SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - **AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO**
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

TESTAUS- JA HÄTÄAJOYK-SIKKÖ

Mikrokontrolleri toteutus mobiilihydrauliikan sovelluksiin

TEKIJÄ: Petri Selkivaara

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Tiivistelmä

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Petri Selkivaara	
Työn nimi Testaus- ja Hätäajoyksikkö	
Päiväys 20.4.2020	Sivumäärä 32
Ohjaaja Yliopettaja Arto toppinen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Koneterapia Oy, Heikki Kohonen	

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on toteutettu projektina Koneterapia Oy:lle. Tarkoituksena on suunnitella ja toteuttaa testaus- ja hätäajoyksikkö, jota käytetään apuna nykypäivän mobiilihydrauliikka- ja sulautettujen järjestelmien vianhaku- ja korjaustehtävissä.

Opinnäytetyössä käydään vaiheittain läpi testaus- ja hätäajoyksikön suunnittelu, rakentaminen ja ohjelmointi. Opinnäytetyö toteutetaan käyttämällä Danfossin mikrokontrolleria sekä Danfossin graafista ohjelmistoympäristöä. Lähtöjen ohjauksessa käytetään hyväksi mikrokontrollerilla tuotettua PWM-tekniikkaa.

Tämän insinöörityön tuloksena valmistui testaus- ja hätäajoyksikkö, jolla voidaan ohjata portaattomasti erilaisia mobiilihydrauliikan venttiileitä.

Avainsanat
PWM, GUIDE

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
Abstract

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Petri Selkivaara			
Title of Thesis Test and Emergency Drive Unit			
Date	20 April 2020	Pages	32
Supervisor Principal Lecturer			
Client Organisation /Partner Koneterapia Ltd, Mr Heikki Kohonen Project Manager			

Abstract

The purpose of this thesis was to design and a build test and emergency drive unit for Koneterapia Ltd. It will serve the need for service and troubleshooting of modern mobile hydraulic applications and embedded systems.

The thesis work consisted of going through designing, building and programming of the test and emergency drive unit. The microcontroller was used in this project and integrated graphical software environment which are manufactured by Danfoss Ltd. Outputs use the PWM-technology, created by microcontroller unit.

As a result of this theses, Koneterapia Ltd. has received a fully functional test and emergency unit to use with different kind of proportional mobile hydraulic valves.

Keywords
PWM, GUIDE

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO 8
2 TAUSTAA 8
2.1 KONEEN OHJAUSJÄRJESTELMÄT 8
2.2 MOBILEHYDRAULIIKKA 9
2.3 SUUNTAVENTTIILIT 9
2.3.1 Proportionaaliset suuntaventtiilit 10
2.3.2 ON/OFF suuntaventtiilit 10
2.4 KÄYTETTY TEKNIIKKA 11
2.4.1 PWM 11
3 MIKROKONTROLLERI 12
3.1 PROSESSORI 12
3.2 TULOT 13
3.3 LÄHDÖT 13
3.4 TIEDONSIIRTO 13
3.5 LIITÄNNÄT JA MITAT 14
4 OHJELMOINTIYMPÄRISTÖ 14
4.1 PLUS+1 GUIDE 14
4.2 PLUS+1 SERVICE TOOL 15
5 TOTEUTUS 15
5.1 KOTELOINTI JA KYTKIMET 16
5.2 KYTKENTÄKAAVIO JA KYTKENTÄ 17
5.3 LOGIIKKA 19
5.4 OHJELMOINTI 20
5.4.1 Projektin luonti 20
5.4.2 Kirjastot 20
5.4.3 Ohjelman rakenne 21
5.4.4 Input sivut 21
5.4.5 Output sivut 22
5.4.6 Ohjelma sivut näkymä 23
5.4.7 Digital Output sivu 24
5.4.8 PWM Output sivu 25

5.4.9 PVE Output sivu 26

6 TESTAUS 28

6.1 MITTAUSTULOKSET 28

6.1.1 Digitaalilähdöt 28

6.1.2 PWM lähdöt 29

6.1.3 PVE lähdöt 30

7 YHTEENVETO 31

8 LÄHTEET 32

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

A	Ampere Ampeeri.
AD	Analog to Digital conversion. Analogi Digitaali muunnos.
Hz	Hertz. Hertsi.
AIN	Analog Input. Analoginen tulo.
AND	AND logic-gate. AND logiikkaportti
API	application programming interface. Ohjelmointi rajapinta.
ARM	Advanced RISC Machines. 32-bittinen mikroprosessoriarkkitehtuuri.
BOOL	Boolean true/false. Boolean tosi/epätosi.
C	C-programming language. C-ohjelmointikieli.
CAN	Controller Area Network. CAN tiedonsiirtoväylä.
Dig1IN	Digital Input 1. Digitaali tulo 1.
Dig2IN	Digital Input 2. Digitaali tulo 2.
Dig1Out	Digital Output 1. Digitaali lähtö 1.
Dig2Out	Digital Output 2. Digitaali lähtö 2.
DA	Digital to Analog conversion. Digitaali Analogi muunnos.
DIN	Digital Input. Digitaali tulo.
EmStopIN	Emergency Stop Input. Hätä-Seis tulo.
FRAM	Ferroelectric random-access memory. Ferroelektroninen muisti.
FreqIN	Frequency Input. Taajuus tulo.
GUIDE	Graphical User Integrated Development Environment. Graafinen ohjelmakehitysympäristö.
I/O	Input/Output. Tulo/Lähtö.
IDE	Integrated Development Environment. Ohjelmakehitysympäristö.
Khz	Kilohertz. Kilohertsi.
LED	Light-Emitting Diode. Ledivalo.
mA	MilliAmppere. Milliampeeri.
MC024-120	Microcontroller. Mikrokontrolleri.
MCU	Microcontroller Unit. Mikrokontrolleri.
MHz	Megahertz. Megahertsi.
NOT	NOT logic gate. NOT logiikka portti.
PLUS+1	PLUS+1 product family. PLUS+1 tuoteperhe.
POU	Program Organization Units. Ohjelmointi tapa.
PVE	Proportional Valve Electric actuator. Proportionaalinen elektronisen venttiilin ohjain.
PVEO	PVE variant with ON/OFF actuation. PVE ON/OFF ohjain.
PVE1IN	PVE Input 1. PVE tulo 1.
PVE2IN	PVE Input 2. PVE tulo 2.
PVE1Out	PVE Output 1. PVE lähtö 1.
PVE2Out	PVE Output 2. PVE lähtö 2.
PVG	Proportional multi-section Valve Group. Proportionaalinen venttiilipöytä.
PVGOUT	PVG output. PVG lähtö.

PWM	Pulse-Width Modulation. Pulssileveysmodulaatio.
PWM1In	PWM Input 1. PWM tulo 1.
PWM2In	PWM Input 2. PWM tulo 2.
PWM1Out	PWM Output 1. PWM lähtö 1.
PWM2Out	PWM Output 2. PWM lähtö 2.
PWMOUT	PWM Output. PWM lähtö.
S16	Signed int16. Etumerkillinen 16-bittinen int muuttuja.
S32	Signed int32. Etumerkillinen 32-bittinen int muuttuja.
U16	Unsigned int16. Etumerkitön 16-bittinen int muuttuja.
Vdc	Direct current voltage. Tasavirta jännite.

1 JOHDANTO

Koneterapia Oy on raskaskonehuoltoon erikoistunut yritys, joka on perustettu vuonna 2012. Yrityksen toimintaperiaatteena on huoltaa ja korjata työkoneita suoraan asiakkaan luona, joten omaa huoltohallia yrityksellä ei ole. Yrityksellä on käytössään kolme täysin varusteltua huoltoautoa, joiden avulla pystyy suorittamaan vaativimmatkin vianhaku ja korjaus tehtävät kenttäolosuhteissa.

Opinnäytetyön aihe syntyi Koneterapia Oy:n käytännön työelämän tarpeesta. Nykypäivän mobiilihydrauliikan ohjausjärjestelmät ovat lähes poikkeuksetta sulautettuja ohjausjärjestelmiä (Engl. embedded system) ja tästä syystä se tuo kovat haasteet esimerkiksi raskaskoneasentajille vianhakuun. Koska hydrauliset tehonsiirron liikkeet ovat lähes poikkeuksetta proportionaalisia, niin luonnollisesti vaaditaan myös ohjausjärjestelmiltä proportionaalisuutta ja tämä usein toteutetaan käyttäen PWM-(PWM) tekniikkaa.

Joskus vianhaku ja korjaus tehtävissä tulee vastaan tilanteita, missä hydrauliikkajärjestelmää pitäisi pystyä ohjaamaan muulla tavoin kuin koneen omalla ohjausjärjestelmällä, esimerkiksi ohjauslaitteen vioittuminen tai hätäkäyttö tilanteet. Myös vianhaku tehtävissä voi ulkoiselle ohjaukselle tulla tarvetta. Kuvitellaan tilanne missä esimerkiksi nosturin puomi toimii nykivästi tai muutoin käyttäytyy viallisesti, niin vianhaun kannalta on helpompi testata hydrauliikkaventtiiliä ulkopuolisella laitteella, jolloin ohjausjärjestelmävian saa mahdollisesti poissuljettua.

Koneterapia Oy halusi tilata opinnäytetyönä toteutetun sulautetun järjestelmän testaus- ja hätäajoyksikön, joka on toteutettu käyttäen mikrokontrolleria, näin ohjelmallinen laajennettavuus säilyy myös tulevaisuutta ajatellen.

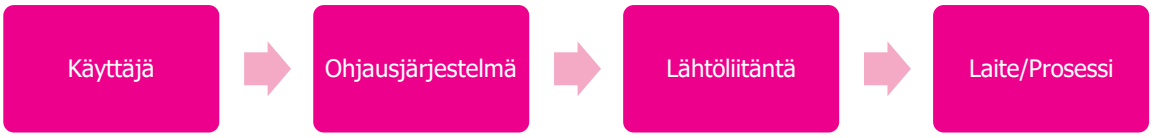
2 TAUSTAA

Koneterapia Oy tarvitsi avoimen järjestelmän testaus- ja hätäajoyksikön toteutuksen, jolla tarkoitetaan sitä, että järjestelmän takaisinkytkentä tietoa ei tarvitse toteuttaa. Yksikkö olisi koteloitu siten että toimilaite on helppo liittää siihen. Toteutus tulisi tehdä ohjelmoitavalla mikrokontrollerilla. Yksikössä tulisi olla käyttöpainikkeita, joilla toimilaite lähtöjä ohjataan päälle ja pois sekä ohjataan toimilaitteelle menevää tehon määrää. Yksikön tulisi sisältää vähintään kaksi virtaohjattua PWM-lähtöä, kaksi jänniteohjattua PVE-lähtöä, joilla ohjataan Danfossin PVG (PVG) venttiiliä ja kaksi digitaalista virtalähtöä. Jännitealueen tulisi olla $11 - 30VDC$ ja yhden lähdön Max. virta $I \cong 2{,}5A$.

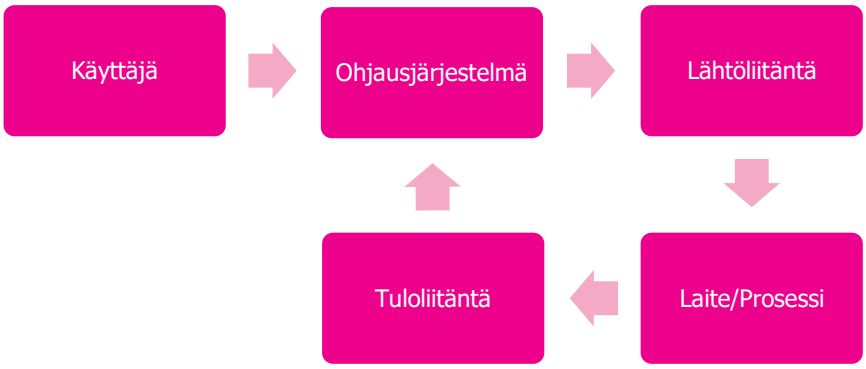
2.1 KONEEN OHJAUSJÄRJESTELMÄT

Ohjausjärjestelmän keskeisenä tehtävänä on toimia käyttäjän ja koneen välisenä rajapintana. Käyttöliittymä koostuu painikkeista ja näytöistä, joiden avulla käyttäjä käskyttää konetta ja joiden avulla käyttäjä saa tietoa koneen tilasta. Yksinkertaisimmillaan ohjaus koostuu yksittäisestä katkaisijasta,

joka kytkee jännitteen suuntaventtiilin kelalle ja näin saa aikaiseksi sylinterin liikkeen. Ohjausjärjestelmä voidaan toteuttaa avoimena, jolloin ohjaus antaa ohjausarvon lähtöliitäntänsä kautta toimilaitteille, jotka muuttavat ohjauttavan prosessin tai laitteen tilaa (KUVA 1). Yksinkertaiset automaatiolaitteet, esimerkiksi suuntaventtiilillä toteutetut sylinterin liikkeet toteutetaan tyypillisesti näin. Lisättäessä takaisinkytkentä liikkeen toteutuksessa (esim. paikkatieto), puhutaan suljetusta säätöjärjestelmästä (KUVA 2). Suljetussa säätöjärjestelmässä ohjausarvon toteutumista mitataan takaisinkytkennän kautta ja ohjaussuuretta korjataan vastaamaan muuttunutta tilannetta. (Toimi Keinänen, 2001, p. 206)



KUVA 1. Avoin ohjausjärjestelmä.



KUVA 2. Suljettu ohjausjärjestelmä.

2.2 MOBILEHYDRAULIIKKA

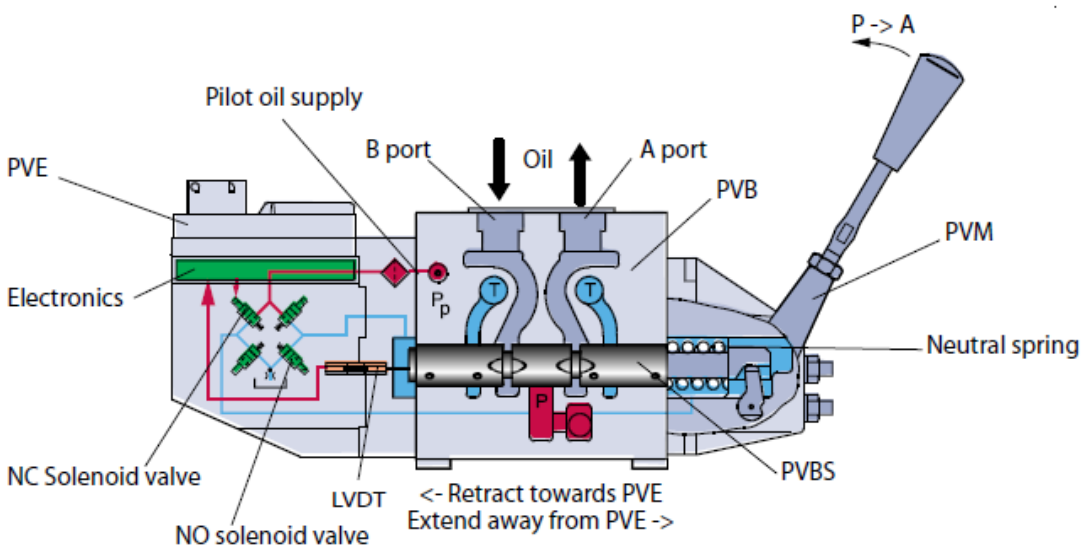
Käyn tässä kohtaa hieman läpi mobilehydrauliikkaa koska tämän opinnäytetyön aiheena on juuri ohjata työkonesovelluksien hydrauliikkaventtiileitä. Hydrauliikassa sähkö- tai polttomoottorilla tuotettu mekaaninen teho muutetaan hydraulipumpun ja nesteen avulla paineeksi ja tilavuusvirraksi, hydrauliset toimilaitteet muuttavat tämän tehon takaisin mekaaniseksi tehoksi. Hydrauliikka järjestelmissä, kuten myös muissa kone automaatio järjestelmissä, on pystyttävä säätämään liikenopeutta, pyörimissuuntaa ja toimilaitteiden tuottamaa voimaa tilavuusvirtaa tai painetta säätämällä (Toimi Keinänen, 2001, p. 107). Tähän säätö tarkoitukseen käytetään hydrauliikkaventtiileitä. Työkone- eli mobilehydrauliikassa kuljettaja voi nykypäivänä portaattomasti säätää eri toimintoja ja tätä kutsutaan proportionaaliseksi ohjaukseksi. Tämän toteuttamiseksi vaaditaan proportionaalisuutta luonnollisesti myös hydrauliikkaventtiileiltä ja ohjausjärjestelmiltä.

2.3 SUUNTAVENTTIILIT

Suuntaventtiileillä ohjataan tilavuusvirta toimilaitteille. Toisin sanoen tilaavuusvirralla säädetään toimilaitteen liikenopeutta.

2.3.1 Proportionaaliset suuntaventtiilit

Koska proportionaalitekniikalla tarkoitetaan jatkuvatoimista laitetta, missä tulosignaalien ja lähtösignaalien suuruudet ovat riippuvaisia toisistaan, niin tällä viitataan hydrauliteknisiin järjestelmiin missä käytetään proportionaaliventtiileitä (KUVA 3). Proportionaaliventtiileissä sähköinen ohjaussignaali muutetaan portaattomaksi hydrauliseksi ulostulosignaaliksi. Proportionaalimagneetti muuttaa tulosignaalin mekaaniseksi liikkeeksi. Proportionaalimagneetin voima on suoraviivainen koko käyttöalueella. Proportionaalimagneettia ohjataan yleisimmin PWM-tekniikalla, jolla ohjataan virtaa proportionaalimagneeteille. Usein proportionaaliventtiileissä on kaksi proportionaalimagneettia, jolloin toimilaitteen tilavuusvirran suuntaa ohjataan omilla proportionaalimagneeteilla tai kansankielisemmin keloilla.

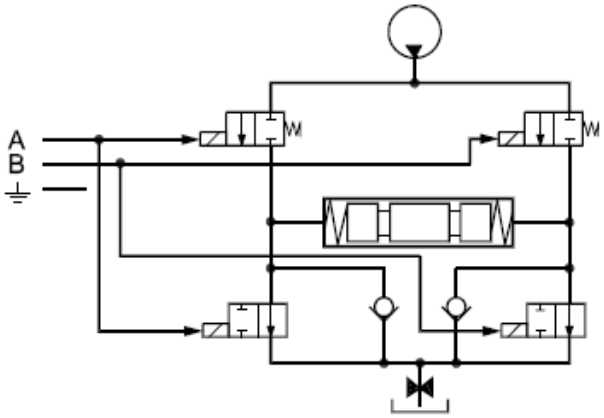


KUVA 3. Danfoss PVG Proportionaaliventtiilin halkileikkauskuva. (Danfoss, 2018, p. 11)

Danfossin PVE (PVE) ohjainta ohjataan ohjausjännitteellä. PVG proportionaaliventtiilin kara on keskiasennossa, kun ohjausjännite $Us = 0.5 * Udc$. Ja poikkeutettuna A porttiin, kun ohjausjännite $Us = (0.5 \rightarrow 0.25) * Udc$. Ja poikkeutettuna B porttiin, kun ohjausjännite $Us = (0.5 \rightarrow 0.75) \bullet Udc$ (Danfoss, 2018, p. 23). Esimerkiksi jos järjestelmän tulojännite $Udc = 24V$ ja Ohjausjännite $Us = 0{,}5 * Udc = 0{,}5 * 24V = 12V$ niin silloin PVG proportionaaliventtiili on neutraali asennossa.

2.3.2 ON/OFF suuntaventtiilit

Kaikkein yksinkertaisimmillaan hydraulijärjestelmän toimilaitteen ohjaus tapahtuu ON/OFF suuntaventtiileillä, mitkä ovat kaksitilaisia (KUVA 4). Tällöin hydraulijärjestelmä on myös epätarkin toimilaitteen ohjausmenetelmä, koska sitä ohjataan rajalta rajalle ilman mahdollisuutta vaikuttaa järjestelmään liikkeen aikana (Toimi Keinänen, 2001, p. 111). Tällaista suuntaventtiiliä ohjataan usein digitaalisella virtasignaalilla päälle/pois.



KUVA 4. Danfoss PVEO ON/OFF venttiilin periaatekaavio. (Danfoss, 2018, p. 26)

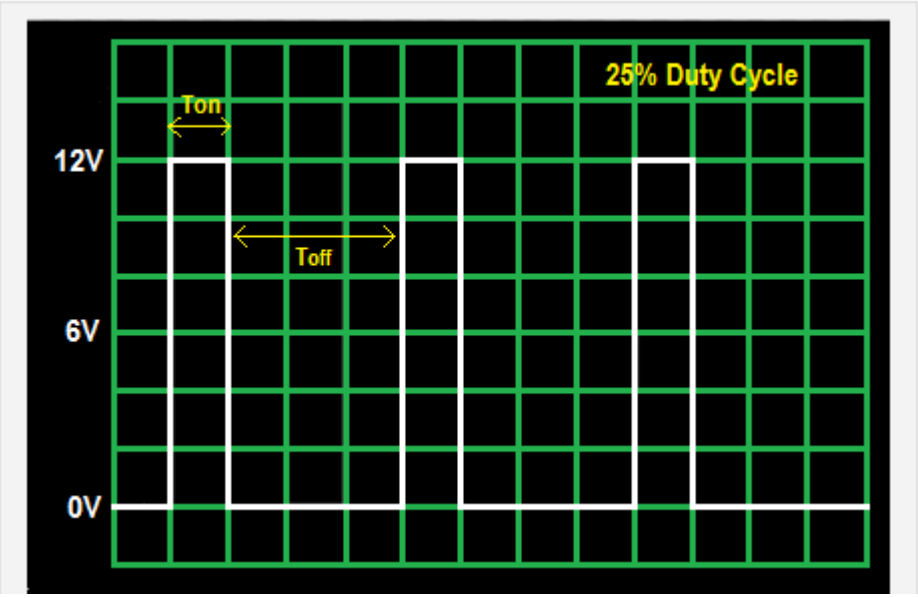
2.4 KÄYTETTY TEKNIIKKA

Tässä opinnäytetyössä oikeastaan ainut olennainen käytetty tekniikka on pulssileveysmodulonti eli PWM (Eng. Pulse Width Modulation). Tässä opinnäytetyössä tarvittavat proportionaalilähdöt on toteutettu käyttäen PWM-tekniikkaa.

2.4.1 PWM

PWM-signaalilla tarkoitetaan kuvan (KUVA 5) mukaista toistuvaa digitaalista pulssia, jonka ylhäällä oloajan suhdetta jaksonaikaan nähden voidaan muuttaa. PWM:n avulla voidaan ohjata myös suuritehoisia laitteita. Toisaalta yksinkertaisen alipäästösuodattimen avulla PWM-signaalista saadaan sen keskivertoa vastaava tasajännite, minkä johdosta sitä voidaan käyttää myös edullisena korvikkeena DA(DA)-muunnokselle. (Timo Haiko, 2012) Pulssisuhdetta voidaan säätää välillä 0…100 prosenttia. Kun pulssisuhde on 100 prosenttia, niin lähdön teho on maksimissaan. Ja vastaavasti kun pulssisuhde on 0 prosenttia, niin lähdöstä ei siirry lainkaan tehoa toimilaitteelle. Jännitteen ja virran ohjaus kuormalle tapahtuu yhdistämällä syöttöjännite ja kuorma päälle/pois periaatteella hyvin nopealla taajuudella. Mitä pidempi on jakson ylhäällä oloaika, sitä enemmän sähkötehoa siirtyy toimilaitteelle ja päinvastoin.

Pulssisuhteen voi laskea kaavalla $Pulssisuhde = Ton\frac{Ton}{Ton+Toff} * 100\%$ missä Ton lähdön päälläolo aika ja $Toff$ on poissaolo aika. (Mayank, 2011)



KUVA 5. Pulssileveysmodulaation pulssisuhde. (Mayank, 2011)

3 MIKROKONTROLLERI

Mikro-ohjaimet eli mikrokontrollerit (MCU) ovat käytännössä pieniä tietokoneita, joiden kaikki tarvittavat toimilaitteet on tyypillisesti sisällytetty yhdelle piisirulle. Sirulla olevia toimilaitteita ovat kaikki tietokoneen keskeiset komponentit, kuten prosessori, väylät, käyttömuisti, ohjelmamuisti ja datamuisti (vrt. kovalevy) sekä muut oheislaitteet. (Timo Haiko, 2012) Mikroprosessori on täysin käyttäjän ohjelmoitavissa esimerkiksi tulojen ja lähtöjen osalta. Ihmiset käyttävät tietämättään kymmeniä mikrokontrollereita päivittäin esim. Kodinkoneissa, viihde-elektroniikassa, puhelimissa, ajoneuvoissa, teollisuudessa sekä myös työkoneissa. Varsinkin nykypäivän sulautetut koneenohjausjärjestelmät toteutetaan lähes poikkeuksetta aina usealla mikrokontrollerilla tai kansankielisesti ohjausyksiköllä, jotka keskustelevat keskenään erilaisten tiedonsiirtoväylien välityksellä.

Mikrokontrollerin valinta perustui Koneterapia Oy:n tarpeisiin, koska tarve oli pystyä ajamaan Danfossin PVE venttiileitä, jossa ohjaus tapahtuu muuttuvalla ohjausjännitteellä, oli luonnollista tutustua Danfossin tarjontaan mikrokontrollereista. Päädyin valitsemaan Danfossin MC024-120 mikrokontrollerin, jossa oli riittävä jännitevaihtelutaso ja virrankesto. Mikrokontrolleri oli sopiva myös tulojen ja lähtöjen määrän sekä niiden monitoimi ominaisuuksien puolesta. Myös prosessori teho on enemmän kuin riittävä tähän tarkoitukseen.

3.1 PROSESSORI

Ohessa tärkeimmät ominaisuudet.

- ARM (ARM) 32 bittinen Cortex-M3 kellotaajuus 120Mhz (Mhz)
- 12 bittinen AD (AD) muunnin
- 16 bittiset ajastimet/laskurit
- 512K sisäinen Flash muisti

Lisäksi pysyvä muisti on tyypiltään FRAM (FRAM).

3.2 TULOT

Tuloja mikrokontrollerissa on kahdeksan kappaletta, joista kuusi on ohjelmoitavia monitoimi tuloja.

- (5) universal (DIN/AIN/FreqIN) that are user-defined as either:
  Analog: with configurable ranges
  0 to 5.25 Vdc (with over range protection)
  or 0 to 36 Vdc;
- Digital: pull up (5 Vdc), pull down (0 Vdc) or pull to center (2.5 Vdc);
- Frequency (timing): 1 Hz to 10 kHz
- (2) digital (DIN) configurable as pull up (5 Vdc), pull down (0 Vdc)
- (1) fixed range analog (AIN/CAN shield)
  0 to 5.25 Vdc or CAN shield pin
  (Danfoss, 2014)

3.3 LÄHDÖT

Lähtöjä mikrokontrollerissa on kahdeksan kappaletta, joista kaikki on ohjelmoitavia monitoimi lähtöjä.

- (8) universal (PWMOUT/DOUT/PVGOUT) that are user-defined as either:
- Digital: (3 A), configurable as source or sink;
- PWM: (30 to 4000 Hz), configurable as open or closed loop with current control;
- Analog voltage: open loop PWM at 4000 Hz
- Any PWMOUT/DOUT/PVGOUT can be used to provide reference power to one PVG valve
- 9 to 36 Vdc power supply, monitored internally
- 1 CAN 2.0 B port, the fixed range analog input can be configured as the shield pin
- Power supply for external sensors rated at 5 Vdc to 200 mA and regulated internally
- 2 LEDs under user control

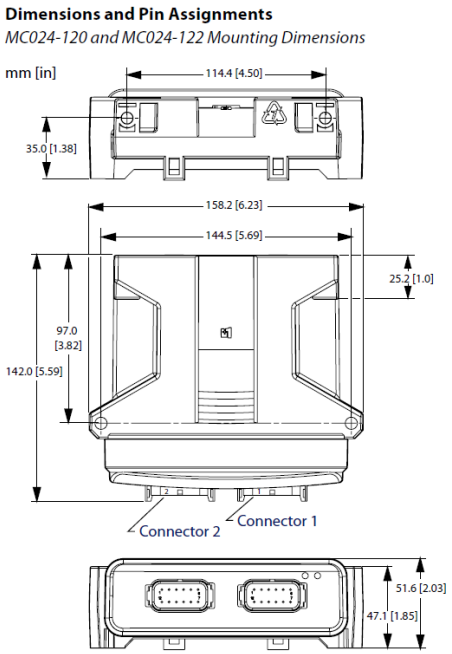
(Danfoss, 2014)

3.4 TIEDONSIIRTO

Mikrokontrollerissa on myös sarjamuotoinen CAN-tiedonsiirtoväylä (CAN), joka mahdollistaa liitettävyyden myös muihin mikrokontrollereihin.

CAN-väylä (engl. Controller Area Network) on automaatioväylä, jota käytetään ajoneuvoissa, koneissa ja teollisuuslaitteissa. Suomessa CAN-väylää on hyödynnetty muun muassa metsäkoneteollisuudessa harvesteripään mittaus- ja ohjaustiedon välittämisessä, kallioporauslaitteissa, hisseissä, rakennusten ilmastointijärjestelmissä ja valaistuksen ohjauksessa sekä paperikoneiden ohjauksessa (Wikipedia, 2019). Tässä opinnäytetyössä CAN-tiedonsiirtoväylä on käytössä ainoastaan ohjelmiston tiedonsiirtoa varten, API:n (API) ja MC024-120 (MC024-120) välillä.

3.5 LIITÄNNÄT JA MITAT



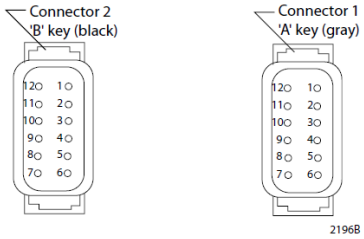
MC024-120 and MC024-122 24 Pin Connectors

Connector 2

Pin	Controller function
C2-P1	DIN/AIN/FreqIN
C2-P2	DIN/AIN/FreqIN
C2-P3	PWMOUT/DOUT/PVGOUT
C2-P4	PWMOUT/DOUT/PVGOUT
C2-P5	PWMOUT/DOUT/PVGOUT
C2-P6	PWMOUT/DOUT/PVGOUT
C2-P7	PWMOUT/DOUT/PVGOUT
C2-P8	PWMOUT/DOUT/PVGOUT
C2-P9	PWMOUT/DOUT/PVGOUT
C2-P10	PWMOUT/DOUT/PVGOUT
C2-P11	Power supply +
C2-P12	Power supply +

Connector 1

Pin	Controller function
C1-P1	Power ground -
C1-P2	Power supply +
C1-P3	CAN +
C1-P4	CAN -
C1-P5	AIN/CAN shield
C1-P6	DIN
C1-P7	DIN
C1-P8	5 Vdc sensor power +
C1-P9	Sensor power ground -
C1-P10	DIN/AIN/FreqIN
C1-P11	DIN/AIN/FreqIN
C1-P12	DIN/AIN/FreqIN



KUVA 5. MC024-120 liitännät ja mitat. (Danfoss, 2014)

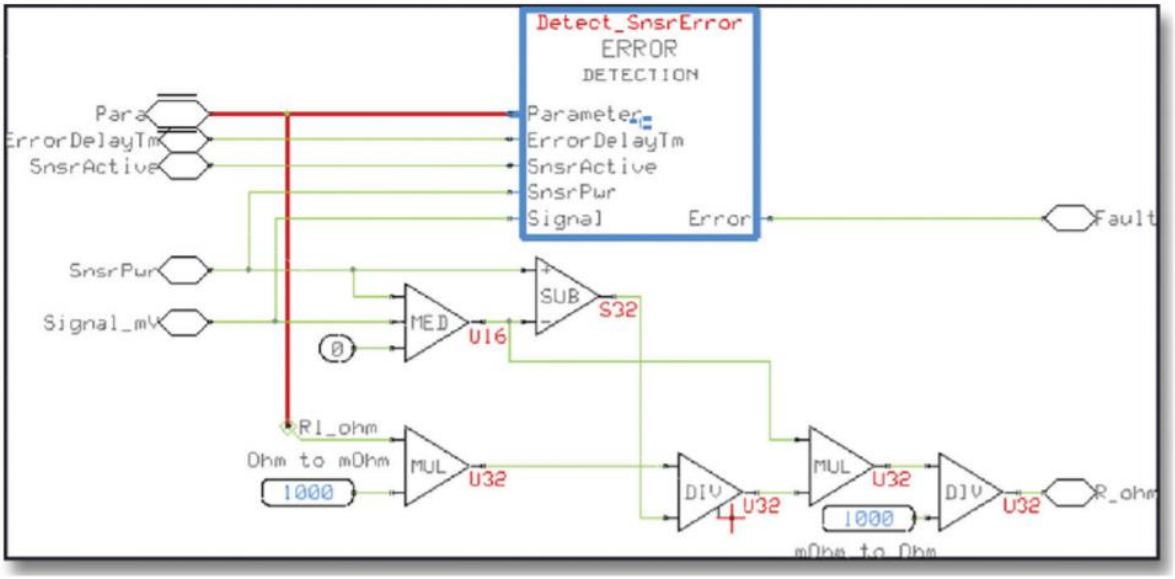
4 OHJELMOINTIYMPÄRISTÖ

Danfossilla on oma IDE (IDE) käytössä heidän mikrokontrollerien ohjelmointiin nimeltään GUIDE (GUIDE). Se on yhteensopiva kaikille PLUS+1 (PLUS+1) tuoteperheen tuotteille, johon kuuluvat näytöt, mikrokontrollerit sekä sähköhydrauliset tuotteet. (Danfoss, 2019)

4.1 PLUS+1 GUIDE

GUIDE on graafinen ohjelmointi ympäristö mikä perustuu POU (POU) ohjelmointiin, lisäksi se tukee myös C-kieltä (C) (KUVA 6). Se on tarkoitettu Danfossin tuoteperheen helppoon ja nopeaan graafiseen ohjelmointiin periaatteella vedä ja pudota ohjelma objekteja. Käytännössä sillä pystyy myös kokemattomammat ohjelmoijat pääsemään alkuun hyvin nopeasti ja vaivatta. GUIDESSA on kolme eri lisenssiä Express, Professional ja Educational. Express on maksullinen mutta ei sisällä valmiita kirjastoja, kun taas Professional ja Educational sisältää ohjelmakirjastot. Educational lisenssi on ilmainen vuodeksi ja sen saa käyttöön koulun sähköpostiosoitteella. (Danfoss, 2019) Ohjelmisto sisäl-

tää myös kääntäjän (Eng.Complier) jolla ohjelma käännetään mikroprosessorin ymmärtämään kieleen. On tärkeää muistaa kääntää ohjelmaa riittävän usein, jolloin mahdolliset virhetilanteet löytyisivät mahdollisimman helposti. Debuggerin avulla voi käydä ohjelmaa vaihe vaiheelta lävitse sekä nähdä laskennalliset teoreettiset arvot ja simuloida eri tilanteita.



KUVA 6. GUIDE graafinen ohjelmointi. (Danfoss, 2019)

4.2 PLUS+1 SERVICE TOOL

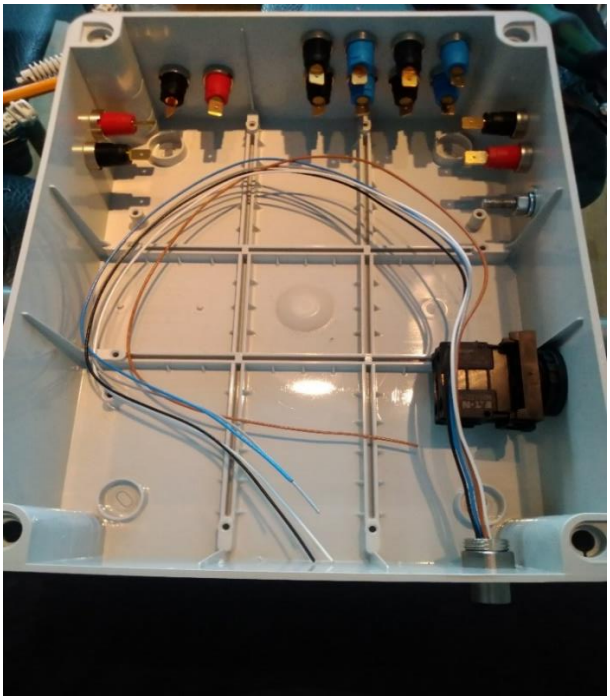
PLUS+1 service tool tulee GUIDE lisenssin mukana ja on tarkoitettu pääasiallisesti järjestelmän ylläpito ja huolto ohjelmistoksi. Sillä voi luoda graafisia esitystapoja hyödyntäen käyttöliittymän, joka näyttää havainnollisesti eri parametrien arvot. Sillä myös ladataan järjestelmään ohjelmat CAN-väylän välityksellä sekä diagnosoidaan mahdollisia vika tilanteita. Ohjelmiston testauksessa service tool:lla näkee todelliset arvot reaaliajassa. Toimiakseen ohjelmisto tarvitsee USB/CAN-adapterin tietokoneen ja järjestelmän välille. Ohjelmisto tukee myös kolmansien osapuolien adaptereita. Tässä opinnäytetyössä oli käytössä Kvaser USBcan II adapteri.

5 TOTEUTUS

Tämän opinnäytetyön toteutus alkoi hahmottamalla kokonaiskuva testaus- ja hätäajoyksiköstä. Opinnäytetyön suunnittelu alkoi mikrokontrollerin valinnalla. Sen jälkeen suunnittelin koteloinnin yhdistäen sen tulojen ja lähtöjen toimintalogiikan kanssa. Seuraavaksi vuorossa oli kytkentäkaavion piirtäminen, jonka jälkeen pääsin tekemään tarvittavat kytkennät fyysisesti. Tämän jälkeen seurasi mikrokontrollerin ohjelmointi ja viimeisenä toimintalogiikan testaukset ja mittaukset. Alla käydään läpi eri toteutuksen vaiheita tarkemmin.

5.1 KOTELOINTI JA KYTKIMET

Kotelomateriaaliksi valikoitui muovi, sen helpon muokattavuuden takia ja se on riittävän jämäkkä ja kestävä tähän tarkoitukseen (KUVA 7). Muovikotelon kokoluokan määräsi suurimmaksi osakseen mikrokontrollerin mitat sekä kytkimien tarvitsema tila. Muovikotelon mitat ovat 250x200x100mm. Kytkimiä tarvitsi kuusi kappaletta, joista kaksi on käyttökytkimiä digitaalisille lähdöille ja kaksi käyttökytkintä PWM/PVE lähdöille. Lisäksi yksi päävirta kytkin, yksi hätäseis kytkin sekä yksi valinta kytkin PWM/PVE käyttöä varten. Sitten vielä kaksi potentiometriä PWM/PVE lähtöjen ohjausta varten. Ohjelmointia varten asensin koteloon myös ohjelmointipistokkeen. Asensin myös LED-valot kaikille napeille, jolloin myös hämärässä työskentely helpottuu.



KUVA 7. Kytkinten ja lähtöjen sijoittelu koteloon.

KUVA 8. Valmis kotelointi.

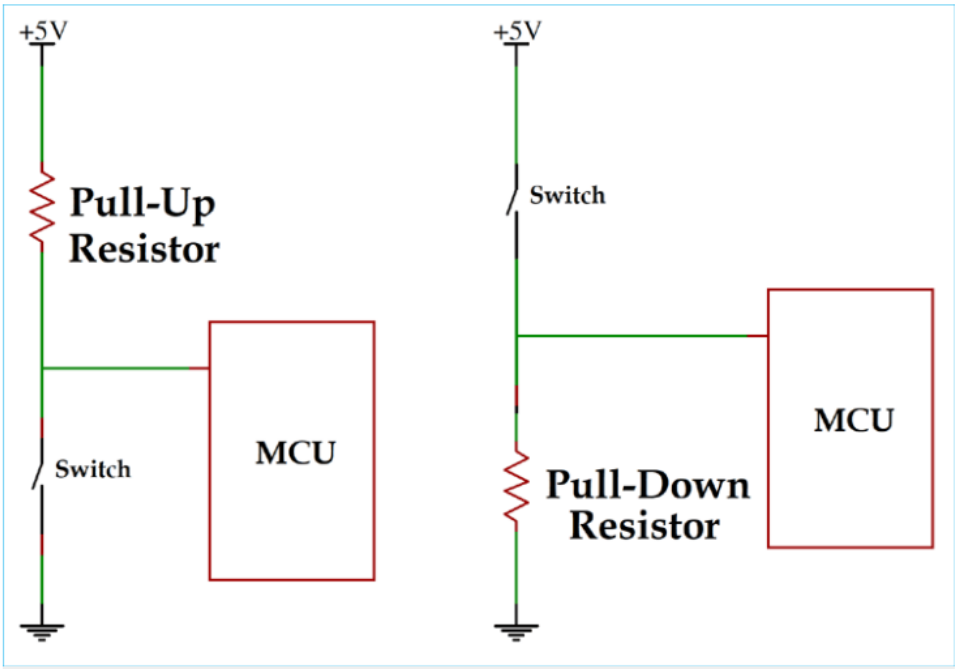
5.2 KYTKENTÄKAAVIO JA KYTKENTÄ

Kytkentäkaavio on piirretty Circuit Diagram ilmaisohjelmalla mikä löytyy internetistä ja on vapaasti kaikkien käytettävissä. Kytkentäkaaviota piirrettäessä oli perehdyttävä tarkemmin mikrokontrollerin tulojen ja lähtöjen ominaisuuksiin.

Kytkentäkaaviossa ensimmäisenä oli sulakkeen kokoluokan selvittäminen. Valitsin 15 Ampeerin sulakkeen, koska yhtäaikaisesti voi olla päällä neljä lähtöä (Dig1Out, Dig2Out, PWM1Out/PVE1Out, PWM2Out/PVE2Out) ja mikrokontrollerin virtalähtöjen Max. virta on 3A (Danfoss, 2019). Lisäksi LED-valo kuluttaa vain n. 20mA ja mikrokontrollerin prosessori sekä muut tarvittavat elektroniikan oheislaitteet kuluttavat virtaa < $1A$ (Danfoss, 2019). Max. virran kulutus on $(20mA * 6\ LED) + (3000mA * 4) + 1000mA = 13120mA = 13.12A$.

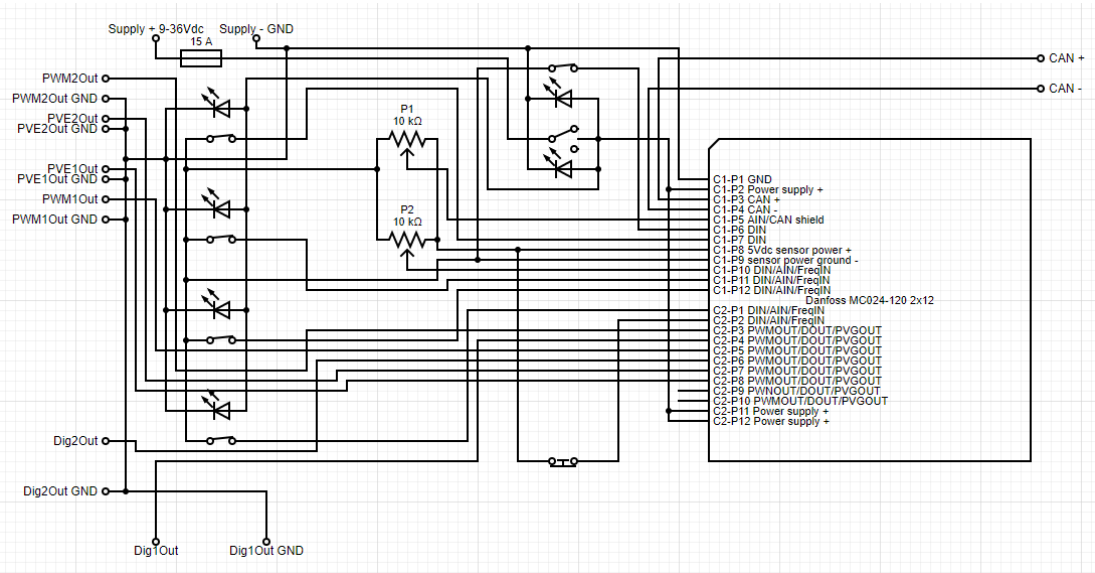
Potentiometrien kokoluokaksi valitsin $10K\Omega$. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että potentiometrin tulisi olla noin kymmenen kertaa pienempi kuin tuloimpedanssi. Mikrokontrollerin manuaalissa oli analogiselle tulolle merkitty $233K\Omega$ impedanssi (Danfoss, 2019). Näin jännite seuraa riittävällä tarkkuudella koko potentiometrin alueella. AIN (AIN) tuloille oli ohjelmallisesti valittavissa kaksi jännitealuetta $0 - 5V$ tai $0 - 36V$. Valitsin $5V$ jännitealueen, jonka saa otettua sensor power lähdöstä.

Kytkintulojen kytkentä oli mahdollista toteuttaa pull-up tai pull-down toimintaperiaatteella, mikrokontrollerin digitaalituloissa (DIN) oli mahdollista käyttää molempia toimintaperiaatteita. Digitaalitekniikan mikroprosessorin tuloissa käytetään lähes aina joko pull-up tai pull-down periaatetta, koska ilman vastuksia vaarana on, että digitaalitulo ei jäisi kellumaan. Tällä tarkoitetaan sitä, että digitaalitulo halutaan aina pitää joko loogisessa LOW (0) tai HIGH (1) tilassa. Tämä varmistetaan ylös- tai alasveto vastuksilla. On myös vaihtoehto pull-middle eli keskiveto, jolloin puolitetaan tulojännite mutta tämä on harvinaisempi käytetty tekniikka. MC024 mikrokontrollerissa nämä toiminnot on toteutettu sisäisesti, jolloin voi ohjelmallisesti helposti muuttaa haluamaansa käyttötapaa. Kuva (KUVA 9) kertoo periaatteen hyvin, eli lyhyesti onko kytkin maadoittava (Eng. Sinking) vai virroittava (Eng. Sourcing). Hätä-seis-painikkeella käytin ainoastaan pull-down tekniikkaa ja kaikki muut kytkimet on toteutettu pull-up periaatteella.

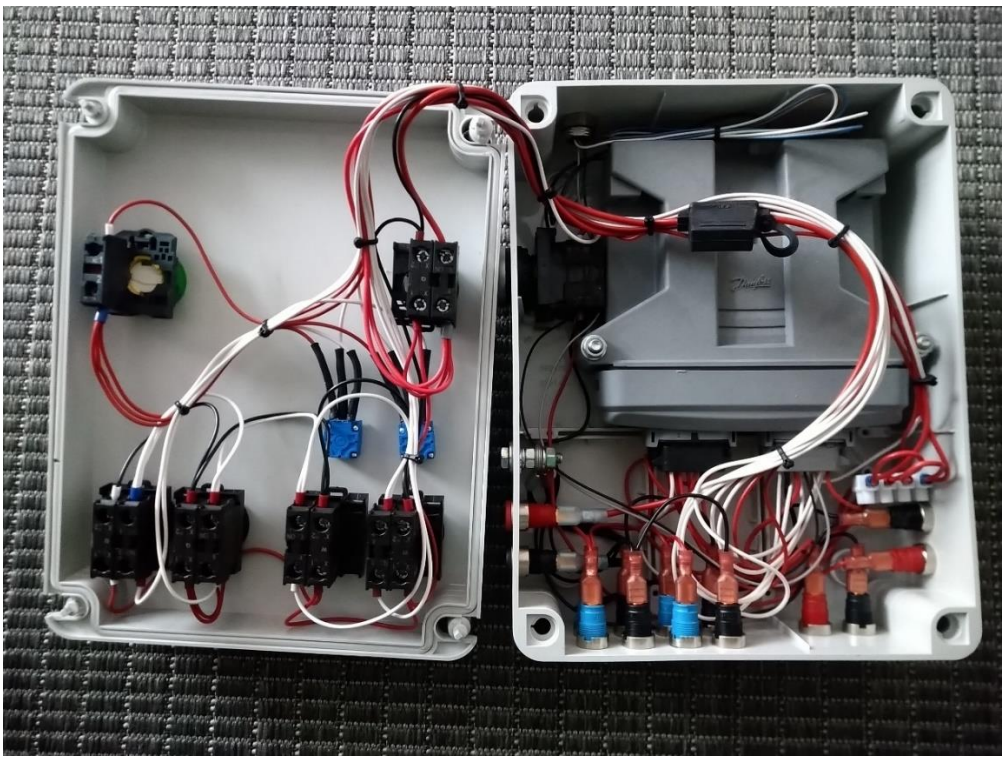


KUVA 9. Pull-up ja pull-down periaatekuva. (Gupta, 2018)

Kytkennässä käytetty johtimien poikkipinta-ala on pääosin $0{,}75mm^2$. Vain tulevat virransyöttö- ja maadoitusjohtimet on poikkipinta-alaltaan $2{,}5mm^2$. Koska kuormitus on maximissaan 15 ampeeria, niin johtimien virrankeston kanssa ei tule tässä tapauksessa ongelmia, sillä johtimien pituudet ovat lyhyitä. Potentiometrien johtimet piti juottaa ja mikrokontrollerin liitännöissä oli käytössä Deutsch 12 napaiset liittimet, muutoin lähdöissä oli Abiko lattaliittimet. Alla kuva kytkentäkaaviosta (KUVA 10) sekä valmis kytkentä (KUVA 11).



KUVA 10. Kytkentäkaavio testaus- ja hätäajoyksiköstä.



KUVA 11. Valmis kytkentäkuva testaus- ja hätäajoyksiköstä.

5.3 LOGIIKKA

Logiikan suunnittelun aloitin tekemällä totuustaulut olemassa olevista kytkintuloista ja lähdöistä. Totuustaulun (KUVA 13) avulla voidaan selvittää lähtöjen tilat eri tulojen yhdistelmillä. Totuustauluissa tulot ovat vasemmalla puolella ja lähdöt oikealla puolella, 0 = epätosi ja 1 = tosi. Kuten totuustaulu (KUVA 12) kertoo, niin lähdöt voivat ainoastaan muuttaa tilaansa, kun hätä-seis-kytkin ei ole painettuna. Kaikilla lähdöillä on oma käyttökytkin sekä PWM ja PVE lähtöjä varten on yksi valintakytkin, jolla valitaan kumpiko toiminto on käytössä. Lisäksi potentiometreillä säädetään PWM ja PVE lähtöjen tehoa toimilaitteelle, halutun liikenopeuden saavuttamiseksi.

Dig1In	Dig2In	Stop	Dig1Out	Dig2Out
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
1	1	0	0	0
0	1	0	0	0
0	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	1	1	1
0	1	1	0	1

KUVA 12. Totuustaulu digitaalisista lähdöistä.

PWM1In/PVE1In	PWM2In/PVE2In	EmStopIn	PWMIn/PVEIn	PWM1Out	PWM2Out	PVE1Out	PVE2Out
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	1	0	0	1	1
1	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0	1	0

KUVA 13. Totuustaulu PWM- ja PVE lähdöistä.

5.4 OHJELMOINTI

Ohjelmoinnin GUIDE:lla aloitin opettelemalla ohjelmankäytön perusteet, katsomalla Danfossin tarjoamia koulutusmateriaalivideoita ja perehtymällä GUIDEN käyttöohjeeseen. Ohjelmointia aloittaessa huomasin, että Danfossin graafinen IDE (IDE) on helppo oppia sellaisen, joka ei ole kyseistä ohjelmistoa ennen käyttänyt. Ohjelmisto on hyvin havainnollinen ja looginen, jonka ansiosta on helppo ymmärtää ohjelman toimintaa jo pelkästään katsomalla graafista rajapintaa.

5.4.1 Projektin luonti

Kun aloittaa uuden projektin niin siinä on kolme vaihetta.

- Projektin luonti
  Tässä aloitetaan uusi projekti missä valitaan projektikansio sekä nimetään projekti sopivaksi katsomalla tavalla.

- Valitaan käytettävä laitteisto (Eng. Hardware)
  Sopiva laitteistokuvaus (Eng. Hardware deskription) piti käydä hakemassa Danfossin nettisivulta (Danfoss, 2017), jossa kaikille mikrokontrollereille löytyy oma laitekuvaus. Latasin tiedoston MC024-1xx, joka oli yhteensopiva käytössä olevalle mikrokontrollerille. Tämän jälkeen laitteistokuvaustiedosto asennetaan GUIDE ohjelmaan, josta se myös löytyy tulevia projekteja varten.

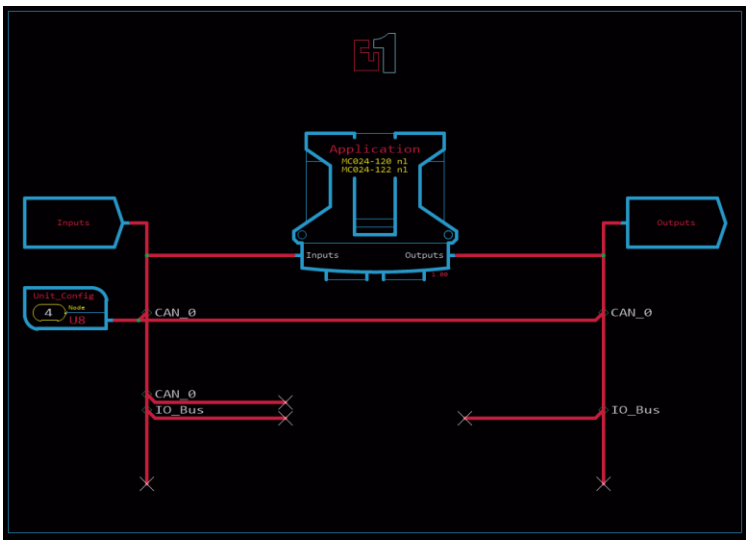
- Valmiin pohjan lisääminen
  Laitteistokuvaus sisälsi myös aloitus pohjan, joka tuli lisätä projektiin. Käytännössä pohja sisälsi kaikki mikrokontrollerin tulot ja lähdöt sekä niiden ominaisuudet.

5.4.2 Kirjastot

Kun GUIDE on asennettu niin sen mukana tulee automaattisesti päivitystyökalu, jolla voi päivittää GUIDE ja Service Tool ohjelmistoa. Lisäksi sillä voi myös ladata lisäosia ja ohjelmakirjastoja GUIDE projektiin. Käytännössä tässä projektissa tarvitsi asentaa yhden kirjaston (Output Library 70026745v401), joka sisälsi valmiit PWM_Driver ja Pve_Driver ohjelmalohkot sekä niiden dokumentaatiot. Näiden kirjastojen käyttö helpotti ohjelman tekemistä merkittävästi.

5.4.3 Ohjelman rakenne

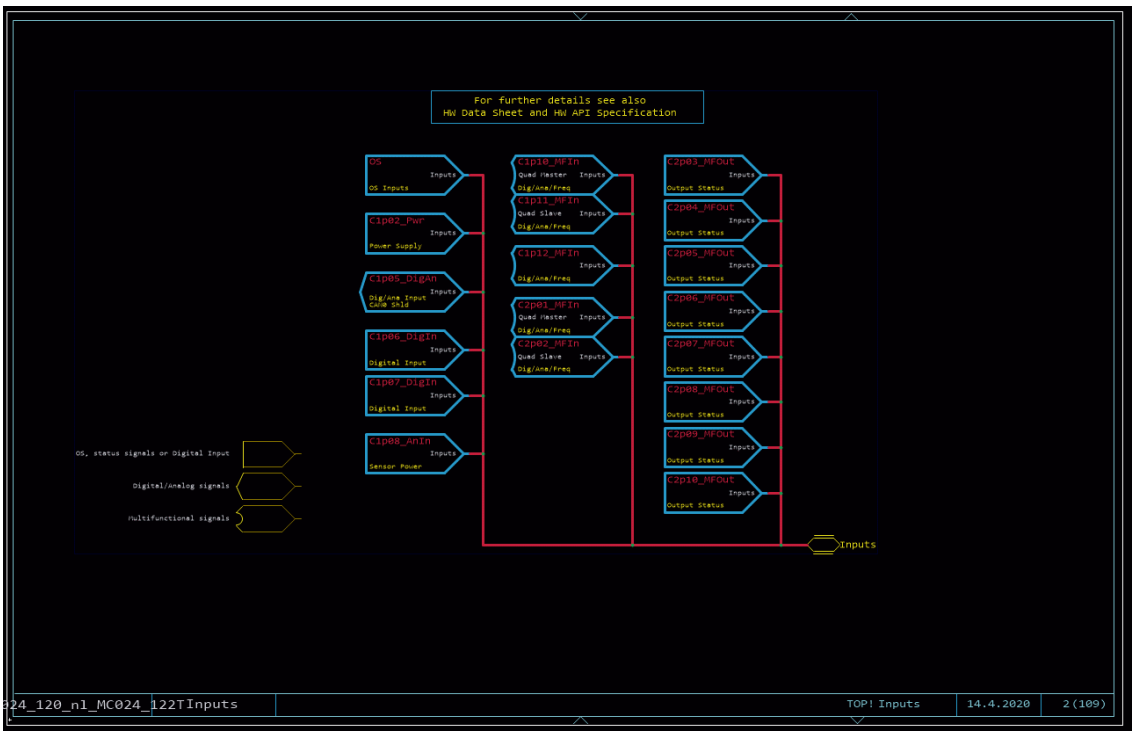
GUIDE:ssa ohjelmointi perustuu ohjelmasivuihin, joissa on tietty hierarkia, ylin taso (KUVA 14), keskitaso ja alin taso. Sivujen määrää ei ole rajoitettu mitenkään, joten monimutkaisissa ohjelmissa näitä sivuja voi olla hyvin paljonkin ja niitä voi olla kerrostettu mielivaltaisesti mutta se ei kuitenkaan muuta ohjelman hierarkiaa mitenkään. Tarvitsin kolme sivua tässä projektissa, jolloin helppolukuisuus sekä loogisuus säilyy.



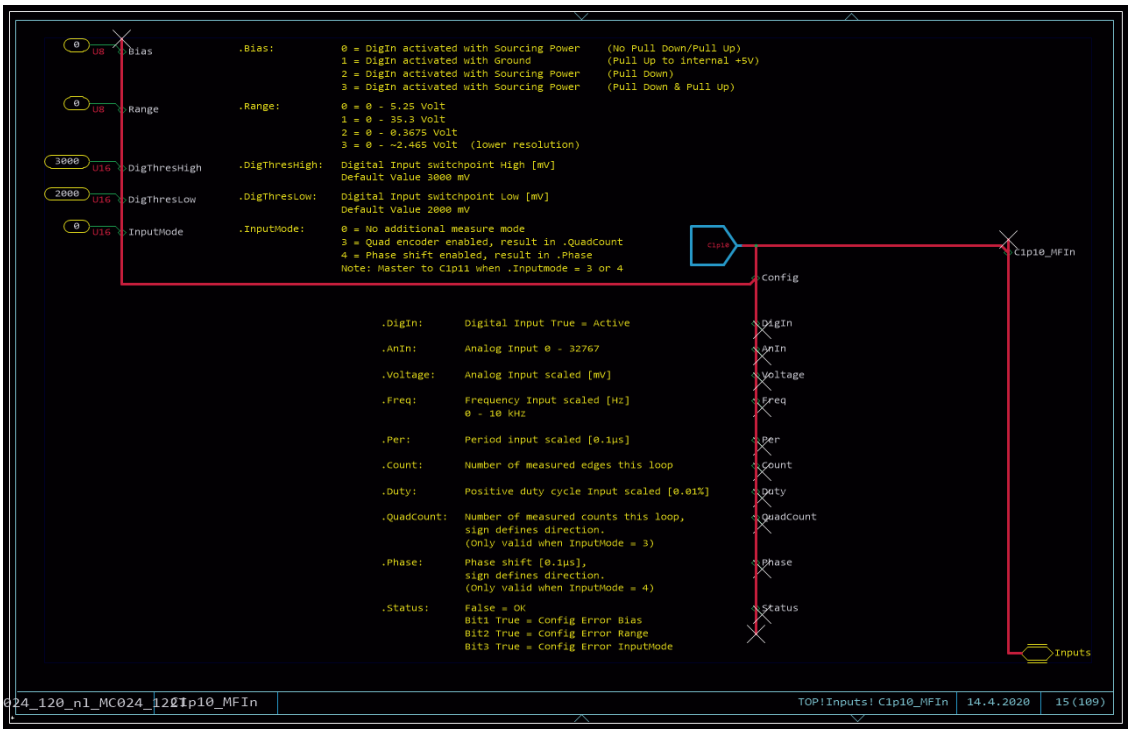
KUVA 14. GUIDE ohjelman ylin taso

5.4.4 Input sivut

Valmiin pohjan mukana tulee pääsivu (ylin taso), sekä tulot ja lähdöt sivut. Tältä sivulta pääsee input sivulle, missä on lueteltu kaikki pinnit, joihin voi tuloja asettaa (KUVA 15). Näitä tuloja hallitaan jokaisen tulon alasivulta, mistä voi muuttaa kyseisen tulopinnin asetuksia (KUVA 16). Esimerkiksi asettaako tulon toimimaan pull-up vai pull-down periaatteella.



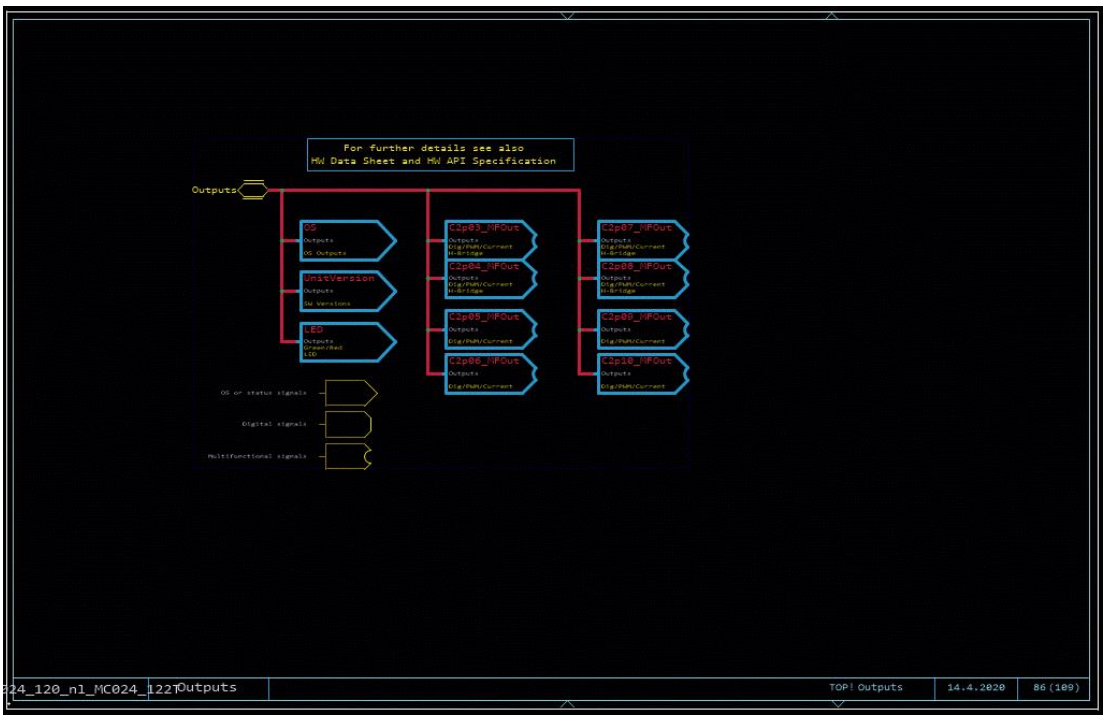
KUVA 15. GUIDE input sivu.



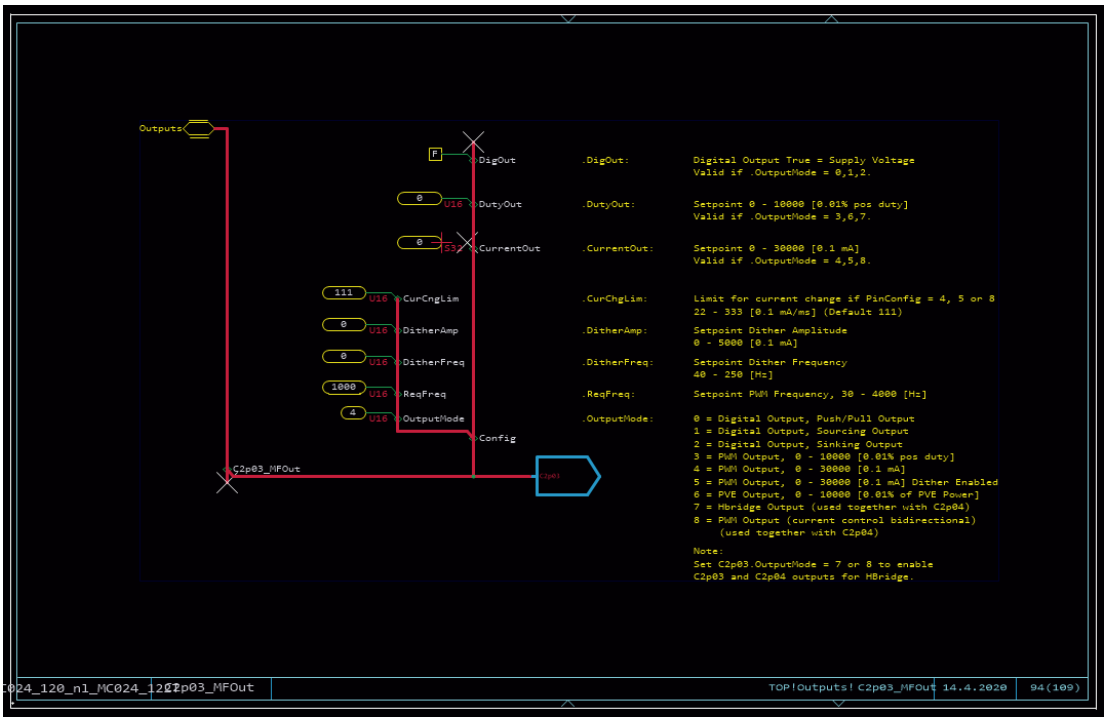
KUVA 16. GUIDE yksittäisen tulopinnin asetussivu.

5.4.5 Output sivut

Output sivut ovat perusperiaatteeltaan samankaltaisia kuin input sivut. Pääsivulta pääsee output sivulle missä näkyy kaikki pinnit, jotka voidaan lähdöiksi asettaa (KUVA 17). Pinnien alasivuilta löytyy lähtökohtaiset asetukset (KUVA 18). Esimerkiksi monitoimipinnilähdön valinta, haluaako sen asettaa joko PWMOUT-, DOUT- vai PVEOUT-lähdöksi.



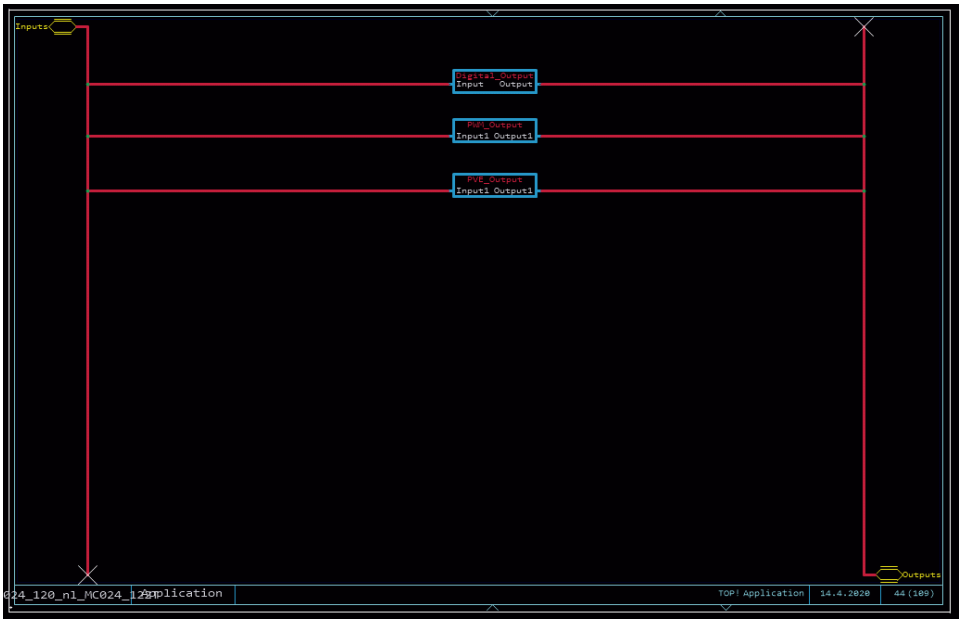
KUVA 17. GUIDE output sivu.



KUVA 18. GUIDE yksittäisen lähtö pinnin asetussivu.

5.4.6 Ohjelma sivut näkymä

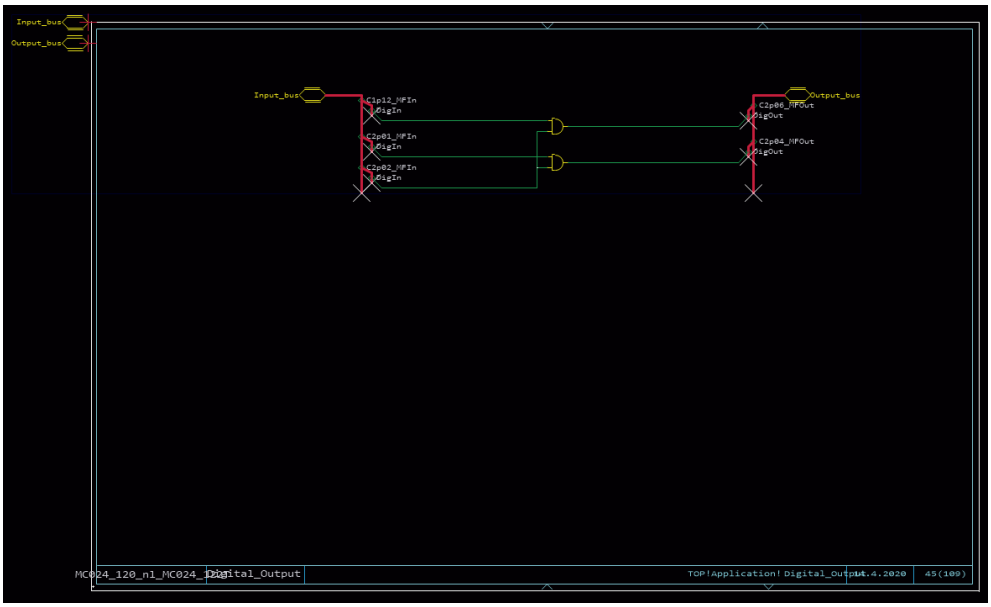
Ohjelma sivut näkymään siirrytään pääsivulta mikrokontrollerin kuvakkeesta. Tästä alkavat ohjelmistosuunnittelijan tekemät sivut. Tähän voi luoda uusia sivuja niin paljon kun projektissaan tarvitsee. Kuvassa keskellä näkyy ohjelmasivut, jotka on liitetty sisäistä väylää käyttäen vasemmalle puolelle tuloihin ja oikealle puolelle lähtöihin (KUVA 19). Tulot on kuvattu aina vasemmalle puolelle, joten kaikkia sivuja luetaan aina vasemmalta oikealle.



KUVA 19. GUIDE ohjelmasta sivu näkymä.

5.4.7 Digital Output sivu

Digitaaliset lähdöt sivu on kaikista sivuista yksinkertaisin ja sen suunnittelu toteutettiin ensimmäiseksi (KUVA 20). Digitaalisten lähtöjen ohjelmoinnissa ei tarvinnut käyttää kuin kahta loogista AND (AND) porttia, jotka näkyvät kuvassa keskellä. AND portti tarvitsee molemmat tulonsa 1 (tosi) tilaan ennen kuin lähtö aktivoituu. Vasemmalla puolella on tulojen pääväylään liitetyt tulopinnit ja oikealla lähtöväylään liitetyt lähtöpinnit. Tulopuolta ohjataan yksikössä olevilla käyttöpainikkeilla. Jos signaali menee lähtöpinnille asti, niin lähtöpinni aktivoituu sen lähtöpinnin asetusten mukaisesti.

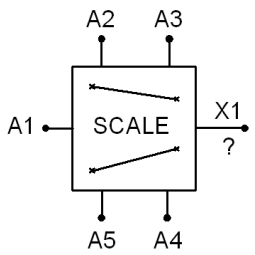


KUVA 20. GUIDE Digital_Output sivu.

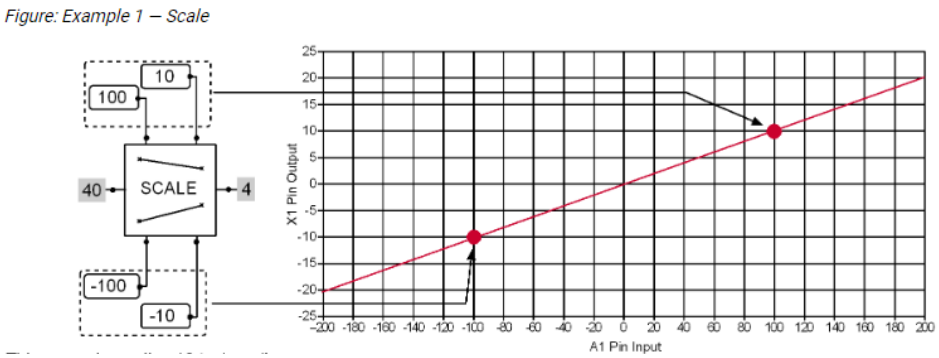
5.4.8 PWM Output sivu

Tällä sivulla toteutetaan PWM-virtasignaalit PWM-lähtöihin, sekä asetetaan halutut asetukset niille. Tulopuolen logiikassa käytössä on AND- ja NOT portteja (KUVA 23). NOT (NOT) portti kääntää signaalin päinvastaiseksi eli kun tulo on 0 (epätosi) niin lähtö on silloin 1 (tosi). Seuraavana tulee kytkimet, joilla ohjataan potentiometrisignaalit eteenpäin skaalaimelle. Skaalainta tarvittiin koska PWM_Driver ottaa vastaansa 0-10000 U16 (U16) signaalin. Koska potentiometrin tuloksi valitsin jännitteen, niin sieltä saa ulos vain n. 0-5000 U16 signaalia. Tästä syystä minun oli käytettävä skaalainta muuttamaan 0-5000 arvo vastaamaan 0-1000 arvoa.

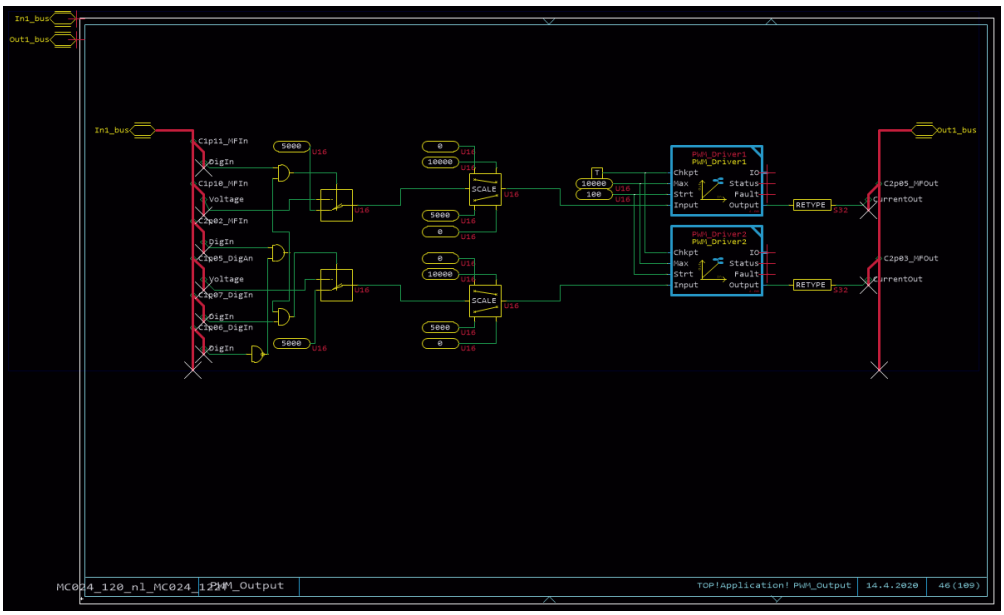
Skaalain (KUVA 21) toteuttaa funktion $X1 = \left(\left(\frac{A1-A5}{A2-A5}\right) * (A3 - A4)\right) + A4$ (Danfoss, 2004-2019). Ohjelmasta poimitut arvot ovat $A1 = 5000$, $A2 = 0$, $A3 = 10000$, $A4 = 0$, $A5 = 5000$. Nämä sijoittamalla funktioon $X1$ saa arvokseen 0. Jos taas $A1 = 2500$ niin $X1$ saa arvokseen 5000. Kun tulo on puolessa välissä ($A1 = 2500$) niin lähtökin on halutussa puolivälissä ($X1 = 5000$) ja tällöin haluttu skaalautuminen on tapahtunut. Alla vielä esimerkkikuva skaalaimen toiminnasta (KUVA 22).



KUVA 21. Skaalain objekti. (Danfoss, 2004-2019)



KUVA 22. Skaalaimen toimintaperiaate.



KUVA 23. GUIDE PWM_Output sivu.

Viimeisenä sivulla on PWM_Driver objekti asennetusta kirjastosta. PWM_Driver toteuttaa nimensä mukaisesti PWM-signaalin lähdölle. Objektin tulo (Input 0-10000) ja lähtö (Output 0-30000) on muuttuja tyyppiä U16, koska lähtöpinni ottaa vastaan vain S32 (S32) muuttujan, niin tästä pitää tehdä muuttujatyyppi muunnos S32 PWM_Driver lähdön jälkeen. Objektissa on myös tulot Chkpt (BOOL 0 tai 1), Max (U16 0-30000) ja Strt (U16 0-30000). Chekpoint mahdollistaa objektin kaikkien I/O signaalien tarkastelun Service Toolin avulla, jos valittuna on boolean tosi. Max tulolla rajataan haluttu Max. virta toimilaitteelle. Start asetuksella säädetään haluttu minimi lähtövirta tulon ollessa aktiivinen.
Objektissa on myös I/O väylälähtö, jolla sen voi liittää sisäiseen väylään. Tällöin saa kaikki PWM_Driverin objektin tulot ja lähdöt sisäiseen väylään, jolloin niitä voisi käyttää muilla sivuilla vaivatta. En kuitenkaan nähnyt tätä toimintoa tarpeelliseksi tässä sovelluksessa. Status- ja Fault lähdöillä olisi mahdollista toteuttaa virheilmoituksia ohjelmallisesti, mutta nämä ei kuitenkaan ole käytössä tässä sovelluksessa.

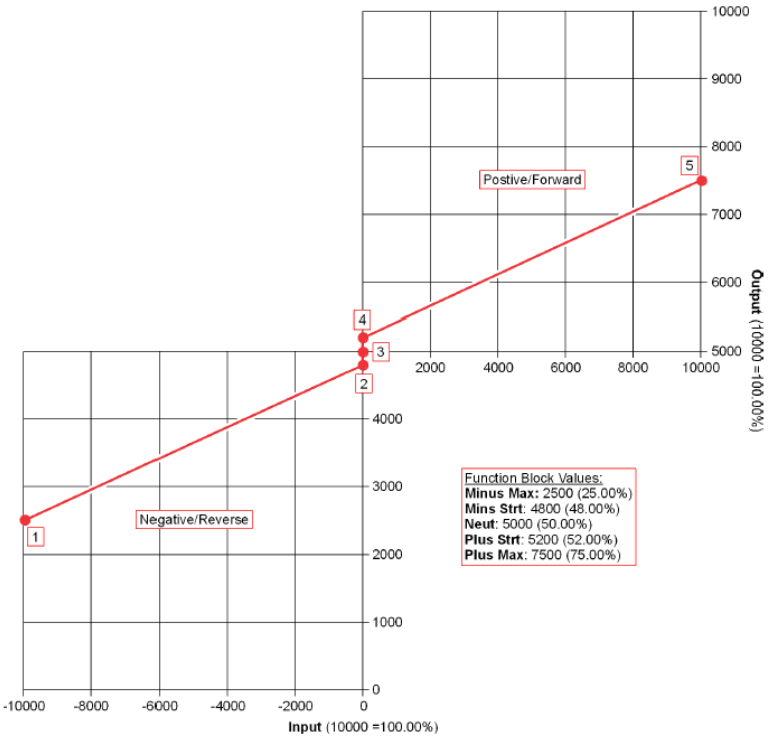
5.4.9 PVE Output sivu

Tällä sivulla toteutetaan PVE (Eng. Proportional Valve Electric actuator) jännitelähdöt toimilaitteille, sekä asetetaan halutut asetukset niille (KUVA 25). PVE_Driver on kirjasto objekti, joka tuottaa halutun vähävirtaisen jännitesignaalin käyttäen PWM-tekniikkaa. Sivun logiikka on hyvin samanlainen kuin PWM_Output sivu, kolme AND porttia, kaksi kytkintä, kaksi skaalainta ja kaksi PVE_Driver objektia. Tyyppimuunnos U16-S16 (S16) on toteutettu tällä sivulla ennen skaalaimia, koska PVE_Driver objektin tulo on muuttujatyyppiä S16 (mahdollistaa negatiivisten lukujen käytön). Skaalaimen periaate on sama kuin PWM_Output sivulla on esitelty. PVE objektin tulo (Input) ottaa vastaan S16 signaalin välillä -10000 – 10000.

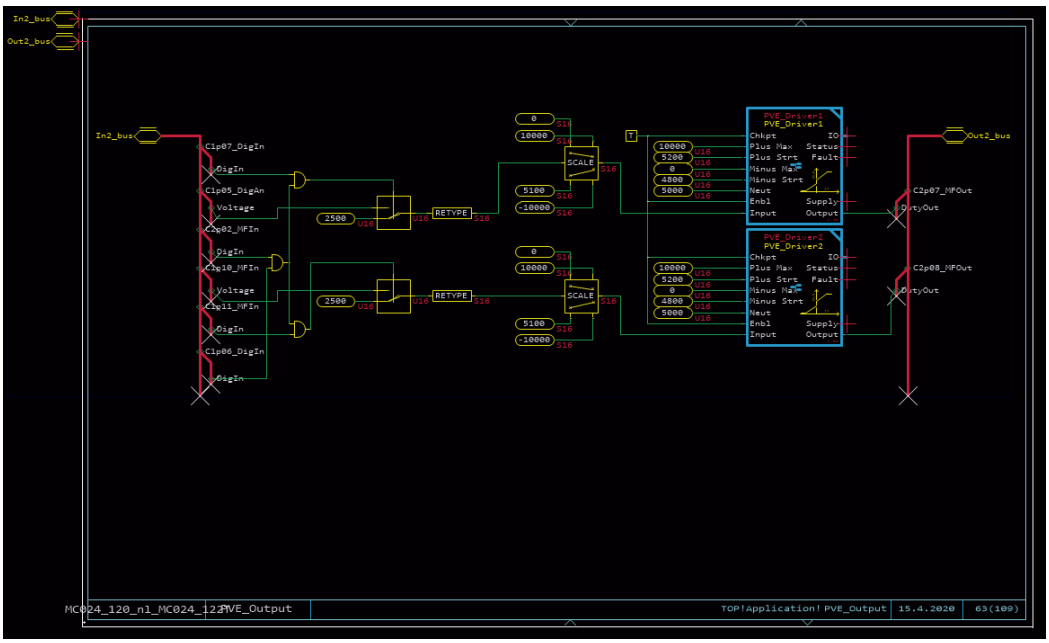
Kun PVE objektin tulo (Input) on 0 niin lähtö (Output) on puolet lähdön U16 (0-10000) arvosta eli 5000 => lähdön jännite on puolet järjestelmän jännitteestä, jolloin PVG-venttiili on neutraali asennossa (KUVA 24). Objektin muut käytössä olevat toiminnot ovat:

- Plus Max (U16)
  Maximi positiivisen suunnan ohjausarvo (0-10000).
- Plus Srt (U16)
  Asetus positiivisen suunnan aloituskohdasta (0-10000).
- Minus Max (U16)
  Maximi negatiivisen suunnan ohjausarvo (0-10000).
- Minus Srt (U16)
  Asetus negatiivisen suunnan aloituskohdasta (0-10000).
- Neut (U16)
  Asetus venttiilin neutraali ulostulosta
- Enable (BOOL)
  Kun asetus on tosi (1) niin supply ja output ovat aktiivisena ja toisinpäin.

  Status ja Fault ei ole käytössä. Supply on tarkoitettu PVE ohjaimen virransyötöksi, mutta se ei ole tässä sovelluksessa käytössä, koska tämä digitaalisignaali voidaan ottaa jo olemassa olevista digitaalilähdöistä.



KUVA 24. PVE ohjaussignaalin periaate. (Danfoss, 2019)



KUVA 25. PVE_Output sivu.

6 TESTAUS

Testauksessa apuna oli erillinen analoginen jännitelähde, $24V$ asetuksella. Ensimmäiseksi tarkastin käyttökytkimien ohjaamien lähtöjen toiminnan yleismittarilla ja vertasin niiden toimintalogiikkaa totuustauluun, mikä osoittautui toimivan suunnitellusti. Potentiometrien jännite- alueet myös tarkastin, että jännitteet säätyvät $0 - 5V$ alueella moitteettomasti. Käyttökytkimien ja potentiometrien kätisyydet olivat myös loogiset. Lisäksi apuna oli Service Tool ohjelmisto.

6.1 MITTAUSTULOKSET

Tehdyissä mittauksissa käytetyt laitteet ovat yleismittari (Fluke 115), jännitelähde (Mascot), PLUS+1 Service Tool ohjelma sekä oskilloskooppi (Tetronix TDS 1002). Kuormana on käytetty proportionaalimagneettia ($24V/30W$) sekä polttimoa ($24V/1{,}2W$). Kaikissa mittauksissa käytetty jännitetaso $Udc = 24V$. Potentiometrien tulojännitteen paikkansa pitävyys Service Tool ohjelmassa on varmistettu mittaamalla.

6.1.1 Digitaalilähdöt

Digitaalilähtöjen mittauksissa on käytetty kuormana proportionaalimagneettia eli kelaa. Virtapiirissä teho (P) lasketaan virran (I) ja jännitteen (U) tulona $P = UI$. Ohmin lakia hyödyntäen teho voidaan laskea myös resistanssin (R) avulla $P = \frac{U^2}{R} = RI^2$. (Wikipedia, 2020)

Teoreettinen virran (I) määrä on laskettu käyttäen kaavaa: $I = \frac{P}{U} = \frac{30W}{24V} = 1{,}25A$.

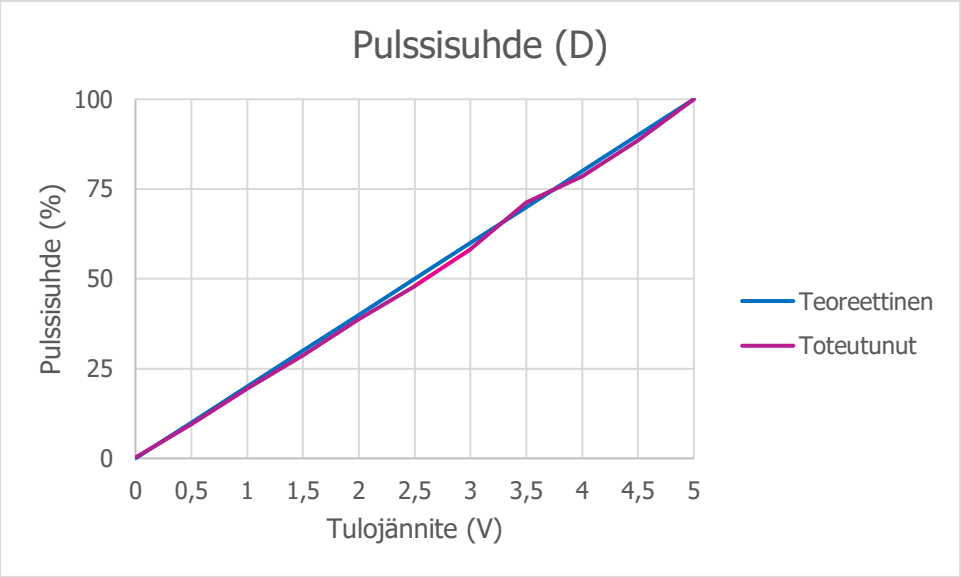
Mitatuilla resistanssi (R) arvoilla laskettu virta $I = \frac{U}{R} = \frac{24V}{19{,}4\Omega} = 1{,}23A$.

Todellinen mitattu virta oli hieman vähemmän $1{,}145A$, johtuen lämpötilan vaikutuksesta kelan resistanssiin.

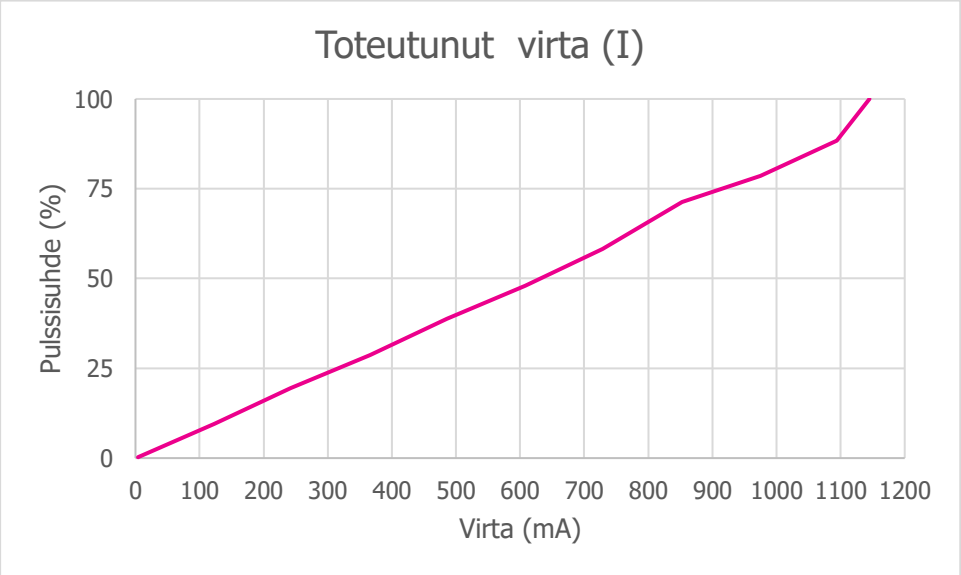
6.1.2 PWM lähdöt

PWM lähtöjen mittauksissa on käytetty kuormana proportionaalimagneettia eli kelaa. GUIDE ohjelmassa asetettu PWM taajuus on $1Khz$. PWM-lähdöissä virran (I) määrää muutetaan pulssisuhteella (D). Pulssisuhteen prosentuaalinen päälläoloaika lasketaan kaavalla $D = Ton\frac{Ton}{Ton+Toff} * 100\%$ missä Ton on lähdön päälläoloaika ja $Toff$ on lähdön poissaoloaika.

Kuvaajassa (KUVA 26) on kuvattu todellisen pulssisuhteen toteutuminen tulojännitteeseen nähden. Laskennassa on käytetty hyväksi oskilloskoopilla mitattua aikaa. Toteutuneen virran (I) määrä verrattuna toteutuneeseen pulssisuhteeseen (D) voidaan nähdä kuvaajasta (KUVA 27).



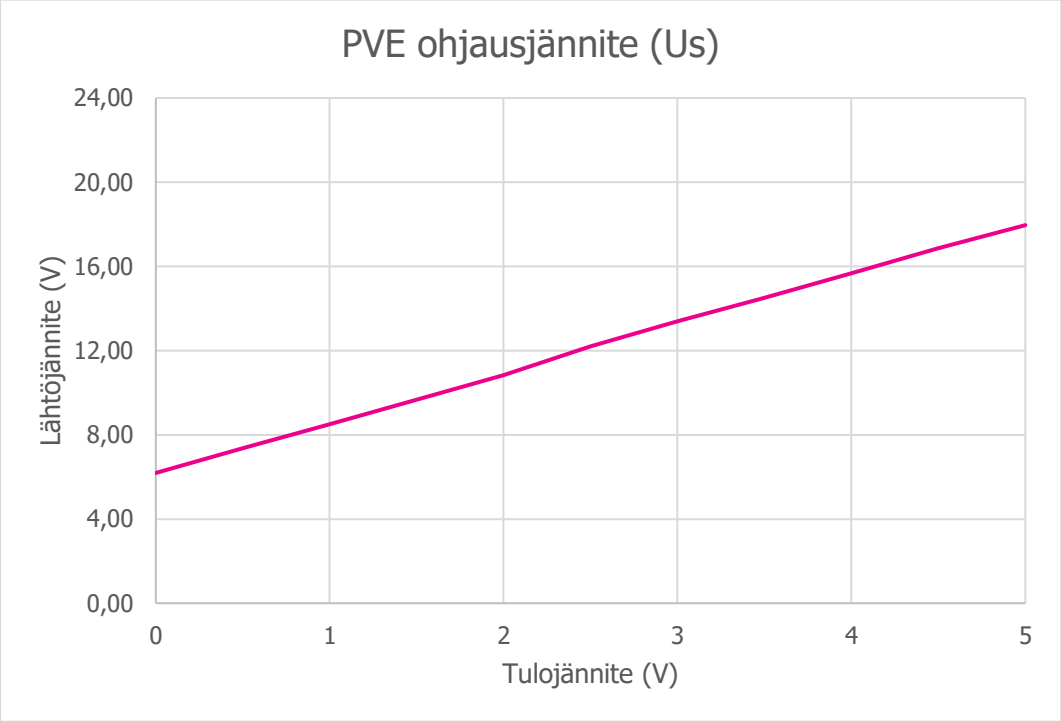
KUVA 25. Teoreettinen ja toteutunut pulssisuhde.



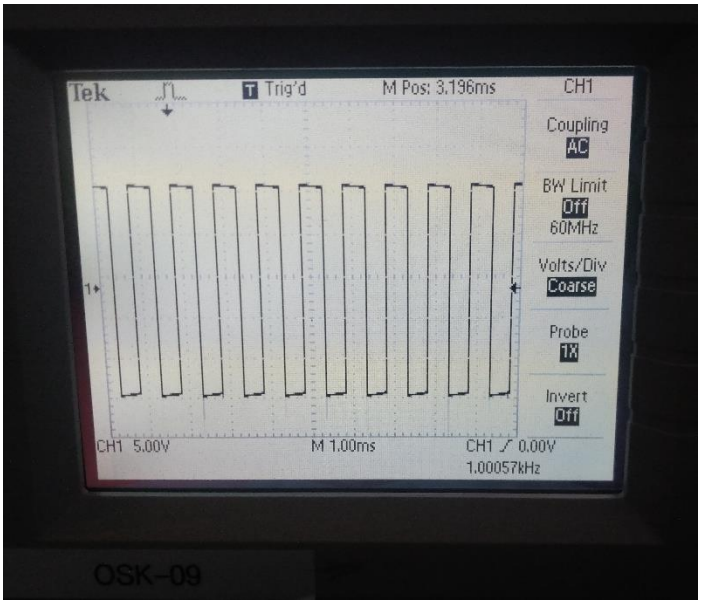
KUVA 26. Toteutunut virta.

6.1.3 PVE lähdöt

PVE lähtöjen mittauksissa on käytetty kuormana polttimoa. PVE lähtöjen ohjauksessa ohjausjännite muodostetaan käyttäen PWM tekniikkaa. PVG venttiilin ohjaus tapahtuu välillä $Us = 0{,}25 - 0{,}75 * Udc$ jossa Us on lähtevä ohjausjännite ja Udc on järjestelmän tulojännite ($24V$). Venttiilin ollessa neutraali eli keskiasennossa on tuolloin ohjausjännite $Us = 0{,}5 * Udc$. Kuvaajassa (KUVA 27) on mitattu toteutunut ohjausjännite verrattuna tulojännitteeseen.



KUVA 27. Toteutunut ohjausjännite.



KUVA 28. Oskilloskooppi mittauskuva.

7 YHTEENVETO

Tämä Koneterapia Oy:lle käytännön työnä toteutettu opinnäytetyö onnistui kokonaisuudessaan suunnitellulla tavalla. Kaikkien PWM-, PVE- ja Digitaali ohjauslähtöjen ja tulojen toiminta on todennettu mittaamalla toimiviksi. Koneterapia Oy sai testaus- ja hätäajoyksikön, joka helpottaa käytännön työelämää ja jossa riittää laajennettavuutta myös tulevaisuutta ajatellen.
Opinäytetyöntekijä sai arvokasta oppia nykypäivän sulautettujen järjestelmien mikrokontrollerin graafisesta ohjelmoinnista. Vaikka tämä projekti vaati uuden ohjelmointiympäristön opettelua niin alkuvaikeuksien jälkeen on todettava, että Danfossin GUIDE ohjelmisto on looginen ja suhteellisen helppo oppia käyttämään. Tässä opinnäytetyössä tehty ohjelma on kuitenkin vain pintapuolinen kosketus siihen nähden, että ohjelmistolla voi toteuttaa hyvinkin vaativia ja monimutkaisia ohjelmia, jolloin korostuu ohjelmiston täydellinen hallitseminen ja jonka oppimiseen voi kulua jopa vuosia.

8 LÄHTEET

Danfoss. (2004-2019). PLUS+1 GUIDE ohjelmisto GUIDE software.

Danfoss. (huhtikuu 2014). *PLUS+1® Controllers MC024-120 and MC024-122 data sheet.* Noudettu osoitteesta https://assets.danfoss.com/documents/DOC152986480969/DOC152986480969.pdf

Danfoss. (19. Syyskuu 2017). *PLUS+1® programmable and compliant hardware.* Noudettu osoitteesta https://www.danfoss.com/en/products/software/dps/plus1-software/plus1-programmable-and-compliant-hardware/#tab-overview

Danfoss. (Joulukuu 2018). *PVE electrohydraulic actuators.* Noudettu osoitteesta https://assets.danfoss.com/documents/DOC289534178867/DOC289534178867.pdf

Danfoss. (Lokakuu 2019). *PLUS 1 MC0XX 1XX Controller Family Technical Information Manual.* Noudettu osoitteesta https://assets.danfoss.com/documents/DOC322258021780/DOC322258021780.pdf

Danfoss. (Kesäkuu 2019). *PLUS+1 GUIDE data sheet.* Noudettu osoitteesta https://assets.danfoss.com/documents/DOC308379173023/DOC308379173023.pdf

Danfoss. (Lokakuu 2019). *PLUS+1 GUIDE Software user manual.* Noudettu osoitteesta https://assets.danfoss.com/documents/DOC328980864825/DOC328980864825.pdf

Danfoss. (Helmikuu 2019). PLUS+1® GUIDE Software,PLUS+1 Function Block Library—Output.

Gupta, S. (29. Marraskuu 2018). *CircuitDigest Pull Up and Pull Down Resistor*. Noudettu osoitteesta https://circuitdigest.com/tutorial/pull-up-and-pull-down-resistor

Mayank. (7. Elokuu 2011). *MaxEmbedded*. Noudettu osoitteesta http://maxembedded.com/2011/08/avr-timers-pwm-mode-part-i/

Silvonen, K. (2018). *Elektroniikka ja sähkötekniikka.* Otaniemi: Gaudeamus Oy/ Otatieto.

Timo Haiko, K. S. (2012). *Digitaalielektroniikka.* Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Toimi Keinänen, P. K. (2001). *Logiikat ja ohjausjärjestelmät.* Vantaa: Tummavuoren Kirjapaino Oy.

Wikipedia. (15. Lokakuu 2019). *wikipedia.org*. Noudettu osoitteesta https://fi.wikipedia.org/wiki/CAN-väylä

Wikipedia. (19. Huhtikuu 2020). *Teho.* Haettu 20. Huhtikuu 2020 osoitteesta https://fi.wikipedia.org/wiki/Teho