä suurempi paine tai männän halkaisija on. Varren puolella voima pienenee, mitä vahvempi männänvarsi on.

(Ikinen & Tuohi 2003, 305-306).

3.4 Ohmin laki

Ohmin laki on saanut nimensä Geort Simon Ohmin mukaan. Ohmin laki tunnetaan yhtälöstä:

$$I = \frac{U}{R} \quad (18)$$

missä,

$$I = \text{Virta} \quad [\text{A}]$$

$$U = \text{Jännite} \quad [\text{V}]$$

$$R = \text{Resistanssi} \quad [\Omega]$$

(Ahoranta 2018, 41-44).

Virta kuvaa varausyksiköiden virtausta aikayksikössä. Yksi ampeeri voidaan siis kirjoittaa muotoon c/s eli coulombia per sekunti. Jännite kuvaa potentiaaliero kahden mittapisteen välissä. Parhaan käsityksen saa, kun miettii vesiputousta, jossa vesi toimii virtana ja yläjuoksu korkeampana potentiaalina ja alajuoksu matalampana potentiaalina. Potentiaaliero mahdollistaa siis virtauksen. (Valtonen & Lehtovuori 2011, 10.)

3.5 Sähköteho

Sähköteho kuvaa sähkön kykyä tehdä työtä aikayksikössä. Tällä tarkoitetaan energian muuttumista toiseen muotoon (Valtonen & Lehtovuori 2011, 10.)

Tehon yhtälö:

$$P = U \cdot I \quad (19)$$

missä,

$$P = \text{Teho} \quad [\text{W}]$$

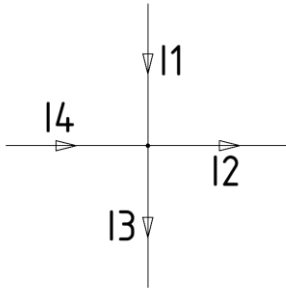
$$I = \text{Virta} \quad [\text{A}]$$

$$U = \text{Jännitys} \quad [\text{V}]$$

(Valtonen & Lehtovuori 2011, 11).

3.6 Kirchhoffin lait

Kirchhoffin virtalain avulla voidaan laskea virtapiirin solmupisteen tulevat virrat.

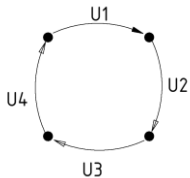


KUVIO 13. Virtapiirin solmupiste (Mukaiillen Valtonen & Lehtovuori 2011.)

Määritelmän mukaan solmupisteen tulevien ja lähtevien virtojen summa on nolla. Toisin sanoen solmupisteeseen saapuu ja poistuu yhtä paljon varauksia. (Valtonen & Lehtovuori 2011, 22-23.)

$$\sum_{I=0}^n I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0 \quad (20)$$

Kirchhoffin jännitelain avulla voidaan laskea virtapiirin solmupisteiden välinen jännite.



KUVIO 14. Virtapiiri (Mukaiillen Valtonen & Lehtovuori 2011).

Määritelmän mukaan piiri muodostaa silmukan, ja kun silmukan jännitteet lasketaan yhteen, on tulos nolla. Tästä johtuen jännite pystytään laskemaan solmupisteiden välille käyttämällä mitä reittiä tahansa. (Valtonen & Lehtovuori 2011, 23.)

$$\sum_{U=0}^n U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = 0 \quad (21)$$

3.7 Vastusten rinnan ja sarjaan kytkeminen

Sarjaan kytketyt vastukset voidaan kuvata yhtenä vastuksena.

$$\sum_{R=0}^n R = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (22)$$

(Valtonen & Lehtovuori 2011, 263).

Rinnankytketyt vastukset voidaan laskea kaavalla:

$$\sum_{R=0}^n \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (23)$$

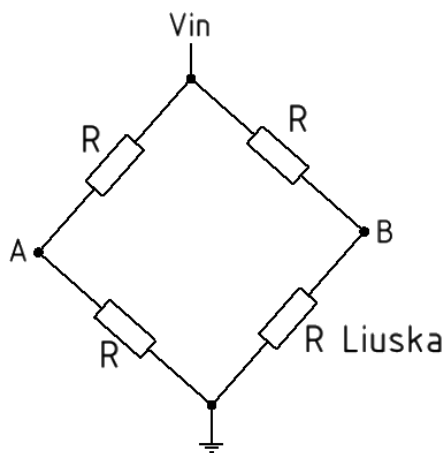
(Valtonen & Lehtovuori 2011, 263).

4 LAITTEISTON SUUNNITTELU

Tässä osiossa käsitellään laitteiston mitoitus ja suunnittelua. Piirilevy suunniteltiin toimimaan tietyllä toiminta-alueella. Ohjelman toiminta kuvataan sekvenssi- ja vuokaavioiden avulla, jotta ohjelman kulua olisi helppo ymmärtää. Todellinen ohjelma tehtiin käyttämällä Python ja C++ ohjelmointikieliä.

4.1 Mittauspiirin suunnittelu

Opinnäytetyössä oli tarkoitus rakentaa akkukäyttöinen laitteisto ja hankkia tietoa mittapiirien rakentamisesta. Venymäliuskoja käytetään esimerkiksi puntareissa, paineantureissa ja venymän mittaamiseen, eli käyttömahdollisuudet ovat laajat. Venymäliuska mittaus perustuu Whealstonen siltaan. Sillassa on rinnan kytketty kaksi haaraa, joissa on kaksi samansuuruisia vastusta. Kun toisessa haarassa resistanssi muuttuu, niin kahden vastuksen välistä mitattu jännite muuttuu. Kun tämä pieni millivolttien luokkaa oleva signaali vahvistetaan, saadaan aikaiseksi käyttökelpoinen analogisignaali. (Kyowa 2019, 1-4.)



KUVIO 15. Mittauspiiri. (Mukaiillen Kyowa 2019.)

Kun vastukset ovat samansuuruisia, on virta samansuuruinen molemmissa haaroissa. Tämä voidaan todentaa Kirchhofin virtalain mukaan kaavalla 20. Jos halutaan saada jännite pisteessä A ja B selville, on kuvan vastusverkko korvattava yhdellä vastuksella, jotta piirin läpimenevä virta voidaan laskea. Tämä vastus voidaan laskea kaavan 21 ja 22 avulla. Oletetaan, että R on liuskan resistanssi, joka on suuruudeltaan 120Ω ja syöttöjännite on 5 V .

$$\sum R = \frac{(R + R) \cdot (R + R \text{ Liuska})}{(R + R) + (R + R \text{ Liuska})}$$

$$\sum R = \frac{(120 \Omega + 120 \Omega) \cdot (120 \Omega + 120 \Omega)}{(120 \Omega + 120 \Omega) + (120 \Omega + 120 \Omega)} = 120 \Omega$$

Läpimenevä virta voidaan laskea kaavalla 18.

$$I = \frac{5 V}{120 \Omega} = \frac{1}{24} A$$

Haarojen virrat voidaan laskea kaavalla 20 huomioiden, että tässä tilanteessa molemmat haarat ovat symmetrisiä.

$$I_a = I_b = \frac{\frac{1}{24} A}{2} = \frac{1}{48} A$$

Tämän jälkeen saadaan laskettua jännite pisteessä a ja b kaavalla 18.

$$U_a = U_b = \frac{1}{48} A \cdot 120 \Omega = 2,5 V$$

Venymäliuskan toiminta perustuu nimensä mukaisesti liuskan venymään. Venymäliuskan teoreettinen venymä voidaan laskea venymäliuska valmistajan Kyowan antamien ohjeiden mukaan. Mitattavaksi materiaaliksi valitaan S355-teräs, jonka kimmokerroin on 206 GPa ja myötöraja 355 MPa. Valitaan venymäliuskaksi 120 Ω liuska, jonka Gate factor eli herkkyyskerroin on 2,1.

Oletetaan, että kappaleessa vallitsee myötörajan suuruinen jännitystila ja lasketaan venymä kaavan 1 avulla.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \leftrightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{355 \text{ MPa}}{206 \text{ GPa}} = \frac{71}{41200} \approx 0,001723$$

Kyowan katalogista saadaan pisteiden A ja B välisen jännite-eron määritelmäksi seuraava kaava:

$$U_{a \rightarrow b} = \frac{1}{4} K_s \cdot \varepsilon \cdot U_{in} = \frac{(R_{liuska} \cdot R_2) - (R_3 \cdot R_4)}{(R_{liuska} + R_2)(R_3 + R_4)} U_{in} \quad (24)$$

Missä,

$U_{a \rightarrow b}$ = Pisteiden A ja B välinen jännite-ero.

K_s = Gate factor

U_{in} = Syöttöjännite

(Kyowa. 2019, 1-4).

$$U_{a \rightarrow b} = \frac{1}{4} 2,1 \cdot \frac{71}{41200} \cdot 5 V = 0,0045 V \approx 4,5 mV$$

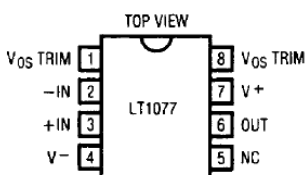
Kun venymäliuska on kytketty vain toiseen haaraan, on toisen haaran jännite vakio pisteessä A.

Pisteen A jännite on siis 2,5 V ja pisteessä B on 4,5 mV suurempi jännite kuin pisteessä A. Seuraavaksi voidaan laskea liuskassa tapahtunut resistanssin muutos kaavalla 24.

$$U_{a \rightarrow b} = \frac{(R_{liuska} \cdot R_2) - (R_3 \cdot R_4)}{(R_{liuska} + R_2)(R_3 + R_4)} U_{in} \rightarrow R_{liuska} = 120,52 \Omega$$

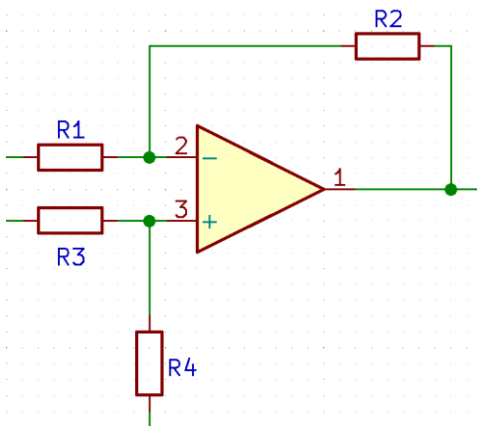
4.2 Vahvistin

Mittapisteiden väliset jännitemuutokset ovat siis teoriassa millivoltin suuruisia. Jotta mittaus signaalista saadaan käyttökelpoinen, on sitä vahvistettava. Operaatiovahvistin on ICT-piiri. Operaatiovahvistin sisältää useita transistoreita, joiden avulla signaali vahvistetaan. Operaatiovahvistimia voidaan käyttää lukuisissa sovelluksissa. Esimerkiksi operaatiovahvistimella voidaan tehdä matemaattisia tehtäviä. (Valtonen. 2011. 199-209.)



KUVA 3. Operaatiovahvistin LT1077. (STMicroelectronics 2021.)

Kun kuvan 3 pinneihin 2 ja 3 tuodaan edellisen kohdan pisteiden A ja B jännite, saadaan pinnistä 6 ulos signaali. Pinneihin 4 ja 7 tuodaan syöttövirrat, jotka voivat olla esimerkiksi +15 V ja -15 V. Tällöin ulostuleva signaali voi olla joko positiivinen tai negatiivinen. Tässä sovelluksessa käytetään 5 V:n syöttöjännitettä pinnillä 7 ja pinni 4 kytketään maahan. Pinnistä 6 saadaan ulos signaali, joka ei kuitenkaan vielä ole käyttökelpoinen, sillä se on vahvistunut vahvistimen saturaatioalueelle pienelläkin jännite-erolla. Tämä voidaan korjata negatiivisella takaisinkytkennällä. Negatiivisessa takaisinkytkennässä osa ulostulosignaalista syötetään takaisin syöttävälle puolelle, jolloin se vähentää alkuperäistä signaalia. Takaisinkytkentä myös stabiloi piiriä. Takaisinkytkentä voidaan tehdä myös positiiviselle puolelle, jolloin takaisinkytkennällä on voimistava vaikutus. (Valtonen & Lehtovuori 2011, 200.)



KUVIO 16. Erotusvahvistin (Mukaiillen Silvonen 2009.)

Vahvistimeksi päätettiin rakentaa erotusvahvistin. Erotusvahvistimessa on negatiivinen takaisin kytkentä, joten osa signaalista palaa takaisin sisääntuloon rauhoittaen piirin toimintaa. Mittauspisteiden signaalit A ja B tulevat nyt vastusten R1 ja R3 lävitse operaatiovahvistimelle. Vastus R4 kytketään maahan. Vahvistuspiirin vahvistusta voidaan säätää vastuksien avulla seuraavasti:

$$AVO = \frac{R2}{R1} \quad (25)$$

missä,

AVO = Vahvistus

Kaava toimii vain, jos R1 on yhtä suuri kuin R3 ja R2 on yhtä suuri kuin R4.

(Silvonen 2009, 63-64).

Vahvistunut signaali voidaan laskea kaavalla:

$$U_{a \rightarrow b} \cdot AVO = U_{out} \quad (26)$$

missä,

AVO = Vahvistus

$U_{a \rightarrow b}$ = Pisteiden A ja B välinen jännite-ero

U_{out} = Ulostuleva signaali

(Silvonen 2009, 63-64).

4.3 Operaatiovahvistimen valinta

Operaatiovahvistimia oli monenlaisia tarjolla. Nyt on kuitenkin valittava operaatiovahvistin, joka toimii yhdellä syöttöjännitteellä. Toinen tärkeä huomio on pisteiden A ja B välinen oletettu jännite-ero, joka on joitain millivolteja. Tämä jännite-ero haluttiin vahvistaa volttien suuruiseksi.

Valitaan vastuksien arvoiksi seuraavat:

$$R1 = R3 = 1,2 \text{ k}\Omega$$

$$R2 = R4 = 560 \text{ k}\Omega$$

Syöttöjännite on 5 V ja vahvistettava signaali on $U_{a \rightarrow b}$.

Tällöin vahvistuskerroin voidaan laskea kaavan 25 mukaan:

$$\frac{560 \text{ k}\Omega}{1,2 \text{ k}\Omega} \approx 467$$

Ulostulosignaali on kaavan 26 mukaan:

$$0,0045 \text{ V} \cdot 467 = 2,1 \text{ V}$$

Koska vahvistettava jännite-ero on pieni, on suunnittelussa huomioitava Input Offset Voltage ja Input offset current. Input offset Current tarkoittaa operaatiovahvistimen läpi päästämää virtaa eli kompensointivirtaa ja Input offset voltage tarkoittaa sisään tulevien kanavien kompensointijännitettä. Siirrosjännite syntyy komponenttien epätarkkuuksista ja tarkoittaa jännitettä, jolla ulostulosignaali menee nolllaksi. Input Bias current tarkoittaa molempien kanavien omaa virhettä. Ideaalivahvistimessa ei näitä

ole, mutta todellisesta operaatiovahvistimesta nämä läpipäästöt löytyvät. Kun tutkitaan neutraalia tilanetta, jossa molemmat sisääntulot ovat samansuuruisia, on ulostulosignaali kuitenkin ero laskennalliseen nähden. Syytä voidaan ryhtyä tutkimaan kaavan 18 avulla negatiivisesta takaisinkytkennästä, ja huomioimalla vahvistus kaavan 26 avulla, voidaan laskea virhe ulostulosignaaliin. (Silvonen 2009, 53, 79.)

Otetaan vertailuun operaatiovahvistimet ML324, LT1077 ja MCP6V02. ML324 on hyvin yleiskäyttöinen operaatiovahvistin ja LT1077 on tarkkuusoperaatiovahvistin. MCP6V02 on erityisen tarkka operaatiovahvistin.

TAULUKKO 1. ML324 tekniset tiedot. (STMicroelectronics 2021.)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC+} = +5V$, $V_{CC-} = \text{Ground}$, $V_O = 1.4V$, $T_{amb} = +25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage - note ¹⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ LM324		2	5 7	mV
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ LM324			7 9	
I_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	30 100	nA

TAULUKKO 2. LT1077 tekniset tiedot. (Linear technology Co 2021.)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_S = 5V, 0V, V_{CM} = 0.1V, V_O = 1.4V, T_A = 25^\circ C$, unless noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LT1077AM/IIAC			LT1077M/IC/S8			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{OS}	Input Offset Voltage	LT1077S8		9	40	10	60		μV
$\frac{\Delta V_{OS}}{\Delta Time}$	Long Term Input Offset Voltage Stability			0.4		0.4			$\mu V/Mo$
I_{OS}	Input Offset Current			0.06	0.35	0.06	0.45		nA
I_B	Input Bias Current			7	9	7	11		nA

TAULUKKO 3. MCP6V02 tekniset tiedot. (Microchip 2021.)

TABLE 1-1: DC ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Electrical Characteristics: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = +1.8\text{V to } +5.5\text{V}$, $V_{SS} = \text{GND}$, $V_{CM} = V_{DD}/3$, $V_{OUT} = V_{DD}/2$, $V_L = V_{DD}/2$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$ to V_L , and $\overline{CS} = \text{GND}$ (refer to Figure 1-5 and Figure 1-6).

Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Input Offset						
Input Offset Voltage	V_{OS}	-2.0	—	+2.0	μV	$T_A = +25^\circ\text{C}$ (Note 1)
Input Offset Voltage Drift with Temperature (linear Temp. Co.)	TC_1	-50	—	+50	$\text{nV}/^\circ\text{C}$	$T_A = -40$ to $+125^\circ\text{C}$ (Note 1)
Input Offset Voltage Quadratic Temp. Co.	TC_2	—	± 0.1	—	$\text{nV}/^\circ\text{C}^2$	$T_A = -40$ to $+125^\circ\text{C}$
Power Supply Rejection	PSRR	130	143	—	dB	(Note 1)
Input Bias Current and Impedance						
Input Bias Current	I_B	—	± 1	—	pA	
Input Bias Current across Temperature	I_B	—	60	—	pA	$T_A = +85^\circ\text{C}$
	I_B	—	600	5000	pA	$T_A = +125^\circ\text{C}$
Input Offset Current	I_{OS}	—	-30	—	pA	
Input Offset Current across Temperature	I_{OS}	—	-50	—	pA	$T_A = +85^\circ\text{C}$
	I_{OS}	-1000	-75	1000	pA	$T_A = +125^\circ\text{C}$

TAULUKKO 4. Operaatiovahvistimien vertailu.

Vahvistin	Input offset Current	R2	Jännite vastuksen yli	Input offset voltage	AVO	Ulostulo signaali
ML324	2 nA	560 k Ω	0.0000112 V	2 mV	467	0.93923 V
LT1077	0.06 nA	560 k Ω	0.0000336 V	9 μV	467	0.019894 V
MCP6V02	-30 pA	560 k Ω	-1.68E-05 V	2 μV	467	-0.00691 V

Taulukosta 1 voidaan päätellä, että tarkkuusoperaatiovahvistimien ulostulosignaali on huomattavasti tarkempi kuin ML324-operaatiovahvistimella. Tilanteeseen toki voidaan vaikuttaa valitsemalla riittävän pieni vastus. Vaihtamalla etuvastuksen kooksi sellaisen vastuksen, joka on viidesosa venymäliuskan resistanssista ja negatiivisen takaisinkytkennän vastukseksi sellaisen vastuksen, joka on 100 kertaa suurempi kuin venymäliuskan resistanssi (Microchip 2021). Etuvastuksen koko olisi siis 24 Ω ja negatiivisen takaisinkytkennän vastus 12 k Ω . Taulukon 5 arvot on laskettu käyttämällä vaihtoehtoisia komponentteja.

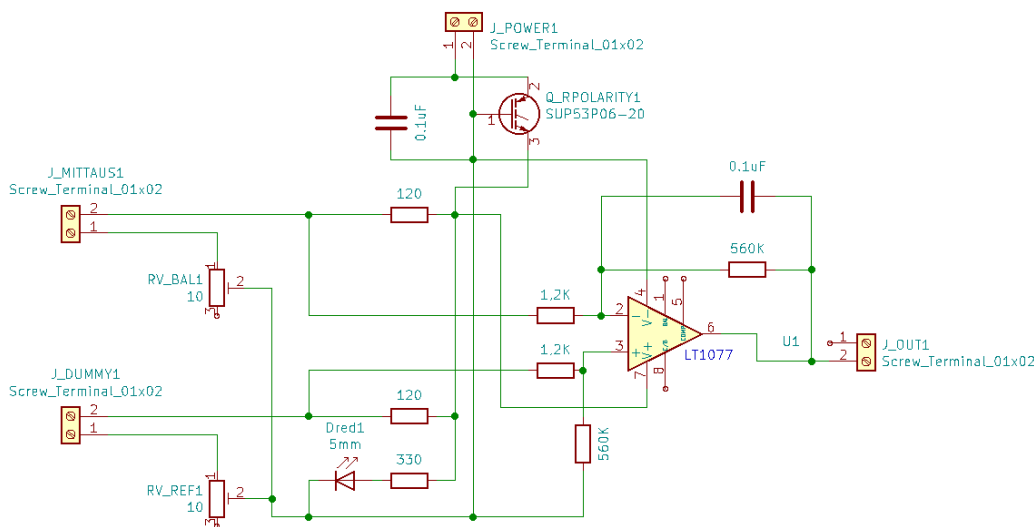
TAULUKKO 5. Operaatiovahvistimien vertailu.

Vahvistin	Input offset Current	R2	Jännite vastuksen yli	Input offset voltage	AVO	Ulostulo signaali
ML324	2 nA	12 k Ω	2.4E-07 V	2 mV	500	1.00012 V
LT1077	0.06 nA	12 k Ω	7.2E-07 V	9 μV	500	0.00486 V
MCP6V02	-30 pA	12 k Ω	-3.6E-07 V	2 μV	500	0.00082 V

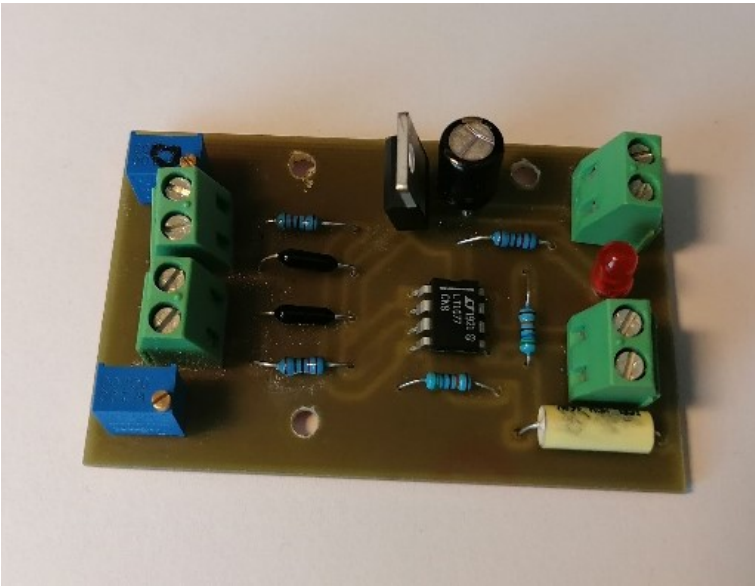
Lopulliseen valinnan ratkaisivat tässä tapauksessa kustannukset. MCP6V02-operaatiovahvistin huomattavasti kalliimpi kuin LT1077, joten LT1077 valittiin prototyypin lopulliseen versioon. LM324 testattiin useaan otteeseen, mutta lopputulos ei täyttänyt tarkoitustaan. Koska jännite-ero pisteiden A ja B välillä ja Input Offset voltage on samaa luokkaa, ei ulostulevalla signaalilla ole toistettavuutta. LT1077-operaatiovahvistimella saatiin kohtuullisen hyvä toistettavuus.

4.4 Piirilevy

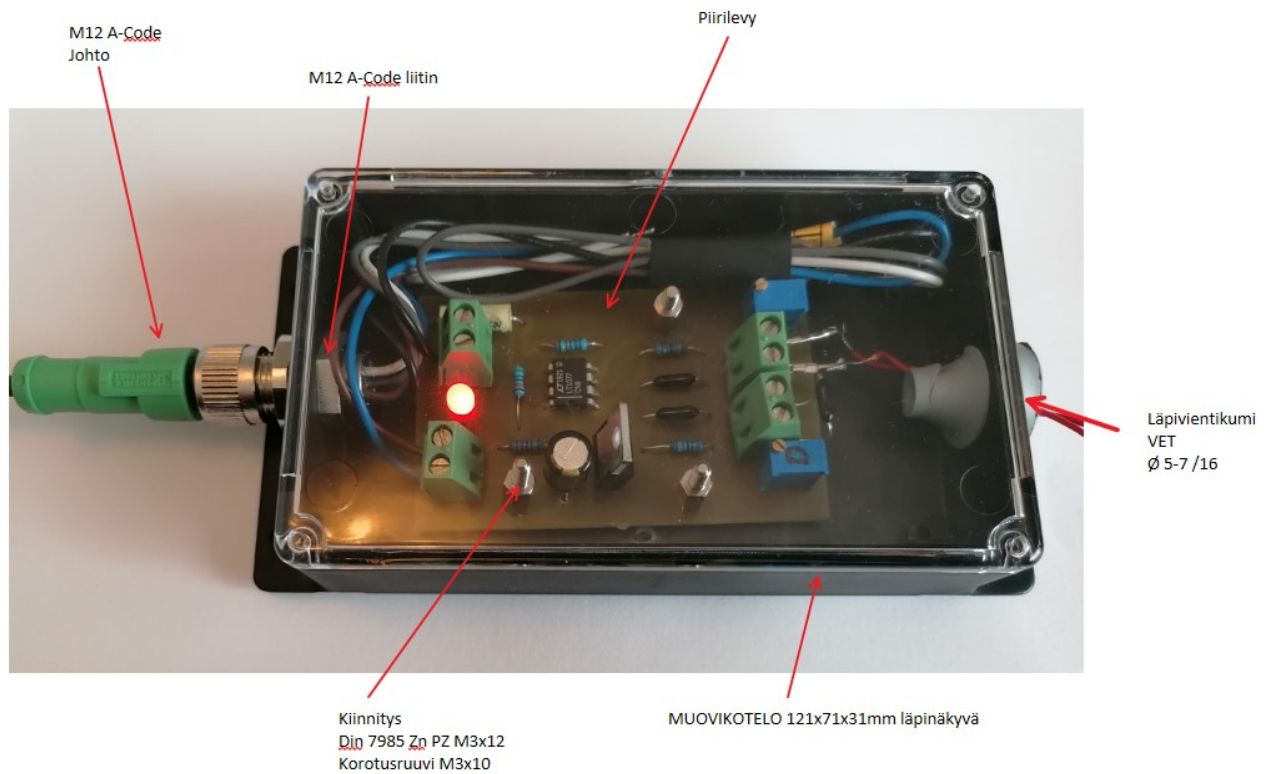
Piirilevy suunnitteluvaiheessa huomioitiin väärin kytkentä. Piirilevylle suunniteltiin virransyötölle P-kanava Mosfetti, jotta väärin kytkentä ei tuhoaisi piiriä. Fetti toimii kytkimenä ja avautuu vain, jos virran suunta on oikea. (Silvonen 2009, 197-217.) Piirilevylle haluttiin lisätä myös punainen ledi ja sille sopiva vastus, jotta piirilevyltä voidaan nähdä, että sinne tulee virta. Virransyöttöön lisättiin kondensaattori, jotta se stabiloisi syöttöjännitettä. Myös negatiivisen takaisinkytkennän vastuksen rinnalle lisättiin kondensaattori. Tämä kondensaattori rahoitti piiriä ja poisti ulostulosignaalista häiriöitä. Ulostulosignaalin ja maatasen väliin kytkettiin 10 k Ω :n vastus, mutta tätä ei asennettu piirilevylle vaan johtosarjan toiseen päähän. Tämän vastuksen avulla signaalilinja oli aidosti nollassa, sillä muutoin jännite ryömi takaisin signaalilinjaan. Mittapiirille lisättiin myös molempiin haaroihin pienet trimmerit, joilla voitiin säätää mittapiirin kelluntataso. Tällä tarkoitetaan, että mittapiiri voitiin virittää halutulle jännite-tasolle. Virransyöttö ja maadoitus piirille otettiin Arduinon Unolta. Tällöin kaikki laitteet olivat samassa nollapotentiaalissa. Arduinolle syötettiin 9 V:n jännite sisään ja siitä saatiin ulos 4,95 V. Operaatiovahvistimen toiminta-alue oli 31 mV - 4,32 V. Operaatiovahvistin siis satureoi 4,32 V:n jännitteellä.



KUVIO 17. Piirilevyn kytkentäkaavio.



KUVA 4. Valmis piirilevy.



KUVA 5. Valmiin piirilevyn kotelointi.

4.5 Signaalin käsittely

Edellisissä luvussa keskityttiin mittapiirin ja vahvistimen suunnitteluun. Nyt tiedämme, että signaalin suuruus on luokkaa 31 mV – 4,32 V riippuen mittapiirin virityksestä, mutta oletuksena on, että viritys tapahtuu 2 V:n jännitteelle. Kohdassa 4.31 laskimme, että 355 MPa jännitys aiheuttaa 2,1 V muutoksen ulostulosignaaliin. Lopullinen teoreettinen signaali on siis:

$$U_{\text{Viritys}} + U_{\text{Signaali}} = 2 \text{ V} + 2,1 \text{ V} = 4,1 \text{ V}$$

Vahvistin ei siis vielä saturoi 355 MPa jännityksellä. Jotta saatua signaalia voidaan hyödyntää, tarvitaan signaalin käsittely ja tallennusyksikkö.

4.5.1 Arduino Uno

Arduino Uno on ATmega328 -suorittimella varustettu tietokone, jonka kellotaajuus on 16 MHz. Arduino Unossa on 14 digitaalista sisään tai ulostuloa, jotka voidaan ohjelmoida ja kuusi analogista sisään-tuloa. Arduinossa on oma jännitelähde. Arduinolle voidaan tuoda 9 V:n syöttöjännite, jonka Arduino kykenee muuttamaan 5 V:n jännitteeksi. Jos Arduinon jännitelähteelle tuodaan 5V, on ulostulojännite alle 5V. Arduinolle voidaan syöttää virta myös usb portin kautta. Arduinossa on pieni flash-muisti, jonka suuruus on 32 kB. (Verkkokauppa 2021a)



KUVA 6. Arduino Uno. (Verkkokauppa 2021a)

4.5.2 Raspberry Pi 4

Raspberry Pi 4 on tietokone, joka on varustettu 1,5 GHz ARM Cortex -neliydinprosessorilla. Laiteessa on HDMI-portit, jotka tukevat jopa 4K-näyttöä. Itse käyttöjärjestelmä on microSD -kortilla kuten vanhemmissa malleissakin. Raspberry:ssä on 40 digitaalista lähtöä ja neljä usb-porttia sekä ethernet-liitin. Laiteen väliaikainen muisti on kooltaan 4 Gt. Raspberry tarvitsee syöttöjännitteeksi 5,1 V ja virtalähteen on oltava kooltaan vähintään 3 A. (Verkkokauppa 2021b.)



KUVA 7. Raspberry Pi 4. (Verkkokauppa 2021b)

4.6 Tehtävienjako

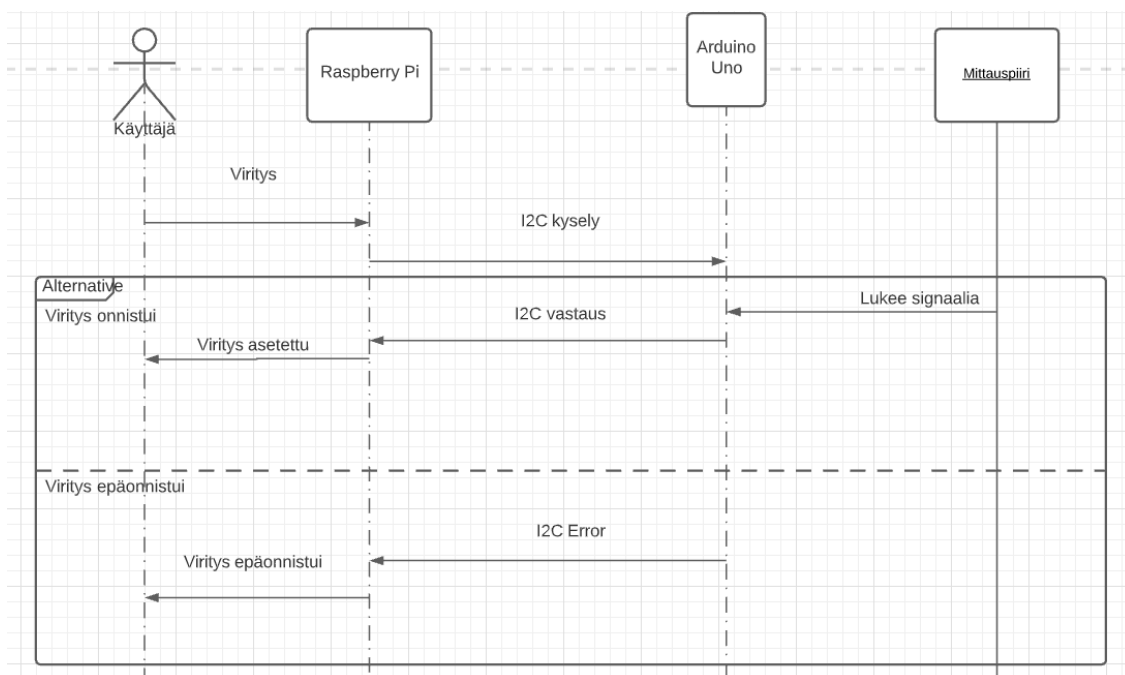
Tehtävienjako aloitettiin selvittämällä mitä toimintoja ohjelmalta vaaditaan, että mittausdata saadaan tallennettua muistiin. Selvityksen perusteella toiminnot voitiin jakaa eri laitteille. Raspberry pi olisi yksinkin voinut suorittaa kaikki toiminnot, mutta järjestelmä päätettiin jakaa kahdelle laitteelle.

Arduino Uno signaalin käsittelijänä:

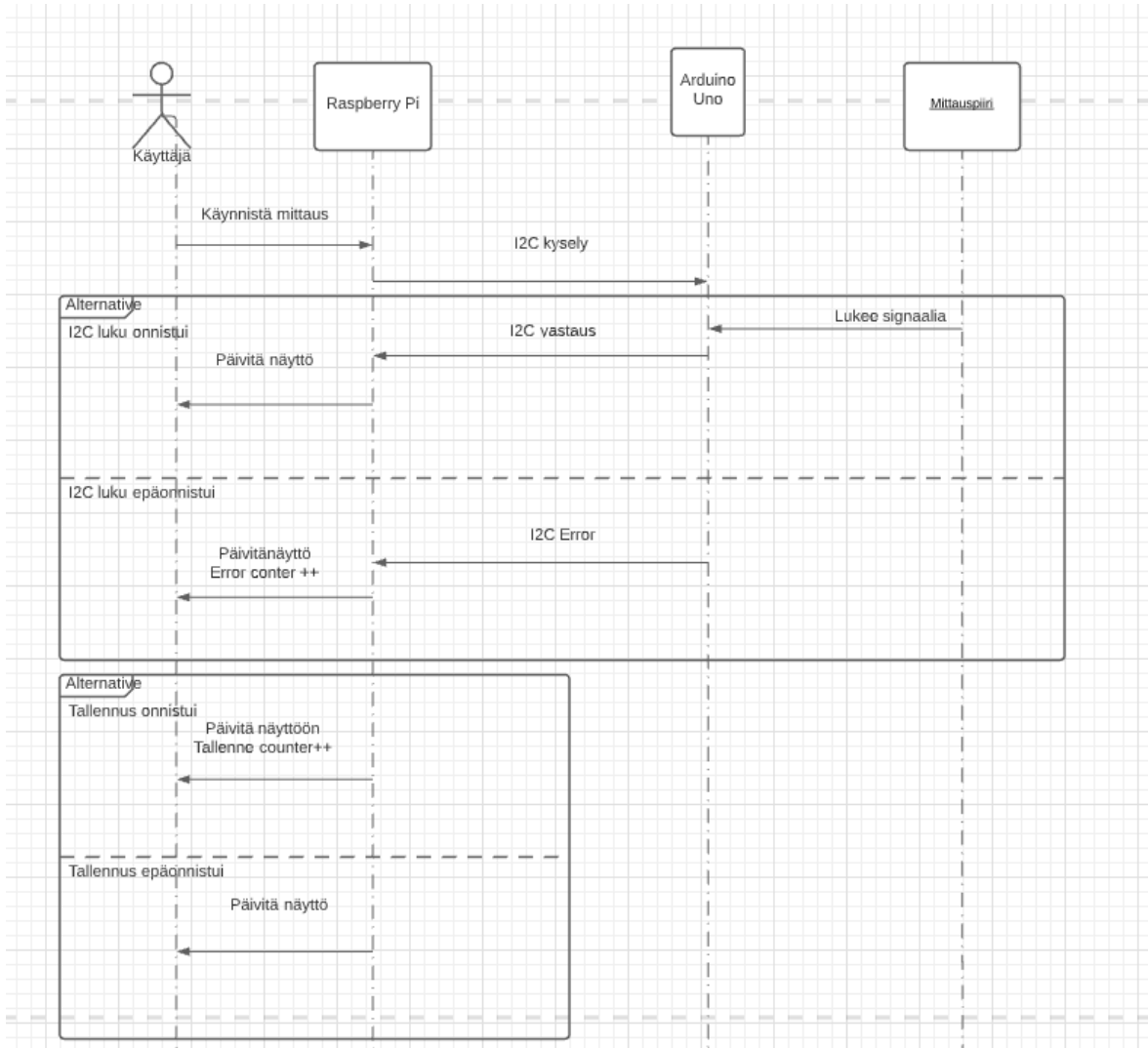
- Tallentaa tulevan analogisignaalin.
- Laskee tietyllä aikavälillä signaalin keskiarvon.
- Etsii aikavälillä esiintyvän pienimmän ja suurimman arvon.
- Toimii I2C-väylässä orjalaiteena. Lähettää keskiarvon, minimi- ja maksimiarvon digitaalisesti I2C-väylää pitkin master -laitteelle.

Raspberry Pi 4 tallennustilana:

- Toimii I2C-väylässä masterina.
- Muuttaa jännitetiedon jännitystiedoksi.
- Sisältää signaalin viritystoiminon.
- Tallentaa mittadatan tekstitiedostoon.
- Sisältää käyttöliittymän.
- Tulostaa mittadatan näytölle.



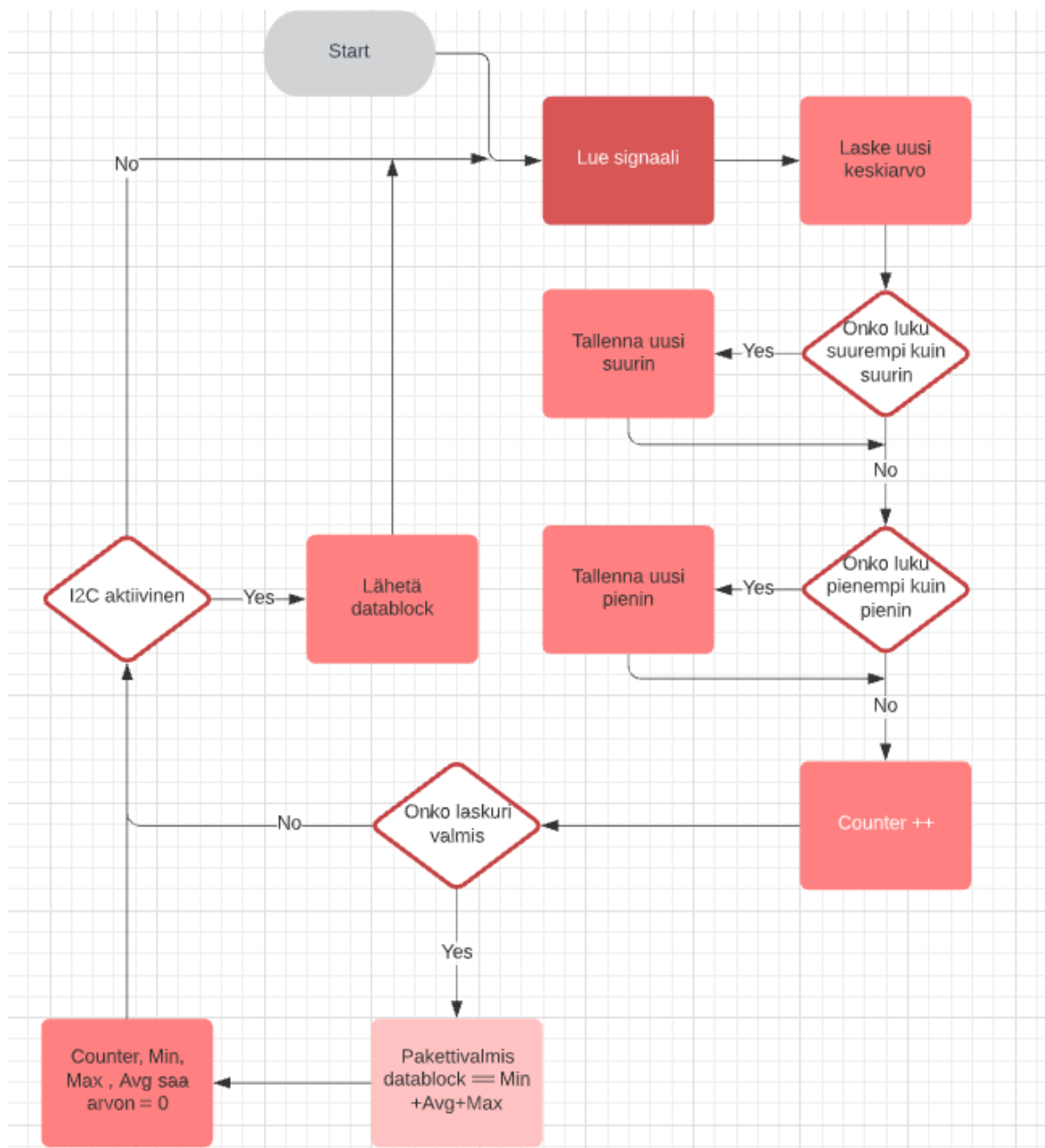
KUVIO 18. Viritys.



KUVIO 19. Työkierto.

4.7 Arduinon ohjelma

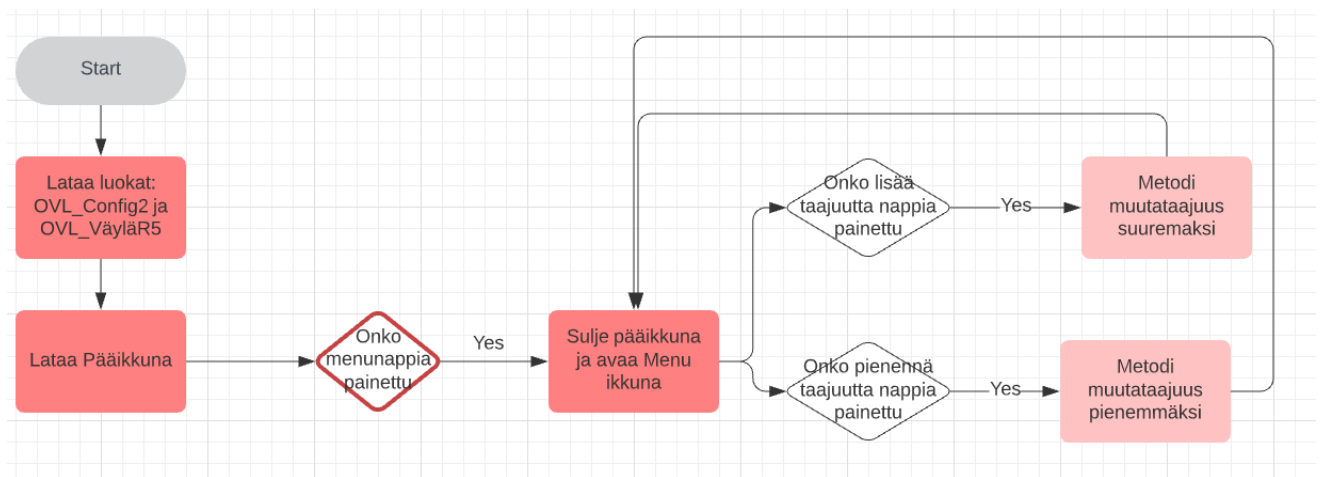
Arduinon ohjelma tehtiin Arduinon omalla Arduino IDLE-ohjelmalla. Arduino IDLE:n ohjelmakieli on C ja C++. Arduinon ohjelma oli hyvin yksikertainen. Ohjelman tehtävä oli lukea anturilta tulevaa jännitesignaalia ja tallentaa tämä muistiin. Luetut ääriarvot tallennettiin muistiin omiin muuttujiin ja luettu arvo summattiin keskiarvolaskurin muuttujaan. Valmis datapaketti sisältää tiedot ääriarvoista ja keskiarvosta. Tämä valmis datapaketti lähetettiin I2C-väylää pitkin Raspberryille, jonka jälkeen muuttujat tyhjennettiin.



KUVIO 20. Arduinon työkierto.

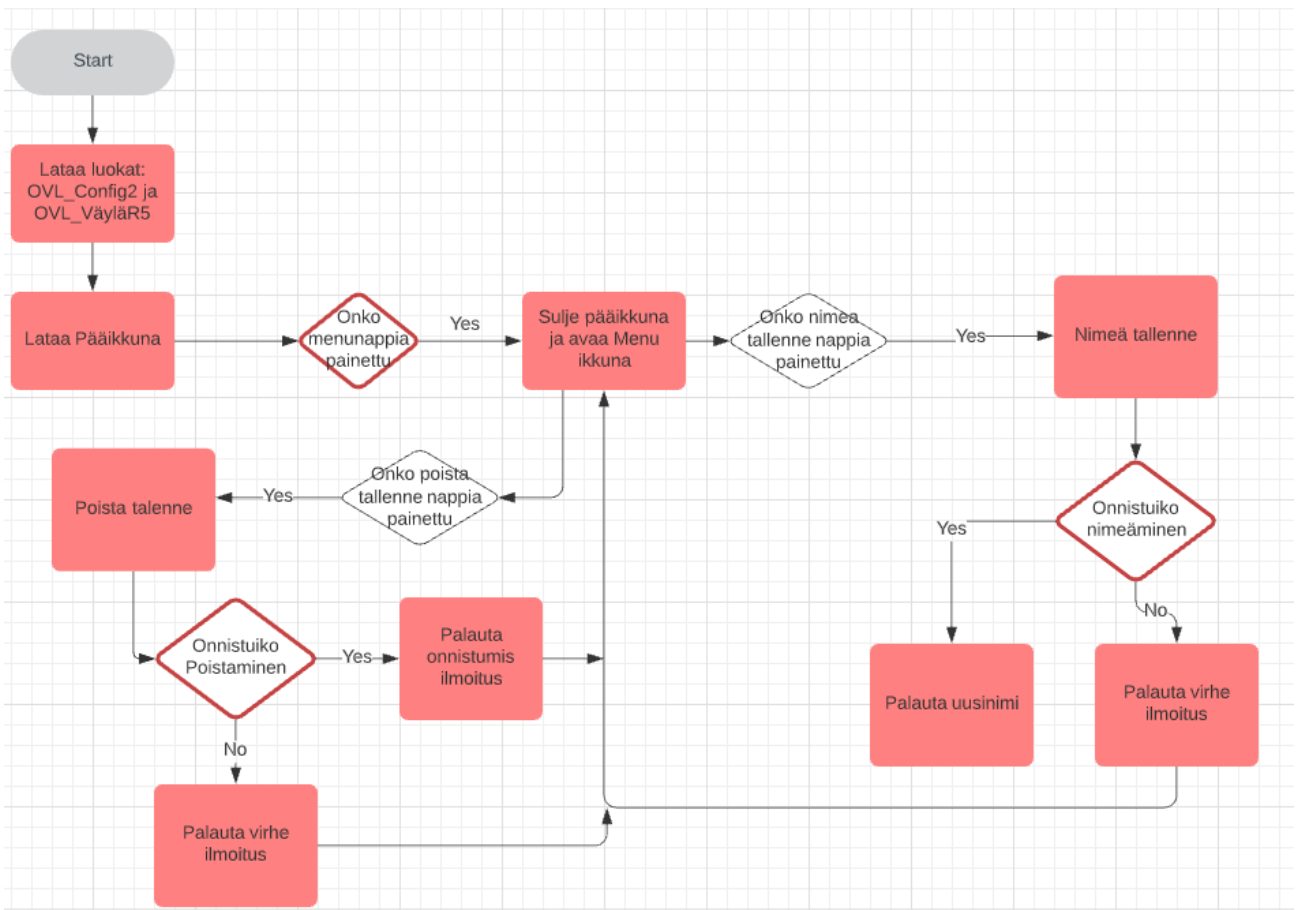
4.8 Raspberry ohjelma

Raspberryn ohjelma tehtiin Python kielellä käyttämällä IDLE Shell -ohjelmaa. Raspberryn ohjelma sisälsi huomattavasti enemmän toimintoja. Raspberryn ohjelmaan tehtiin käyttöliittymä, josta käyttäjä voi tarkkailla mittausta ja tehdä tarvittavat viritystoimet. Ohjelma kyseli väylästä datapaketteja, jotka ohjelma purki muuttujiin. Ohjelma muutti jännitetiedon jännitystiedoksi ja tallensi tämän tiedon tekstitiedostoon. Näytölle tulostettiin jännitystieto muuttujista sekunnin välein. Mittaustaajuus voi olla tässä ohjelmassa huomattavasti suurempi kuin näytön päivitys taajuus.



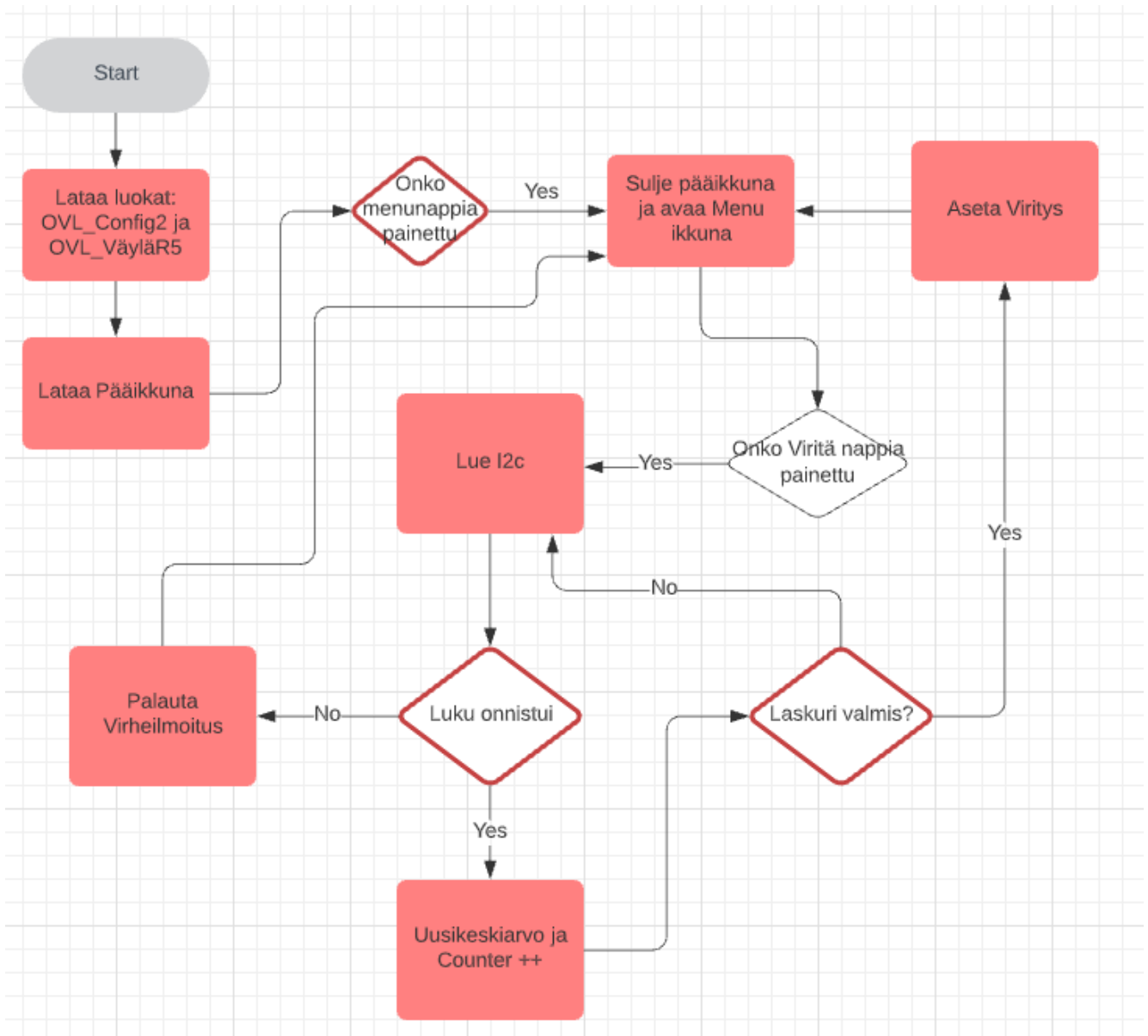
KUVIO 21. Raspberryn Menu-valikon taajuussäätö.

Kuvion 21 säätö vaikuttaa luku- ja tallennustaajuuteen. Käyttöliittymässä on Menu-valikko, joka sisältää painikkeet, joiden avulla taajuutta voidaan joko nostaa tai laskea.



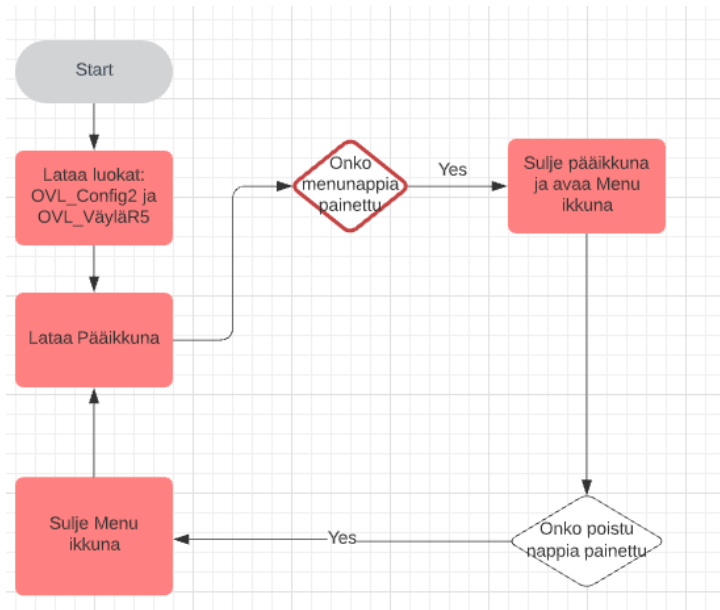
KUVIO 22. Raspberryn Menu-valikon tiedostonimen käsittely.

Kuvion 22 Nimeä tallenne painike vaihtaa tallenne tiedostoa. Painiketta tarvitaan, jos tiedoston koko on liian suuri tai jostain muusta syystä halutaan aloittaa uusi tiedosto. Poista tallenne painike poistaa tallenne tiedoston. Tätä toimintoa käytetään, jos halutaan poistaa epäonnistunut tallenne. Painikkeet sijaitsevat Menu-valikossa.



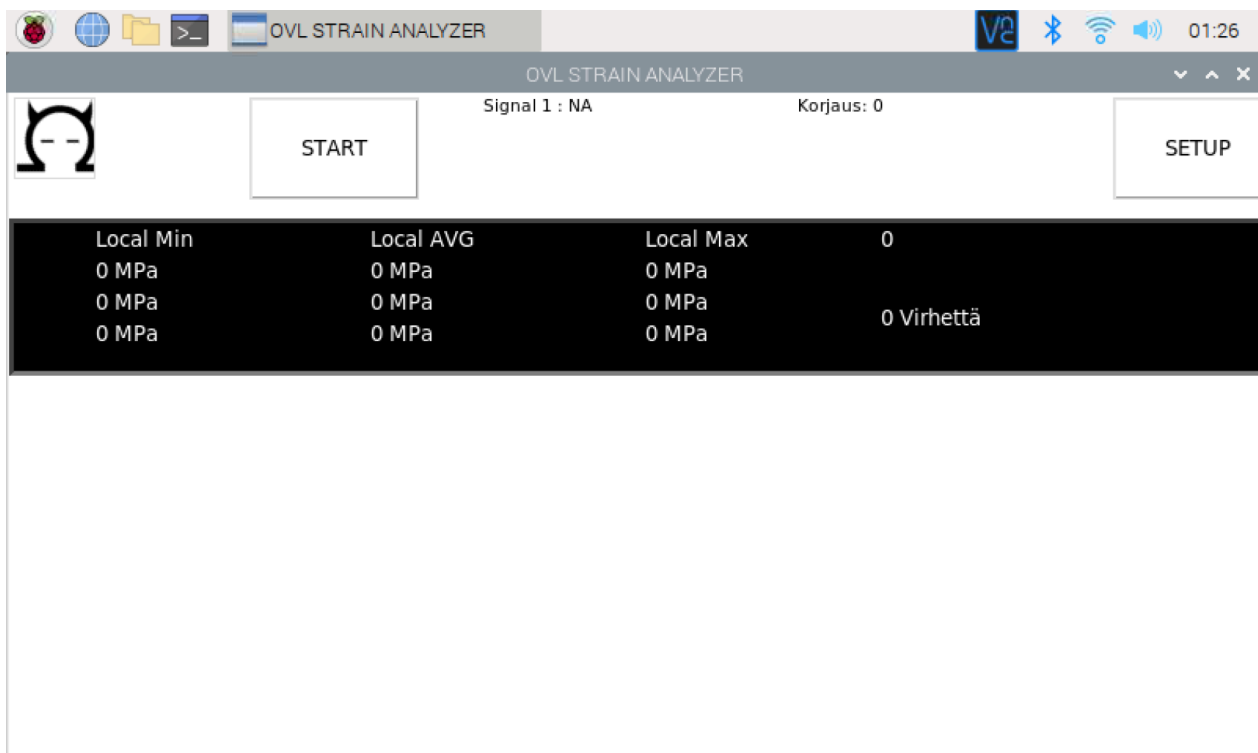
KUVIO 23. Raspberryn Menu-valikon viritystoiminto.

Kuvion 23 viritys laskee signaalin keskiarvojen keskiarvon ja asettaa sen korjauskertoimeksi. Viritys tehdään 30 mittaukselle, joista 10 ensimmäistä ei hyväksytä. Jokaisen mittauksen jälkeen on pieni viive. Ohjelma ilmoittaa tiedonsiirtovirheestä ja kirjoittaa tämän lokitiedostoon. Painikkeet sijaitsevat Menu-valikossa.

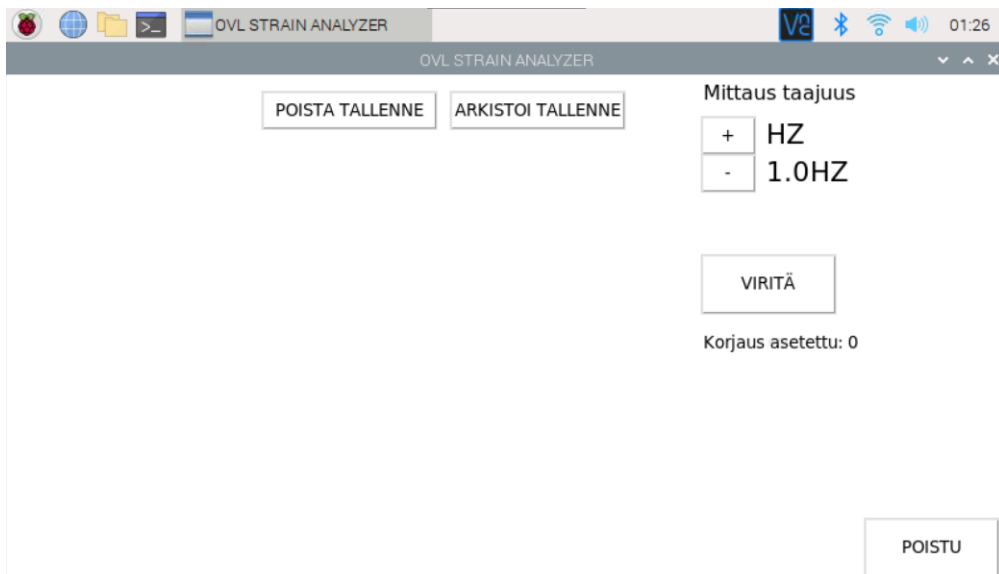


KUVIO 24. Raspberryn Menu-valikon poistumistoiminto.

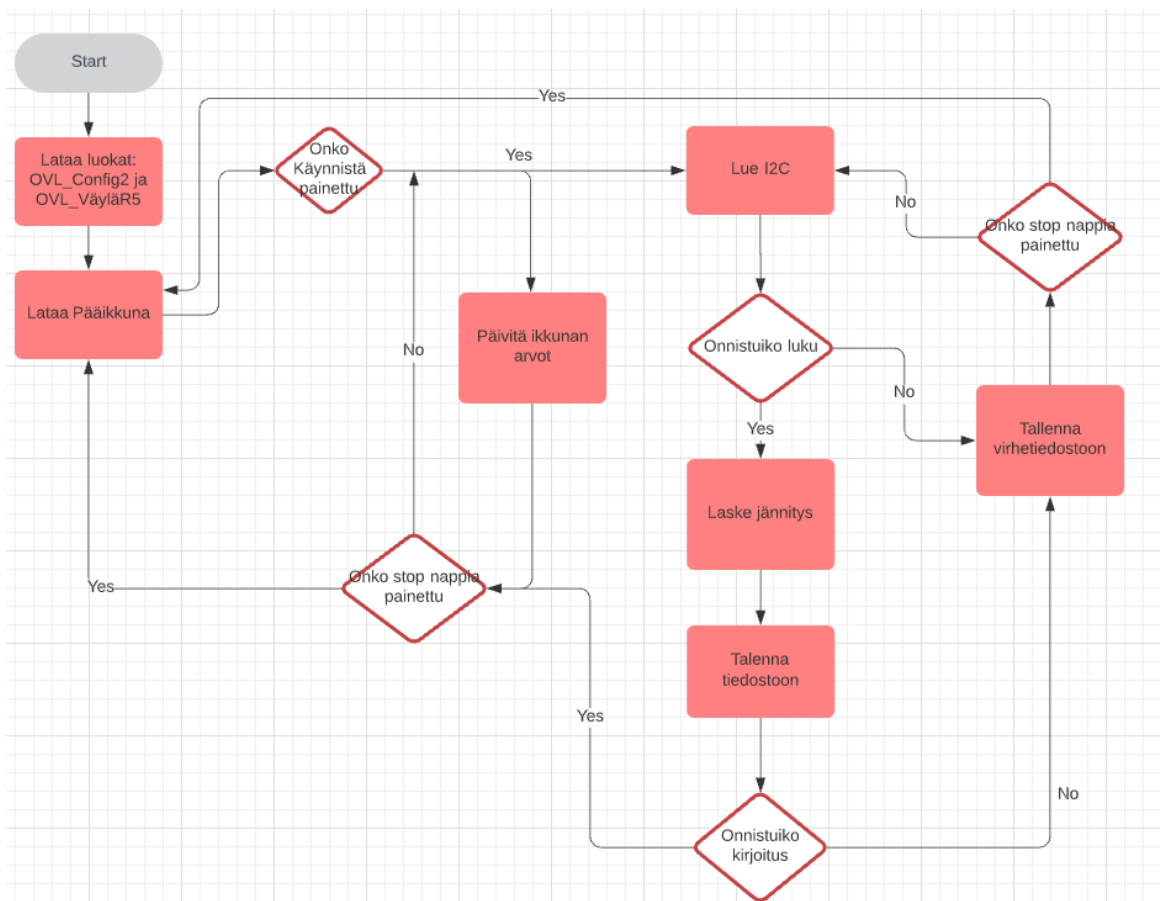
Kuvion 24 toiminto sulkee Menu-valikon ja lataa päävalikon. Painike sijaitsee Menu-valikossa.



KUVA 8. Päävalikko.



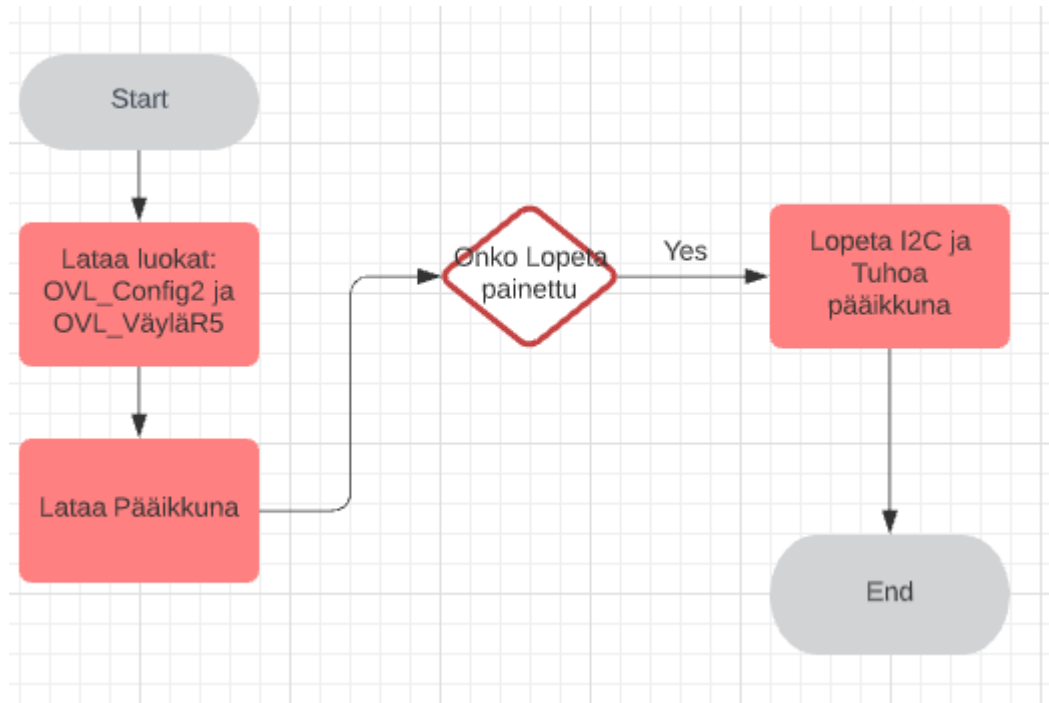
KUVA 9. Menu-valikko.



KUVIO 25. Raspberryn työkierto.

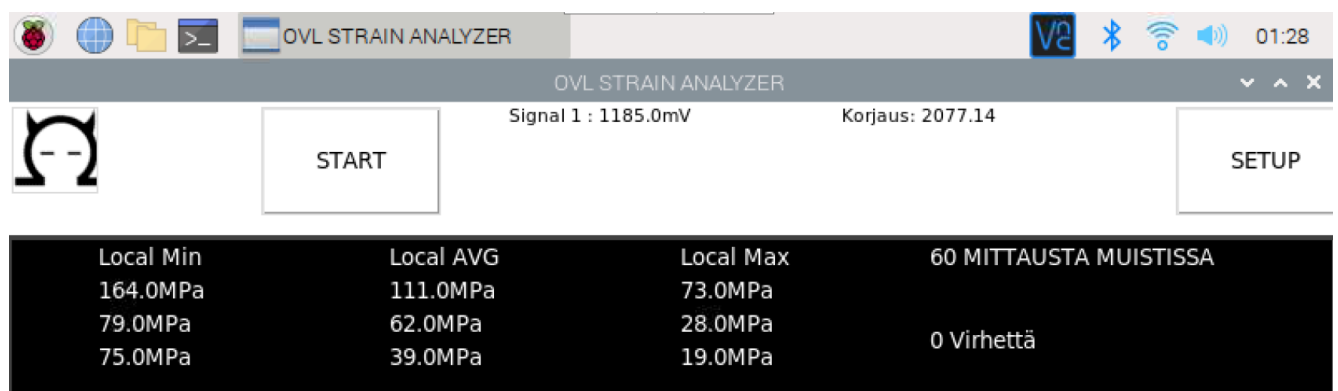
Kuviossa 25 on esitetty ikkunan päivitys- ja väylänlukutoiminto. Ikkunan päivitys- ja väylänlukutoiminto kulkeva omilla säikeillä, joten ne toimivat itsenäisesti. Ikkunan päivitystoiminto päivittää kaikki

näkyvät kentät sekunnin välein. Väylän lukutoiminto laskee jännitteen jännitykseksi ja tallentaa nämä tiedot tekstitiedostoon ja ikkunan kenttätietoihin, muttei päivitä ikkunaa. Prosessin virheet tallennetaan omaan lokitiedostoon ja virhelaskuriin. Onnistuneet tallennukset voidaan lukea tallennelaskurista.



KUVIO 26. Raspberryn sulkeminen.

Kuvion 26 vuokaaviossa suljetaan ohjelma ja lopetetaan tallennus. Sulkemisessa on pieni viive, jotta väylä ehtii sulkeutua.



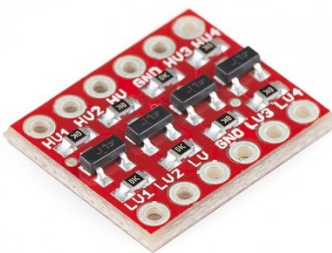
KUVA 10. Työkierto.

4.9 Laitteiston rakentaminen

Tässä osiossa käydään lävitse laitteiston muut komponentit ja niiden tehtävät. Laitteiston kokoonpano esitetään tässä osiossa.

4.9.1 Logiikkatasomuunnin

Jotta Raspberry ja Arduino voisivat keskustella keskenään, tarvitaan logiikkatasomuunnin, sillä Raspberry digitaaliset sisääntulot toimivat 3,3 V:n ja Arduinon 5 V:n signaalilla.



KUVA 11. Logiikkatasomuunnin. (Partco 2021a)

Logiikkatasomuuntimen LV-pinniin kytketään alempi jännite ja HV-pinniin korkeampi jännite. Maatasot ovat yhteisiä, joten logiikkatasomuuntimen avulla Raspberry ja Arduino ovat samassa nollapotentiaalissa. Tämä logiikkataso muunnin sallii kaksipuolisen liikenteen väylällä. Matalamman signaalin muunnin päästää läpi, mutta korkeamman signaalin logiikkatasomuunnin muuntaa matalammaksi fet-tien avulla. Tässä piileekin vaara, jos laite kytketään väärin päin väylään. Raspberry ei kestä 5 V:n sisääntulo signaalia logiikkapiirissään. (Partco 2021a)

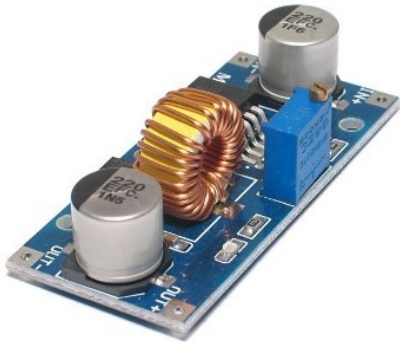
4.9.2 Step-down -virtalähteet ja koteloinnin kalusteet

Raspberyllle haluttiin näyttö, jonka avulla mittausta voidaan seurata ja tarvittaessa voidaan säätää mit-tausta. Raspberyyyn asennettiin 7” -kosketusnäyttö. Virtalähteeksi valittiin teollisen tason step-down -virtalähde. Akkukaapeliin lisättiin sulakepesä ja 3,15 A nopea lasiputkisulake. Arduinolle tarvittiin vain laskea akkujännite 9 V:n suuruiseksi, joten siihen tehtävään valittiin halvempi step-down -muun-nin. Testeissä havaittiin, että Raspberry lämpenee käytössä, joten kotelointiin lisättiin tuuletin.



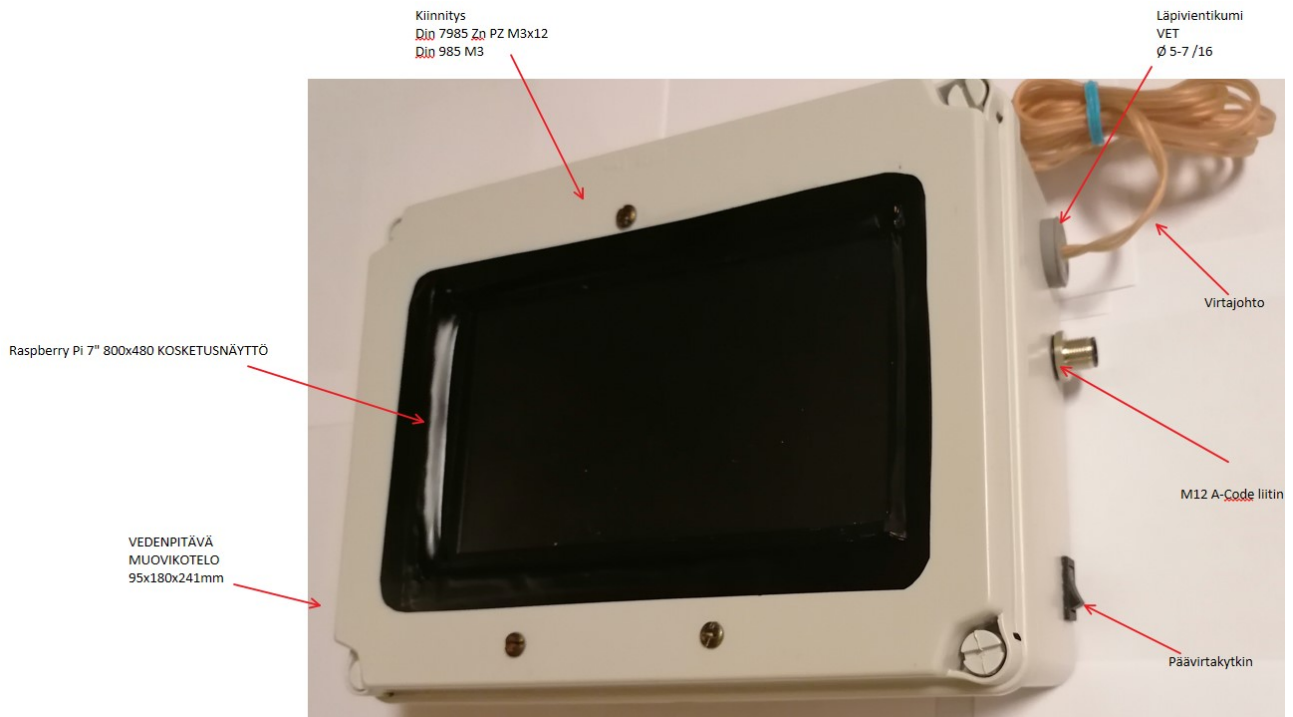
KUVA 12. Step-down DC/DC -muunnin. (Partco 2021b)

Kuvassa 12 on laadukas Step-down DC/DC -muunnin, jonka sisääntulo jännite voi olla 9-36 V ja ulostulo on säädettävissä 5,1 V:n jännitteelle. Suurin virta on 6 A. (Partco 2021b)



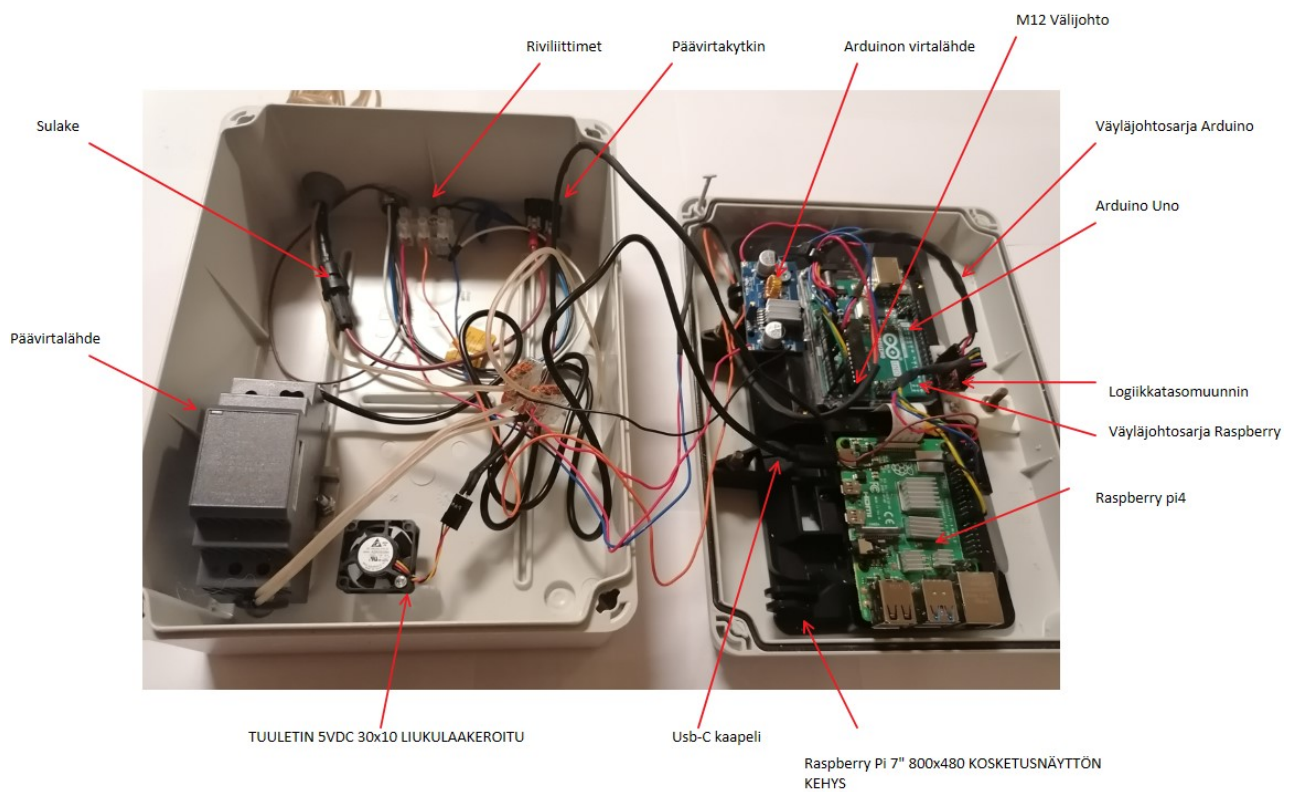
KUVA 13. Step-down DC/DC -muunnin. (Partco 2021c)

Kuvassa 13 on Arduinon Step-down DC/DC -muunnin, jonka sisääntulo jännite voi olla 4-38 V ja ulostulo on säädettävissä 9 V:n jännitteelle. Suurin virta on 5 A. (Partco 2021c)

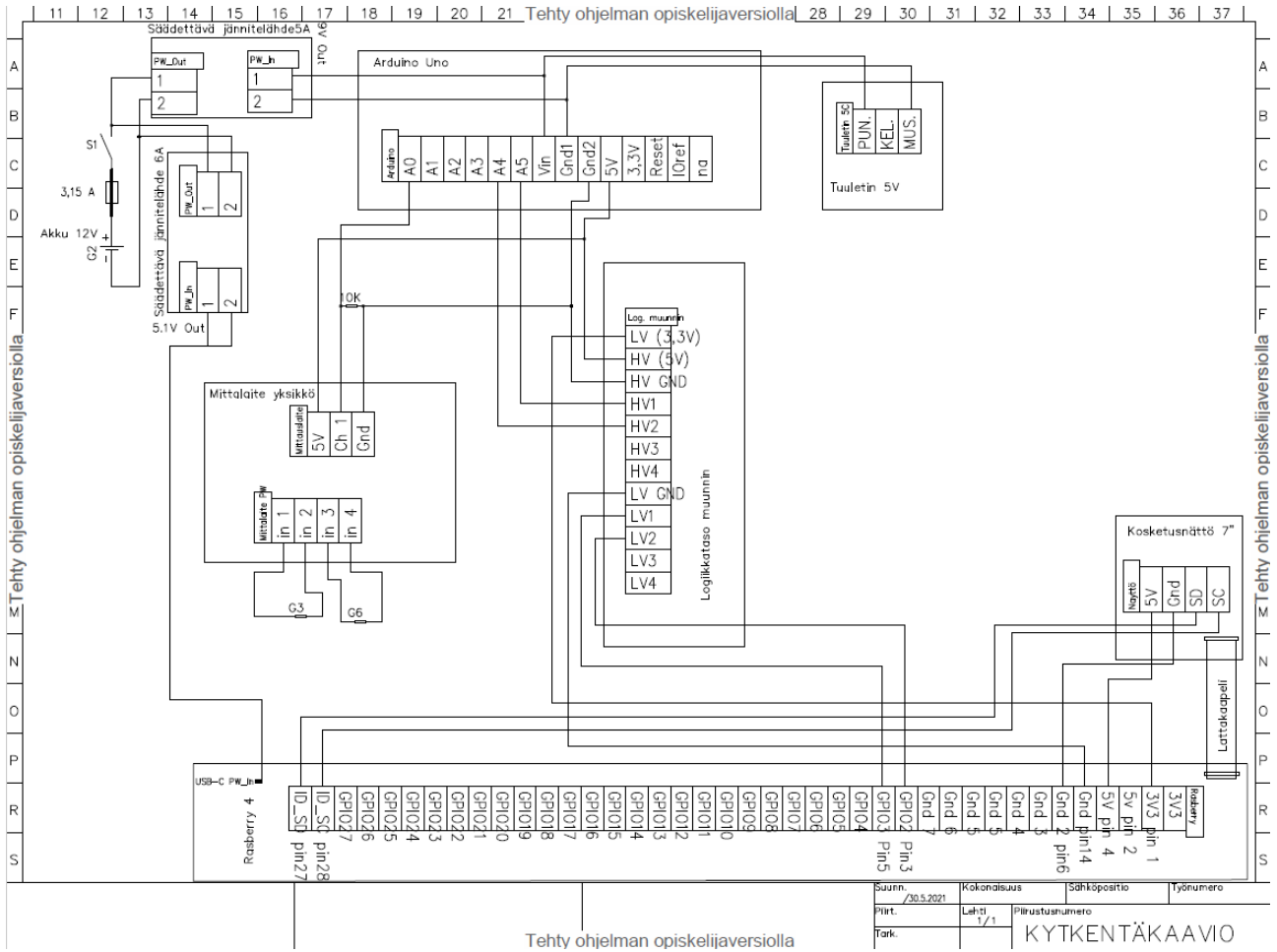


KUVA 14. Kotelointi.

Kuvassa 14 on esittely kotelointi. Käyttöyksikön ja mittapiirin virta, maadoitus ja signaali kulki M12-liittimen kautta. Virta voitiin kytkeä päälle päävirtakytkimestä.



KUVA 15. Kotelointi sisältä.



KUVIO 27. Kytkentäkaavio.

5 TESTAUS

Tässä osio esitellään laitteiston testaussuunnitelma ja testipenkki. Testisuunnitelma antaa hyvän pohjan laitteen kalibroimiseksi. Tarkemmat kalibrointi arvot tulee selvittää virallisessa mittalaboratoriossa.

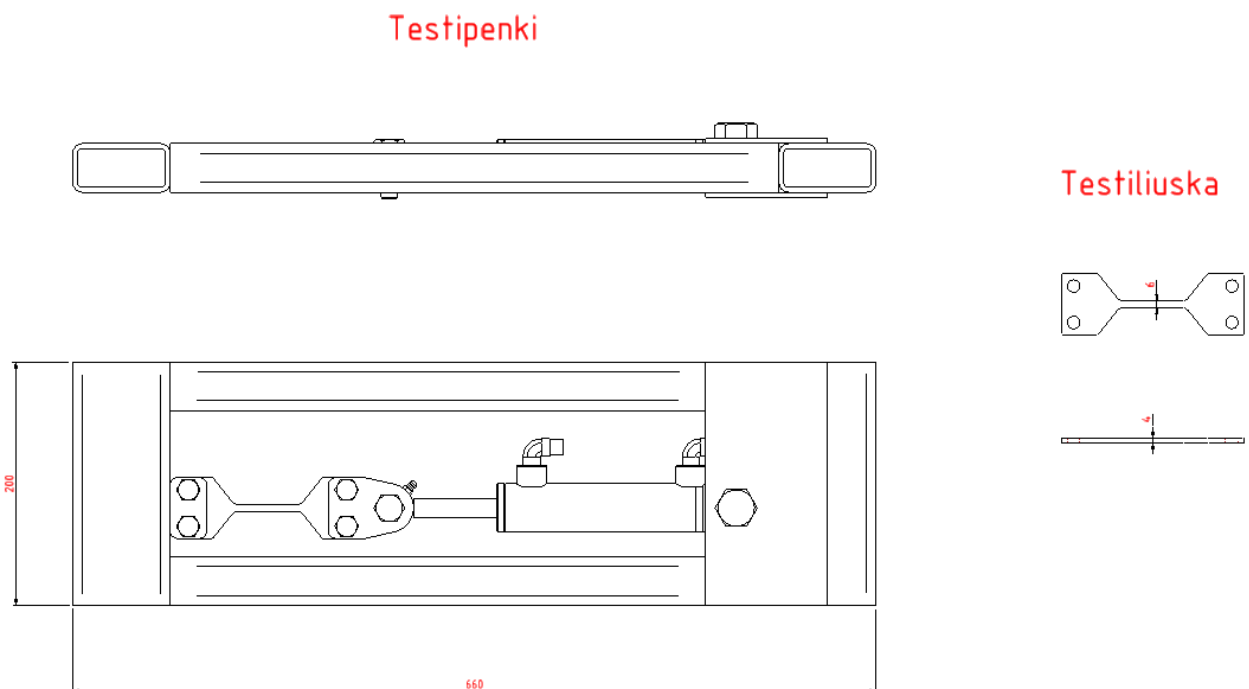
5.1 Testipenkki

Jotta laitteisto pystyttiin kalibroimaan, oli suunniteltava testipenkki. Testipenkin toiminta perustui tunnettuun koepalaan. Oletetaan, että testi tehdään vetokuormalle, jolloin paine ajetaan sylinterin varrenpuolelle. Sylinteri oli kaksitoiminen, joten puristusalueen testitkin ovat mahdollisia, mutta sylinteriä ajettiin yksitoimisesti.

Sylinterin männän halkaisija on 32 mm ja varren halkaisija on 16 mm. Kun sylinteri tunnettiin, voitiin voimavarressa laskea kaavan 15 ja 17 avulla. Vastushäviöt voidaan huomioida mekaanishydraulisella hyötysuhde kertoimella, joka on noin 0,9 (Airila ym. 2010, 699).

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot (0,032 \text{ m}^2 - 0,016 \text{ m}^2)$$

$$F = 0,9 \cdot P \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot (0,032 \text{ m}^2 - 0,016 \text{ m}^2)$$



KUVIO 28. Testipenkki ja koepala.

Nyt kun voima tunnetaan, voidaan laskea jännitys tunnetussa koepalassa kaavan 4 avulla.

$$\sigma = \frac{0,9 \cdot P \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot (0,032^2 - 0,016^2)}{6mm \cdot 4mm}$$

Kaavassa lopputulos saadaan suoraan megapascalina. Nyt nähdään, että pelkällä paineen muutoksella voidaan säätää koepalassa esiintyvää jännitystä.

TAULUKKO 6. Paine/Jännitystaulukko.

Paine	Jännitys Varren puolella	Jännitys Männän puolella
BAR	MPa	MPa
10	23	30
20	45	60
30	68	90
40	90	121
50	113	151
60	136	181
70	158	211
80	181	241
90	204	271
100	226	302
110	249	332
120	271	362
130	294	392
140	317	422
150	339	452
160	362	483
170	385	513
180	407	543

5.2 Testisuunnitelma

Oletettavasti tuleva signaali ja venymä on lineaarinen, jos venymä on alle myötörajan. Painemittarina käytetään Hydac HMG 3000 -laitetta, jonka tarkkuus on 0,1 % mittausalueesta. Tällöin hydraulikkasyylinterin mäntään vaikuttava voima tunnetaan hyvin. Painetta säädettiin ylipaineventtiilin avulla. Mittausalue valitaan 40–120 baarin väliin. Mittaus tehdään 20 baarin välein nousevasti ja laskevasti neljä kertaa. Testin tuloksista saadaan korjauskertoimet ohjelmalle, jotta jännitetieto osattaisiin muuttaa jännitystiedoksi.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa ja suunnitella toimiva venymäliuska mittauslaitteisto. Laitteistolla on tarkoitus mitata jännitystiloja liikkuvista koneista. Testien perusteella tavoitteet saavutettiin, joten suunnittelu ja toteutus oli onnistunut. Mittausten toistettavuus oli hyvä ja mittausvirhe kohtuullinen. Mittausdata saatiin talteen tekstitiedostoon, josta se voitiin hakea työasemalle. Analysointivaiheessa voidaan tulkita rakenteessa tapahtuvia jännitystila muutoksia. Tulosten avulla voidaan ennustaa mahdollinen väsymismurtuma ja löytää suorat ylikuormitustilanteet. Mittauslaitteisto rakennettiin suunnittelutyön apuvälineeksi, joten mittalaitteiston menestyksellä käyttö edellyttääkin rakenteen perusjännitystilan tuntemista, sillä mittalaitteistolla voidaan mitata vain muutosta, joka summataan perusjännitykseen. Työstä saatiin pohjaa seuraavalle kehitysversiolle, joka tulee olemaan edellistä tarkempi. Opinnäytetyössä havaittiin, että käyttöliittymän ja työkierron suunnitteluun kannattaa käyttää aikaa, jotta ohjelma toimisi mahdollisimman käyttäjäystävällisesti. Monisäie ajon ansiosta eri prosessit saatiin ajoitettua toimimaan eriaikaisesti. Esimerkiksi näytön päivitys ja näytteenotto toimivat eri taajuuksilla. Selkeäksi puutteeksi jäi akkujännitteen seuranta, jotta jännite ei pääsisi liian alas. Nyt käyttäjä joutuu seuraamaan akkujännitettä, jotta se ei laskisi alle yhdeksän voltin, joka on Raspberryn virtalähteen alaraja. Arduinon syöttöjännite saa olla alimmillaan noin kuusi voltia, jolloin Arduino saa vielä muutettua siitä viiden voltin käyttöjännitteen. Jos jännite laskee tämän alle, aiheuttaa se mittapiirissä jännitteen laskun. Toinen selkeä kehittämiskohde on kotelointi, joka valittiin nyt muoviseksi, koska sitä oli helpompi työstää. Metallinen kotelointi suojaa mittauslaitteistoa paremmin EMC-häiriöiltä.

LÄHTEET

Ahoranta, J. 2018. *Sähkötekniikka*. 15. – 17. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Airila, M. Ekman, K. Hautala, P. Kivioja, S. Kleimola, M. Martikka, H. Miettinen, J. Niemi, E. Ranta, A. Rinkinen, J. Salonen, P. Verho, A. Vilenius, M ja Välimaa, V. 2010. *Koneenosien suunnittelu*. 4.-5. painos. Helsinki: WSOY.

Ikinen, P. & Tuohi, J. 2003. *Momentti* 1.- 2. painos. Keuruu: Otava.

Fonselius, J. Pekkola, K. Selosmaa, S. Ström, M. Välimaa, T. *Automaatiolaitteet*. 1.- 2. painos. Helsinki: Oy Edita Ab.

Jännitys-venymäkäyrä. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/J%C3%A4nnitys-venym%C3%A4k%C3%A4yr%C3%A4>. Viitattu 3.9.2021.

Kullervo_(traktori). Saatavissa: [https://fi.wikipedia.org/wiki/Kullervo_\(traktori\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Kullervo_(traktori)). Viitattu 3.9.2021.

Kyowa. 2019. *Measuring Equipment General Catalog*.

Linear technology Co. LT1077 Micropower single supply, precision Op amp.pdf

Mauk, P.J. 2009. Saatavilla: [Shttps://www.uni-due.de/imperia/md/content/materialtechnik/dt1_exam_ws_2004_05.pdf](https://www.uni-due.de/imperia/md/content/materialtechnik/dt1_exam_ws_2004_05.pdf). Viitattu 3.9.2021.

Microchip. MCP6V01/2/3 Auto-Zeroed Op Amps.pdf.

Outinen, H. Salmi, T. ja Vulli, P. 2007. *Lujuusopinperusteet*. Tampere: Pressus Oy.

Partco 2021a. Saatavilla: https://www.partco.fi/fi/elektroniikan-komponentit/aktiivit/jaennitetasomuuntimet/19079-spf-bob-12009.html?search_query=logiikka&results=374. Viitattu 3.9.2021.

Partco 2021b. Saatavilla: https://www.partco.fi/fi/teholaehteet/dcdc-jaennitemuuntimet/step-down-dcdc-jaennitetae-laskeva/22092-ddr30g5.html?search_query=DDR30G5&results=1. Viitattu 3.9.2021.

Partco 2021c. Saatavilla: https://www.partco.fi/fi/teholaehteet/dcdc-jaennitemuuntimet/19225-xl4015cv.html?search_query=XL4015CV&results=1. Viitattu 3.9.2021.

Silvonen, K. 2009. *Elektroniikka ja puolijohdekomponentit*. Helsinki: Otatieto.

SFS 3099. *Metallien väsytykokeiden yleiset periaatteet*. 1974. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

STMicroelectronics. LM324 Low power quad operational amplifiers.pdf. Viitattu 3.9.2021.

Traktori. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Traktori>. Viitattu 3.9.2021.

Valtanen, E. 2009. *Tekniikan taulukkirja*. 17. Painos. Mikkeli: Genesis-kirjat.

Valtonen, M. & Lehtovuori, A. 2011. *Piirianalyysi Osa 1*. Helsinki: Unigrafia Oy.

Valtra Inc. Saatavissa: https://www.valtra.fi/content/dam/Brands/Valtra/fi/Products/Valtra_S4_brochure_FI_2019.pdf. Viitattu 3.9.2021.

Verkkokauppa 2021a. Saatavilla: <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/37517/dnsjj/Arduino-Uno-Rev-3-kehitysalusta>. Viitattu 3.9.2021.

Verkkokauppa 2021b. Saatavilla: <https://www.verkkokauppa.com/fi/product/57364/mndkd/Raspberry-Pi-4-model-B-4-Gt-yhden-piirilevyn-tietokone>. Viitattu 3.9.2021.

LM324


LM124
LM224 - LM324
LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375µA
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max.
(for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max.)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V
DUAL SUPPLIES : ±1.5V TO ±15V

DESCRIPTION

These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

ORDER CODE

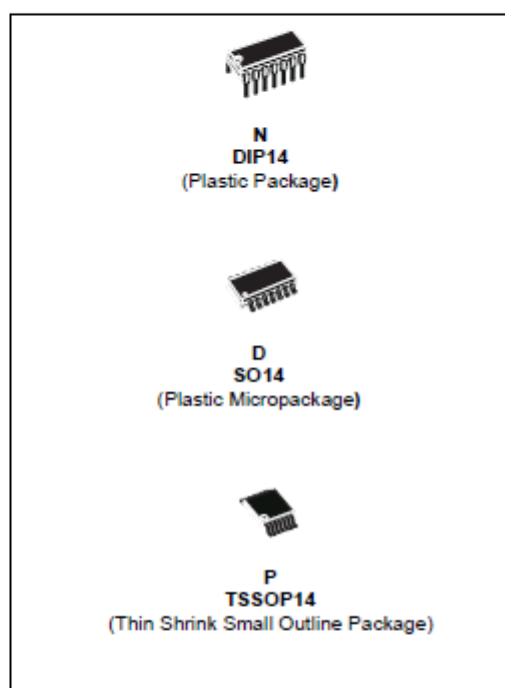
Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	•	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•	•

Example : LM224N

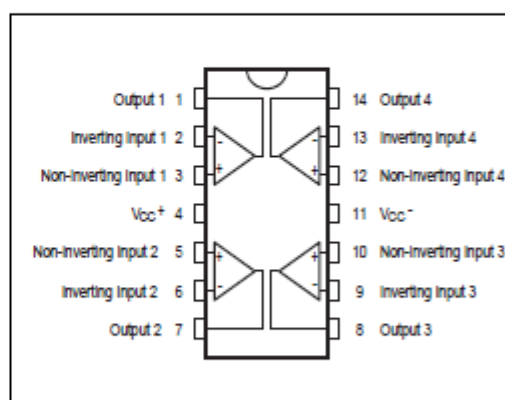
N = Dual In Line Package (DIP)

D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

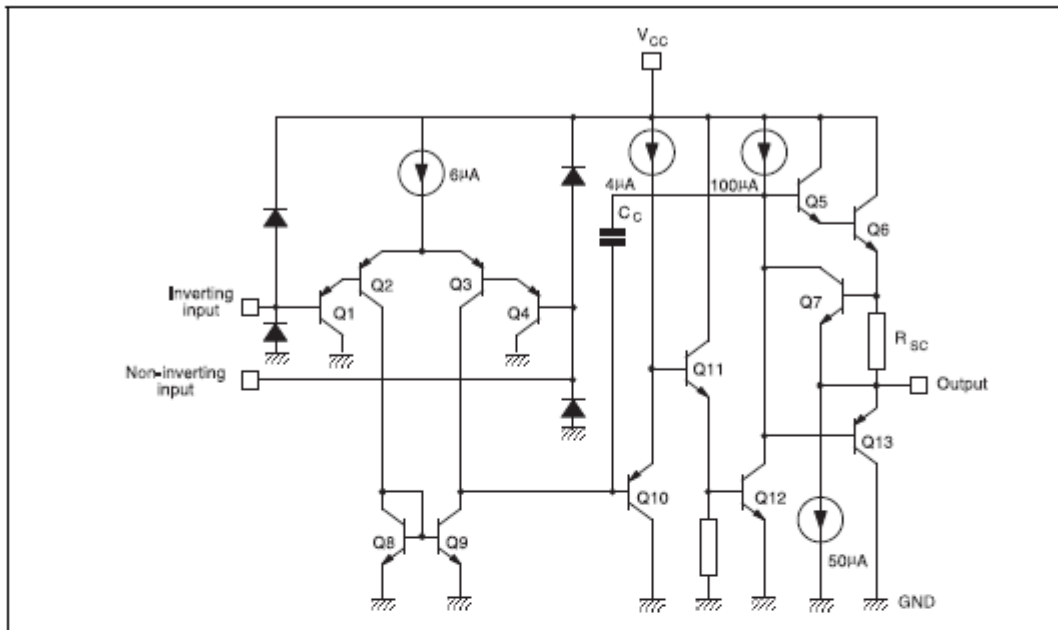
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)



PIN CONNECTIONS (top view)



SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM124	LM224	LM324	Unit
V_{CC}	Supply voltage	±16 or 32			V
V_i	Input Voltage	-0.3 to +32			V
V_{id}	Differential Input Voltage ¹⁾	+32			V
P_{tot}	Power Dissipation	N Suffix	500	500	mW
		D Suffix		400	400
	Output Short-circuit Duration ²⁾	Infinite			
I_{in}	Input Current ³⁾	50	50	50	mA
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. Either or both input voltages must not exceed the magnitude of V_{CC}^+ or V_{CC}^- .
2. Short-circuits from the output to VCC can cause excessive heating if $V_{CC} > 15V$. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC}^+ = +5V$, $V_{CC}^- = \text{Ground}$, $V_O = 1.4V$, $T_{amb} = +25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage - note ¹⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ LM324		2	5 7	mV
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ LM324			7 9	
I_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	30 100	nA
I_{ib}	Input Bias Current - note ²⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	150 300	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain $V_{CC}^+ = +15V$, $R_L = 2k\Omega$, $V_O = 1.4V$ to $11.4V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $V_{CC}^+ = 5V$ to $30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	65 65	110		dB
I_{CC}	Supply Current, all Amp, no load $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		$V_{CC} = +5V$ 0.7 $V_{CC} = +30V$ 1.5 $V_{CC} = +5V$ 0.8 $V_{CC} = +30V$ 1.5	1.2 3 1.2 3	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range $V_{CC} = +30V$ - note ³⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 2$	V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 60	80		dB
I_{source}	Output Current Source ($V_{id} = +1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$	20	40	70	mA
I_{sink}	Output Sink Current ($V_{id} = -1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$	10	20		mA
	$V_{CC} = +15V$, $V_O = +0.2V$	12	50		μA
V_{OH}	High Level Output Voltage $V_{CC} = +30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 2k\Omega$	26 26	27		V
	$T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 10k\Omega$	27 27	28		
	$V_{CC} = +5V$, $R_L = 2k\Omega$ $T_{amb} = +25^\circ C$	3.5			
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	3			

LM124-LM224-LM324

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{OL}	Low Level Output Voltage ($R_L = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	20 20	mV
SR	Slew Rate $V_{CC} = 15V, V_I = 0.5$ to $3V, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF$, unity Gain		0.4		V/ μs
GBP	Gain Bandwidth Product $V_{CC} = 30V, f = 100kHz, V_{in} = 10mV, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF$		1.3		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz, A_V = 20dB, R_L = 2k\Omega, V_O = 2V_{pp}, C_L = 100pF, V_{CC} = 30V$		0.015		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz, R_s = 100\Omega, V_{CC} = 30V$		40		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
DV_{IO}	Input Offset Voltage Drift		7	30	$\mu V/^\circ C$
DI_{IO}	Input Offset Current Drift		10	200	$pA/^\circ C$
V_{O1}/V_{O2}	Channel Separation - note 4) $1kHz \leq f \leq 20kHz$		120		dB

1. $V_{ce} = 1.4V, R_s = 0\Omega, 5V < V_{CC} < 30V, 0 < V_{ic} < V_{CC} - 1.5V$

2. The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

3. The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC} - 1.5V$, but either or both inputs can go to +32V without damage.

4. Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.



LT1077

Micropower, Single Supply,
Precision Op Amp

FEATURES

- 60 μ A Max Supply Current
- 40 μ V Max Offset Voltage
- 350pA Max Offset Current
- 0.5 μ Vp-p 0.1Hz to 10Hz Voltage Noise
- 2.5pAp-p 0.1Hz to 10Hz Current Noise
- 0.4 μ V/ $^{\circ}$ C Offset Voltage Drift
- 250kHz Gain-Bandwidth-Product
- 0.12V/ μ s Slew Rate
- Single Supply Operation
 - Input Voltage Range Includes Ground
 - Output Swings to Ground while Sinking Current
 - No Pull-Down Resistors are Needed
- Output Sources and Sinks 5mA Load Current

APPLICATIONS

- Replaces OP-07, OP-77, AD707, LT1001, LT1012 at 10 to 60 Times Lower Power
- Battery or Solar Powered Systems
- 4mA to 20mA Current Loops
- Two Terminal Current Source
- Megaohm Source Resistance Difference Amplifier

DESCRIPTION

The LT1077 is a micropower precision operational amplifier optimized for single supply operation at 5V. \pm 15V specifications are also provided.

Micropower performance of competing devices is achieved at the expense of seriously degrading precision, noise, speed, and output drive specifications. The LT1077 reduces supply current without sacrificing other parameters. The offset voltage achieved is the lowest of any micropower op amp. Offset current, voltage and current noise, slew rate and gain-bandwidth product are all two to ten times better than on previous micropower op amps.

The 1/f corner of the voltage noise spectrum is at 0.7Hz. This results in low frequency (0.1Hz to 10Hz) noise performance which can only be found on devices with an order of magnitude higher supply current.

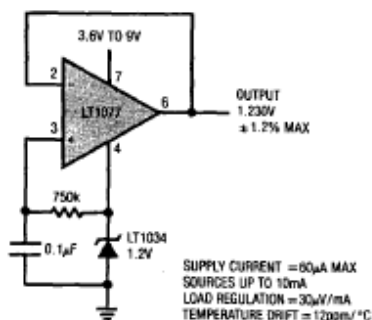
The LT1077 is completely plug-in compatible (including nulling) with all industry standard precision op amps. Thus, it can replace these precision op amps in many applications without sacrificing performance, yet with significant power savings.

The LT1077 can be operated from one lithium cell or two Ni-Cad batteries. The input range goes below ground. The all-NPN output stage swings to ground while sinking current—no pull-down resistors are needed.

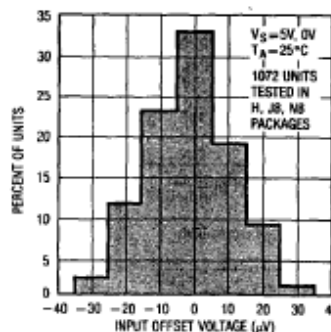
For dual and quad op amps with similar specifications please see the LT1078/LT1079 datasheet.

2

Self Buffered Micropower Reference



Distribution of Input Offset Voltage



LT1077

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	± 22V
Differential Input Voltage	± 30V
Input Voltage	Equal to Positive Supply Voltage 5V Below Negative Supply Voltage
Output Short Circuit Duration	Indefinite
Operating Temperature Range	
LT1077AM/LT1077M	– 55°C to 125°C
LT1077AI/LT1077I	– 40°C to 85°C
LT1077AC/LT1077C/LT1077S8	0°C to 70°C
Storage Temperature Range	
All Grades	– 65°C to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300°C

PACKAGE/ORDER INFORMATION

<p>TOP VIEW H PACKAGE 8-LEAD TO-5 METAL CAN</p>	ORDER PART NUMBER	
	LT1077AMH LT1077MH LT1077ACH LT1077CH	
<p>TOP VIEW J PACKAGE 8-LEAD CERAMIC DIP</p> <p>N PACKAGE 8-LEAD PLASTIC DIP</p>	LT1077AMJ8	LT1077AIN8
	LT1077MJ8	LT1077IN8
<p>TOP VIEW S8 PACKAGE 8-LEAD PLASTIC SOIC</p>	LT1077ACJ8	LT1077ACN8
	LT1077CJ8	LT1077CN8
		LT1077S8
		PART MARKING
		1077

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_S = 5V, 0V, V_{CM} = 0.1V, V_O = 1.4V, T_A = 25^\circ C$, unless noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LT1077AM/AI/AC			LT1077M/I/C/S8			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{OS}	Input Offset Voltage	LT1077S8		9	40		10	60	μV
$\frac{\Delta V_{OS}}{\Delta Time}$	Long Term Input Offset Voltage Stability			0.4			0.4		$\mu V/Mo$
I_{OS}	Input Offset Current			0.06	0.35		0.06	0.45	nA
I_B	Input Bias Current			7	9		7	11	nA
e_n	Input Noise Voltage	0.1Hz to 10Hz (Note 2)		0.5	1.1		0.5		$\mu Vp-p$
	Input Noise Voltage Density	$f_o = 10Hz$ (Note 2) $f_o = 1000Hz$ (Note 2)		28	43		28		nV/\sqrt{Hz} nV/\sqrt{Hz}
i_n	Input Noise Current	0.1Hz to 10Hz (Note 2)		2.5	4.5		2.5		$pAp-p$
	Input Noise Current Density	$f_o = 10Hz$ (Note 2) $f_o = 1000Hz$		0.065	0.11		0.065		pA/\sqrt{Hz} pA/\sqrt{Hz}
	Input Resistance	(Note 3)							$M\Omega$
	Differential Mode		350	700		270	700		$G\Omega$
	Common-Mode			6			6		
	Input Voltage Range		3.5	3.8		3.5	3.8		V
			0	–0.3		0	–0.3		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = 0V$ to 3.5V	97	106		94	105		dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = 2.3V$ to 12V	102	118		100	117		dB
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_O = 0.03V$ to 4V, No Load $V_O = 0.03V$ to 3.5V, $R_L = 50k$	300	1000		240	1000		V/mV
			250	1000		200	1000		V/mV

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_S = 5V, 0V, V_{CM} = 0.1V, V_O = 1.4V, T_A = 25^\circ C$, unless noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LT1077AM/AI/AC			LT1077M/C/S8			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
	Maximum Output Voltage Swing	Output Low, No Load		3.5	6		3.5	6	mV
		Output Low, 2k to GND		0.7	1.1		0.7	1.1	mV
		Output Low, $I_{SINK} = 100\mu A$		90	130		90	130	mV
		Output High, No Load	4.2	4.4		4.2	4.4		V
		Output High, 2k to GND	3.5	3.9		3.5	3.9		V
SR	Slew Rate	(Note 1)	0.05	0.08		0.05	0.08	$V/\mu s$	
GBW	Gain Bandwidth Product	$f_o \leq 20kHz$		230			230	kHz	
I_S	Supply Current			48	60		48	68	μA
	Offset Adjustment Range	$R_{pot} = 10k$, Wiper to V^+	± 500	± 900		± 500	± 900		μV
	Minimum Supply Voltage	(Note 4)		2.2	2.3		2.2	2.3	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_S = 5V, 0V, V_{CM} = 0.1V, V_O = 1.4V, -55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$ for AM/M grades, $-40^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$ for AI/I grades.

2

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LT1077AM/AI			LT1077M/I			UNITS	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
V_{OS}	Input Offset Voltage		●	50	200		60	260	μV	
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Input Offset Voltage Drift	(Note 5)	●	0.4	1.6		0.5	2.0	$\mu V/^\circ C$	
I_{OS}	Input Offset Current		●	0.08	0.60		0.08	0.80	nA	
I_B	Input Bias Current		●	8	11		8	13	nA	
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = 0.05V$ to $3.2V$	●	92	104		88	103	dB	
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = 3.1V$ to $12V$	●	98	114		94	113	dB	
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_O = 0.05V$ to $3.5V, R_L = 50k$	●	120	600		100	600	V/mV	
		Output Low, No Load	●		4.5	8		4.5	8	mV
		Output Low, $I_{SINK} = 100\mu A$	●		120	170		120	170	mV
		Output High, No Load	●	3.9	4.2		3.9	4.2		V
		Output High, 2k to GND	●	3.0	3.7		3.0	3.7		V
I_S	Supply Current		●	54	80		54	90	μA	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_S = 5V, 0V, V_{CM} = 0.1V, V_O = 1.4V, 0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$, unless noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LT1077AC			LT1077C/S8			UNITS	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
V_{OS}	Input Offset Voltage	LT1077S8	●	30	110		35	150	μV	
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Input Offset Voltage Drift	(Note 5) LT1077S8 (Note 5)	●	0.4	1.6		0.5	2.0	$\mu V/^\circ C$	
I_{OS}	Input Offset Current		●	0.07	0.45		0.07	0.60	nA	
I_B	Input Bias Current		●	7	10		7	12	nA	
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = 0V$ to $3.4V$	●	94	105		90	104	dB	
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = 2.6V$ to $12V$	●	100	116		97	115	dB	
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_O = 0.05V$ to $3.5V, R_L = 50k$	●	180	800		150	800	V/mV	
		Output Low, No Load	●		4.0	7		4.0	7	mV
		Output Low, $I_{SINK} = 100\mu A$	●		100	150		100	150	mV
		Output High, No Load	●	4.1	4.3		4.1	4.3		V
		Output High, 2k to GND	●	3.3	3.8		3.3	3.8		V
I_S	Supply Current		●	52	70		52	80	μA	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$, unless noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LT1077AM/AI/AC			LT1077M/I/C/S8			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{OS}	Input Offset Voltage	LT1077S8		20	150		25	200	μV
							30	300	μV
I_{OS}	Input Offset Current			0.06	0.35		0.06	0.45	nA
I_B	Input Bias Current			7	9		7	11	nA
	Input Voltage Range		13.5	13.8		13.5	13.8		V
			-15.0	-15.3		-15.0	-15.3		V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = 13.5V, -15V$	100	109		97	108		dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = 5V, 0V$ to $\pm 18V$	106	122		103	120		dB
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_O = \pm 10V, R_L = 50k$ $V_O = \pm 10V, R_L = 2k$	1000	8000		800	8000		V/mV
			400	1500		300	1500		V/mV
V_{OUT}	Maximum Output Voltage Swing	$R_L = 50k$ $R_L = 2k$	± 13.0 ± 11.0	± 14.0 ± 13.2		± 13.0 ± 11.0	± 14.0 ± 13.2		V
									V
SR	Slew Rate		0.07	0.12		0.07	0.12		V/ μs
I_S	Supply Current			56	75		56	85	μA

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_S = \pm 15V, -55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$ for AM/M grades, $-40^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$ for AI/I grades.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LT1077AM/AI			LT1077M/I			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{OS}	Input Offset Voltage		●	60	330		75	450	μV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Input Offset Voltage Drift	(Note 5)	●	0.4	1.8		0.5	2.5	$\mu V/^\circ C$
I_{OS}	Input Offset Current		●	0.08	0.60		0.08	0.80	nA
I_B	Input Bias Current		●	8	11		8	13	nA
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_O = \pm 10V, R_L = 5k$	●	300	1000		250	1000	V/mV
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = +13V, -14.9V$	●	94	107		90	106	dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = 5V, 0V$ to $\pm 18V$	●	100	118		97	116	dB
	Maximum Output Voltage Swing	$R_L = 5k$	●	± 11.0	± 13.5		± 11.0	± 13.5	V
I_S	Supply Current		●	60	95		60	105	μA

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_S = \pm 15V, 0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$, unless noted.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LT1077AC			LT1077C/S8			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{OS}	Input Offset Voltage	LT1077S8	●	40	230		50	320	μV
			●				65	450	μV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Input Offset Voltage Drift	(Note 5) LT1077S8 (Note 5)	●	0.4	1.8		0.5	2.5	$\mu V/^\circ C$
							0.8	3.5	$\mu V/^\circ C$
I_{OS}	Input Offset Current		●	0.07	0.45		0.07	0.60	nA
I_B	Input Bias Current		●	7	10		7	12	nA
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$V_O = \pm 10V, R_L = 5k$	●	500	2000		400	2000	V/mV
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = 13V, -15V$	●	97	108		94	107	dB
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$V_S = 5V, 0V$ to $\pm 18V$	●	103	120		100	118	dB
	Maximum Output Voltage Swing	$R_L = 5k$	●	± 11.0	± 13.6		± 11.0	± 13.6	V
I_S	Supply Current		●	59	85		59	95	μA

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range.

Note 1: Slew rate at 5V, 0V is guaranteed by inference from the slew rate measurement at $\pm 15V$.

Note 2: This parameter is tested on a sample basis only. All noise parameters are tested with $V_S = \pm 2.5V, V_O = 0V$.

Note 3: This parameter is guaranteed by design and is not tested.

Note 4: Power supply rejection ratio is measured at the minimum supply voltage. The op amps actually work at 1.8V supply but with a typical offset skew of $-300\mu V$.

Note 5: This parameter is not 100% tested.



30W DIN Rail Type DC-DC Converter

DDR-30 series

ERC CE



■ Feature

- Width only 35mm (2SU)
- 4:1 ultra wide input range
- -40~+85°C wide working temperature
- No minimum load required
- DC output adjustable ($\pm 10\%$)
- Cooling by free air convection
- Can be installed on DIN rail TS-35/7.5 or 15
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Input reverse polarity / Input under voltage protection
- 4KVdc I/O isolation(Reinforced isolation)
- 3 years warranty

■ Applications

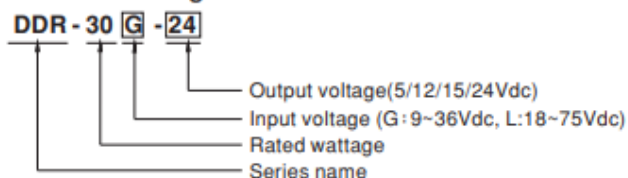
- Industrial control system
- Semi-conductor fabrication equipment
- Factory automation
- Electro-mechanical
- Wireless network
- Telecom or datacom system

■ Description

DDR-30 series is a 30W DIN Rail type DC-DC converter with main features including DIN rail-type easy installation, ultra slim width (35mm), 4:1 ultra wide input voltage, -40~+85°C wide operating temperature, 4KVdc I/O isolation, adjustable output voltage ($\pm 10\%$) and full protective functions...etc.

This series has two input options: 9~36V / 18~75V and various output options: 5V / 12V / 15V / 24V and can be used for industrial control, security control, communication system and other fields. Suitable applications are DC buck/boost regulator, increasing system insulation level and voltage drop compensation along cable...etc.

■ Model Encoding

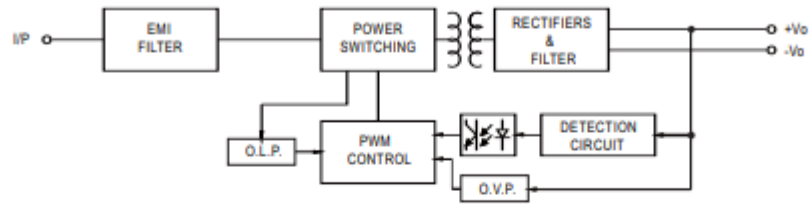




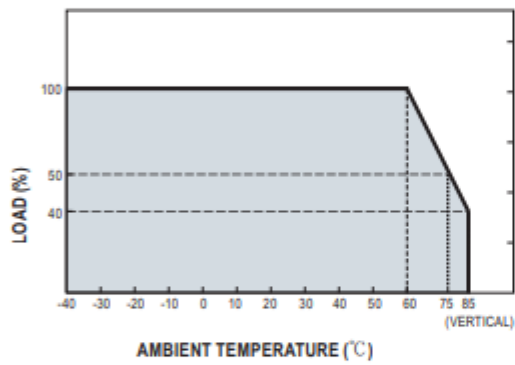
SPECIFICATION

MODEL	DDR-30G-5	DDR-30G-12	DDR-30G-15	DDR-30G-24	DDR-30L-5	DDR-30L-12	DDR-30L-15	DDR-30L-24	
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	12V	15V	24V	5V	12V	24V	
	RATED CURRENT	6A	2.5A	2A	1.25A	6A	2.5A	1.25A	
	CURRENT RANGE	0 ~ 6A	0 ~ 2.5A	0 ~ 2A	0 ~ 1.25A	0 ~ 6A	0 ~ 2.5A	0 ~ 2A	0 ~ 1.25A
	RATED POWER	30W	30W	30W	30W	30W	30W	30W	30W
	RIPPLE & NOISE (max.) <i>Note.2</i>	60mVp-p	75mVp-p	75mVp-p	100mVp-p	60mVp-p	75mVp-p	75mVp-p	100mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4.5 ~ 5.5V	9 ~ 13.2V	13.5 ~ 16.5V	21.6 ~ 28V	4.5 ~ 5.5V	9 ~ 13.2V	13.5 ~ 16.5V	21.6 ~ 28V
	VOLTAGE TOLERANCE <i>Note.3</i>	±2.0%	±2.0%	±2.0%	±2.0%	±2.0%	±2.0%	±2.0%	±2.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±1.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±1.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	SETUP, RISE TIME	120ms, 85ms at full load							
HOLD UP TIME (Typ.)	G-type: 7ms@24Vdc input				L-type: 18ms@48Vdc input				
EXTERNAL CAPACITANCE LOAD (Max.)	3300 μ F	2200 μ F	1500 μ F	1000 μ F	3300 μ F	2200 μ F	1500 μ F	1000 μ F	
INPUT	VOLTAGE RANGE <i>Note.4</i>	9 ~ 36Vdc				18 ~ 75Vdc			
	EFFICIENCY (Typ.)	85%	86%	87%	89%	86%	89%	90%	91%
	DC CURRENT (Typ.)	1.5A /24Vdc				0.8A /48Vdc			
	INRUSH CURRENT (Typ.)	15A /24Vdc				15A /48Vdc			
PROTECTION	OVERLOAD	110 ~ 150% rated output power Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed							
	OVER VOLTAGE	5.75 ~ 7V	13.8 ~ 16.2V	17.25 ~ 20.25V	28.8 ~ 34V	5.75 ~ 7V	13.8 ~ 16.2V	17.25 ~ 20.25V	28.8 ~ 34V
	REVERSE POLARITY	By internal MOSFET, no damage, recovers automatically after fault condition removed							
	UNDER VOLTAGE LOCKOUT	24Vin (G-type):Power ON \geq 9V , OFF \leq 8.5V 48Vin (L-type):Power ON \geq 18V , OFF \leq 17V							
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-40 ~ +85°C (Refer to "Derating Curve")							
	WORKING HUMIDITY	5 ~ 95% RH non-condensing							
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 5 ~ 95% RH non-condensing							
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 60°C)							
	VIBRATION	Component:10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes; Mounting: Compliance to IEC60068-2-6							
OPERATING ALTITUDE	2000 meters								
SAFETY & EMC (Note 5)	SAFETY STANDARDS	IEC 62368-1 (LVD) approved, Design refer to UL508							
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:4KVdc							
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P>100M Ohms / 500Vdc / 25°C / 70% RH							
	EMC EMISSION	Parameter	Standard			Test Level / Note			
		Conducted	EN55032			Class B			
		Radiated	EN55032			Class B			
	EMC IMMUNITY	Parameter	Standard			Test Level / Note			
		ESD	EN61000-4-2			Level 3, 8KV air ; Level 3, 6KV contact; criteria A			
		Radiated	EN61000-4-3			Level 3, 10V/m ; criteria A			
		EFT / Burst	EN61000-4-4			Level 3, 2KV ; criteria A			
Surge		EN61000-4-5			Level 3, 1KV/Line-Line ; criteria A				
Conducted		EN61000-4-6			Level 3, 10V ; criteria A				
Magnetic Field		EN61000-4-8			Level 4, 30A/m ; criteria A				
OTHERS	MTBF	483.3K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)							
	DIMENSION	35*90*54.5mm (W*H*D)							
	PACKING	0.12Kg/96pcs/12.5Kg/1.04CUFT							
NOTE	<p>1. All parameters NOT specially mentioned are measured at normal input (G:24Vdc, L:48Vdc), rated load and 25°C of ambient temperature.</p> <p>2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uF & 47uF parallel capacitor.</p> <p>3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.</p> <p>4. Derating may be needed under low input voltage. Please check the derating curve for more details.</p> <p>5. The power supply is considered as an independent unit, but the final equipment still need to re-confirm that the whole system complies with the EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies." (as available on http://www.meanwell.com)</p> <p>6. The ambient temperature derating of 3.5°C/1000m with fanless models and of 5°C/1000m with fan models for operating altitude higher than 2000m(6500ft).</p>								

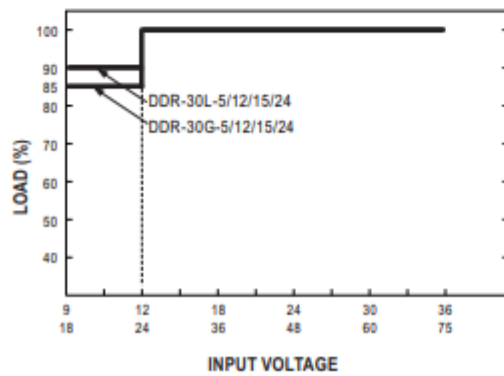
■ Block Diagram



■ Derating Curve

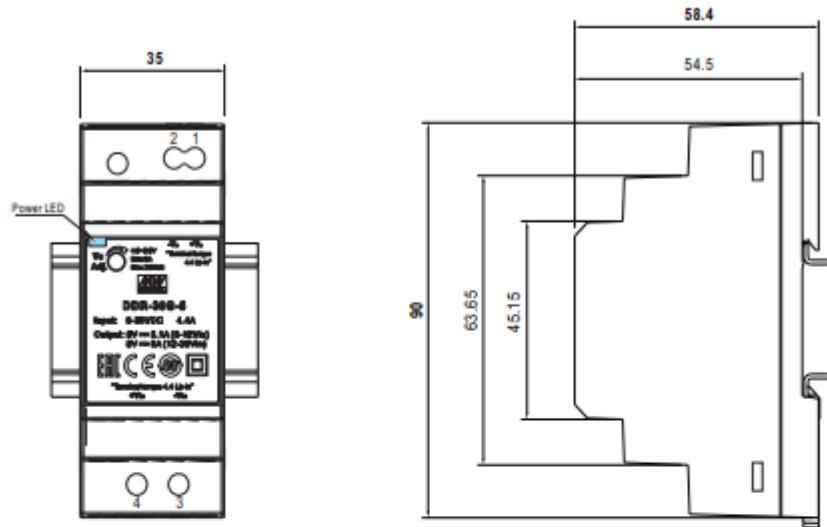


■ Output derating VS input voltage



Mechanical Specification

(Unit: mm , tolerance $\pm 0.5\text{mm}$)



ADMISSIBLE DIN-RAIL: TS35/7.5 OR TS35/15

Terminal Pin No. Assignment

Pin No.	Assignment
1	DC Output +Vo
2	DC Output -Vo
3	DC Input -Vin
4	DC Input +Vin

Installation Manual

Please refer to : <http://www.meanwell.com/manual.html>



MCP6V01/2/3

300 μ A, Auto-Zeroed Op Amps

Features

- High DC Precision:
 - V_{OS} Drift: ± 50 nV/ $^{\circ}$ C (maximum)
 - V_{OS} : ± 2 μ V (maximum)
 - A_{OL} : 130 dB (minimum)
 - PSRR: 130 dB (minimum)
 - CMRR: 130 dB (minimum)
 - E_{nl} : 2.5 μ V_{p-p} (typical), $f = 0.1$ Hz to 10 Hz
 - E_{nl} : 0.79 μ V_{p-p} (typical), $f = 0.01$ Hz to 1 Hz
- Low Power and Supply Voltages:
 - I_Q : 300 μ A/amplifier (typical)
 - Wide Supply Voltage Range: 1.8V to 5.5V
- Easy to Use:
 - Rail-to-Rail Input/Output
 - Gain Bandwidth Product: 1.3 MHz (typical)
 - Unity Gain Stable
 - Available in Single and Dual
 - Single with Chip Select (\overline{CS}): MCP6V03
- Extended Temperature Range: -40° C to $+125^{\circ}$ C

Typical Applications

- Portable Instrumentation
- Sensor Conditioning
- Temperature Measurement
- DC Offset Correction
- Medical Instrumentation

Design Aids

- SPICE Macro Models
- FilterLab[®] Software
- Mindi™ Circuit Designer & Simulator
- Microchip Advanced Part Selector (MAPS)
- Analog Demonstration and Evaluation Boards
- Application Notes

Related Parts

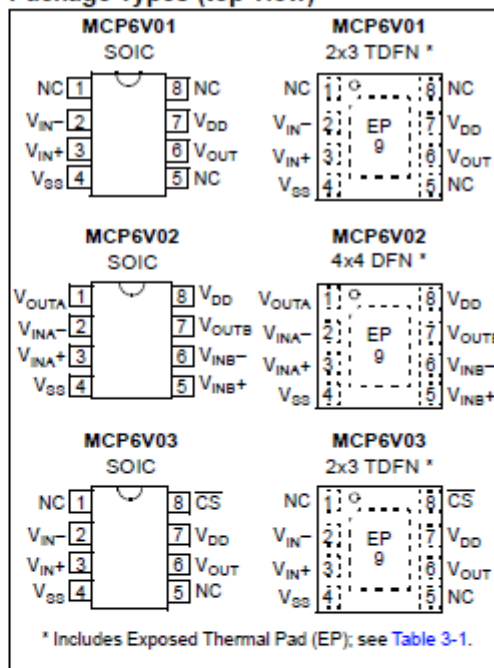
- MCP6V06/7/8: Non-spread clock, lower noise

Description

The Microchip Technology Inc. MCP6V01/2/3 family of operational amplifiers has input offset voltage correction for very low offset and offset drift. These devices have a wide gain bandwidth product (1.3 MHz, typical) and strongly reject switching noise. They are unity gain stable, have no 1/f noise, and have good PSRR and CMRR. These products operate with a single supply voltage as low as 1.8V, while drawing 300 μ A/amplifier (typical) of quiescent current.

The Microchip Technology Inc. MCP6V01/2/3 op amps are offered in single (MCP6V01), single with Chip Select (\overline{CS}) (MCP6V03), and dual (MCP6V02). They are designed in an advanced CMOS process.

Package Types (top view)



1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

1.1 Absolute Maximum Ratings †

$V_{DD} - V_{SS}$	6.5V
Current at Input Pins	± 2 mA
Analog Inputs (V_{IN+} and V_{IN-}) †† ...	$V_{SS} - 1.0V$ to $V_{DD} + 1.0V$
All other Inputs and Outputs	$V_{SS} - 0.3V$ to $V_{DD} + 0.3V$
Difference Input voltage	$ V_{DD} - V_{SS} $
Output Short Circuit Current	Continuous
Current at Output and Supply Pins	± 30 mA
Storage Temperature	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Max. Junction Temperature	$+150^{\circ}C$
ESD protection on all pins (HBM, MM)	≥ 4 kV, 300V

† Notice: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

†† See Section 4.2.1 "Rail-to-Rail Inputs".

1.2 Specifications

TABLE 1-1: DC ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Electrical Characteristics: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^{\circ}C$, $V_{DD} = +1.8V$ to $+5.5V$, $V_{SS} = GND$, $V_{CM} = V_{DD}/3$, $V_{OUT} = V_{DD}/2$, $V_L = V_{DD}/2$, $R_L = 20$ k Ω to V_L , and $\overline{CS} = GND$ (refer to Figure 1-5 and Figure 1-6).						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Input Offset						
Input Offset Voltage	V_{OS}	-2.0	—	+2.0	μV	$T_A = +25^{\circ}C$ (Note 1)
Input Offset Voltage Drift with Temperature (linear Temp. Co.)	TC_1	-50	—	+50	nV/ $^{\circ}C$	$T_A = -40$ to $+125^{\circ}C$ (Note 1)
Input Offset Voltage Quadratic Temp. Co.	TC_2	—	± 0.1	—	nV/ $^{\circ}C^2$	$T_A = -40$ to $+125^{\circ}C$
Power Supply Rejection	PSRR	130	143	—	dB	(Note 1)
Input Bias Current and Impedance						
Input Bias Current	I_B	—	± 1	—	pA	
Input Bias Current across Temperature	I_B	—	60	—	pA	$T_A = +85^{\circ}C$
	I_B	—	600	5000	pA	$T_A = +125^{\circ}C$
Input Offset Current	I_{OS}	—	-30	—	pA	
Input Offset Current across Temperature	I_{OS}	—	-50	—	pA	$T_A = +85^{\circ}C$
	I_{OS}	-1000	-75	1000	pA	$T_A = +125^{\circ}C$
Common Mode Input Impedance	Z_{CM}	—	$10^{13} 6$	—	ΩpF	
Differential Input Impedance	Z_{DIFF}	—	$10^{13} 6$	—	ΩpF	
Common Mode						
Common-Mode Input Voltage Range	V_{CMR}	$V_{SS} - 0.20$	—	$V_{DD} + 0.20$	V	(Note 2)
Common-Mode Rejection	CMRR	130	142	—	dB	$V_{DD} = 1.8V$, $V_{CM} = -0.2V$ to $2.0V$ (Note 1, Note 2)
	CMRR	140	152	—	dB	$V_{DD} = 5.5V$, $V_{CM} = -0.2V$ to $5.7V$ (Note 1, Note 2)
Open-Loop Gain						
DC Open-Loop Gain (large signal)	A_{OL}	130	145	—	dB	$V_{DD} = 1.8V$, $V_{OUT} = 0.2V$ to $1.6V$ (Note 1)
	A_{OL}	140	156	—	dB	$V_{DD} = 5.5V$, $V_{OUT} = 0.2V$ to $5.3V$ (Note 1)

Note 1: Set by design and characterization. Due to thermal junction and other effects in the production environment, these parts can only be screened in production (except TC_1 ; see Appendix B: "Offset Related Test Screens").

Note 2: Figure 2-18 shows how V_{CMR} changed across temperature for the first three production lots.

MCP6V01/2/3

TABLE 1-1: DC ELECTRICAL SPECIFICATIONS (CONTINUED)

Electrical Characteristics: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = +1.8\text{V}$ to $+5.5\text{V}$, $V_{SS} = \text{GND}$, $V_{CM} = V_{DD}/3$, $V_{OUT} = V_{DD}/2$, $V_L = V_{DD}/2$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$ to V_L , and $\overline{\text{CS}} = \text{GND}$ (refer to Figure 1-5 and Figure 1-6).						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Output						
Maximum Output Voltage Swing	V_{OL}, V_{OH}	$V_{SS} + 15$	—	$V_{DD} - 15$	mV	$G = +2$, 0.5V input overdrive
Output Short Circuit Current	I_{SC}	—	± 7	—	mA	$V_{DD} = 1.8\text{V}$
	I_{SC}	—	± 22	—	mA	$V_{DD} = 5.5\text{V}$
Power Supply						
Supply Voltage	V_{DD}	1.8	—	5.5	V	
Quiescent Current per amplifier	I_Q	200	300	400	μA	$I_O = 0$
POR Trip Voltage	V_{POR}	1.15	—	1.65	V	

- Note 1:** Set by design and characterization. Due to thermal junction and other effects in the production environment, these parts can only be screened in production (except TC_1 ; see Appendix B: "Offset Related Test Screens").
- Note 2:** Figure 2-18 shows how V_{CMR} changed across temperature for the first three production lots.

TABLE 1-2: AC ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Electrical Characteristics: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = +1.8\text{V}$ to $+5.5\text{V}$, $V_{SS} = \text{GND}$, $V_{CM} = V_{DD}/3$, $V_{OUT} = V_{DD}/2$, $V_L = V_{DD}/2$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$ to V_L , $C_L = 60\text{ pF}$, and $\overline{\text{CS}} = \text{GND}$ (refer to Figure 1-5 and Figure 1-6).						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Amplifier AC Response						
Gain Bandwidth Product	GBWP	—	1.3	—	MHz	
Slew Rate	SR	—	0.5	—	$\text{V}/\mu\text{s}$	
Phase Margin	PM	—	65	—	$^\circ$	$G = +1$
Amplifier Noise Response						
Input Noise Voltage	E_{ni}	—	0.79	—	μV_{P-P}	$f = 0.01\text{ Hz}$ to 1 Hz
	E_{ni}	—	2.5	—	μV_{P-P}	$f = 0.1\text{ Hz}$ to 10 Hz
Input Noise Voltage Density	e_{ni}	—	120	—	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	$f < 2.5\text{ kHz}$
	e_{ni}	—	45	—	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	$f = 100\text{ kHz}$
Input Noise Current Density	i_{ni}	—	0.6	—	$\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$	
Amplifier Distortion (Note 1)						
Intermodulation Distortion (AC)	IMD	—	< 1	—	μV_{PK}	V_{CM} tone = 50 mV_{PK} at 1 kHz , $G_N = 1$, $V_{DD} = 1.8\text{V}$
	IMD	—	< 1	—	μV_{PK}	V_{CM} tone = 50 mV_{PK} at 1 kHz , $G_N = 1$, $V_{DD} = 5.5\text{V}$
Amplifier Step Response						
Start Up Time	t_{STR}	—	500	—	μs	V_{OS} within $50\text{ }\mu\text{V}$ of its final value
Offset Correction Settling Time	t_{STL}	—	300	—	μs	$G = +1$, V_{IN} step of 2V , V_{OS} within $50\text{ }\mu\text{V}$ of its final value
Output Overdrive Recovery Time	t_{ODR}	—	100	—	μs	$G = -100$, $\pm 0.5\text{V}$ input overdrive to $V_{DD}/2$, V_{IN} 50% point to V_{OUT} 90% point (Note 2)

- Note 1:** These parameters were characterized using the circuit in Figure 1-7. Figure 2-37 and Figure 2-38 show both an IMD tone at DC and a residual tone at 1 kHz ; all other IMD and clock tones are spread by the randomization circuitry.
- Note 2:** t_{ODR} includes some uncertainty due to clock edge timing.

MCP6V01/2/3

TABLE 1-3: DIGITAL ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Electrical Characteristics: Unless otherwise indicated, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = +1.8\text{V}$ to $+5.5\text{V}$, $V_{SS} = \text{GND}$, $V_{CM} = V_{DD}/3$, $V_{OUT} = V_{DD}/2$, $V_L = V_{DD}/2$, $R_L = 20\text{ k}\Omega$ to V_L , $C_L = 60\text{ pF}$, and $\overline{\text{CS}} = \text{GND}$ (refer to Figure 1-5 and Figure 1-6).						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
CS Pull-Down Resistor (MCP6V03)						
CS Pull-Down Resistor	R_{PD}	3	5	—	M Ω	
CS Low Specifications (MCP6V03)						
CS Logic Threshold, Low	V_{IL}	V_{SS}	—	$0.3V_{DD}$	V	
CS Input Current, Low	I_{CSL}	—	5	—	pA	$\overline{\text{CS}} = V_{SS}$
CS High Specifications (MCP6V03)						
CS Logic Threshold, High	V_{IH}	$0.7V_{DD}$	—	V_{DD}	V	
CS Input Current, High	I_{CSH}	—	V_{DD}/R_{PD}	—	pA	$\overline{\text{CS}} = V_{DD}$
CS Input High, GND Current per amplifier	I_{SS}	—	-0.7	—	μA	$\overline{\text{CS}} = V_{DD}$, $V_{DD} = 1.8\text{V}$
	I_{SS}	—	-2.3	—	μA	$\overline{\text{CS}} = V_{DD}$, $V_{DD} = 5.5\text{V}$
Amplifier Output Leakage, $\overline{\text{CS}}$ High	I_{O_LEAK}	—	20	—	pA	$\overline{\text{CS}} = V_{DD}$
CS Dynamic Specifications (MCP6V03)						
CS Low to Amplifier Output On Turn-on Time	t_{ON}	—	11	100	μs	$\overline{\text{CS}}$ Low = $V_{SS} + 0.3\text{V}$, $G = +1\text{ V/V}$, $V_{OUT} = 0.9 V_{DD}/2$
CS High to Amplifier Output High-Z	t_{OFF}	—	10	—	μs	$\overline{\text{CS}}$ High = $V_{DD} - 0.3\text{V}$, $G = +1\text{ V/V}$, $V_{OUT} = 0.1 V_{DD}/2$
Internal Hysteresis	V_{HYST}	—	0.25	—	V	

TABLE 1-4: TEMPERATURE SPECIFICATIONS

Electrical Characteristics: Unless otherwise indicated, all limits are specified for: $V_{DD} = +1.8\text{V}$ to $+5.5\text{V}$, $V_{SS} = \text{GND}$.						
Parameters	Sym	Min	Typ	Max	Units	Conditions
Temperature Ranges						
Specified Temperature Range	T_A	-40	—	+125	$^\circ\text{C}$	
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+125	$^\circ\text{C}$	(Note 1)
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	$^\circ\text{C}$	
Thermal Package Resistances						
Thermal Resistance, 8L-2x3 TDFN	θ_{JA}	—	41	—	$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance, 8L-4x4 DFN	θ_{JA}	—	44	—	$^\circ\text{C/W}$	(Note 2)
Thermal Resistance, 8L-SOIC	θ_{JA}	—	150	—	$^\circ\text{C/W}$	

Note 1: Operation must not cause T_J to exceed Maximum Junction Temperature specification (150°C).

Note 2: Measured on a standard JC51-7, four layer printed circuit board with ground plane and vias.

4.4 Typical Applications

4.4.1 WHEATSTONE BRIDGE

Many sensors are configured as Wheatstone bridges. Strain gauges and pressure sensors are two common examples. These signals can be small and the common mode noise large. Amplifier designs with high differential gain are desirable.

Figure 4-15 shows how to interface to a Wheatstone bridge with a minimum of components. Because the circuit is not symmetric, the ADC input is single ended, and there is a minimum of filtering, the CMRR is good enough for moderate common mode noise.

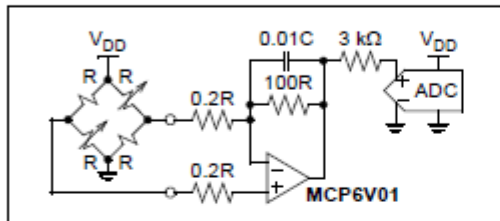


FIGURE 4-15: Simple Design.

Figure 4-16 shows a higher performance circuit for Wheatstone bridges. This circuit is symmetric and has high CMRR. Using a differential input to the ADC helps with the CMRR.

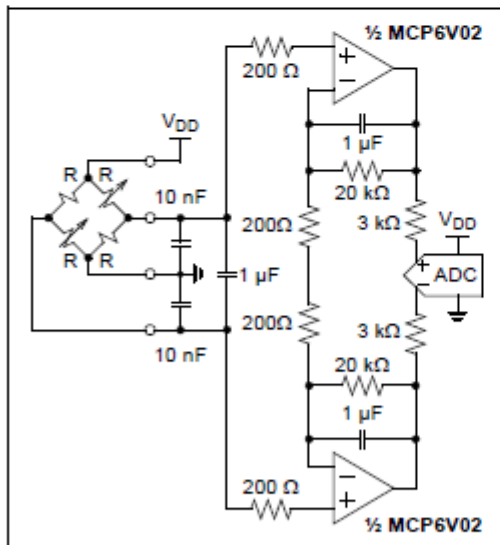


FIGURE 4-16: High Performance Design.

4.4.2 RTD SENSOR

The ratiometric circuit in Figure 4-17 conditions a three wire RTD. It corrects for the sensor's wiring resistance by subtracting the voltage across the middle R_W . The top R_1 does not change the output voltage; it balances the op amp inputs. Failure (open) of the RTD is detected by an out of range voltage.

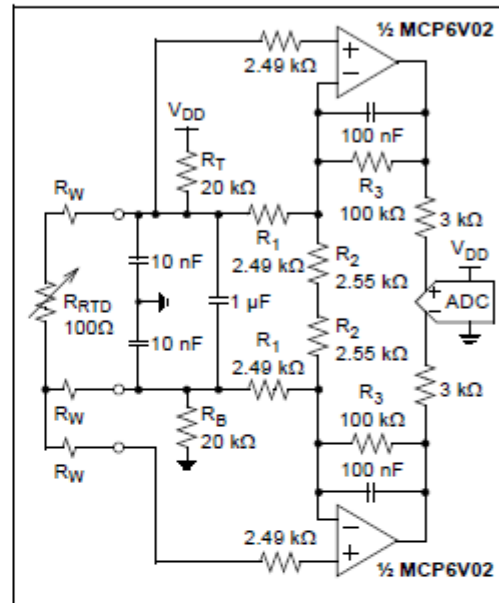


FIGURE 4-17: RTD Sensor.

The voltages at the input of the ADC can be calculated with the following:

$$G_{RTD} = 1 + 2 \cdot R_3 / R_2$$

$$G_W = G_{RTD} - R_3 / R_1$$

$$V_{DM} = G_{RTD}(V_T - V_B) + G_W V_W$$

$$V_{CM} = \frac{V_T + V_B + (G_{RTD} - 1 - G_W)V_W}{2}$$

Where:

- V_T = Voltage at the top of R_{RTD}
- V_B = Voltage at the bottom of R_{RTD}
- V_W = Voltage across top and middle R_W 's
- V_{CM} = ADC's common mode input
- V_{DM} = ADC's differential mode input



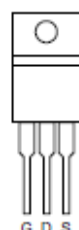
SUP53P06-20

Vishay Siliconix

P-Channel 60-V (D-S) MOSFET

PRODUCT SUMMARY			
V_{DS} (V)	$R_{DS(on)}$ (Ω)	I_D (A) ^a	Q_g (Typ.)
- 60	0.0195 at $V_{GS} = -10$ V	- 53	76 nC
	0.0250 at $V_{GS} = -4.5$ V	- 42	

TO-220AB



Top View

DRAIN connected to TAB

Ordering Information: SUP53P06-20-E3 (Lead (Pb)-free)
 SUP53P06-20-GE3 (Lead (Pb)-free and Halogen-free)

FEATURES

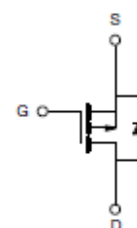
- TrenchFET[®] Power MOSFET
- 100 % UIS Tested
- Material categorization:
For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT
HALOGEN
FREE

APPLICATIONS

- Load Switch



P-Channel MOSFET

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25$ °C, unless otherwise noted)				
Parameter		Symbol	Limit	Unit
Drain-Source Voltage		V_{DS}	- 60	V
Gate-Source Voltage		V_{GS}	± 20	
Continuous Drain Current ($T_J = 150$ °C)	$T_C = 25$ °C	I_D	- 53 ^a	A
	$T_C = 70$ °C		- 46.8	
	$T_A = 25$ °C		9.2 ^b	
	$T_A = 70$ °C		- 8.1 ^b	
Pulsed Drain Current		I_{DM}	- 150	
Avalanche Current Pulse	L = 0.1 mH	I_{AS}	- 45	
Single Pulse Avalanche Energy		E_{AS}	101	mJ
Continuous Source-Drain Diode Current	$T_C = 25$ °C	I_S	69 ^a	A
	$T_A = 25$ °C		2.1 ^b	
Maximum Power Dissipation	$T_C = 25$ °C	P_D	104.2 ^a	W
	$T_C = 70$ °C		66.7 ^a	
	$T_A = 25$ °C		3.1 ^b	
	$T_A = 70$ °C		2 ^b	
Operating Junction and Storage Temperature Range		T_J, T_{stg}	- 55 to 150	°C

THERMAL RESISTANCE RATINGS					
Parameter		Symbol	Typical	Maximum	Unit
Maximum Junction-to-Ambient ^b	Steady State	R_{thJA}	33	40	°C/W
Maximum Junction-to-Case	Steady State	R_{thJC}	0.98	1.2	

Notes:

a. Based on $T_C = 25$ °C.

b. Surface mounted on 1" x 1" FR4 board.