

Johtuvien häiriöiden alttiuden testausjärjestelmä

Case: Teknoware Oy

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietokone-elektroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Toni Närhi

Lahden ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma

NÄRHI, TONI:

Johtuvien häiriöiden alttiuden
testausjärjestelmä
Case: Teknoware Oy

Tietokone-elektroniikan opinnäytetyö, 33 sivua, 4 liitesivua

Kevät 2017

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö käsitteli tieajoneuvojen elektronisten häiriöiden johtumista ja kytkentää koskevan standardin mukaisen testausjärjestelmän suunnittelua, toteutusta ja testausta. Työssä painotettiin signaalinvahvistimen suunnittelun vaiheita ja sen hyödyntämistä osana testausjärjestelmää. Testausjärjestelmällä voidaan tarkastella elektronisten laitteiden tehonsyötön häiriönsietoa. Signaalinvahvistin koostuu valmiista kaupallisesta vahvistinmoduulista, jonka ympärille rakennetaan tarvittava suojaus- ja oheiselektroniikka.

Opinnäytetyö tehtiin Teknoware Oy:n käyttöön. Teknoware Oy on julkisen liikenteen ajoneuvojen valaistusjärjestelmiin sekä kiinteistöjen ja laivojen turvavalaisusjärjestelmiin erikoistunut asiantuntijayritys, joka toimii maailmanlaajuisesti.

Opinnäytetyössä käytiin läpi aiheeseen liittyvää ISO 7637-2 -standardia, joka määrittelee testausprosessin. Tämän lisäksi perehdyttiin elektroniikan suunnitteluun signaalinvahvistimen suunnittelun osalta. Signaalinvahvistimen suunnittelussa käytettiin PADS VX.2.1 -ohjelmistoa, jonka avulla suunniteltiin kytkennän piirikaavio ja piirilevy. Työn lopussa käytiin läpi suunnitellun laitteiston todennus ja tehtiin standardin määrittämä esimerkkimittaus raportteineen yhdelle tuotteelle.

Opinnäytetyön tuloksena on selvitys testausjärjestelmän suunnittelusta ja käyttämisestä standardin mukaisien testien toteuttamiseksi. Testausjärjestelmää voidaan hyödyntää tuotteiden todentamisessa jo tuotekehityksen alkuvaiheessa. Häiriöt voidaan havaita näin aiemmin, mikä vähentää tuotekehityksen kustannuksia.

Asiasanat: signaalinvahvistin, standardi, elektroniikan suunnittelu

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Information Technology

NÄRHI, TONI:

Test system of conducted transient
susceptibility
Case: Teknoware Oy

Bachelor's Thesis in computer electronics, 33 pages, 4 pages of
appendices

Spring 2017

ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals with the design, implementation and testing of a system intended to test induction and coupling based electrical disturbances in road vehicles. The work emphasizes the steps of designing the signal amplifier and utilizing it as part of the test system. The test system can be used to examine the power supply of electronic devices for immunity. The signal amplifier consists of a complete commercial amplifier module, which the necessary protection and peripheral electronics are built around.

The thesis was made for to Teknoware Oy, which is a global company specializing in lighting systems for public transport vehicles and emergency lighting systems for real estates and ships.

The thesis deals with the relevant ISO 7637-2 standard, which defines the testing process. In addition to this the design of electronics with regard to the design of the signal amplifier was examined. The PADS VX.2.1 software was used to design a circuit diagram and a circuit board for the signal amplifier. At the end of the work, the authentication of the planned hardware was executed with a standardized sample measurement was conducted for one product.

The result of the thesis is a study of the design and use of the testing system to carry out standard tests. The testing system can be used to authenticate products at an early stage of product development. Defects can be detected earlier, which reduces the cost of product development.

Key words: signal amplifier, standard, electronic design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	STANDARDIT	2
2.1	Internal Organization for Standardization	2
2.2	ISO 7637-2	3
3	TESTAUSJÄRJESTELMÄ	4
3.1	Signaaligeneraattori	4
3.2	Signaalinvahvistin	5
3.3	Oskilloskooppi	7
4	VAHVISTETTAVAN SIGNAALIN LUOMINEN	8
4.1	Keysight BenchLink Waveform Builder Pro	8
4.1.1	Signaalin luominen	8
4.1.2	Signaalin lataaminen signaaligeneraattoriin	9
4.2	Signaaligeneraattorin käyttö	10
5	SIGNAALINVAHVISTIMEN SUUNNITTELU	11
5.1	Piirikaaviosuunnittelu	11
5.1.1	Vahvistinkytkentä	11
5.1.2	PAD115A-moduulin käyttöjännitteet	13
5.1.3	Regulaattorikytkentä	14
5.1.4	STM32-mikrokontrolleri	15
5.1.5	STM32-mikrokontrollerin ohjaustulot	18
5.1.6	STM32-mikrokontrollerin ohjauslähdöt	19
5.1.7	PAD115A-moduulin jäähdytystuulettimen ohjaus	19
5.1.8	LM35-lämpötila-anturi	20
5.2	Piirilevysuunnittelu	21
5.2.1	Piirilevyn komponenttipuoli	23
5.2.2	Maataso	24
6	MITTAUKSET	25
6.1	Laitteen todennus	25
6.1.1	Oheiselektronikkalohkojen todentaminen	25
6.1.2	Vahvistinkytkennän todentaminen	27
6.2	Esimerkkimittaus tuotteelle	28
7	YHTEENVETO	31

LÄHTEET

32

LIITTEET

34

LYHENNELUETTELO

CEN	European Committee for Standardization, Euroopan standardointikomitea
Hz	Hertsi
IEC	International Electrotechnical Commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
I/O	Input/output, sisääntulo/ulostulo
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
Sa/s	Samples/second, näytteitä sekunnissa
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
USB	Universal Serial Bus, sarjaväyläarkkitehtuuri ulkoisten laitteiden liittämiseen
VDC	Volts of Direct Current, tasajännite voltteina

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa testausjärjestelmä, jolla pystytään ohjaamaan asiakkaiden määrittelemien standardien mukaisia aaltomuotoja valaisimien tehonsyöttöön.

Aaltomuodot jäljittelevät erilaisia häiriöitä tuotteiden tehonsyötössä ja niiden avulla tutkittiin tuotteidemme häiriönsietoa. Työn toimeksiantajana toimii julkisen liikenteen valaistusjärjestelmiä sekä kiinteistöjen ja laivojen turvavalaistusjärjestelmiä kehittävä Teknoware Oy Lahdesta.

Testausjärjestelmän suunnittelun lisäksi opinnäytetyöhön sisältyy signaalinvahvistimen suunnittelu ja toteutus toimivaksi laitteeksi sekä aaltomuotojen luominen ohjelmoitavaan signaaligeneraattoriin. Toimivan järjestelmän ollessa valmis suoritetaan standardin mukainen esimerkkimittaus yhdelle tuotteelle. Testistä kirjoitetaan testausraportti, jonka avulla todennetaan tuote standardin mukaiseksi.

Opinnäytetyön lähtökohtana on lisätä Teknoware Oy:n kilpailukykyä parantamalla yrityksen sisäisiä testausmahdollisuuksia. Alan kilpailutilanne tuottaa paineita edullisempaan tuotantoon, mikä tarkoittaa edullisempien komponenttien käyttöä tuotteissa. Uudella testausmahdollisuudella voidaan tarkkailla, että tuotteet pysyvät standardien mukaisissa laatuvaatimuksissa.

Ajoneuvostandardi on erittäin hajanainen, ja tämä on johtanut siihen, että useilla valmistajilla on omat testausvaatimukset. Vaatimukset sisältävät esimerkiksi signaalien nousu- ja laskuajat, pulssinpituudet ja jännitteet. Testausjärjestelmä vaatii suuria jännitteitä ja virtoja, joten kaupallisen laitteen hinta on niin korkea, ettei sellaisen hankkiminen olisi kannattavaa. Tyypillisen ohjelmoitavan tehonlähteen pystyessä vain 1 kHz:n taajuuksiin se ei näin ollen yksinään riitä tuottamaan standardien mukaisia aaltomuotoja, jotka ovat jopa 100 kHz:n taajuisia. Edellä mainituilla perusteilla testausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus todettiin kannattavaksi projektiksi.

2 STANDARDIT

Standardien tavoite on lisätä turvallisuutta ja yhtenäistää teollisuuden toimintaa. Standardit ovat organisaatioiden esittämä määritelmä siitä, miten jokin asia tulisi tehdä. Organisaatioiden määrittelemät vaatimukset hyväksytetään standardisoiomisjärjestöillä, jotka luovat vaatimuksista virallisen standardin. Tunnetuimpia standardisoiomisjärjestöjä ovat kansainväliset ISO ja IEC, eurooppalainen CEN ja suomalainen SFS. (Yrjölä 1990, 8 - 9.)

Standardisoinnin ansiosta tuotteet, palvelut ja menetelmät toimivat niissä olosuhteissa, joihin ne on tarkoitettu, ja laatu voidaan ennakoita. Standardien avulla varmistetaan myös järjestelmien yhteensopivuus. Standardit helpottavat kaupan esteitä kansainvälisiltä markkinoilta. (Yrjölä 1990, 8 - 9.)

2.1 Internal Organization for Standardization

Kansainvälinen standardisoiomisjärjestö Internal Organization for Standardization (ISO) on perustettu 1947, ja sen tarkoituksena on tuottaa kansainvälisiä standardeja. ISO koostuu 162 maan kansallisista standardisoiimiselimistä, jotka yhdessä kehittävät kansainvälisiä standardeja. Järjestö ei toimi minkään valtion alaisuudessa, mutta sillä on iso vaikutusvalta standardien välityksellä. (ISO 2017a.)

ISO:n tavoitteena on edistää tietoisuutta standardisoinnista ja kouluttaa jäseniään standardisoinnin kaikilla tasoilla. Tietotekniikan alan standardisointi toteutetaan yhteistyössä IEC-standardisointiorganisaation kanssa. Suomea järjestössä edustaa Suomen Standardisoiimisliitto SFS. (ISO 2017a.)

2.2 ISO 7637-2

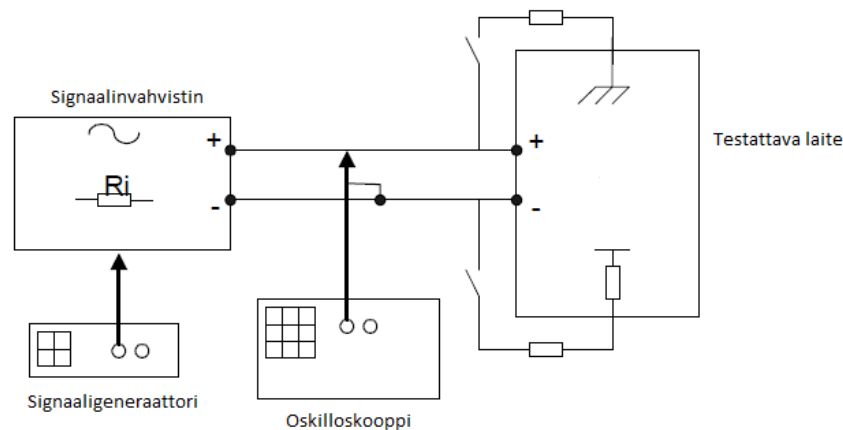
ISO:n vuonna 2011 julkaisema tieajoneuvojen elektronisten häiriöiden johtumista ja kytkentää koskeva standardi ISO 7637-2 määrittelee testausmenetelmät, joiden mukaan tieajoneuvoissa käytettävien 12- ja 24 voltin elektronisten järjestelmien tyyppitestaus on suoritettava. Standardi on kansainvälinen ja voimassa 162 maassa. (ISO 2017b.)

Standardin määrittämät signaalit kuvaavat häiriösignaaleja, joille laitteiden tehonsyötöt ovat alltiita lopullisessa käyttöympäristössä. Standardi sisältää menetelmät, kuinka testit tulee toteuttaa ja millaisessa ympäristössä. Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa testausjärjestelmä, jonka avulla voidaan tehdä standardin mukaiset testit tuotteille. Lopuksi valmiilla testauslaitteistolla tehdään yhdelle tuotteelle standardin mukainen esimerkkimittaus ja se raportoidaan. (ISO 2017b.)

3 TESTAUSJÄRJESTELMÄ

Testausjärjestelmä koostuu ohjelmoitavasta signaaligeneraattorista, signaalinvahvistimesta ja oskilloskoopista. Testausjärjestelmän lohkokaavio on esitetty kuviossa 1, ja siitä voidaan havaita testausjärjestelmän kytkentä. Järjestelmä perustuu ISO 7637-2 -standardin määrittämään laitteistoon.

Ohjelmoitavan signaaligeneraattorin avulla voidaan syöttää standardin mukaiset aaltomuodot vahvistimeen, joka vahvistaa signaalin tarvittavalle tasolle. Aaltomuodot ohjelmoidaan tietokoneohjelman avulla ja ne tallennetaan signaaligeneraattorin muistiin. Oskilloskooppia käytetään apuna mittauksen todentamiseen. Oskilloskoopin avulla voidaan nähdä testattavan laitteen tehonsyöttöön ohjattava signaali.



Kuvio 1. Lohkokaavio testausjärjestelmästä

3.1 Signaaligeneraattori

Signaaligeneraattorin avulla voidaan tuottaa sähkösignaalia ja sen avulla voidaan säätää signaalin taajuutta ja amplitudia. Signaali voi olla sini-, kanti- tai kolmioaaltoa. ISO 7637-2 -standardin vaatimat aaltomuodot vaativat tietokoneohjelman avulla tehtävää ohjelmointia, joten ominaisuuksiltaan yksinkertaisimmat signaaligeneraattorit rajautuivat pois testilaitteistosta.

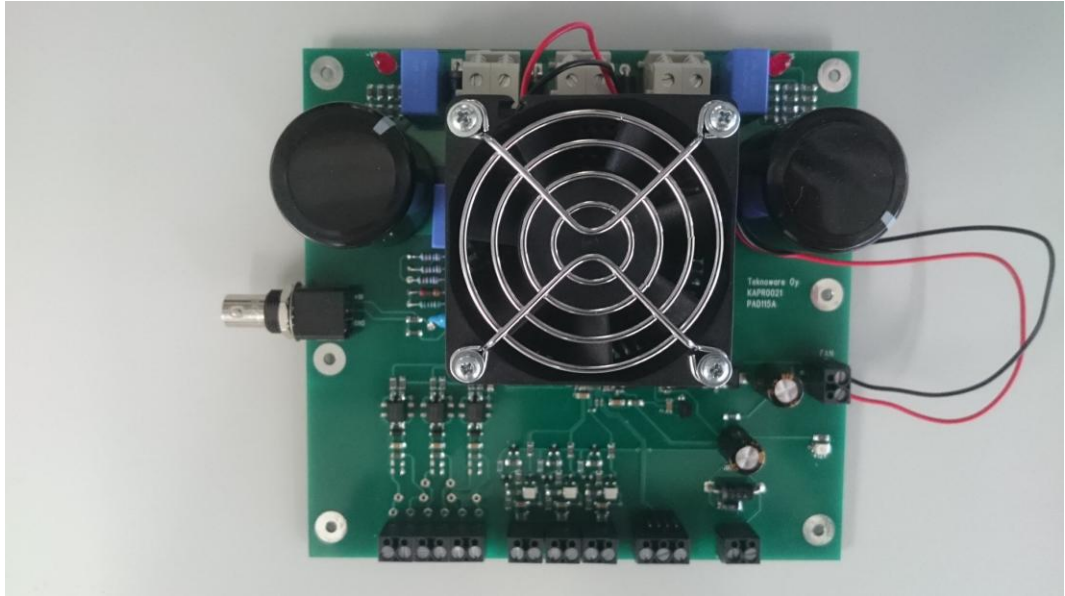
Työssä käytettäväksi signaaligeneraattoriksi valittiin kuvan 1 mukainen Keysight TrueForm 33512B Waveform Generator. Laitteen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat 20 MHz:n kaistanleveys ja 2-kanavainen lähtö. Molemmat lähdöt voidaan ohjelmoida syöttämään eri signaalia. Laitteen ominaisuudet mahdollistavat signaaligeneraattorin hyödyntämisen myös muissa tuotekehitysosaston tutkimustehtävissä. Laitteen monipuolisten ominaisuuksien lisäksi tärkeitä tekiöitä signaaligeneraattorin valintaan olivat ammattimainen käyttöliittymä ja valmistajan tuotetuki. (Keysight 2017a.)



Kuva 1. Keysight TrueForm 33512B Waveform Generator


3.2 Signaalinvahvistin

Tämän työn signaalinvahvistin koostuu valmiista kaupallisesta vahvistinmoduulista ja sen ympärille suunnitellusta piirilevystä, joka sisältää tarvittavat suojaus- ja oheispiirit vahvistinmoduulin käyttöön. Kuvan 2 mukaisen vahvistimen tarkoituksena on vahvistaa signaaligeneraattorilta syötettävän signaalin voimakkuutta spesifikaatioiden vaatimalle tasolle, minkä jälkeen vahvistettu signaali ohjataan testattavalle laitteelle.



Kuva 2. Signaalinvahvistin

Vahvistinmoduuliksi valittiin kuvion 2 mukainen PowerAmp Design PAD115A, joka pystyy käsittelemään sekä negatiivisia että positiivisia jännitteitä. Moduulin käyttöjännitteiden ero voi olla 300 voltia ja se kestää 20 ampeerin jatkuvan virran. Moduulin jäähdytyksestä on huolehdittu jäähdytys-elementillä ja 12 voltin jännitteellä toimivalla tuulettimella. Moduuli on myös varustettu ylikuumentumissuojalla, joka sammuttaa moduulin jos sen lämpötila nousee yli 110 °C. (PowerAmp Design 2017.)



click image for Rev D datasheet

PAD115A 300V 30A 165W High Power Op Amp

KEY FEATURES

- LOW COST
- HIGH VOLTAGE - 300 VOLTS
- HIGH OUTPUT CURRENT - 30A
- 165 WATT DISSIPATION CAPABILITY
- 400 WATT OUTPUT CAPABILITY
- WIDE SUPPLY RANGE $\pm 10V - \pm 150V$
- INTEGRATED HEAT SINK AND FAN
- TEMPERATURE REPORTING
- OVER-TEMP SHUTDOWN
- RoHS COMPLIANT

[Datasheet](#)

Compatible with Accessory Modules [PAD125](#), [PAD131](#) and evaluation kit [EVAL118](#)

Kuvio 2. PAD115A-moduuli (PowerAmp Design 2017).

3.3 Oskilloskooppi

Opinnäytetyön osana tutkitaan testattavien laitteiden käyttäytymistä mittausten aikana. Oskilloskoopilla voidaan tarkastella testattavan tuotteen tehon syöttöön ajettavaa signaalia. Testeissä käytetään Agilent InfiniiVision DSO-X 3034A -oskilloskooppia.

Kuten kuvasta 3 voidaan havaita, oskilloskoopissa on neljä kanavaa ja sillä voidaan tallentaa signaalien kuvaajat muistitikulle. Oskilloskooppi soveltuu mittausten todentamiseen 350 MHz kaistanleveyden ja 4 GSa/s näytteenottotaajuuden ansiosta. Kuvaajien tallentaminen suoraan oskilloskoopilla helpottaa mittausten todentamista ja raporttien tekoa. (Keysight 2017c.)



Kuva 3. Agilent InfiniiVision DSO-X 3034A oskilloskooppi

4 VAHVISTETTAVAN SIGNAALIN LUOMINEN

Signaalinvahvistimeen ajettavat signaalit syötetään Keysight TrueForm 33512B -signaaligeneraattorilla. ISO 7637-2 -standardin mukaisia signaaleja ei voida toteuttaa signaaligeneraattorin omilla signaalin muokkausasetuksilla, joten signaalien luomiseksi tarvitaan tietokoneohjelmisto.

Tässä työssä käytettäväksi ohjelmistoksi valittiin Keysightin oma BenchLink Waveform Builder -ohjelmisto varman yhteensopivuuden perusteella. Ohjelmistosta on tarjolla ilmainen Basic-versio ja maksullinen Pro-versio. Basic-versiossa ei ole edistyneimpiä ominaisuuksia käytössä, mikä hidastaa ja vaikeuttaa signaalien luontia. Päädyttiin siis Pro-version käyttöön paremman käyttökokemuksen perusteella.

4.1 Keysight BenchLink Waveform Builder Pro

BenchLink Waveform Builder -ohjelmisto on Keysightin Microsoft Windows -pohjainen työkalu aaltomuotojen luomiseen. Ohjelmiston käyttöliittymä on yhdenmukainen Microsoftin omien ohjelmistojen kanssa, mikä helpottaa ohjelmiston käyttöä. Käyttöliittymää voidaan verrata Microsoft Office -ohjelmien käyttöliittymään. (Keysight 2017b.)

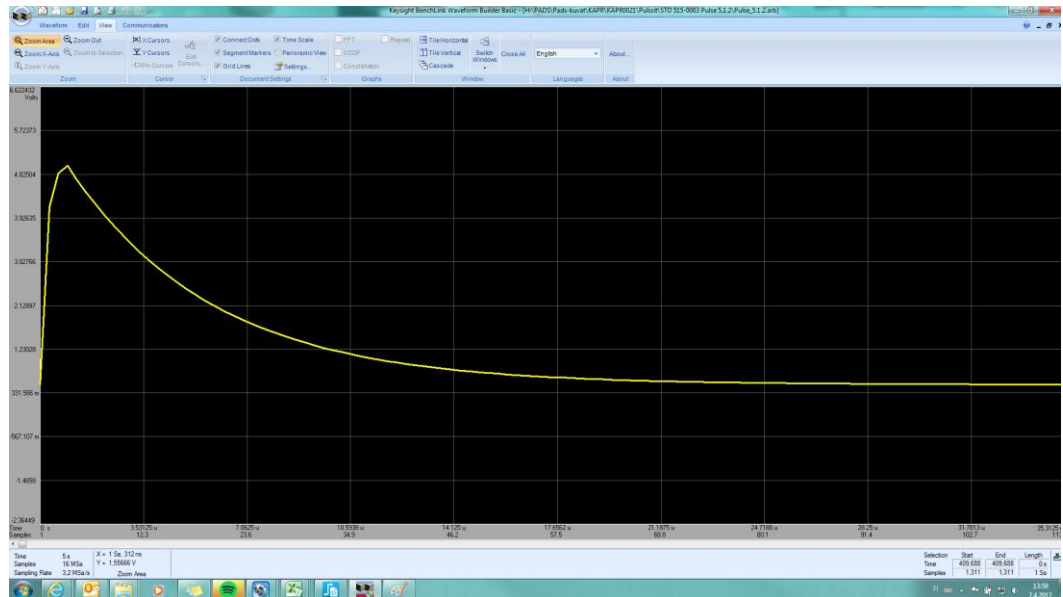
Ohjelmiston käyttöönotto tapahtuu asennuslevyn avulla ohjatulla asennustoiminnolla. Pro-version käyttöön tarvittava lisenssi syötetään ohjelmistoon asennuksen lopuksi. Asennuksen jälkeen ohjelmisto on käyttövalmis.

4.1.1 Signaalin luominen

Signaalin luominen BenchLink Waveform Builder -ohjelmistolla aloitetaan valitsemalla signaaligeneraattorin malli, johon signaalia ollaan luomassa. Tämän jälkeen määritetään signaalin spesifikaatiot, kuten signaalin pituus ja se, luodaanko signaalista 1- vai 2-kanavainen. Määrittelyjen jälkeen

aloitetaan signaalin piirtäminen. Signaali voidaan piirtää piirtotyökalulla tai käyttämällä Pro-version valmiita malleja.

Kun signaalimuoto on piirretty, voidaan signaalin pituutta, amplitudia ja offsetiä muuttaa. Kuviossa 3 näkyvää luotua signaalia voidaan tarvittaessa jatkaa toisella aaltomuodolla. Valmis signaali tallennetaan, ja se on valmis siirrettäväksi signaaligeneraattorille.



Kuvio 3. ISO 7637-2 -standardin mukaisesti luotu signaali

4.1.2 Signaalin lataaminen signaaligeneraattoriin

Signaalin lataaminen Keysight TrueForm 33512B -signaaligeneraattoriin voidaan tehdä kytkemällä signaaligeneraattori verkkoon tai yhdistämällä signaaligeneraattori suoraan tietokoneeseen usb-johdon avulla. Signaalin lataus tapahtuu BenchLink Waveform Builder -ohjelmiston avulla avaamalla yhteys signaaligeneraattoriin. Yhteyden luonnin jälkeen signaali voidaan lähettää signaaligeneraattorin muistiin.

Signaaligeneraattorin yhdistäminen yrityksen verkkoon lisäksi laitteen helppokäyttöisyyttä ja sitä pystyttäisiin tarvittaessa käyttämään etänä. Tässä vaiheessa ei nähty tarvetta signaaligeneraattorin verkkoon kytkemiselle, joten päädyttiin usb-johdon käyttöön. Ratkaisu helpottaa tilanteita, joissa signaaligeneraattoria on siirrettävä paikasta toiseen.

4.2 Signaaligeneraattorin käyttö

Keysightin signaaligeneraattoreita voidaan käyttää laitteen oman käyttöliittymän lisäksi Keysight BenchVue -ohjelmiston avulla tietokoneen välityksellä. BenchVue -ohjelmiston ilmainen versio tulee signaaligeneraattorin ostopakkauksen mukana. Tietokoneella valmiiksi luodun signaalin lähetys signaalinvahvistimelle ei tarvitse enempää säätöjä, koska parametrit on asetettu signaalia luotaessa jo valmiiksi. Tarvittaessa esimerkiksi jännitteiden voimakkuutta voidaan säätää signaaligeneraattorista tarpeen vaatiessa.

Signaaligeneraattori ja -vahvistin yhdistetään 50 ohmisella koaksiaalikaapelilla ja signaaligeneraattorista valitaan suuri impedanssinen kuorma lähetettävälle kanavalle. Vahvistimen käyttöjännitteiden taso täytyy huomioida ennen signaaligeneraattorin kytkemistä päälle, ettei vahvistettu signaali ole käyttöjännitteitä suurempi. Kun tietokoneella luotu signaali on ladattu signaaligeneraattoriin ja vahvistin on käynnistetty, voidaan lähetävä kanava kytkeä päälle.

5 SIGNAALINVAHVISTIMEN SUUNNITTELU

Tässä luvussa käsitellään signaalinvahvistimen suunnittelua. Suunnittelu alkaa laitteiden toimintojen määrittelyllä, eli päätetään mitä ominaisuuksia laitteelle halutaan. Tämän jälkeen voidaan tehdä piirikaavio- ja piirilevy-suunnittelu suunnittelusääntöjä noudattaen.

Työssä käytetään PADS VX.2.1 -ohjelmistoa piirikaavio- ja piirilevy-suunnittelussa. Ohjelmiston avulla voidaan tehdä seuraavat suunnittelun vaiheet: komponenttien määrittely ja kytkentä, piirilevygeometrian määrittely, kiinnitysreikien sijoittelu, komponenttisijoittelu, reititys ja dokumentointi. (Tikkanen 1997, 18 - 19.)

5.1 Piirikaaviosuunnittelu

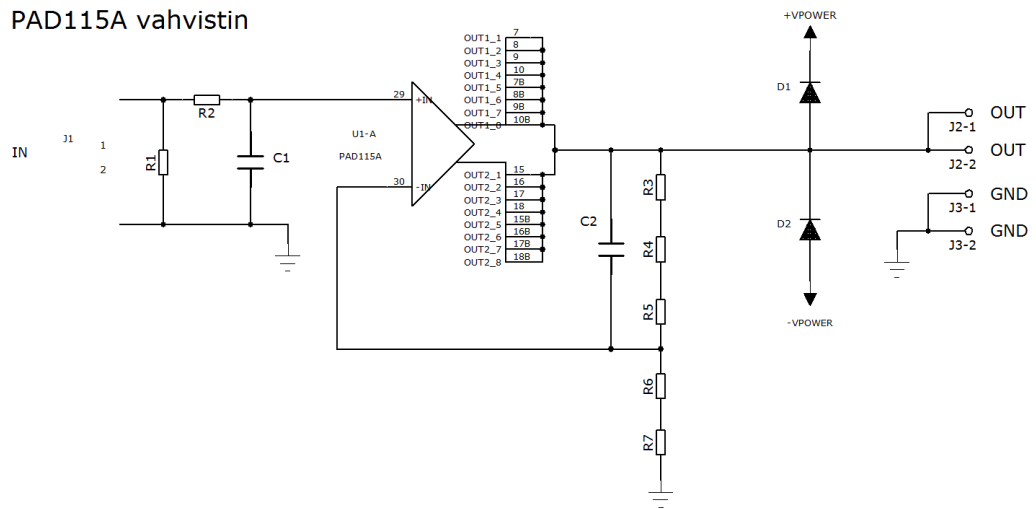
Piirikaaviosuunnittelu aloitetaan työssä käytettävien komponenttien määrittelyllä. Komponentit sijoitetaan piirikaavioon järjestelmällisesti toiminnallisiin lohkoihin, jotta niiden väliset kytkennät voidaan tehdä mahdollisimman suorilla ja lyhyillä vedoilla. Signaalit liikkuvat vasemmalta oikealle, ja virran kulkusuunta on ylhäältä alaspäin. Selkeä piirikaavio helpottaa sen luettavuutta ja yksinkertaistaa piirilevy-suunnittelua. (Tikkanen 2004, 99 - 100.)

Piirikaavion suunnittelussa täytyy ottaa huomioon suunnittelusäännöt, jotka varmistavat suunniteltavan laitteen laadun ja turvallisuuden. Suunnittelusäännöt määrittävät esimerkiksi komponenttien tehollisen rasitusvaran ja suurimman sallitun liittymislämpötilan piirilevyyn, jotka täytyy ottaa huomioon kytkentää mitoittaessa. Tässä työssä sovellettiin Teknoware Oy:n virallisia suunnittelusääntöjä.

5.1.1 Vahvistinkytkentä

Vahvistinkytkentä suunnitellaan PowerAmp Designin PAD115A-moduulin ympärille, ja sen tarkoitus on johtaa signaali sisään moduuliin ja tuoda se

vahvistettuna moduulista ulos kuvion 4 mukaisesti. Kytkenä sisältää takaisinkytkennän, jolla määritetään signaalin vahvistuksen taso.



Kuvio 4. Vahvistinkytkennän piirikaavio

Vahvistettava signaali tuodaan laitteelle BNC-liittimen avulla. Kytkenässä vastus R2 ja kondensaattori C1 muodostavat alipäästösuodattimen, jonka avulla suodatetaan vahvistimelle tulevia suurtaajuisia häiriöitä.

Suodattimen rajataajuus vaikuttaa vahvistuksen nopeuteen, joten rajataajuudeksi valittiin korkea 2,7 MHz:n taajuus. Suodatuksen jälkeen signaali kytkeytyy vahvistimen +IN-pinniin. Taajuus määritellään kaavalla 1:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}, \text{ jossa}$$

f_0 = taajuus

R = vastuksen R2 arvo: 390 Ω

C = kondensaattorin C1 arvo: 150 pF

Signaalin vahvistus tapahtuu takaisinkytkemällä vahvistimen OUT-pinni vahvistimen -IN-pinniin vastuksien avulla. Vahvistus määräytyy vastuksien R3 – R7 suhteesta. Vahvistus määritellään kaavalla 2:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in}, \text{ jossa}$$

$V_{out} = \text{vahvistus}$

$R_1 = 4,3 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 81 \text{ k}\Omega$

$V_{in} = 1$

Näin ollen vahvistukseksi saadaan 19,8. Signaaligeneraattorin antama 10 voltin amplitudin signaali voidaan vahvistaa noin 198 voltin amplitudin signaaliksi. Kondensaattori C2 toimii häiriösuodattimena vahvistimen lähdössä ja diodit D1 ja D2 suojaavat kytkentää siten, että vahvistettu signaali ei pääse nousemaan käyttöjännitteitä korkeammaksi.

5.1.2 PAD115A-moduulin käyttöjännitteet

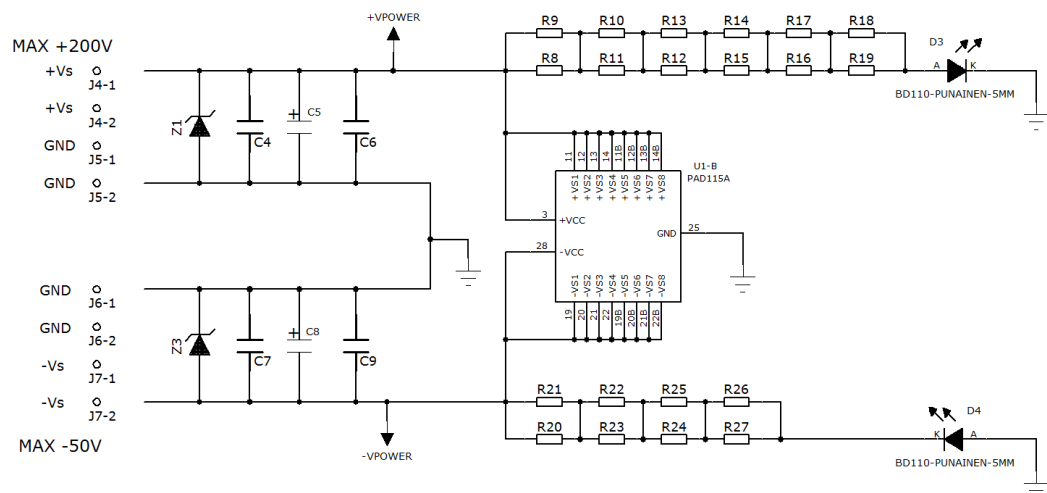
PAD115A-moduuli tarvitsee käyttöjännitteet toiminnalleen.

Käyttöjännitealue määrittää rajat, jonka sisällä signaalia voidaan vahvistaa. Tässä työssä jännitealueeksi valittiin -50VDC – +200VDC.

Käyttöjännitteet syötetään erillisistä virtalähteistä ja ne syötetään moduulille kuvion 5 osoittamalla kytkennällä.

Kytkenä sisältää polariteettisuoja, joka estää laitteen rikkoutumisen mahdollisen kytkentävirheen vuoksi. Polariteettisuoja on toteutettu transienttisuojadiodeilla Z1 ja Z3. Kytkennässä täytyy huomioida suuret virrat ja niiden tasaamiseksi tarvitaan suuret elektrolyyttikondensaattorit C5 ja C8. Käyttöjännitteiden kytkemisen todentamiseksi kytkennässä on merkkivalot D3 ja D4.

PAD115A vahvistinmodulin power



Kuvio 5. PAD115A-moduulin käyttöjännitteiden piirikaavio

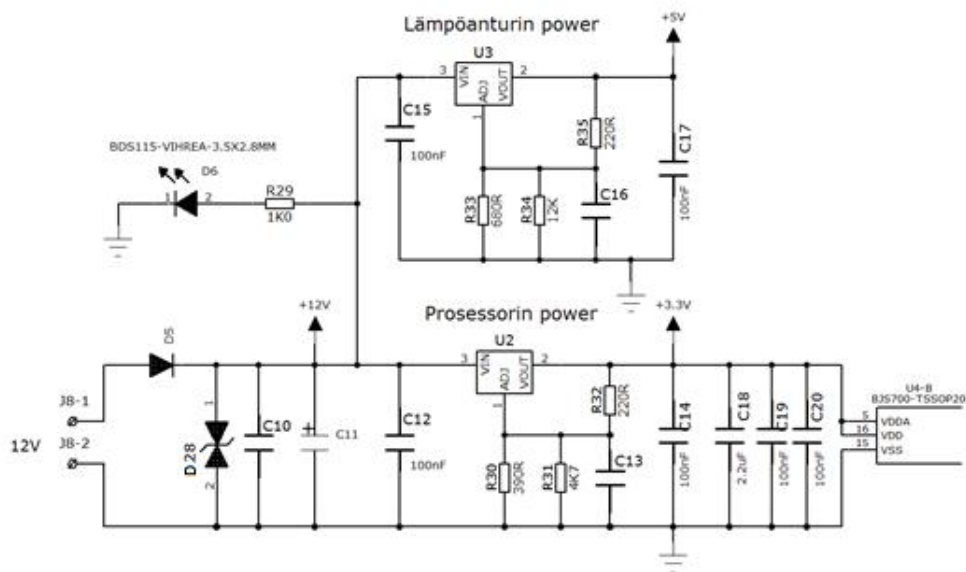
5.1.3 Regulaattorikytkentä

Regulaattorikytkennän tarkoituksena on muuttaa 12 voltin tasajännite 5 voltin ja 3,3 voltin tasajännitteiksi. 5 voltin tasajännitettä hyödynnetään LM35-lämpötila-anturin käyttöjännitteenä. 3,3 voltin jännite tarvitaan STM32-mikrokontrollerin käyttöjännitteeksi.

Kytkentä toteutetaan kahdella LM317-lineaariregulaattorilla kuvion 6 mukaisesti. Kytkentä sisältää polariteetti- ja ylijännitesuojan, jotka on toteutettu diodin D5 ja zenerin R28 avulla. Kytkennän merkkivalo D6 todentaa 12 voltin jännitteen kytketyksi. Kytkennässä on häiriönsuotokondensattoreita regulointipiireille ja mikrokontrollerin jännitesyötölle.

Regulointi määritellään kaavalla 3: $V_{out} = 1,25V (1 + R2 / R1)$

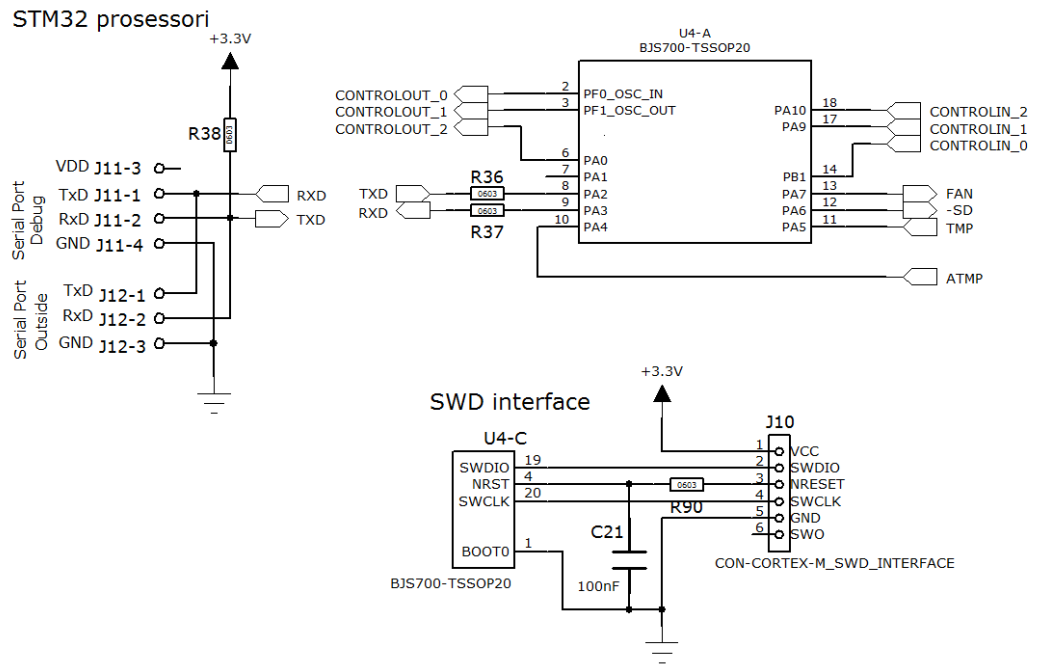
- 3,3 voltin kytkennässä: $1,25V (1 + 360 / 220) = 3,3$ voltia
- 5,0 voltin kytkennässä: $1,25V (1 + 644 / 220) = 4,9$ voltia



Kuvio 6. Regulaattoriyhtykennän piirikaavio

5.1.4 STM32-mikrokontrolleri

STM32-mikrokontrollerit ovat ST Microelectronicsin valmistamia laadukkaita 32-bittisiä mikrokontrollereita, jotka toimivat $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötila-alueella. Piiri toimii 2,4 - 3,6 voltin käyttöjännitteellä, ja pienen virrankulutuksen ansiosta se soveltuu hyvin monenlaisiin sovelluksiin. ST Microelectronicsin tarjoaman STM32CubeMX graafisen ohjelman avulla piirilevy suunnittelija voi konfiguroida kontrollerin pinnien käytön, mikä helpottaa piirikaavion piirtämistä. Piirikaavio näkyy kuviossa 7.

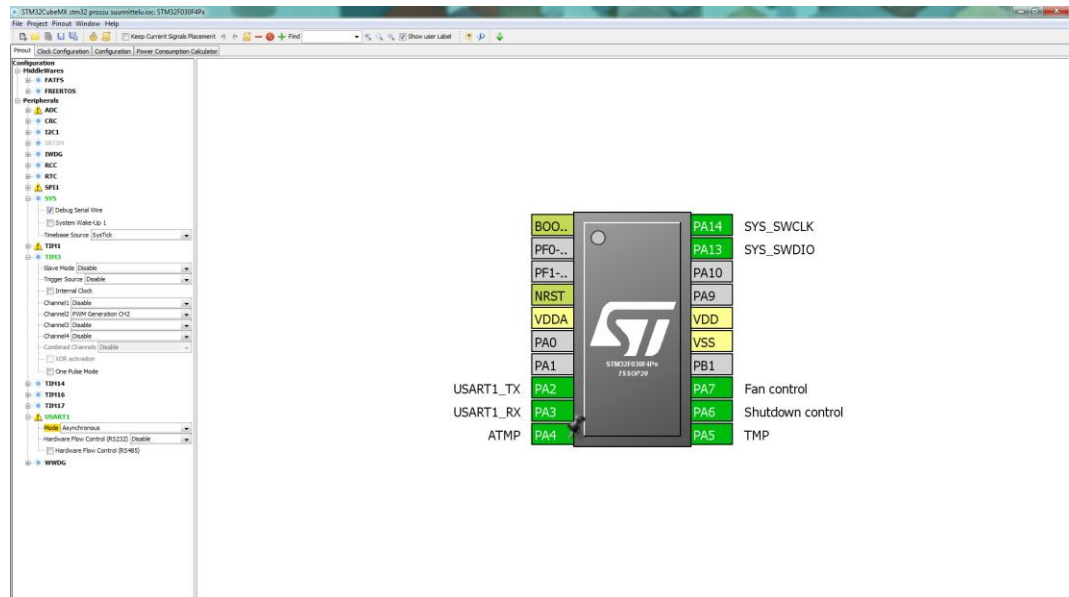


Kuvio 7. STM32-mikrokontrollerin kytkennän piirikaavio

Ohjelmistosuunnittelija saa generoitua toteutetun suunnitelman C-kielelle ohjelmoidessaan mikrokontrollerin toiminnot, mikä helpottaa kontrollerin alustamista. Kuviossa 8 näkyvän suunnitelman mukaisesti kontrollerilta otettiin käyttöön seuraavat toiminnot:

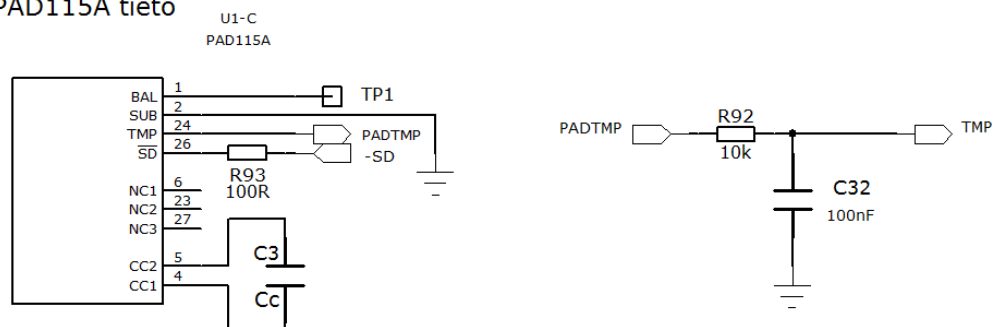
- PA2: Sarjaliikenneväylän TX
- PA3: Sarjaliikenneväylän RX
- PA4: LM35-lämpötila-anturin analogiatulo
- PA5: PAD115A-moduulin analogiatulo
- PA6: PAD115A-moduulin sammutuslähtö
- PA7: Tuulettimen ohjauslähtö
- PA13, PA14, NRST ja BOOT0: Kontrollerin ohjelmointinastat.

Suunnitelmassa näkyy myös kontrollerin käyttöjännitepinnit. Vapaat pinnit otetaan käyttöön tarvittaessa kontrollerin ohjaustuloihin ja ohjauslähtöihin.



Kuvio 8. STM32CubeMX -ohjelmalla toteutettu käyttösuunnitelma

PAD115A tieto



Kuvio 9. Piirikaavio PAD115A-moduulilta prosessorille lähtevistä signaaleista

PAD115A-moduuli on kytketty mikrokontrolleriin kuviossa 9 mukaisesti. Kuvassa näkyvä Cc-kondensaattori toimii vahvistinkytkennän kompensoinnissa, mikä estää vahvistetun signaalin yliohjautumisen. Kondensaattorin C32 on tarkoitus poistaa vahvistinmoduulilta tulevia häiriöitä päätyvästä mikrokontrollerille.

5.1.5 STM32-mikrokontrollerin ohjaustulot

Tulevaisuuden varalle suunnitteluvaiheessa kytkentään lisättiin kolme galvaanisesti erotettua ohjaustuloa, jos laitetta haluttaisiin ohjata esimerkiksi ulkoisilla kytkimillä. Kytkentään voidaan syöttää turvallisesti esimerkiksi 12 voltin jännitettä. Optoerottimen avulla ohjataan 3,3 voltin jännitettä, joka kytkeytyy mikrokontrollerin I/O-väylään. Normaalitilassa 3,3 voltin jännite menee mikrokontrollerille ja ohjaustuloille varatut pinnit ovat tilassa 1. Kun 12 voltin jännite kytketään liittimeen J13, jännite maadoittuu optoerottimien kautta ja mikrokontrollerien pinnit siirtyvät tilaan 0.

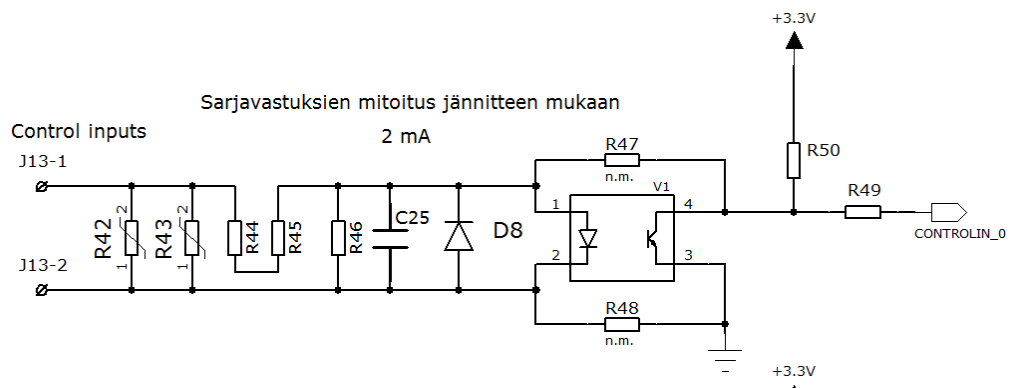
Ohjaustulot on kytketty kuvion 10 mukaisesti. Varistorit R42 ja R43 toimivat ylijännitesuojana. Vastukset R44 ja R45 mitoitetaan sisääntulevan virran mukaan rajoittamaan optoerottimille tulevaa virtaa. Lisäksi kytkennässä on häiriöpoistokondensaattori C25 ja polariteettisuojaodiodi D8.

Vastuksien määrittäminen 12 voltin kytkennälle:

Virta $I_{\max} = 2 \text{ mA}$

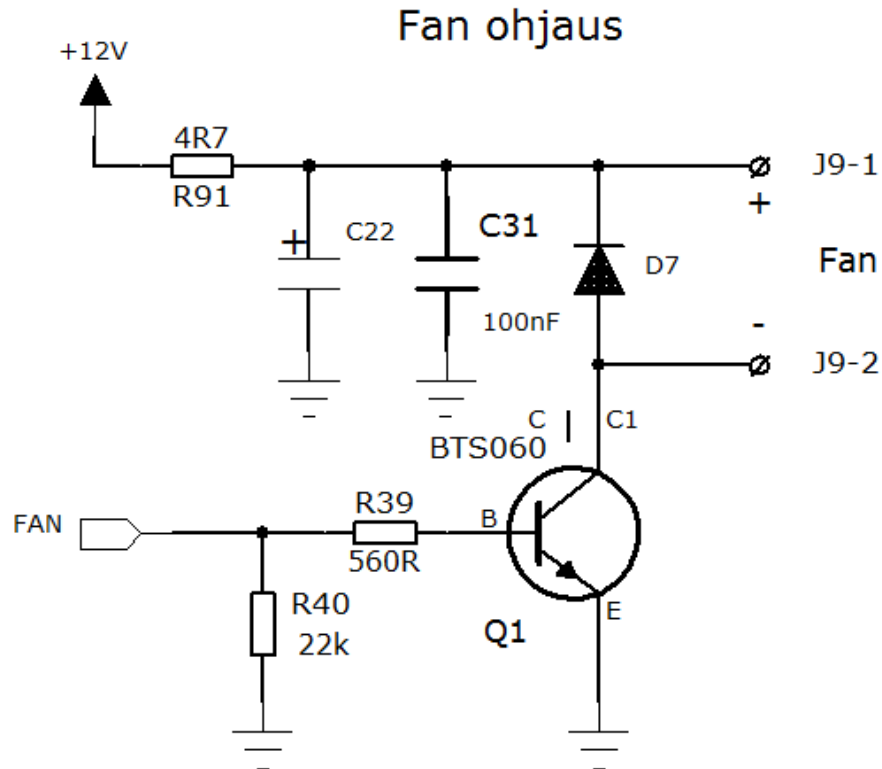
Jännite $U = 12 \text{ V}$

Vastukset $= U / I_{\max} = 12 \text{ V} / 0,002 \text{ A} = 6 \text{ k}\Omega$



Kuvio 10. Ohjaustulojen piirikaavio

saadaan mikrokontrollerilta, joka kytkeytyy transistorin Q1 kantaan ja avaa transistorin. Elektrolyyttikondensaattori C22 suojaa piirilevyä tuulettimen mahdollisesti aiheuttamilta häiriösignaaleilta.



Kuvio 12. Jäähdytystuulettimen ohjauskytkennän piirikaavio

5.1.8 LM35-lämpötila-anturi

LM35 on lämpötila-anturi, joka mittaa anturin ympäröivää lämpötilaa. Anturin lähtöjännite on lineaarisesti verrannollinen celsius-asteikkoon, ja tämän vuoksi sitä on helppo käyttää lämpötilasovelluksissa. Anturin mittaaman lämpötilan avulla voidaan ohjata PAD115A-moduulin tuuletinta sekä toteuttaa testausjärjestelmän ylikuumenemissuoja, joka sammuttaa järjestelmän lämpötilan noustessa liian korkeaksi.

Anturin käyttöjännitealue on 4-30 volttia, jonka takia mikrokontrollerille suunniteltua 3,3 voltin jännitettä ei voida hyödyntää lämpötila-anturin kytkennässä. Kytkennässä käyttöjännite on toteutettu 5 voltin jännitteellä, jonka toteutus on aiemmin selvitetty luvussa 5.1.3. Anturin lähtöjännite

Piirilevysuunnittelusäännöt määrittävät säännöt, jotta laitteesta tulee turvallinen ja sen valmistus onnistuu käytössä olevilla laitteilla. Säännöt esimerkiksi määrittävät tarvittavan johdinleveyden ja eristevälin siinä kulkevan virran mukaan. Piirilevymateriaalina käytetään FR4-lasikuitulevyä ja kuparin paksuus levyllä on 35 μm . Taulukot 1 ja 2 osoittavat yleiset suunnittelusäännöt.

TAULUKKO 1. Virran suhde johdinleveyteen ja eristeväliin (Prinel 2017).

Virta / A	Johdinleveys / mm	Eristeväli / mm
1	0,3	0,2
2	0,8	0,3
5	2,5	0,35
10	8,0	0,5

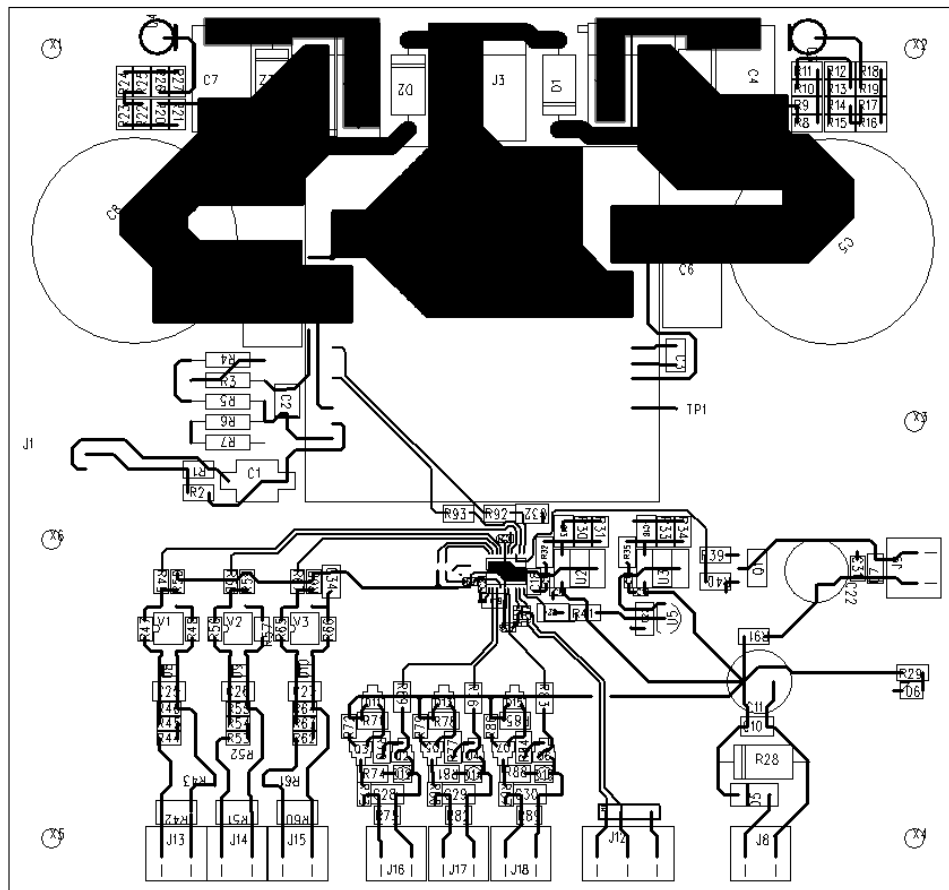
TAULUKKO 2. Läpiladottavan komponentin reiän halkaisijan suhde kauluksen leveyteen (Prinel 2017).

Reiän halkaisija / mm	Kaulus / mm
0,8	1,15
1	1,4
1,2	1,7
1,5	2,1

5.2.1 Piirilevyn komponenttipuoli

Laitteen piirilevy suunniteltiin 2-kerroslevyksi siten, että komponentit sijoitettiin yläpuolelle ja reititykset tehtiin mahdollisuuksien mukaan mahdollisimman paljon piirilevyn komponenttipuolella kuvion 14 mukaisesti. Suurien virtojen takia vahvistimen käyttöjänniteiden ja lähdön johtimet on piirretty mahdollisimman leveiksi.

Piirilevy jaettiin pituussuunnassa kahteen osaan, joista toinen käsittelee vahvistinmodulin kytkentöjä ja toinen mikrokontrollerin kytkentöjä. Komponentit on sijoitettu piirilevylle lohkoittain, ja vetojen pituudet on pyritty pitämään mahdollisimman lyhyinä häiriöiden syntymisen estämiseksi. Liittimien paikat ovat levyn reunoilla helposti käsiteltävissä paikoissa, ja ne on selkeästi ryhmitelty.

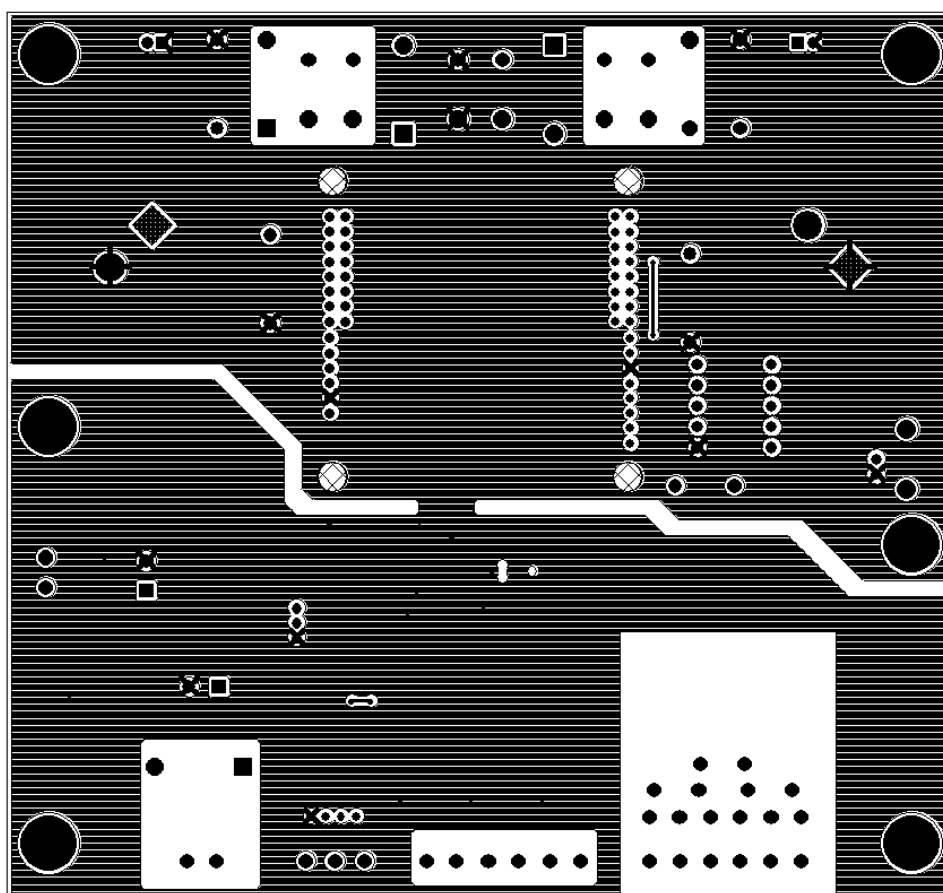


Kuvio 14. Komponenttipuolen piirilevysuunnitelukuva

5.2.2 Maataso

Piirilevyn alapuolelle haluttiin mahdollisimman suuri maataso, joka olisi mahdollisimman häiriintymätön laitteen jännitesignaaleista. Piirilevyllä näkyvät valkoiset alueet on haluttu erottaa maatasosta kytkentöjen toiminnan takaamiseksi.

Kuten kuviosta 15 voidaan todeta, piirilevyn maataso on yhtenäinen ja se on toteutettu kaksiosaisena. Tämä tarkoittaa sitä, että PAD115A-moduulin kytkentöjen ja muun elektronikan maataso on erotettu eristevälillä. Maatasot on yhdistetty kapealla johtimella maatasojen potentiaalin tasaamiseksi. Eristevälin tarkoituksena on estää pienelektronikan häiriöiden johtuminen vahvistimen signaaleihin.



Kuvio 15. Maatason piirilevysuunnittelukuva

6 MITTAUKSET

6.1 Laitteen todennus

Piirilevysuunnittelun jälkeen piirilevyt tilattiin tehtaalta ja komponentit ladottiin piirilevylle. Valmiille laitteelle suoritetaan todentaminen, jotta toiminnalliset lohkot toimivat kuten on suunniteltu ja laite on turvallinen käyttää. Viimeisenä koko testausjärjestelmä kytketään käyttöön ja toteutetaan raportoidut testimittaukset asiakkaalle.

Signaalinvahvistin on tarkoitettu yrityksen omaan käyttöön, joten päätettiin tehdä tiiviit todentamistestit. Todentamisessa tarkastetaan toiminnallisten lohkojen jännitteiden oikeellisuus ja virrankulutus. Komponenttien lämpötilat todennetaan lämpökameran avulla. Todentamisen avulla laite pystytään toteamaan turvalliseksi käyttää.

6.1.1 Oheiselektroniikkalohkojen todentaminen

12 voltin jännitelohko syöttää jännitettä ohjauslähtö- ja regulointikytkentöjen lisäksi vahvistinmoduulin tuulettimelle. Kytkennästä todennetaan kytkennän ottama tyhjäkäyntivirta ilman ulkoista kuormaa ja mitataan merkkivalon LED-virta.

- tyhjäkäyntivirta: 20,6 mA @ 12 V, Ok
- merkkivalo: LED-virta on 9,3 mA @ 12 V, Ok.

5 voltin jännitelohkon tarkoituksena on syöttää jännitettä LM35-lämpötila-anturille. Kytkennästä todennetaan kytkennän sisääntulo- ja ulostulojännite. Jännitteiden mittauksen lisäksi mitataan LM317 regulaattoreiden lämpötila huoneen lämpötilan ollessa 23,5 °C.

- $V_{in} = 12 \text{ V}$, Ok
- $V_{out} = 4,9 \text{ V}$, Ok
- regulaattorin lämpötila: 27 °C, Ok.

LM35-lämpötila-anturin kytkennästä todennetaan sisääntulo- ja ulostulojännite. Lasketaan anturin mittaama lämpötila luvussa 5.1.8 käsitellyllä kaavalla ja verrataan sitä huoneen lämpötilaan, joka on 23,5 °C.

- $V_{in} = 4,9 \text{ V}$, Ok
- $V_{out} = 0,24 \text{ V}$ -> mitattu lämpötila on 24 °C, Ok.

3,3 voltin jännitelohkon tarkoituksena on syöttää käyttöjännite STM32-mikrokontrollerille. Lisäksi 3,3 voltin jännitteen avulla toteutetaan kytkentäsignaalit tuulettimen ja ohjaustulojen kytkennöille. Kytkennästä todennetaan kytkennän sisääntulo- ja ulostulojännite. Lisäksi mitataan LM317-regulaattorin lämpötila huoneen lämpötilan ollessa 23,5 °C.

- $V_{in} = 12 \text{ V}$, Ok
- $V_{out} = 3,3 \text{ V}$, Ok
- regulaattorin lämpötila: 27 °C.

Tuulettimen ohjauskytkennällä käynnistetään vahvistinmoduulin jäähdystuuletin. Kytkennästä todennetaan kytkennän sisääntulo- ja ulostulojännite ja mitataan tuulettimen virrankulutus. Virrankulutusta verrataan moduulin datalehden antamaan virrankulutukseen, joka on 150 mA.

- $V_{in1} = 12 \text{ V}$, Ok
- $V_{ohj} = 3,3 \text{ V}$, Ok
- $V_{out} = 11,3 \text{ V}$, Ok
- tuulettimen virrankulutus on 140mA, Ok.

Mikrokontrollerin ohjauslähtöjen kytkennällä voidaan syöttää 12 voltin jännitettä piirilevyttä ulos. Kytkennästä todennetaan kytkennän sisääntulo- ja ulostulojännite ja tarkistetaan merkkivalojen toiminta.

- $V_{in1} = 12 \text{ V}$, Ok
- $V_{ohj} = 3,3 \text{ V}$, Ok
- $V_{out} = 11,2 \text{ V}$, Ok

- merkkivalot: Ok.

Mikrokontrollerin ohjaustulojen kytkennällä voidaan vastaanottaa ulkopuolista 12 voltin jännitettä mikrokontrollerin ohjaamiseksi. Kytkennästä todennetaan kytkennän sisääntulo- ja ulostulojännite. Mikrokontrollerin vastaanottopinnit ohjelmoidaan aktivoitumaan nollassa. Mikrokontrollerin nollassa maksimijännite on 1,5 V.

- $V_{in} = 12 \text{ V}$
- $V_{out} = 0,1 \text{ V}$, Ok.

6.1.2 Vahvistinkytkennän todentaminen

Positiivisen käyttöjännitelohkon tarkoituksena on syöttää maksimissaan 200 voltin positiivista tasajännitettä vahvistinmoduulille. Kytkennästä todennetaan kytkennän ottama tyhjäkäyntivirta 100 voltin jännitteellä ilman ulkoista kuormaa ja mitataan merkkivalon LED-virta. Koska mittaus tehdään 100 voltin jännitteellä 200 voltin maksimijännitteen sijasta, lasketaan LED-virran laskennallinen arvo maksimijännitteellä.

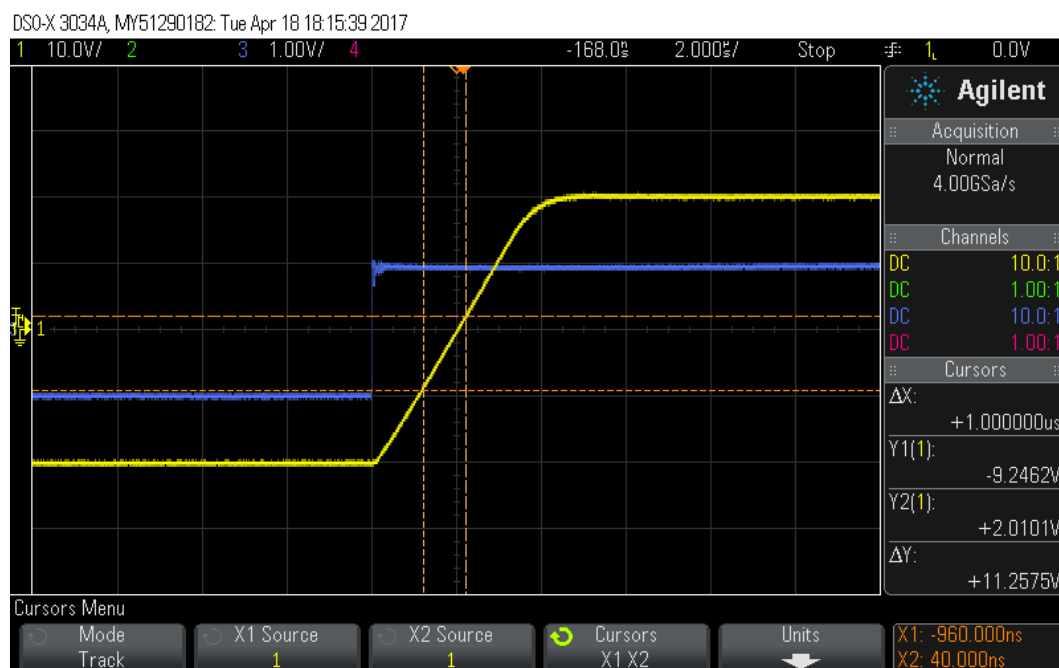
- tyhjäkäyntivirta: 4,8 mA @ 100 V, Ok
- merkkivalo: LED-virta on 4,8 mA @ 100 V, Ok
- merkkivalo: laskennallinen LED-virta @ 200 V = 9,6 mA, Ok.

Negatiivisen käyttöjännitelohkon tarkoituksena on syöttää maksimissaan 50 voltin negatiivista tasajännitettä vahvistinmoduulille. Kytkennästä todennetaan kytkennän ottama tyhjäkäyntivirta -50 voltin jännitteellä ilman ulkoista kuormaa ja mitataan merkkivalon LED-virta.

- tyhjäkäyntivirta: 9,7 mA @ -50 V, Ok
- merkkivalo: LED-virta on 9,7 mA @ -50 V, Ok.

Signaalinvahvistuslohkon tarkoituksena on syöttää vahvistettava signaali vahvistinmoduulille ja vahvistaa se noin 20 kertaiseksi. Kytkentään kuuluu operaatiovahvistimen tarvitsema takaisinkytkentä, jolla määritetään vahvistuksen taso. Signaalinvahvistuksen todentamisessa luotiin

testisignaali, joka nousee negatiivisesta -1 voltin jännitteestä positiiviseen +1 voltin jännitteeseen. Testisignaalin tarkoituksena on todentaa vahvistimen vahvistus ja moduulin nopeus nostaa jännitettä. Testimittauksen kuvaaja näkyy kuviossa 16. Kuvaajassa sininen signaali on testisignaali ja keltainen signaali vahvistettu signaali. Vahvistetun signaalin jännite nousee -20 voltista +20 volttiin ja vahvistimen kyky nostaa jännitettä mikrosekunnissa on 11,3 volttia.



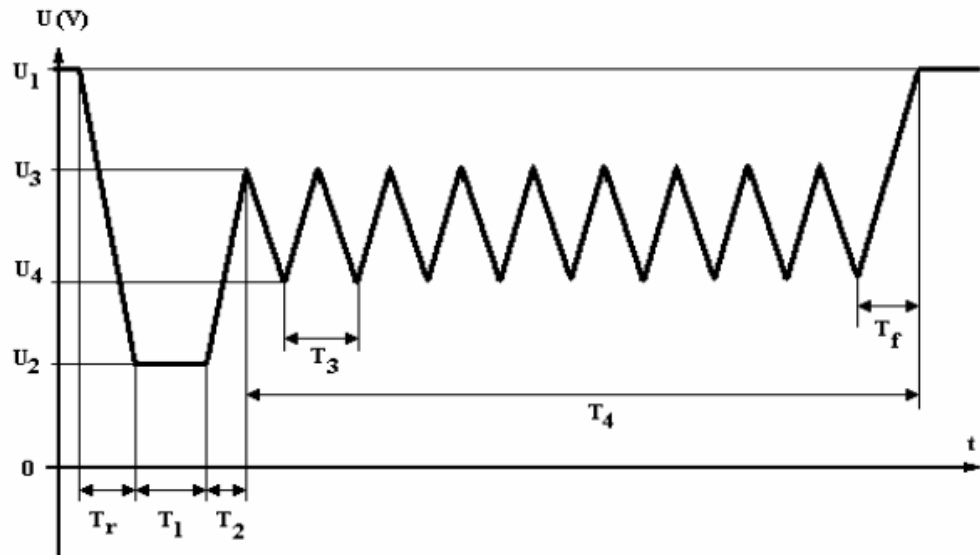
Kuvio 16. Testisignaalin kuvaaja

6.2 Esimerkkimittaus tuotteelle

Bussivalaisimia koskeva standardi ISO 7637-2 määrittää, että viralliset tyyppitestaukset tuotteille tehdään kolmannen osapuolen toimesta. Tavoitteena on pystyä todentamaan tuotteiden häiriötön toiminta toteutetun testausjärjestelmän avulla ennen kuin tuote lähetetään mittauksiin ulkopuoliselle yritykselle. Kun tuotteet voidaan testata jo ennen virallisiin testeihin lähettämistä, voidaan häiriöt todeta jo tuotekehitysvaiheessa ja näin ollen testauskulut pienenevät.

Esimerkkimittauksessa suoritetaan testimittaus, joka on määritelty 7637-2 -standardissa. Kuvion 17 mukainen signaali kuvastaa auton

käynnistystilannetta ja siitä johtuvaa jännitteen vaihtelua starttimoottorin pyöriessä. Signaali on tarkoitettu 24 voltin jännitteellä toimivien tuotteiden testaamiseen. Taulukko 3 osoittaa standardin määrittämät signaalin jännitetasot tietyllä ajanjaksolla.

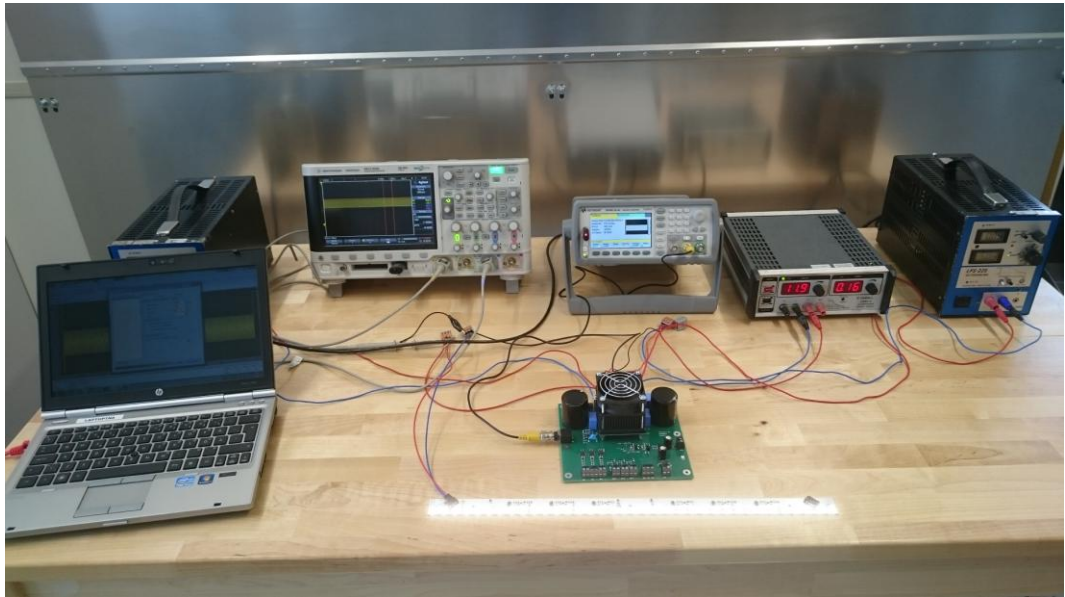


Kuvio 17. Testisignaalin kuvaaja

TAULUKKO 3. Testisignaalin jännitetasot

Parameter	System
U ₁ (V)	24±1
U ₂ (V)	10±2
U ₃ (V)	16±2
U ₄ (V)	13±1
T _r (ms)	15±5
T _f (ms)	15±5
T ₁ (ms)	100±20
T ₂ (ms)	1±2
T ₃ (ms)	120±20
T ₄ (s)	20±5

Testaus aloitetaan testausjärjestelmän kokoamisella kuvan 4 mukaisesti. Tämän jälkeen testisignaali luodaan tietokoneella. Valmis signaali siirretään signaaligeneraattorille ja testausjärjestelmä käynnistetään. Kun kytkentä on todettu toimivaksi ja oskilloskoopin asetukset on määritetty, testaus voidaan aloittaa. Testisignaalin pituus on 21 sekuntia, jonka aikana testattava valaisinkortti välkkyi. Välkkyminen on sallittua standardin ohjeistuksen mukaisesti. Tuotteen täytyy kuitenkin testin jälkeen palata normaaliin toimintatilaan.



Kuva 4. Testausjärjestelmä

Mittauksesta tuotetaan testausraportti englanniksi, joka on tämän opinnäytetyön liitteenä (liite 1). Raportissa todennetaan testisignaali ajetuksi ja se, onko tuote läpäissyt testin hyväksytysti. Raportista täytyy ilmetä testausajankohta, testauksen suorittaja ja testausolosuhteet. Raportissa viitataan sovellettavaan standardiin ja todetaan standardin vaatimat hyväksymiskriteerit. Tämän esimerkkimittauksen tuote suoriutui testistä hyväksytysti.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa ISO 7637-2 -standardin mukainen testausjärjestelmä Teknoware Oy:n käyttöön sekä suorittaa esimerkkitestaus järjestelmän avulla. Opinnäytetyön keskeisin osio oli signaalinvahvistimen suunnittelu PADS VX.2.1 -ohjelmistolla. Suunnittelu sisälsi piirikaaviosuunnittelun ja piirilevysuunnittelun. Työssä perehdyttiin myös signaalien luomiseen Keysightin BenchLink Waveform Builder -ohjelmiston avulla ja niiden käyttämiseen signaaligeneraattorilla. Oskilloskoopilla avulla todennettiin esimerkkimittaus.

Testausjärjestelmän todentaminen osoitti, että laitteisto toimii oikein ja sillä on mahdollista toteuttaa osa käsitellyn standardin mukaisista mittauksista. Osa mittauksista vaatisi tehokkaamman vahvistinmodulin kuin PAD115A on. Testausjärjestelmän jatkokehityksen kannalta tehokkaamman modulin löytäminen avaisi enemmän mahdollisuuksia hyödyntää testauslaitteistoa. Keysightin BenchLink Waveform Builder -ohjelmisto, joka valittiin signaalien luomiseen, on haastava ohjelmisto käyttää ilman perusteellista opettelua ja vaatii maksullisen version kaikkien ominaisuuksien käyttöön. Ohjelmiston tärkeimpänä valttina on yhteensopivuus Keysight TrueForm 33512B -signaaligeneraattorin kanssa.

Teknoware Oy:n tarjoama tehtävä kehittää testauslaitteisto opinnäytetyönä oli mielestäni mielenkiintoinen toteuttaa. Työtä toteutettaessa opin paljon piirilevysuunnittelusta ja työhön liittyvien kytkentöjen toimintaperiaatteista. Työssä oli mahdollisuus toteuttaa käytännössä koulussa opittuja taitoja ja syventää ammatillista kehitystä asiantuntijoiden ohjaamana.

Toteutetun testauslaitteiston hyödyntäminen osana tuotekehityksen todentamistehtäviä vaatii vielä jatkokehitystä, jotta haluttuihin tuloksiin päästään. Järjestelmän kehitystä jatketaan työn toimeksiantajan resursseilla. Lähtökohtaisesti opinnäytetyö kuitenkin osoitti, että laitteistolla voidaan saavuttaa halutut tavoitteet testauskustannuksien laskemisessa ja laadun varmistamisessa.

LÄHTEET

ISO 2017a. All about ISO: What we do [viitattu 14.3.2017]. International Organization for Standardization. Saatavissa: <https://www.iso.org/what-we-do.html>.

ISO 2017b. ISO 7637-2:2011: Road vehicles – Electrical disturbance from conduction and coupling – Part 2 [viitattu 14.3.2017]. International Organization for Standardization. Saatavissa: <https://www.iso.org/standard/50925.html>

Keysight 2017a. Keysight: 33500B Series Trueform Waveform Generators, 20 & 30 MHz [viitattu 21.3.2017]. Keysight Technologies. Saatavissa: <http://www.keysight.com/en/pc-2153501/33500b-series-waveform-generators-20-30-mhz?pm=RP&nid=-33134.0&cc=FI&lc=fin>

Keysight 2017b. Keysight: 33503A BencLink Waveform Builder Pro Software [viitattu 11.4.2017]. Keysight Technologies. Saatavissa: <http://www.keysight.com/en/pd-1962285-pn-33503A/benchlink-waveform-builder-pro-software?nid=-536902257.977229.00&cc=FI&lc=fin>

Keysight 2017c. Keysight: DSOX3034T Oscilloscope [viitattu 21.3.2017]. Keysight Technologies. Saatavissa: <http://www.keysight.com/en/pdx-x202175-pn-DSOX3034T/oscilloscope-350-mhz-4-analog-channels?nid=-32541.1150352&cc=FI&lc=fin&pm=ov>

PowerAmp Design 2017. PowerAmp Design: PAD115A datasheet [viitattu 21.3.2017]. PowerAmp Design. Saatavissa: http://www.powerampdesign.net/images/PAD115A_Rev_D.pdf

Prinel. 2017. Prinel Oy: Suunnitteluohjeet [viitattu 11.4.2017]. Prinel Oy. Saatavissa: <http://prinel.fi/suunnitteluohjeet-6>

Tikkanen, H. 1997. PADS Piirilevysuunnitteluopas. Jyväskylä: DS-Design Systems Oy.

Tikkanen, H. 2004. PADS Piirilevysuunnitteluopas 2. Jyväskylä: DS-Design Systems Oy.

Yrjölä, E. 1990. Sähköstandardisointimme kehitysvaiheet. Kouvola: Kouvolan kirjapaino Oy.

LIITTEET

LIITE 1. Test Report



Test Report

Page 1 of 4

Date of testing: 19.04.2017

Date of report: 19.04.2017

Test 1:

Conducted susceptibility

Equipment under test:

LLU112X

Load:

36 x 0,2W LEDs

Type:

-

Input voltage:

24,0 VDC

Output voltage:

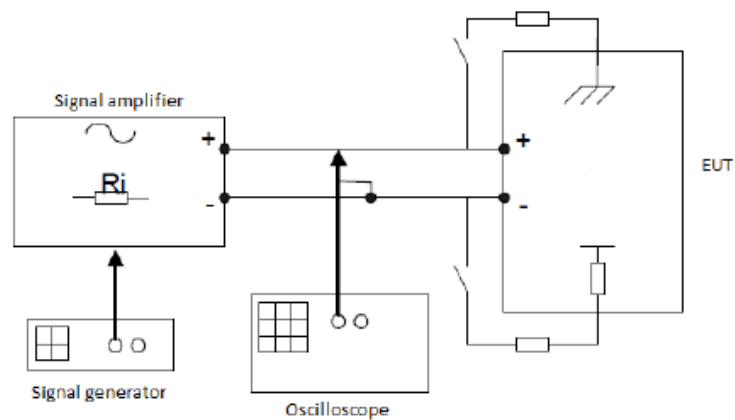
Input cable length:

0,5 m (0,5 mm²)

Standard(s) applied in test:

ISO 7637-2

Test setup layout:



Test condition:

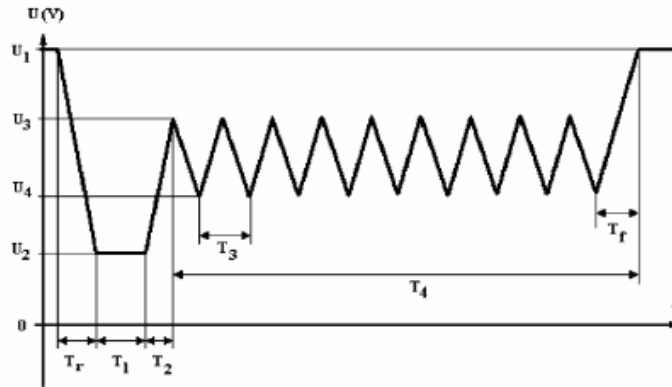
Temperature: 23,5 °C
Humidity: 54,3 %RH
Air pressure: 1019,0 hPa

Operation condition:

Normal state of operation.

Test procedure:

The test was conducted to the requirements in the table below:



Parameter	System
U_1 (V)	24±1
U_2 (V)	10±2
U_3 (V)	16±2
U_4 (V)	13±1
T_r (ms)	15±5
T_r (ms)	15±5
T_1 (ms)	100±20
T_2 (ms)	1±2
T_3 (ms)	120±20
T_4 (s)	20±5

Pass/fail criteria:

Performance criteria: C

A function of a device / system is not performed as designed during exposure but returns automatically to normal operation after exposure is removed.

Test observing method:

Load intensity of the EUT was visually checked. Input current must return to back same value before test.

Test equipment:

- Keysight TrueForm 33512B Waveform Generator
- KAPR0021 - Signal Amplifier
- Agilent InfiniiVision DSO-X 3034A

Description of test:

This pulse originates from switching off an inductive load in parallel with the tested component / system, e.g. electrical valves without clamp diodes.

Test results:

Test passed.
Lights flashes during the test.
Normal performance within the specification limits.
Visually no variation on the intensity after the test.
Input current was the same as before test.

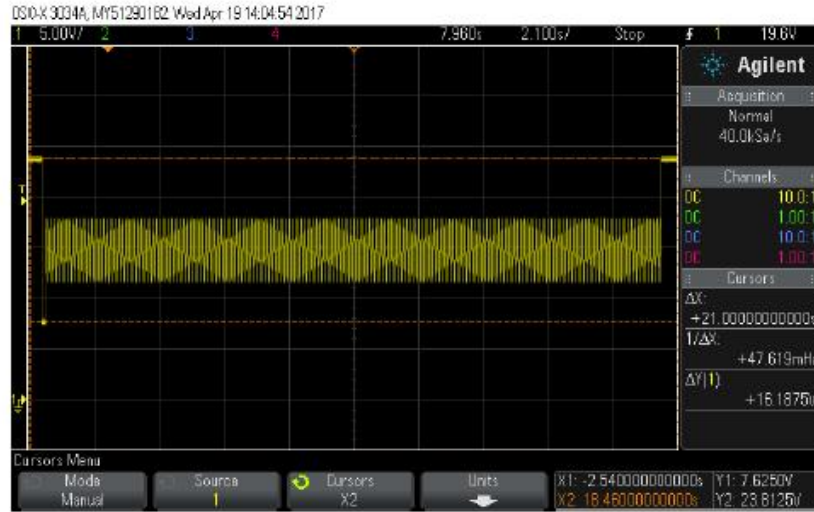
Test	Notice	Result
Test 1	-	Passed

Tested by:

TNä

Checked by:**Approved by:**

Appendix 1 Conducted susceptibility test for LLU112X, Main supply



Appendix 2 Picture of the test setup, Main supply

