

KYTKENTÄVIRRRAN MITTALAITE

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietokone-elektroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2010
Petri Kyyrönen

Lahden ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma

KYYRÖNEN, PETRI: KytKentävirran mittalaite

Tietokone-elektroniikan opinnäytetyö, 44 sivua, 4 liitesivua

Kevät 2010

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö käsittelee kytKentävirran mittalaitteen suunnittelun eri vaiheita, ja kytKentöjen toimintoja. Mittalaitteen toiminta perustuu EN50311-standardiin, jonka määräysten mukaan kytKennät on suunniteltu. Tämä mittalaite tehdään Teknoware Oy:n käyttöön, ja sillä tullaan mittaamaan rautatiesovelluksissa käytettävien vaihtosuuntaajien kytKentävirtoja.

Mittalaitteen kytKentä koostuu RC-piiristä, jolla saadaan ladattua mittalaitteeseen tuleva kondensaattori. Kondensaattorista mitataan myös jännitettä Lascarin valmistamalla DPM100S-jännitemittarimoduulilla. Jännitemittarille tarvitaan käyttöjännitteeksi +5V, joka on toteutettu sarjaregulaattorikytkennän avulla. Regulaattori koostuu npn-transistorista ja zenerdiodista. KytKentävirta mitataan liipaisemalla tyristori johtavaksi, minkä jälkeen kytKentävirta mitataan vastuksen ja oskilloskoopin avulla.

Mittalaitteen piirilevyn suunnittelussa käytetään ohjelmana Pads:a, jolla suunnitellaan kytKennän piirikaavio ja piirilevyn johdotukset. Piirilevyn valmistuksessa käytetään Teknowarella olevaa jrsintä.

Työn lopussa käydään läpi mitä ongelmia testauksien aikana ilmeni ja kuinka ne on saatu ratkaistua. Vaihtosuuntaajien kytKentävirtojen mittaukset helpottuivat ja nopeutuivat, koska mittalaitteen käyttäily on nyt selkeämpi ja tätä kautta helpompi käyttää. Koska mittalaite on helppokäyttöisempi, niin tämän kautta saadaan suoritettua mittauksia aikasempaan versioon verrattuna enemmän.

Avainsanat: KytKentävirta, EN50311

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Information Technology

KYYRÖNEN, PETRI:

Inrush current meter

Bachelor's Thesis in Computer Electronics, 44 pages, 4 appendices

Spring 2010

ABSTRACT

This thesis deals with the design stages and switching procedure of an inrush current measuring device. The operation of the measuring device is based on EN50311 standards, and the switches were designed in accordance with those regulations. The measuring device was made for Teknoware Ltd and it will be used for measuring inrush currents of inverted rectifiers in railway applications.

The measuring device consists of an RC circuit, which is used to charge the capacitors in the switch. The voltage of the capacitor is also measured by a DPM100S voltmeter made by Lascar. The Voltmeter is operation voltage is +5V and it is made by serial regulation switching. Regulation switching consists of one npn-transistor and a zener diode. Inrush current is measured by triggering a thyristor conductive and the inrush current will be measured by resistance and an oscilloscope.

Pads software was used to make the circuit board of the measuring device. The circuit diagram and the circuit board wirings were also designed with Pads. Teknoware has a circuit board milling machine that was used to manufacture The circuit board.

The final part of the thesis describes what kind of problems occurred and how they were solved. The inrush currents of the inverted rectifier can now be accomplished more easily and quickly because the user interface of the measuring device is more logical and easier to use. Therefore more measurements can be performed when compared to the earlier version.

Key words: Inrush current, EN50311

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	STANDARDIT	2
2.1	Standardien hyödyt	3
2.2	EN50311 -standardi	4
2.3	Työn määrittely	5
3	KYTKENTÄVIRTASYSÄYS	6
4	MITTALAITTEEN KOMPONENTIT JA KYTKENNÄT	7
4.1	DPM100S -jännitemittari	7
4.2	KytKentävirran mittaus	11
4.3	RC- piiri	12
4.4	Kondensaattorin valinta	15
4.5	Regulaattorikytkentä	16
4.6	Diodi kytkennät	20
4.7	Tyristorin liipaisu	23
4.8	Sulakkeet	25
4.9	Vastuksien mitoitus	25
5	ELEKTRONIKKALAITTEIDEN SUUNNITTELU	26
5.1	Elektroniikkalaitteiden luotettavuus	27
5.1.1	Komponenttien rasitusvara	28
5.1.2	KytKennän varmentaminen	28
5.1.3	Sähköiset häiriöt	29
5.1.4	Lämpötilan, kosteuden ja värinän vaikutus luotettavuuteen	29
5.2	KytKentävirran mittalaitteen suunnittelu	30
5.3	Piirilevysuunnittelu	31
5.3.1	Pads 32	
5.3.2	Piirilevyn jyrsiminen	33
5.4	Kotelointi	34
6	MITTALAITTEEN KYTKENNÄN TOIMINTA	35
7	MITTAUKSET	37
7.1	Kalibrointi	37
7.2	Mittalaitteen testaus	37

8 YHTEENVETO

40

LÄHTEET

42

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Teknoware Oy:lle, joka toimii valaisinelektroniikan valmistajana, ja yrityksen tuotteita ovat erilaiset turvavalo- ja kulkuneuvovalaisimet. Valaisimia toimitetaan yli 50:een eri maahan, ja kaiken kaikkiaan viennin osuus tuotannosta on yli 70%:a.

Teknowarella valmistetaan vaihtosuuntaajia, joita käytetään muuntamaan tasavirta vaihtovirraksi. Vaihtosuuntaajia käytetään silloin, kun ei ole saatavilla vaihtojännitettä. Teknowarella valaisimien vaihtosuuntaajat joutuvat tyyppitesteihin, joissa testataan standardien määrittelemiä ominaisuuksia. Yksi näistä mitattavista ominaisuuksista on kytkentävirta. Kun kytkentävirta tiedetään, niin silloin saadaan mitoitettua vaihtosuuntaajien käyttöön sopivan kokoiset sulakkeet. Kytkentävirran testilaitteen kytkennän määrittelee eurooppalainen standardi EN50311, jossa on määritelty rautatiesovelluksissa käytettävien vaihtosuuntaajien ominaisuudet.

Työssä käsitellään kytkentävirtasysäyksen mittalaitteen suunnittelun eri vaiheet, kytkentöjen toiminnat ja käytetyt komponentit. Kytkentävirran mittaamisessa käytettiin oskilloskooppia ja kytkennän jännitteiden mittaamisessa yleismittaria. Laitteen testauksesta saadut lopputulokset esitellään työn lopussa. Piirilevyn suunnittelussa käytetään ohjelmistona Padsia, jolla suunniteltiin kytkennän piirikaavio ja piirilevyn johdotukset, itse piirilevyn valmistamisessa käytetään protojyrsintä.

2 STANDARDIT

Standardisoinnin tarkoituksena on laatia yhteiset säännöt, joiden tarkoituksena on helpottaa viranomaisten, elinkeinoelämän ja kuluttajien elämää. Standardeilla pyritään lisäämään tuotteille lisää turvallisuutta, suojelemaan kuluttajaa, ja helpottamaan kotimaista ja kansainvälistä kauppaa.

(Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.)

Standardeja laaditaan työryhmissä ja komiteoissa, joihin voi kuulua esimerkiksi viranomaisten, kaupan, teollisuuden, kuluttajien ja korkeakoulujen tutkimuslaitosten edustajia. Standardeja laatiessa otetaan kaikkien edellämainittujen tahojen mielipiteet huomioon, jotta päästäisiin yhteisymmärrykseen standardien sisällöistä. Standardit julkaistaan asiakirjoina, joita kuka tahansa voi hankkia maksua vastaan, ja näillä maksuilla rahoitetaan suurin osa standardijärjestöjen toiminnasta, joka kattaa suunnittelijoiden ja kehittäjien työkustannukset. (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry)

Standardit voivat olla voimassa yhdessä maassa, mutta nykyään pyritään eurooppalaisiin ja kansainvälisiin standardeihin, jotka ovat voimassa maailmanlaajuisesti. Standardien on pysyttävä mukana tekniikan kehityksessä, mikä on nykypäivänä tärkeää, koska tekniikka kehittyy hyvin nopeasti. Tämän takia standardeja pyritään tarkistamaan ja uudistamaan säännöllisesti. Standardin tarkastuksessa käydään läpi, mitä muutoksia menetelmät, materiaalit, laatu-, ympäristö-, ja turvallisuusvaatimukset vaativat.

(Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.)

Standardijärjestöjen toiminta-alueet (Kuvio 1) voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: kansalliseen, eurooppalaiseen tai maailmanlaajuiseseen (Kuvio1). ISON, IEC:n ja ITUn rinnalla toimivat eurooppalaiset standardisoimisjärjestöt CEN (European Committee for Standardization), sähköalan CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) ja telealan ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Suomea edustaa ISOssa ja CENissä SFS,

IEC:ssä ja CENELEC:issä SESKO sekä ITU:ssa ja ETSI:ssä Viestintävirasto.
(Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.)

Sähkötekninen ala	Muu standardisointi	Teleala
MAAILMANLAAJUINEN:		
IEC IEC-standardit	ISO ISO- standardit	ITU ITU-suositukset
EUROOPPALAINEN:		
CENELEC EN-standardit	CEN EN-standardit	ETSI EN-standardit
KANSALLINEN:		
SESKO SFS-standardit	Toimialayhteisöt SFS-standardit	Viestintävirasto SFS-standardit

KUVIO 1 Standardien toiminta-alueet ja niiden ala järjestöt (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry)

2.1 Standardien hyödyt

Standardien tarkoituksena on hyödyttää yhteiskuntaa esimerkiksi teollisuudessa, tutkimuksessa ja tieteessä. Kaikkien yhteisesti sovitut toiminnot nopeuttavat työtä, vähentävät virheitä, väärinkäsityksiä ja auttavat saamaan entistä parempia tuloksia. Standardien avulla saadaan tuotteet, palvelut ja menetelmät sopimaan siihen käyttöön ja niihin olosuhteisiin, mihin ne on tarkoitettu.

(Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.)

Standardit määrittelevät myös, miten kahden eri valmistajan tuotteet sopivat yhteen, mikä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi joissakin laitteissa käytetään vain yhden tyyppisiä liittimiä. Kun tuotetta valmistaa kaksi eri yritystä, niin tämän avulla saadaan tuotteelle kilpailua ja kilpailun kautta tuotteen hintaa alemmas. Standardeissa määritellään myös laitteen turvallisuuteen liittyvät asiat, jotka

voivat olla esimerkiksi paloturvallisuus ja sähköturvallisuus. (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.)

2.2 EN50311 -standardi

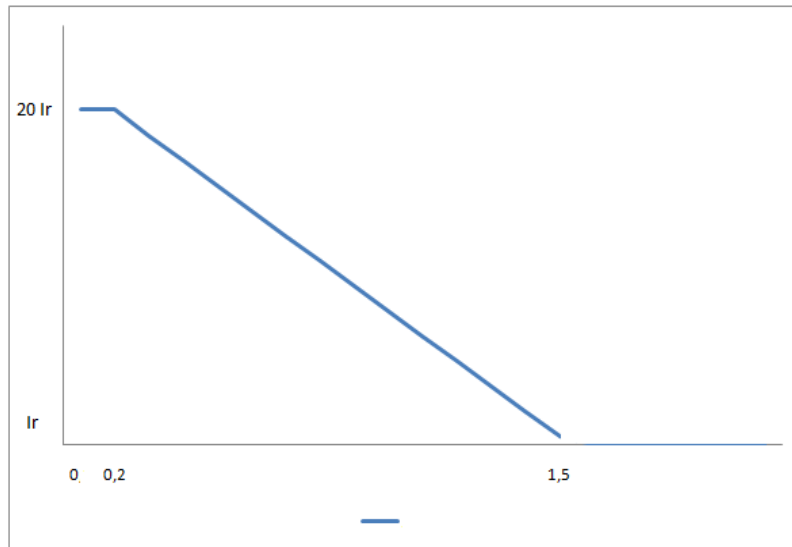
Standardeilla määritellään laitteille tiettyjä ehtoja, joita tulee noudattaa, jotta laitteelle saadaan tyyppihyväksyntä ja standardimerkinnot. Standardi EN50311 on eurooppalainen standardi, joka määrittelee rautatiesovelluksissa käytettäviin vaihtosuuntaajiin tehtävät tyyppitestit, jotka täytyy suorittaa. Yksi näistä tyyppitesteistä on kytkentävirran mittaus, joka tulee mitata vaihtosuuntaajista. Kun kytkentävirta tiedetään, niin tämän avulla saadaan mitoitettua junanvaunujen jännitesyöttöjen sulakkeet. (European Standard EN50311.)

Standardi en50311 määrittelee vaihtosuuntaajien käyttöjännitteet ja sen, kuinka paljon jännite saa vaihdella nimellisjännitteestä (Taulukko 1). Kytkentävirta tullaan mittaamaan vaihtosuuntaajista, jotka käyttävät 24V:n - 147V:n käyttöjännitettä, joten mittalaitteen jännitealue riippuu siitä, minkä tyyppinen laite on mittauksessa. Taulukossa 1 on EN50311 standardin määrittelemät vaihtosuuntaajien käyttöjännitteet, joilla mittauksia tullaan suorittamaan. (European Standard EN50311.)

TAULUKKO 1 Vaihtosuuntaajien käyttöjännitteet (European Standard EN50311)

Nimellisjännite	jännite	Jännitteen vaihteluväli	
		Minimi (V)	Maksimi(V)
24	27,6	16,8	32
26,5	30,5	18,5	35
36	41,4	25,2	48
48	55,2	33,6	64
72	82,8	50,4	96
96	110,4	67,2	128
110	126,5	77	147

Standardi määrittelee kytkentävirran mittalaitteen johtimien pituudet ja paksuudet mitattavan vaihtosuuntaajan ja itse mittalaitteen välillä. Johtimen pituuden on oltava 3 metriä ja paksuuden $1,5\text{mm}^2$:ä, ja johtimen materiaaliksi on määriteltävä kupari. Kuviossa 3 on esitetty standardin määrittelemä maksimi kytkentävirta 1,5ms aikana, josta käy myös ilmi, että maksimi kytkentävirta saa olla 20 kertaa laitteen jatkuvan virran (I_r) suuruinen 0,2 millisekunnin ajan laitteen kytkentähetkestä alkaen (Kuvio 2). (European Standard EN50311.)



KUVIO 2 Standardin määrittelemä maksimi kytkentävirta 0 -1,5ms välillä (European Standard EN50311.)

2.3 Työn määrittely

Työn tavoitteena on suunnitella ja mitoittaa kytkentävirran mittalaite, jota tullaan käyttämään Teknowarella vaihtosuuntaajien kytkentävirtojen mitoitukseen. Tällä hetkellä kytkentävirran mittauksessa on käytössä standardin mukainen mittalaite, josta on tarkoitus tehdä parempi versio käytettävyydeltään. Tarkoituksena on siis tehdä helpokäyttöisempi mittalaite, johon saadaan kiinnitettyä jännitelähde, oskilloskoopi ja mitattava vaihtosuuntaaja kiinni.

Kytkentävirran mittauksessa käytettävän kondensaattorin jännite oli myös saatava selville, jotta tiedettäisiin, koska liipaisu voidaan suorittaa, joten kondensaattorin

jännitteen mittaaminen on toteutettu Lascarin valmistamalla jännitemittarilla, joka on tyypiltään DPM100S. Mittalaitteen käytettävyyden kannalta on myös huomioitava, että mitattavan laitteen käyttöjännite vaihtelee 24V:n-147V:n välillä, joten kondensaattori täytyy purkaa jollakin tekniikalla, jos käyttöjännitettä lasketaan. Tässä oli myös otettava huomioon se, että kondensaattorin purkautumiseen käytettävä aika ei nousisi kovin suureksi. Kondensaattorin varaus on melko suuri täyteen ladattuna, joten napojen oikosulkeutuessa kondensaattori saattaisi hajota, minkä takia varaus on myös hyvä saada purettua.

Koska mittalaite sisältää jännitemittarin, niin tälle täytyi myös suunnitella noin 5V:n käyttöjännite, joka on mahdollisimman tasainen 24V-147V:n alueella.

Jännitelähteen suunnittelussa on otettu huomioon se, että laitetta käytetään vain satunnaisesti. Kytkennässä käytetään regulaattorikytkentää, joka koostuu zenerdiodista, vastuksesta ja transistorista. Regulaattorikytkentä soveltuu tähän käyttötarkoitukseen erittäin hyvin, vaikka hyötysuhteeltaan tämä ei ole paras mahdollinen toteutus. Jos mittalaite tulisi olemaan jatkuvassa käytössä, niin tällöin voisi suunnitella hyötysuhteeltaan parempaa käyttöjännitelähdettä.

Kytkentävirrann mittaaminen on toteutettu vastuksen avulla, jonka yli mitattava jännite on kytkentävirrann suuruus, jos vastuksen resistanssi on 1Ω . Mittaaminen suoritetaan oskilloskoopilla, joka kytketään mittalaitteessa olevaan bnc-liittimeen kiinni.

3 KYTKENTÄVIRTASYSÄYS

Kytkentävirtasysäys on nopeasti tapahtuva ilmiö, joka syntyy, kun jokin induktiivinen laite kytketään päälle. Induktiivisia laitteita ovat esimerkiksi sellaiset, jotka sisältävät esimerkiksi muuntajan tai kuristimen. Kytkentävirrasta käytettäviä nimityksiä suomeksi ovat sysäysvirta tai magnetoitumisvirta ja englanniksi inrush current tai leakage current.

Kytkentävirtailmiö perustuu laitteessa olevan rautasydämen kyllästymiseen. Kun jännitteet kytketään muuntajaan, joka on jännitteetön, niin vuo lähtee tällöin nousemaan ensimmäiseen huippuarvoonsa. Tällä vuontiheydellä muuntajan sydän kyllästyy, jonka johdosta virta nousee hyvin korkeaksi. Todellisessa muuntajan

virtapiireissä on aina resistanssia, joten rautasydämessä syntyy rautahäviöitä, joka lopulta aiheuttaa vuon ja kytkentävirran vaimenemisen jatkuvuustilan arvoihin. (Tehomuuntajan kytkentävirtasäys.)

Mittalaitteella tullaan mittaamaan vaihtosuuntaajien kytkentävirroja.

Vaihtosuuntaajat ovat laitteita, joilla muunnetaan tasajännite vaihtojännitteeksi, joissa käytetään muuntajaa muuttamaan tasajännitte vaihtojännitteeksi.

Vaihtosuuntaajan toiminta perustuu oskillaattoriin, jolla ohjataan transistorikytkentää, jonka avulla muodostetaan kanttiaalto. Tämä kanttiaalto johdetaan muuntajaan, jonka ulostulosta saadaan vaihtojännitettä.

(Wikipedia.)

4 MITTALAITTEEN KOMPONENTIT JA KYTKENNÄT

Tässä luvussa käsitellään testilaitteessa käytettyjä komponentteja ja niiden avulla toteutettuja kytkentöjä. Kytkennät on suunniteltu niin, että niissä on käytetty mahdollisimman paljon Teknowaren varastossa olevia komponentteja. Tämä nopeuttaa työn etenemistä, koska ei tarvinnut odotella komponenttilauksien toimituksia. Muutamia komponentteja joutui kuitenkin tilaamaan Farnellilta, jotka olivat kondensaattori, mittalaitteeseen tuleva jännitemittari ja tyristori.

Komponenttien etsimisessä käytin Teknowarella olevaa ohjelmaa, jossa oli lista varastossa olevista komponenteista. Ohjelmasta sai selville myös varastossa olevien komponenttien määrät ja datalehdet. Datalehdistä saadaan selvitettyä komponenttien sähköisiä ominaisuuksia, joiden avulla komponentin valinta tehdään. Kytkentöihin valitsin läpiladottavat komponentit, koska kytkennässä esiintyy suuria tehoja, joita pintaliitoskomponentit eivät kestäisi niin hyvin.

4.1 DPM100S -jännitemittari

Mittalaitteessa kondensaattorin jännitettä mitataan Lascarin valmistamalla jännitemittarilla, joka on tyypiltään DPM100S (Kuvio 3). Lascar valmistaa

kahden erityyppisiä jännitemittareita, joissa on eri käyttöjännitteet ja sovelluskohteet. Käyttöjännitteet ovat 5V tai 9V, jotka valitaan sen perusteella, kytketäänkö mittari samaan maatasoon jännitelähteen kanssa vai ei. 5V:n mittarit sopivat sovelluksiin, joissa mitataan jännitettä samasta maatasosta, johon jännitelähde on kytketty, näitä kutsutaan S-tyyppin jännitemittareiksi. 9V:n eli ei S-tyyppin mittarit täytyy erotella käyttöjännitelähteestä, joka onnistuu esimerkiksi 9V- pariston avulla.



KUVIO 3 Lascar DPM100S -jännitemittari (Farnell.2009.)

DPM100S -mittarilla on mahdollisuus mitata jännitettä 2V-2kV:n väliltä. Mittari tarvitsee toimiakseen käyttöjännitteeksi 3,5V-6V:a, mutta tyypillinen jännite kuitenkin on noin 5V:n luokkaa (Kuvio 4). Mittarin tyypillinen kuormitus on noin 300μA:a, joka täytyi ottaa huomioon jännitelähteen kuormituskestoisuuden mitoituksessa. Mittarissa on myös ominaisuus, joka ilmoittaa alhaisen käyttöjännitteen, jota ei kuitenkaan tarvita sovelluksissa, joissa käytetään erillistä jännitelähdettä. Alhaisen jännitteen ilmoitus soveltuu esimerkiksi akku- tai paristokäyttöisiin sovelluksiin. Mittarin näyttö kykenee näyttämään näytöllä luvut 1999 asti, mihin määrittelee luku 3 ½, joka on ilmoitettu datalehdessä. Mittarin näyttämän jännitelukeman tarkkuudeksi on ilmoitettu 0,1%-0,05%, joka täytyy ottaa huomioon testauksen aikana, jos jännitteessä esiintyy pieniä heittoja. Mittarissa on myös trimmeri, jonka avulla saadaan jännitelukema kalibroitu oikealle tasolle, tämä säätö tapahtuu mittarin piirilevyssä olevasta ruuvista. Näytteitä jännitteestä otetaan noin 3 kertaa sekunnissa, jonka perusteella jännitelukema ilmoitetaan näytöllä.

(Farnell.2009.)

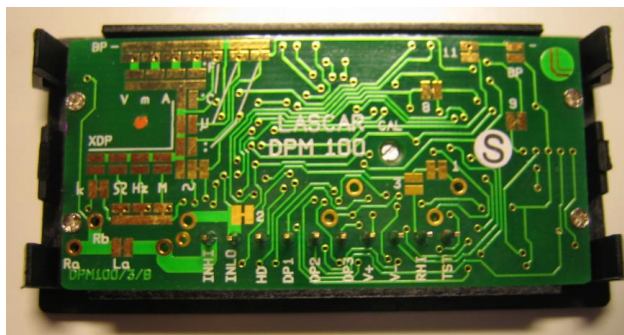
Single Rail Version				Stock Number DPM 100S
Specification	Min.	Typ.	Max.	Unit
Accuracy (overall error) *		0.05	0.1	% (± 1 count)
Linearity			± 1	count
Sample rate		3		samples/sec
Operating temperature range	0		50	$^{\circ}\text{C}$
Supply voltage	3.5	5	6.5	Vd.c.
Supply current		300		μA
Temperature stability		100		ppm/ $^{\circ}\text{C}$
Input leakage current ($V_{in} = 0\text{V}$)		1	10	pA

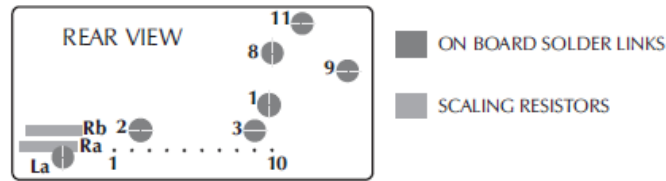
KUVIO 4 Jännitemittarin sähköiset arvot (Farnell.2009.)

Required F.S.R.		Ra	Rb
2V	Note	910k	100k
20V	Note	1M	10k
200V	Note	1M	1k
2kV	Note	1M	100R
200 μA		0R	1k
2mA		0R	100R
20mA		0R	10R
200mA		0R	1R

KUVIO 5 Jännitemittarin Ra ja Rb vastusten määrittely (Farnell.2009.)

Jännitteen mittausalueen pystyy valitsemaan kahden vastuksen Ra:n ja Rb:n avulla (Kuvio 5), jotka kiinnitetään mittarin piirilevyssä oleviin Ra- ja Rb-paikkoihin. (Farnell.2009.)





KUVIO 6 DPM100S -piirilevyn liitokset (Farnell.2009.)

Kuviosta 6 näemme, kuinka vastukset kytetään mittarin liitin-nastoihin kiinni, ja nämä kaksi vastusta määräävät suurimman mitattavan jännitearvon. Vastukset muodostavat jännitteenjakokytkennän (Kaava 1) (Kuvio 7), jolla saadaan muodostettua mittarille referenssijännite. Referenssijännitteellä, eli vertailujännitteellä, tarkoitetaan sitä, kun toisiinsa vertaillaan kahta eri jännitettä, joista toinen on kiinteä ja toinen vaihtuva jännite. Mittarin piirilevyssä on myös ”liitoksia”, jotka täytyy oikosulkea, minkä voi toteuttaa oikosulkemalla liitokset toisiinsa tinan avulla. Mittarissa on 10 kytkentä nastaa (Kuvio 6), joista tässä kytkennässä käyttöön tulee 5kpl, jotka ovat

Referenssijännite (+) - 1. IN HI

Referenssijännite (-) - 2. IN LO

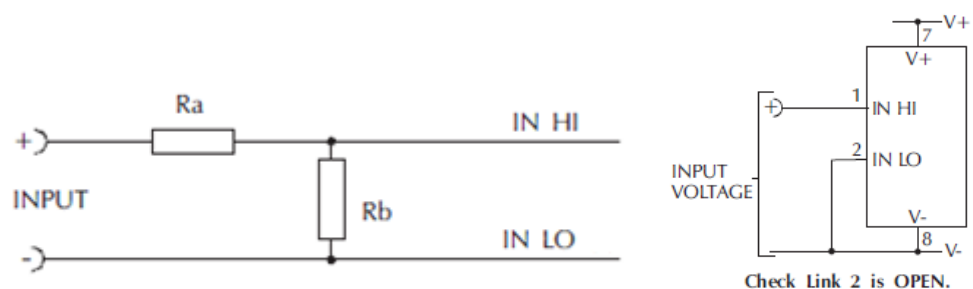
Desimaalipiste - 4. DP1

Käyttöjännite (+) - 7. V+

Käyttöjännite (-) - 8. V-

$$U_{OUT} = \frac{R_b}{R_b + R_a} * U_{IN}$$

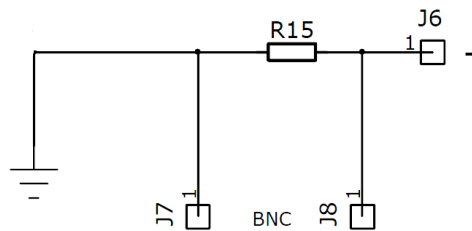
KAAVA 1 Jännitteenjako



KUVIO 7 Jännitteenjakokytkentä ja jännitteen mittaus (Farnell.2009.)

4.2 Kytkentävirran mittaus

Kytkentävirta voidaan mitata vastuksen yli vaikuttavan jännitteen avulla (Kuvio 8). Mittaus perustuu ohmin lakiin (Kaava 2), josta nähdään, että vastuksen ollessa 1Ω tai $0,01\Omega$ on jännite suoraan verrannollinen virran arvoon ottaen huomioon vastuksen resistanssin. Eli vastuksen ollessa 1Ω :n virran arvo on suoraan oskilloskoopissa näkyvä tulos, ja esimerkiksi $0,1\Omega$:n vastuksella tulos täytyy kertoa kymmenellä. Kytkennässä voidaan käyttää normaalia $0,6W$:n vastusta, koska kytkennässä esiintyy vain lyhyen ajan suuria virtoja, minkä rasituksen vastus kestää erittäin hyvin.



KUVIO 8 Kytkentävirran mittaus

$$I = \frac{U}{R}$$

KAAVA 2 Ohmin laki

Virran mittaamiseen voidaan käyttää myös pelkkää johdinta tai ”metalliliuskaa”, jonka resistanssiarvo saadaan määriteltä johtimen pituuden l , poikkipinta-alan A ja materiaalin resistiivisyyden ρ avulla (Kaava 3). Resisttiivisyys on materiaalin vakiokerroin, jonka perusteella saadaan resistanssin arvo mitoitettua. Vastuksen resistanssiin vaikuttaa myös siihen kohdistuva lämpötila, jossa vastuksen resistanssiarvo muuttuu kohteen lämpötilan vaihdellessa, jolloin resistanssi määritellään kaavan 4 avulla. (Hautala & Peltonen. 2005, 272,273.)

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

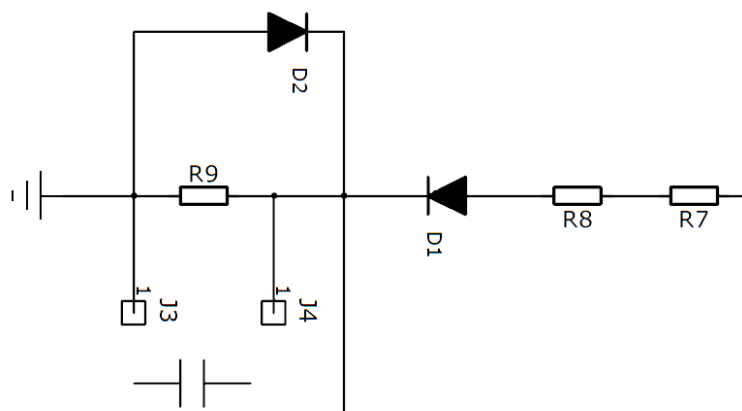
KAAVA 3 Johtimen resistanssi

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

KAAVA 4 Johtimen resistanssi lämpötilassa T

4.3 RC- piiri

RC-piirikytkentä koostuu vastuksesta ja kondensaattorista (Kuvio 9), joka on ajasta riippuvainen, koska kondensaattorin täyteen varautumiseen kuluu aina jokin tietty aika riippuen vastuksen resistanssista ja kondensaattorin kapasitanssista. Kondensaattorit eivät päästä virtaa lävitseen, jos ne ovat kytkettyinä tasavirtapiiriin, mutta huomioon on kuitenkin otettava pieni vuotovirta, jota kondensaattorissa aina esiintyy.



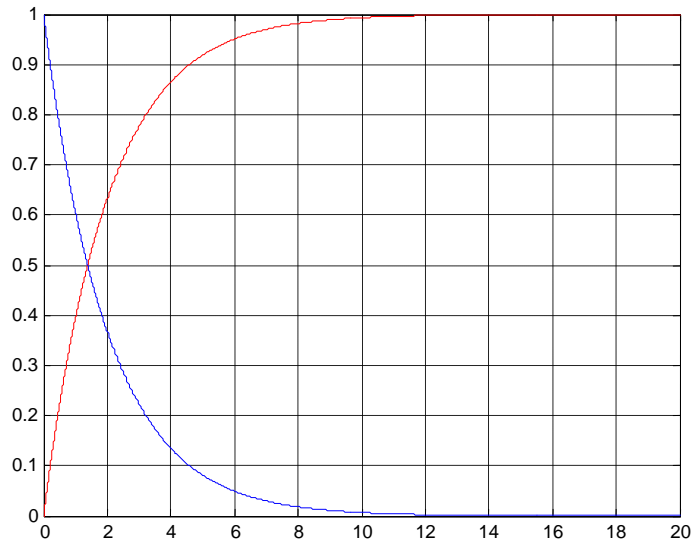
KUVIO 9 Rc-piiri

Kondensaattorin latausta ajatellen rc-piirissä tärkeä käsite on rc-aikavakio, jonka yksikkö on sekunti (s), ja symbolina käytetään τ :ta. τ kuvaa sitä, kuinka nopeasti kondensaattori on varautunut 63%:iin maksimikäyttöjännitteestä ensimmäisen aikavakion aikana (Kaava 5). Samalla hetkellä, kun kondensaattorin jännite on 63%:a käyttöjännitteestä, niin virta on pienentynyt 63% maksimistaan (Kuvio 9).

(Hautala & Peltonen .2005, 291.)

$$\tau = R * C$$

KAAVA 5 Rc-aikavakio



KUVIO 10 Kondensaattorin latausjännite (punainen) ja -virta (sininen)

Kondensaattorin jännite saadaan laskettua ajan ja aikavakion avulla (Kaava 6). Kuvitellaan, että jännitteen kytkeytyessä päälle kondensaattorin varaus on nolla, jolloin virtaa vastustava komponentti on ainoastaan vastus, mutta U_c -jännitteen noustessa lähelle maksimia, kondensaattori alkaa myös vastustamaan virran kulkua. Näin ollen kondensaattorin latauksen alkuhetkellä virran saa laskettua suoraan ohmin lain avulla. Kondensaattorin lähestyessä täyttä varausta virran kulku pienenee, kunnes se lopulta on nolla, jolloin kondensaattori on täyteen varautunut (Kuvio 10). Kuvioista 10 nähdään, että kondensaattori on latautunut maksimijännitteeseen noin 12 sekunnin kuluttua ja yhden aikavakion kuluttua 63% maksimistaan. Kuvion esimerkissä on käytetty 200Ω vastusta ja $10000\mu\text{F}$ kondensaattoria, joista saadaan aikavakioksi 2s. Vastusta mitoittaessa voidaan ottaa huomioon virran nopea pieneneminen, jolloin vastuksen tehonkestoisuus ei tarvitse olla kovin suuri. (Hautala & Peltonen. 2005, 291.)

$$U_c = U * \left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right)$$

KAAVA 6 Kondensaattorin latausjännite

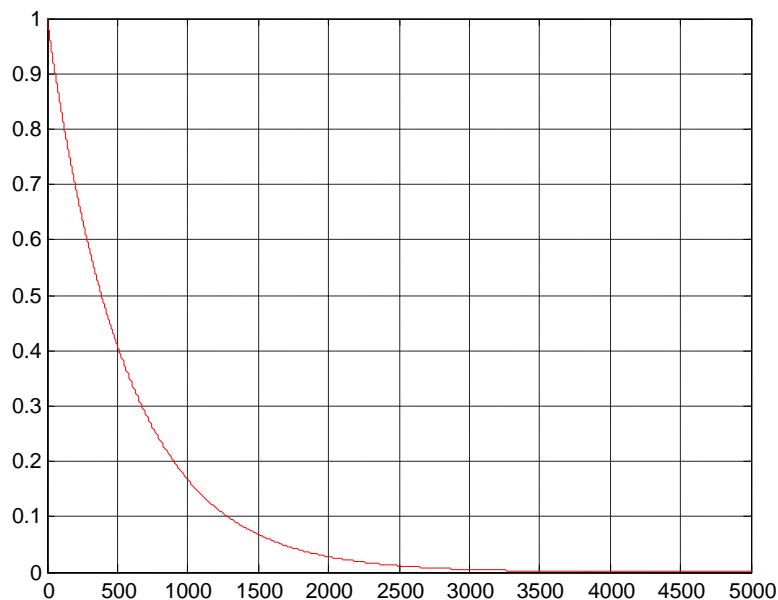
Kondensaattorin purkautumisessa rc-aikavakio määrittelee, kuinka nopeasti kondensaattori purkautuu (Kaava 8). Purkautuessa kondensaattorin varaus tippuu 63%:iin yhden aikavakion kuluttua, jolloin virta alkaa samaan aikaan laskemaan jännitteen kanssa samassa suhteessa (Kaava 7). Kondensaattorin purkautumisen aika riippuu siitä, kuinka suuri kuorma kondensaattoriin vaikuttaa. Tässä kytkennässä kondensaattori puretaan 56kΩ vastuksen avulla. Tällä vastuksen arvolla kondensaattorin latauksen purkamiseen menee aikaa noin 50 minuuttia (Kuvio 11). (Hautala & Peltonen. 2005, 292.)

$$I = \frac{U}{R} * e^{\frac{-t}{RC}}$$

KAAVA 7 Kondensaattorin purku ja latausvirta

$$U_c = -U * e^{\frac{-t}{RC}}$$

KAAVA 8 Kondensaattorin purkujännite



KUVIO 11 Kondensaattorin latauksen purkaus 56kΩ vastuksella

4.4 Kondensaattorin valinta

Kondensaattorin valintaan ei pystynyt vaikuttamaan, koska standardi EN50311 määrää kapasitanssiarvon, ja jännitekestoisuus määrittyy suurimman käyttöjännitteen perusteella. Kapasitanssin täytyi olla vähintään 10000uF ja jännitekestoisuus maksimikäyttöjännitteen eli 147V mukaan noin 200V:a. Kondensaattorin valitessa on huomioitava se, että jännitekestoisuus on tarpeeksi suuri, jotta välttyttäisiin kondensaattorin tuhoutumiselta ja elinikä olisi mahdollisimman pitkä. Tähän testilaitteeseen valitaan 10000uF:n ja 200V:n alumiinielektrolyyttikondensaattori (Kuvio 12), joten jännitekestoisuuden kanssa ei tule tässä tapauksessa ongelmia. Jos kondensaattorin jännitekestoisuus mitoitettaisiin liian alhaiseksi, niin kondensaattorin jännitekestoisuuden ylittyessä eristelevyjen välillä tapahtuisi läpilyönti, minkä johdosta kondensaattori tuhoutuisi. Elektrolyytti kondensaattoreita kytkettäessä on myös muistettava, että napaisuus on kytketty oikeinpäin. Kondensaattorin tyyppiä valittiin alumiinielektrolyytti, koska kapasitanssi ja tilavuus-suhde on tällä muita kondensaattori tyyppijä parempi, minkä vuoksi näitä käytetään yleensä juuri silloin, kun tarvitaan suuria kapasitanssiarvoja.



KUVIO 12 Kytkennässä käytetty kondensaattori

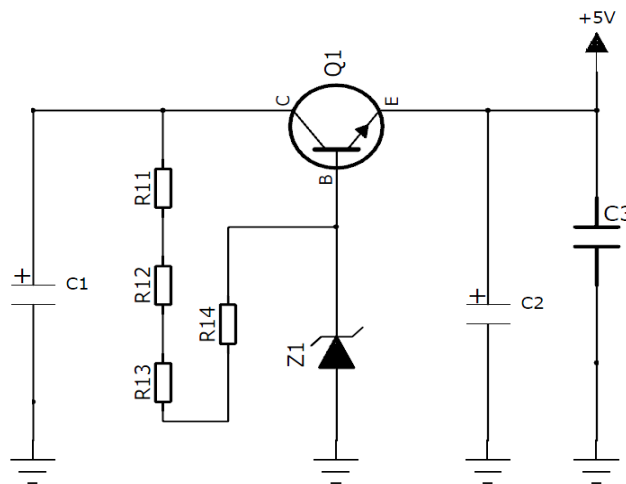
4.5 Regulaattorikytkentä

Regulaattorikytkentöjä käytetään virran ja jännitteen vakavoimiseen. Jos kytkennässä ei tarvita suurta kuormitusvirtaa, niin tällöin regulointi onnistuu myös pelkän zenerdiodin avulla. Olemassa on myös valmiita regulaattoripiirejä, joilla saadaan melko tasaista ulostulojännitettä, mutta regulaattorin datalehdessä on kuitenkin määrätty sisääntulojännitteen maksimisuuruus, joka on noin 50V luokkaa. Regulaattoripiireillä voidaan tuottaa joko positiivista tai negatiivista jännitettä, jotka ovat tyypeiltään 78xx ja 79xx, joissa 78 kertoo, että regulaattori on tyypiltään positiivinen ja 79 tyypiltään negatiivinen. Kaksi viimeistä numeroa (xx) kertovat piirin ulostulojännitteen suuruuden.

Yksi tapa toteuttaa jännitteen regulointi on käyttää zenervakavointi kytkentää, jonka kytkennän ulostulojännitteen määrää zenerdiodin zenerjännite (U_z). Huomioitavaa on, että zenerdiodi on kytkettävä estosuuntaan, jotta kytkentä toimisi halutulla tavalla. Päästösuuntaan kytkettynä zenerdiodi toimii normaalin diodin tavoin. Zenerdiodi on tässä kytkentätavassa kytketty estosuuntaan, jolloin päästään hyödyntämään zenerissä tapahtuvaa hallittua läpilyöntiä, kun läpilyönti tapahtuu virran kulku alkaa kasvamaan voimakkaasti. Zenerdiodeissa jännite ei voi nousta U_z -jännitteen ylitse, mutta kytkentää tehdessä on kuitenkin huomioitava virran suuruus, joka ei saa ylittää diodin zenervirtaa I_z . Lämpötila vaikuttaa myös zenerin toimintaan, joten tehohäviöistä aiheutuva lämpötilan nousu on huomioitava kytkentää mitoittaessa. Zenerdiodit eivät pysty pitämään jännitettä täysin vakiona, jos zenervirran vaihtelu on suurta, joten tämä jännitteen vaihteluväliä ilmoitetaan dynaamisen resistanssin avulla. Eli mitä pienempi dynaaminen resistanssi R_z on, sitä pienempi on lähtöjännitteen vaihtelu.

Zenerdiodille tulevaa virtaa (I_z) rajoitetaan vastuksen avulla, jonka resistanssin pienimmän arvon määrää zenerdiodin suurin sallittu virran kesto, jos zenervirta ylitetään, niin diodi tuhoutuu ja kytkentä lakkaa toimimasta. Kytkennän vastuksia mitoittaessa on myös huomioitava, että zenerille tuleva jännite on tarpeeksi suuri, suositeltavaa on, että jännite olisi 1,5-kertainen zenerjännitteeseen (U_z) verrattuna. Zenerdiodi kytkennät eivät kestä kovinkaan suuria virtoja, joten kytkennän maksimikuormitus määräytyy komponentin virran I_z perusteella. Zenerkytkennän

lähtöjännite ei kuitenkaan ole regulaattoripiirien tasoa, varsinkin jos tulojännitteen vaihtelu on suurta, minkä vuoksi zenervirta kasvaa ja zenerjännite alkaa nousta virran suhteen. Zenerdiodin laatua kuvataan dynaamisen resistanssin avulla, mitä pienempi resistanssi on, sitä pienempi on jännitteen vaihtelevä virtaan I_z verrattuna. Zenerdiodin valinnassa on myös kiinnitettävä huomiota sen tehonkestoisuuteen, joka määräytyy käyttökohteen perusteella. Zenerdiodiksi tähän kytkentään on valittu BZV85-5V1, jonka tehonkestoisuus on 1W. (Huhtama.)

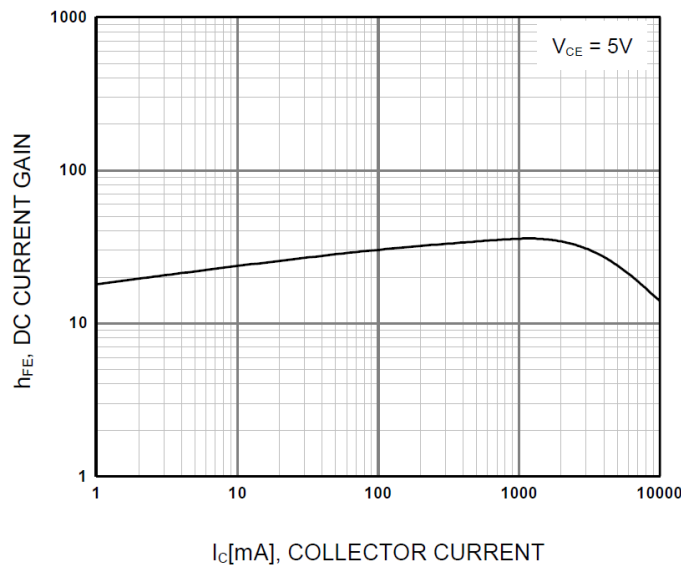


KUVIO 13 Regulaattorikytkentä

Zenerkytkennän kuormituskestoisuutta saadaan lisättyä lisäämällä kytkentään yksi npn-transistori. Transistoria voidaan siis ohjata kantavirran (I_b) avulla, jolloin saadaan ohjattua suurempia kollektorilta (I_c) emitterille (I_e) kulkevia kollektorivirtoja (I_c). Kantavirran ja kollektorivirran suhteesta käytetään nimitystä virtavahvistuskerroin (Kaava 9)(Kuvio 14). Kun transistori lisätään kytkentään on otettava huomioon että, siinä tapahtuu 0,7V jännitehäviö, joka johtuu piin aiheuttamasta kynnyksjännitteestä. Transistorin piin kynnyksjännitteen ominaiskäyrä on samanlainen kuin normaalilla diodilla. Kytkennän jännitteen tasaisuuden turvaamiseksi kannattaa sisääntuloon ja ulostuloon kytkeä suodatuskondensaattorit. Suodatinkondensaattoreilla pyritään vähentämään kytkentään kytkeytyviä häiriöitä ($C1$) ja ulostulon virtapiikkejä ($C2$). (Huhtama.)

$$Hfe = \frac{I_C}{I_B}$$

KAAVA 9 Virtavahvistuskertoimen ja kollektivirran välinen suhde

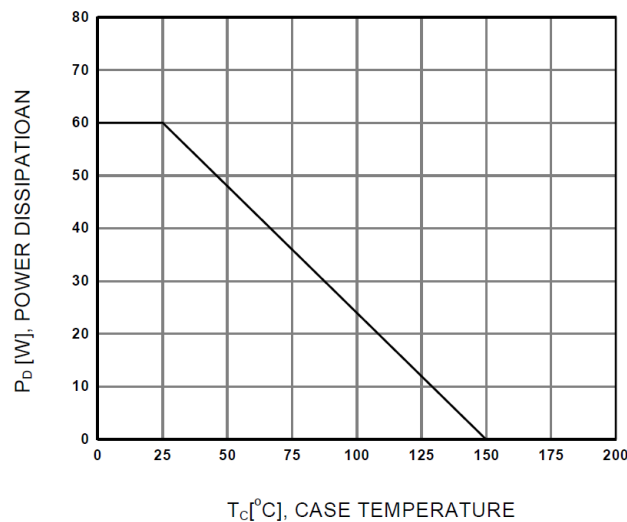


KUVIO 14 BU407 virtavahvistuskertoimen (Datasheet catalog 2010.a.)

Kytkenän kuormituksesta riippuen on myös otettava jähdytyksen tarpeellisuus huomioon, joten transistorin maksimitheonkestoisuus on saatava selville komponentin datalehdessä. Transistorissa BU407 suurin sallittu tehohäviö on 0-25C asteen välillä 60W (Kuvio15). Komponenttien valmistajat ilmoittavat yleensä tehonkeston lämpötilan funktiona, jonka avulla saadaan myös selvitettyä komponentin lämpöresistanssi, jos tätä ei ole datalehdessä ilmoitettu. Lämpöresistanssi (Kaava 12) saadaan näin ollen laskettua maksimi tehon P_{MAX} , käyttölämpötilan T_A ja maksimi liitoslämpötilan T_{JMAX} perusteella, jossa T_A ilmoitetaan yleensä 25C asteen lämpötilassa. (Silvonen, Tiilikainen, Helenius 2004, 249.)

$$R_{JC} = \frac{T_{JMAX} - T_A}{P_{MAX}}$$

KAAVA 12 Lämpöresistanssi



KUVIO 15 BU407 Tehohäviö lämpötilan suhteen (Datasheet catalog 2010.a.)

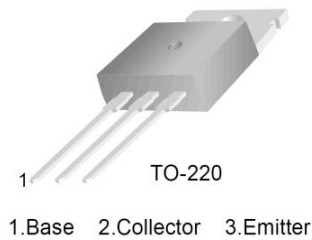
Transistorissa tapahtuva tehohäviö (Kaava 10) P_T saadaan laskettua kollektorin ja emitterin välillä vaikuttavan jännitteen ja kollektorivirran avulla. Koska kannan ja emitterin välinen virta on melko pieni, niin tämän tehohäviö ei vaikuta prosentuaalisesti laskun lopputulokseen kovinkaan paljoa. (Silvonen, Tiilikainen, Helenius 2004, 249.)

$$P_T = U_{CE} * I_C + U_{BE} * I_B \approx U_{CE} * I_C$$

KAAVA 10 Transistorin tehohäviö

Jos tehohäviöt nousevat suuriksi on kytkennässä käytettävä jonkinlaista jäähdytysmenetelmää. Yleisimmin jäähdytyksessä käytetään jäähdytyslevyä, jonka materiaali on useimmiten alumiinia, koska tällä on suhteellisen hyvä lämmönjohtavuuskyky. Jäähdytykseen on siis kiinnitettävä huomiota heti kytkentää suunnitellessa, jotta saadaan valittua komponentin kotelon tyyppi oikein. Kotelotyyppit joihin saadaan asennettua jäähdytyslevy vaivattomasti, ovat esimerkiksi tyypiltään TO-220 (Kuvio 16) tai TO-3 kotelot. Lämmönjohtavuutta komponentista jäähdytyslevylle saadaan vielä parannettua levittämällä piitahnaa transistorin pintaan ennen kiinnitystä, ja kiinnityksen voi esimerkiksi toteuttaa

mutterin ja pultin avulla, jotta saadaan mahdollisimman hyvä liitos lämmönjohtavuuden kannalta.



KUVIO 16 Transistori TO-220 kotelolla (Datasheet catalog 2010.a)

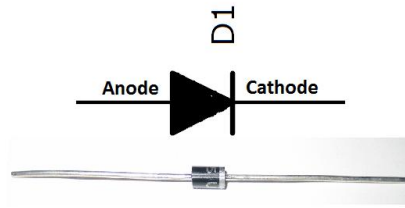
Regulaattori kytkennöillä hyötysuhde ei ole paras mahdollinen, koska kytkennässä tapahtuu melko suuria tehohäviöitä, minkä johdosta komponentit lämpenevät. Hyötysuhde (Kaava 11) saadaan määriteltyä sisääntulotehon ja ulostulotehon avulla, ja näiden avulla saatu tulos kerrotaan 100, koska hyötysuhde ilmoitetaan yleensä prosentteina.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} * 100\%$$

KAAVA 11 Kytkennän hyötysuhde

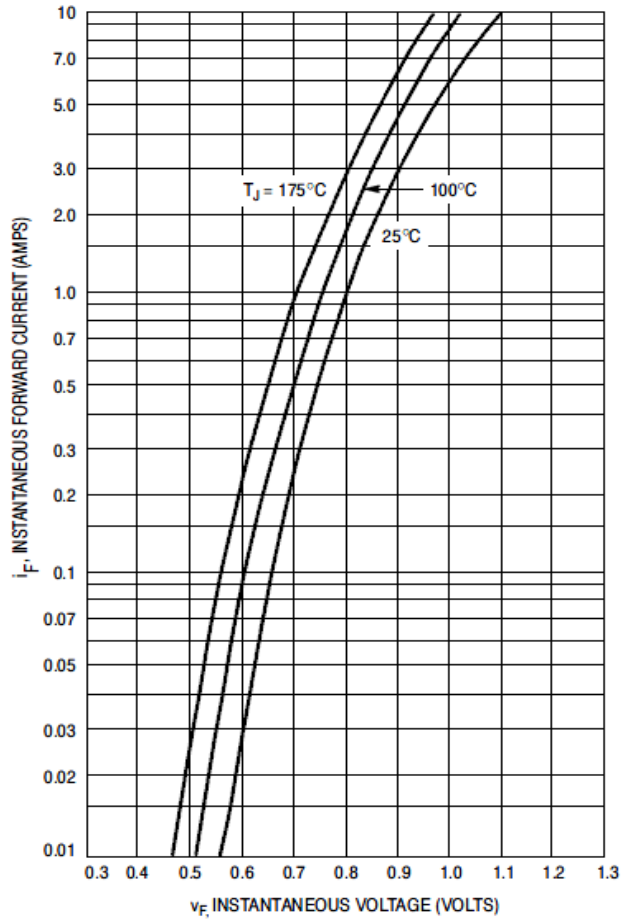
4.6 Diodi kytkennät

Diodissa virran kulkusuunta on anodista katodille (Kuvio 17), jotta diodi saadaan johtavaan tilaan, täytyy se kytkeä päästösuuntaan, jolloin jännitteen täytyy olla yli 0,7V. Kun jännite on ylittänyt 0,7V:n rajan, niin diodi on käytännössä täysin johtavassa tilassa. Diodissa tapahtuu maksimissaan noin 0,7V:n jännitehäviö riippuen siitä, kuinka suuri virta kytkentään vaikuttaa. Kytkennässä käytetyllä diodilla jännitehäviö oli noin 0,58V luokkaa 30mA:n virralla (Kuvio 18).



KUVIO 17 Diodi MUR120

Jos diodiin kytketään jännitteet väärinpäin eli estosuuntaan, niin tällöin virtaa ei kulje, mutta kuitenkin huomioon on otettava pieni vuotovirta, jota diodeissa aina tapahtuu. Diodin ominaiskäyrä saadaan määriteltyä kaavalla 12, jossa η on puolijohdemateriaalista riippuva kerroin, joka on germaniumilla 1,0 ja piillä 2,0, I_S on kyllästysvirta, U_T lämpöjännite, joka on 25 celsiusasteessa 0,0257V, ja U_F on pn-liitokseen vaikuttava myötäjännite. Diodia voidaan käyttää tasasuuntaukseen tai varmistamiseen, että jännitteen napaisuus kytketään elektroniikkalaitteeseen oikeinpäin, jonka tarkoituksena on suojata elektroniikkalaitetta vioittumiselta. (Silvonen, Tiilikainen, Helenius 2004, 45.)



KUVIO 18 Diodin kynnysjännite virransuhteen (Datasheet catalog 2010.b.)

$$I_F = I_s \left(e^{\frac{U_F}{\eta U_T}} - 1 \right)$$

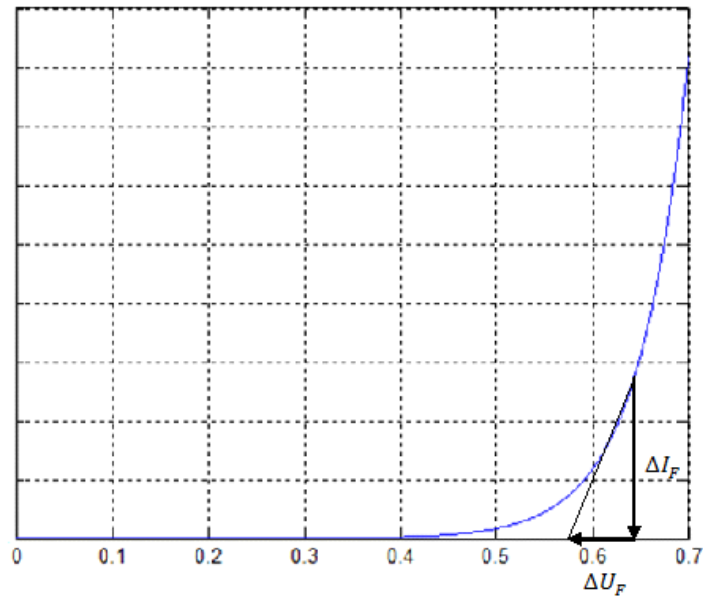
KAAVA 12 Diodin ominaiskäyrä

Diodin dynaamisen resistanssin R_d suuruus riippuu siihen vaikuttavan jännitteen U_F suuruudesta. Dynaaminen resistanssi (Kaava 13) vaihtelee U_F :n ja I_F :n suhteen, joka saadaan määriteltyä diodin ominaiskäyrän avulla (Kuvio 19). Ihanteellisessa diodissa R_d olisi 0Ω , mutta käytännössä jokaisessa diodissa kuitenkin esiintyy dynaamista resistanssia. Koska diodin resistanssi ei ole täysin 0Ω , niin komponentissa tapahtuu tehohäviötä, minkä johdosta se lämpenee. Diodin rajapinnan maksimilämpötilat määritellään komponentin datalehdessä,

jossa käytetään merkintää T_j (junction temperature). (Silvonen, Tiilikainen, Helenius 2004, 47.)

$$R_d = \frac{\Delta U_F}{\Delta I_F}$$

KAAVA 13 Diodin dynaaminen resistanssi

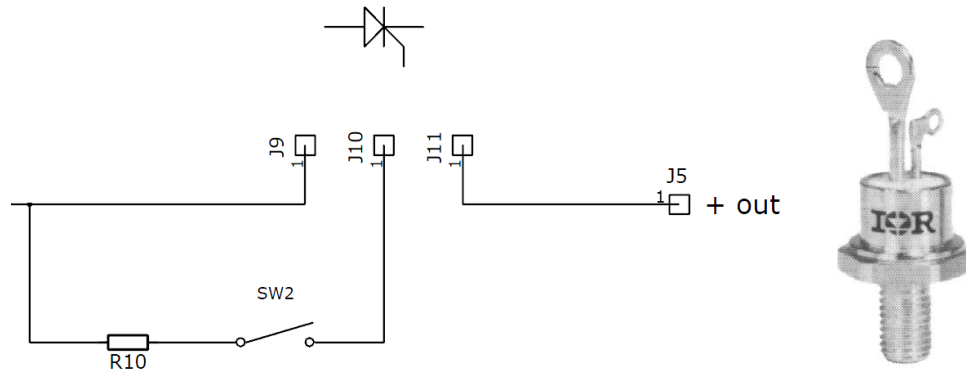


KUVIO 19 Diodin ominaiskäyrä ja dynaamisen resistanssin määrittely

4.7 Tyristorin liipaisu

Tässä mittalaitteessa tyristoria tarvitaan, jotta virtapiiri saadaan johtavaan tilaan napin painalluksella. Tyristorin tarkoituksena on pitää virtapiiri niin kauan auki, kunnes kondensaattori on latautunut. Kun liipaisu pulssi annetaan, niin tällöin loisteputki syttyy ja virran tippuessa alle pitovirran loisteputki sammuu. Tyristorin liipaisun toiminta perustuu hilalle (G) annettavaan virtapulssiin, minkä avulla tyristori siirtyy johtavaan tilaan, jossa virta pääsee kulkemaan anodista katodille (Kuvio 20). Kun virtapulssi annetaan hilalle, tyristori siirtyy johtavaan tilaan ja virta pääsee näin kulkemaan anodista katodille niin kauan, kunnes virta pienenee

alle pitovirran. Jotta tyristori saadaan johtavaan tilaa, tulee varmistaa, että se saa hilalle tarpeeksi suuren virtapulssin, jotta liipaisu tapahtuisi. Tyristori on niin kauan johtavassa tilassa, kunnes virta pienenee alle pitovirran, jonka jälkeen tyristori ei enää johda. Tyristoriksi valittiin 22RIA80. Tyristorin hilavirran mitoituksessa oli otettava huomioon lämpötilan vaikutus tarvittavan virran suuruuteen, jotta liipaisu tapahtuisi (Kuvio 21). Vastuksen resistanssiksi valittiin 820Ω vastus, jolla saadaan kytkennän liipaisu toteutettua.



KUVIO 20 Tyristorin liipaisu ja tyristorin kotelon tyyppi (TO-48) (Datasheet catalog 2010.c.)

I_{GT}	DC gate current required to trigger	90	mA	$T_J = -65^\circ\text{C}$	Max. required gate trigger current/voltage are the lowest value which will trigger all units 6V anode-to-cathode applied
		60		$T_J = 25^\circ\text{C}$	
		35		$T_J = 125^\circ\text{C}$	
V_{GT}	DC gate voltage required to trigger	3.0	V	$T_J = -65^\circ\text{C}$	
		2.0		$T_J = 25^\circ\text{C}$	
		1.0		$T_J = 125^\circ\text{C}$	

KUVIO 21 Tyristorin liipaisun virrat eri lämpötiloissa (Datasheet catalog 2010.c)

4.8 Sulakkeet

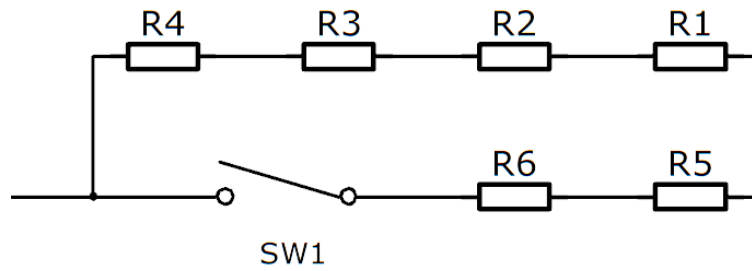
Sulakkeen tarkoituksena on suojata elektroniikkalaitteita liian suurilta virroilta, joten sulakkeen täytyy olla virtapiirin heikoin kohta, jotta se suojaisi muita komponentteja vaurioitumiselta. Sulaketta mitoittaessa on laskettava, kuinka suuri kytkennän maksimi kuorma on, ja tämän perusteella saadaan kytkentään mitoitettua oikean kokoinen sulake. Jos sulakkeen luvattu ampeerikestomäärä ylitetään, niin siinä tapauksessa sulakkeen lanka alkaa lämpenemään, kunnes se lopulta palaa poikki. Tällä tavoin pystytään estämään ja suojaamaan laitteita ylivirroilta ja mahdollisen oikosulkujen aiheuttamilta tulipalo vaaroilta. Mittalaitteen kytkennässä käytettiin 1A sulaketta, joka on tyypiltään nappisulake.

4.9 Vastuksien mitoitus

Vastuksien arvot mitoitetaan ohmin lain ja rinnankytkennän (kuvio 22) avulla, joilla saadaan mitoitettua komponenttien resistanssiarvot ja tehonkestoisuudet. Mitoittaessa on myös otettava huomioon niiden tehonkesto, mikä vaikuttaa siihen, kuinka suuri jännitehäviö saa vastukseen vaikuttaa. Tehonkesto on tärkeää ottaa huomioon, jotta laite toimisi oikein, koska jos vastus lämpenisi liikaa, niin tällöin resistanssin arvo alkaisi heilumaan, mikä mahdollisesti aiheuttaisi laitteen epävakaa toiminnan. Vastuksen käyttöikä myös lyhenee, jos sitä kuormitetaan täydellä teholla kokoajan, joten vastuksille suositeltu rasitusvara on noin 50% maksimi tehonkestosta. Kun vastukset kytketään rinnan niin tällöin niiden mitoituksessa on käytettävä kaavaa 14.

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N}}$$

KAAVA 14 Vastuksien rinnankytkentä



KUVIO 22 Vastuksien rinnankytkentä

5 ELEKTRONIKKALAITTEIDEN SUUNNITTELU

Elektroniikkalaitteen suunnittelu on taitolaji, jota oppii vain tekemällä ja virheiden kautta. Suunnittelun kannalta on huomiotava monia eri seikkoja jo ennen laitteen suunnittelun alkua, joita ovat esimerkiksi laitteen suurin mahdollinen kotelon koko ja minkälaisiin olosuhteisiin laite tulee käyttöön, joka määrittelee osaksi laitteen komponenttien vaatimukset sääolosuhteiden ja häiriöiden kannalta.

Elektroniikkalaitteen suunnittelu on aikaa vievää hommaa, joten siihen kannattaa panostaa huolella, koska se vie eniten aikaa laitteen eri työvaiheista.

Suunnitteluun panostaminen vähentää myös laitteen huoltokustannuksia, joten testauksen merkitystä ei kannata väheksyä protoversioissa. Standardit saattavat myös määritellä laitteille jotain vaatimuksia, jotka tulee huomioida suunnittelu- ja testausvaiheessa.

Suunnittelun alkuvaiheessa on määriteltävä laitteen tekniikat ja kotelon maksimikoko, joka määrittelee myös piirilevyn suurimman mahdollisen pinta-alan. Kun nämä osa-alueet on määriteltä, niin tämän jälkeen voidaan alkaa suunnitella laitteen kytkentää ja siinä käytettäviä komponentteja. Kun laitteen kytkennät on suunniteltu, niin tämän jälkeen voidaan siirtyä piirilevyn valmistukseen.

Protolevyjen valmistuksessa käytetään pääsääntöisesti piirilevyjyrsintä, tämän etuna on piirilevyn nopea valmistumisaika, joten jyrsimen avulla päästään piirilevyn koosta riippuen melko nopeasti testaamaan kytkennän toimivuutta.

Piirilevynjyrsin on melko kallis laite, mutta tämän hinnan saa kuitenkin katettua nopeasti, jos vertaa tilatun ja jyrstyn protolevyn kustannuksia.

Kun piirilevy on saatu valmistettua, niin siihen täytyy asetella komponentit paikoilleen. Komponenttien ladontajärjestykseen kannattaa kiinnittää huomiota etenkin käsinladonnassa, eli komponentit, jotka eivät kestä kovin suuria lämpötiloja, ladotaan viimeisenä. Ladontajärjestys kannattaa asettaa komponentin koon, eli matalammat komponentit ensin ja korkeimmat viimeiseksi. Jos komponentit aaltojuotetaan kiinni, niin tällöin on huomioitava, että mikään komponentti ei aiheuta "varjostumia". Tämä tarkoittaa sitä että, pienempi koteloisempi komponentti jää isomman varjoon, jolloin pienemmän komponentin padit eivät osu tina-aaltoon, ja näin ollen juotos epäonnistuu. Viimeisenä työvaiheena elektroniikkalaitteen suunnittelussa on sen testaaminen, jolla saadaan todettua, että laitteen sähköisetarvot ovat raja-arvojen sisällä ja laite toimii halutulla tavalla.

5.1 Elektroniikkalaitteiden luotettavuus

Elektroniikkalaitteiden luotettavuuteen vaikuttavat sekä laitteen ulkoiset että sisäiset häiriöt. Elektroniikkalaitteen sisäisiin häiriöihin pystytään vaikuttamaan kytkentää suunnitellessa ja tällöin on otettava huomioon, jos kytkentä sisältää sekä digitaalisen että teholähde osion. Digitaalinen ja teholähdeosio kannattaa erottaa toisistaan fyysisesti, jos vain on mahdollista. (Elektroniikan luotettavuus ja käyttövarmuus.)

Luotettavuus on elektroniikkalaitteiden ensimmäisissä versioissa laitteen valmistusajalta heikoin, koska laitteesta ei ole vielä ilmennyt vikoja, jotka voivat tulla esille vasta vuosien päästä. Elektroniikkalaitteen kehittyessä sen luotettavuus kasvaa ja saavuttaa jossain vaiheessa korkeimman luotettavuustason, jonka myötä laitteen huoltokustannukset pienenee. Korkeimman luotettavuustason saavuttamiseksi aikaa menee yleensä muutamia vuosia laitteesta riippuen. (Elektroniikan luotettavuus ja käyttövarmuus.)

5.1.1 Komponenttien rasitusvara

Komponenttien rasitusvaralla tarkoitetaan maksimi arvoa, jolla se vielä toimii luotettavasti. Tämä vaikuttaa myös komponentin vikataajuuteen, jolla tarkoitetaan kuinka useasti komponentti vioittuu. Rasitusvaran avulla pyritään vähentämään komponentille aiheutuvaa rasitusta mitoittamalla tarpeeksi korkeaksi ominaisuuksia, joka vaihtelee komponentista riippuen. Huomioon otettavia arvoja ovat esimerkiksi komponentin virran-, tehon-, jännitteen-, ja lämpötilankestä. Komponenttien valmistajat ilmoittavat yleensä komponenttien sähköiset ominaisuudet lämpötilan funktiona, ja datalehdissä voidaan myös ilmoittaa lämpöresistanssi, liittolämpötilat ja käyttölämpötilat. Rasitusvara mitoituksella pyritään siihen, että kytkentä toimisi halutulla tavalla, mutta kuitenkin on muistettava että tämä on vain yksi osa-alue elektroniikan luotettavuuden kannalta. (Elektroniikan luotettavuus ja käyttövarmuus.)

5.1.2 Kytkennän varmentaminen

Elektroniikkalaitteessa kytkennän toiminta kannattaa varmentaa, jossa voidaan käyttää joko aktiivista tai passiivista varmennusta. Aktiivisessa varmentamisessa rinnakkaiset komponentit toimivat normaalissa tilassa samanaikaisesti, mutta vikatilanteessa estää komponentin toimimisen laitteen toimintaan. Passiivisessa varmentamisessa vian ilmaantuessa laitteen toiminta siirretään toiselle piirille. Passiivisessa varmennuksessa suojaus voi olla komponentin rinnalla, johon vian ilmeentyessä laitteen toiminta siirtyy. Toinen mahdollisuus on käynnistää varmentava komponentti suorittavan komponentin vikaantumisen jälkeen. (Elektroniikan luotettavuus ja käyttövarmuus.)

Varmentamista kannattaa käyttää luotettavuuden lisäämiseksi silloin, kun esimerkiksi komponenttien rasitusvaran parantaminen tai kytkennän yksinkertaistaminen ei enää auta. Varmennuksesta, kuten muistakin suojaustoimenpiteistä, tulee laitteelle lisää hintaa, ja toinen huomioon otettava seikka on komponenttien lisääntyminen kytkennässä, mikä aiheuttaa lisää kuormaa, minkä vuoksi laitteen tehonkulutus kasvaa. Jos varmentamiskytkentöjä

tehdään, niin tällöin ne on myös testattava, jotta saadaan varmuus siitä, että laite toimii myös vian ilmestyessä.

(Elektroniikan luotettavuus ja käyttövarmuus.)

5.1.3 Sähköiset häiriöt

Sähköisiä häiriöitä syntyy joko ihmisen aiheuttamana tai luonnonilmiöiden vaikutuksesta, joka voi olla esimerkiksi laitteen ylikuormittaminen.

Ylikuormituksessa laite ei välttämättä vaurioidu heti, vaan komponenttien suorituskyky saattaa laskea, jonka johdosta laite saattaa toimia jonkun aikaa ihan normaalisti, ennen kuin se hajoaa lopullisesti. Vikoja voi kuitenkin alkaa ilmeentyä jonkun ajan kuluttua ylikuormituksesta. Sähköisiä häiriöitä voivat olla esimerkiksi sähköstaattiset purkaukset, sähkömagneettiset häiriöt ja transienttihäiriöt. Sähköstaattiset häiriöt (ESD) syntyvät, kun kaksi varautunutta kohdetta kohtaa toisensa. Elektroniikkalaitteiden suunnittelussa sähköstaattiset purkaukset ovat yleinen ongelma, jolta voidaan suojautua ohjaamalla staattinen varaus maatasoon hallitusti. (Elektroniikan luotettavuus ja käyttövarmuus.)

5.1.4 Lämpötilan, kosteuden ja värinän vaikutus luotettavuuteen

Elektroniikkalaitteen luotettavuuden kannalta haastavin ongelma saattaa olla kohteen lämpötila, jossa hankalin tilanne syntyy, kun lämpötilavaihtelu on erittäin suuri. Joidenkin komponenttien sähköiset arvot saattavat muuttua lämpötilan muuttuessa, joten vaativiin olosuhteisiin käyttöön tuleva laite on näin ollen suunniteltava niin, että komponenttien tehohäviöiden kautta syntyvä lämpö ei nousisi kovin korkeaksi. (Elektroniikan luotettavuus ja käyttövarmuus.)

Kosteus on myös yksi elektroniikkalaitteiden ongelma etenkin ulkotilakäyttöön tulevissa laitteissa, jossa kosteuden aiheuttamat viat voivat johtua esimerkiksi korroosiosta tai jäätymisestä. Korroosioksi kutsutaan kemiallista ilmiötä, jossa vioittuva materiaali reagoi ympäristön ainesosien kanssa. Kosteudessa esiintyy kemiallisia aineita, joista eniten tuhoa aiheuttaa NaCl (natriumkloridi) eli suola.

Korroosio voi aiheuttaa piirilevyssä katkoksia tai oikosulkuja johdinvetojen välille. Komponenttien kotelon tyyppi vaikuttaa myös korroosion estoon, jossa muoviset kotelot ovat keraamisia kotelotyyppinä herkempiä vaurioitumaan. Korroosion esiintymistä voidaan estää suojaamalla laite kunnollisella kotelolla ja tuuletuksella. (Elektroniikan luotettavuus ja käyttövarmuus.)

Ilmassa esiintyvät epäpuhtaudet aiheuttavat laitteelle ongelmia. Laitetasolla ongelmaksi voi tulla esimerkiksi tuuletusaukkojen tukkeutuminen, jolloin ilma ei pääse laitteen sisällä kunnolla kiertämään, ja laitteen lämpötila näin ollen kasvaa ja saattaa aiheuttaa kytkennän komponenttien sähköisten arvojen muuttumisen. Myös liittimien kontaktit saattavat kärsiä jos laitteen käyttötilassa esiintyy paljon epäpuhtauksia. (Elektroniikan luotettavuus ja käyttövarmuus.)

Piirilevyn toimivuuden voi vaikuttaa myös laitteen värinän kesto, joka voi aiheuttaa komponenttien liitoksiin vaurioita ja mahdollisesti katkoa piirikortilla olevia johdotuksia. Komponenttien värinän kesto vaikuttaa myös, komponentin koko, sijainti piirilevyllä, kiinnitysmenetelmä, värinän- voimakkuus, suunta ja kesto aika. Värinää vastaan voidaan suojautua esimerkiksi lisäämällä piirikortille tai laitteen koteloon pehmuste tyyny tai piirikortille lisää kiinnitysreikiä, jolloin piirikortti on kotelossa tukevammin kiinni. (Elektroniikan luotettavuus ja käyttövarmuus.)

5.2 Kytkentävirran mittalaitteen suunnittelu

Kytkentävirran mittalaitteen suunnittelun alussa tutustuin EN50311-standardin määrityksiin, jonka perusteella lähdin mittalaitetta rakentamaan. Aluksi oli mietittävä, miten kytkennän toteuttaisi ja mitä tekniikoita siinä tulisi käyttää. Mittalaite koostuu neljästä eri osiosta jotka ovat, kondensaattorin lataus, tyristorin liipaisu, +5V jännitelähde, jännitemittarin liittimen- ja mittauksen kytkennät. Näiden kytkentöjen tekniikoita ratkotaan osio kerrallaan, ja kun kaikki on saatu ratkaistua, niin tämän jälkeen pystytään piirtämään piirikaavio pads:ssä. Piirikaaviossa kannattaa myös jakaa laitteen kytkennät toiminnallisiin lohkoihin, jotta piirikaavion tulkitseminen olisi jälkeenpäin myös helppoa.

Testilaitteen kotelon koko on myös huomioitava alusta-alkaen, jotta piirilevyn kiinnitysruuvit saisi osumaan kohdalleen ja että kondensaattori mahtuisi kokonsa puolesta.

5.3 Piirilevysuunnittelu

Tänä päivänä piirilevysuunnittelu on muuttunut helpommaksi internetin avulla, koska komponenteista löytyy datalehdet vaivattomasti valmistajien sivuilta. Myös piirilevysuunnitteluohjelmien ja tietokoneiden kehitys on edesauttanut piirilevyjen suunnittelua. Ohjelmat ovat nopeita käyttää, ja niiden tarjoamat ominaisuudet helpottavat piirilevyn suunnittelussa ja valmistuksessa. (Tikkanen, 2004, 16.)

Kun piirilevyä aletaan suunnitella, on otettava huomioon monia eri seikkoja, kuten esimerkiksi valmistettavien levyjen määrä. Kotelon koko ja piirilevyyn tulevien komponenttien määrä ratkaisee, kuinka suuri piirilevystä täytyy tulla ja mihin kohtaan piirilevyn kiinnitysreiät täytyy laittaa. Komponentit pyritään sijoittelemaan piirilevyille niin että, ne olisivat toiminnallisissa lohkoissa. Kun komponentit ovat toiminnallisissa lohkoissa, niin tällöin kytkennän piirikaaviota on helpompi tarkastella mahdollista vikaa etsiessä. Myös lohko, joka aiheuttaa häiriötä ympäristöön on tällöin helpompi eristää muista kytkennöistä asettamalla kytkentä esimerkiksi metallikoteloon. (Tikkanen, 2004, 21.)

Etenkin suuren massatuotannon takia on piirilevysuunnittelu tehtävä erittäin huolellisesti, koska pienestäkin virheestä voi tulla suuret työkustannukset korjauksien kannalta. Piirilevysuunnitteluun vaikuttavat myös komponenttien kustannukset, jotka ovat merkittävä osa kustannuksia, jos tuotetta aletaan tehdä suuria määriä. Kustannuksiin vaikuttaa myös suunnitteluun kuluva aika, johon on paneuduttava huolella alusta alkaen. Jos virheitä tehdään suunnittelun alkupäässä, kustannuksien määrä nousee korjausten takia kohtuuttoman suuriksi. Pahimmassa tapauksessa koko suunnitteluprosessi on aloitettava uudestaan, mikä on joskus myös kannattavampaa. (Tikkanen, 2004, 23.)

Piirilevyn suunnittelussa on otettava huomioon, kuinka suuria virtoja levyssä kulkee, mikä määrittelee osaksi piirilevyssä tarvittavan johtimen leveyden. Häiriömielessä johtimen pituus vaikuttaa piirilevyn toimintaan, etenkin jos laite on herkkä taajuuksille, joten mitä pitempi johdin on, sitä enemmän siihen kytkeytyy häiriösignaaleja. Etenkin digitaalielektroniikkaa suunniteltaessa tämä on otettava huomioon. Signaalien kannalta myös johtimien välisen etäisyyden on oltava tarpeeksi suuri, jotta signaalit eivät pääsisi kytkeytymään toisiinsa. (Tikkanen, 2004, 20.)

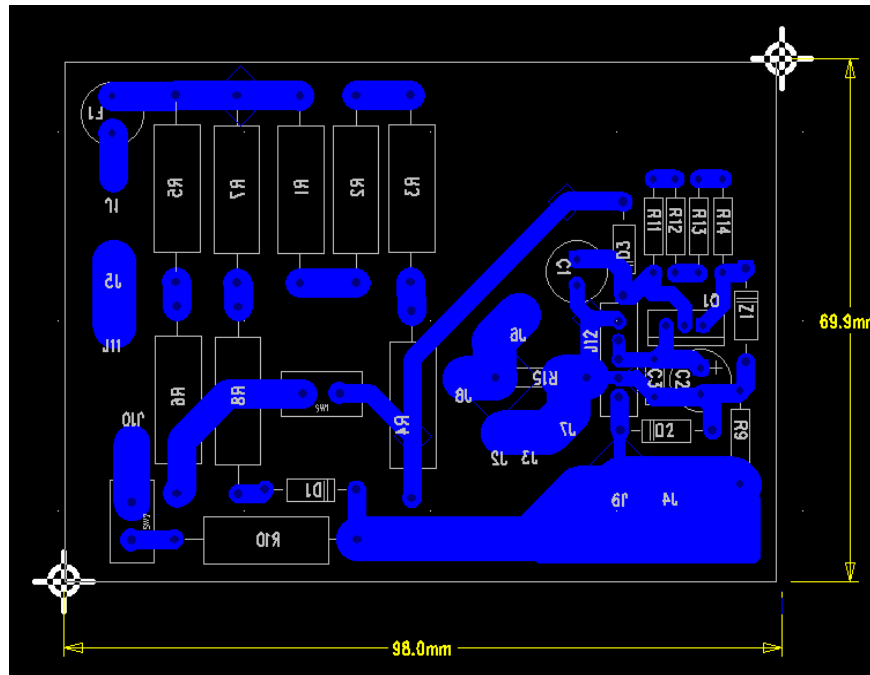
5.3.1 Pads

Piirilevy suunnitellaan Pads -ohjelmalla, joka koostuu kahdesta eri osiosta, jotka ovat piirikaaviosuunnittelu (Power Logic) ja piirilevysuunnittelu (Power PCB) ohjelmat. Piirikaaviosuunnittelussa komponentit haetaan kirjastosta.

Komponenteille on määriteltävä etukäteen niiden kotelon tyyppi ja komponentin nimi Part editor -ohjelmassa. Piirikaaviosuunnittelussa määritellään kytkennän komponentit ja niiden väliset johdotukset. Piirikaaviota suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon sen selkeys, joten tässäkin on hyvä asettaa komponentit toiminnallisiin lohkoihin. Kun piirikaavio on saatu valmiiksi, niin tämän jälkeen voidaan lähettää tiedosto piirilevyn suunnittelu ohjelmaan.

Piirilevyn suunnittelun alussa on määriteltävä kummalle puolelle johdotukset halutaan tehdä, jos kyseessä on yksikerroksinen piirilevy. Vaihtoehdot ovat joko (top) yläpuolelle tai (bottom) alapuolelle. Johtimien leveydet ja niiden etäisyydet toisistaan on myös määriteltävä ohjelmaan, jotta johdin ei olisi liian kapea ja eristysväli liian pieni. Johtimien leveyden ja eristevälin määrää se, kuinka suuria virtoja ja jännitteitä kytkennässä kulkee. Ohjelmassa on mittayksikön oletusasetuksena tuumat käytössä, joka on mahdollista vaihtaa metrijärjestelmään. Mittayksikkö on otettava huomioon piirilevyn mitoituksia tehdessä. Kun komponentit lähetetään piirikaavio-ohjelmasta piirilevyn suunnitteluun, niin tällöin komponentit ovat vielä yhdessä kasassa, josta ne on sijoitettava niin, että johdotuksia reitittäessä ne eivät risteytyisi toistensa kanssa. Tällä vältetään piirilevyn mahdollisten hyppylankojen käyttö. Kun komponentit on saatu

asetettua niin, että risteäviä johdotuksia ei ole, voidaan tämän jälkeen aloittaa johdotusten "kuparointi" (Kuvio 23). Piirikaavioon voi tehdä myös kesken piirilevyn suunnitelun muutoksia, ilman että koko piirilevyn suunnittelu prosessia täytyy aloittaa alusta.



KUVIO 23 Kytkenän johdotukset ja osasijoittelu

5.3.2 Piirilevyn jyrsiminen

Piirilevyjyrsin on laite, jolla poistetaan kuparilevystä kupari pois ohjelman määrittelemän tiedoston perusteella (Kuvio 24). Piirilevy valmistettiin Teknowarella olevalla jyrsimellä, jota käytetään lähinnä piirilevyjen protokorttien valmistuksessa. Jyrsimellä valmistettujen piirilevyjen valmistusaika ei ole kovin pitkä, joten tämä laite sopii erittäin hyvin yksittäisten protokorttien valmistukseen. Jyrsin asettaa rajoituksia piirilevyssä olevien johtimien leveydelle, jonka minimi leveys sai tällä koneella olla 0,2mm. Leveys ei kuitenkaan tullut ongelmaksi tämän mittalaitteen piirilevyn valmistuksessa, koska johtimissa käytetyt leveydet olivat 2 mm ja tätä leveämpiä. Piirilevyä jyrsittäessä oli hyvä vahtia, että kone

poistaa kuparin halutulta alueelta, jotta levyllä ei jäisi johtimien väliin oikosulkuja. Jyrsin porasi myös piirilevyn komponenttien reiät, jonka koko määräytyy padsissa asetetun komponentin kotelon tyypin mukaan.



KUVIO 24 Piirilevyn jyrsin Protomat 42S (Cirentec 2010.)

5.4 Kotelointi

Kotelon tyypiksi valitaan muovikotelo (Kuvio 25), koska laitteen toiminnan kannalta materiaalilla ei ole merkitystä. Jos laitteessa olisi häiriöille alttiita komponentteja, niin tällöin olisi harkittava metallikuorisen kotelon käyttöä. Koteloon kiinnitetään neljä banaaniliitintä, liipaisunappi, jännitemittarin näyttö ja kytkin, jolla valitaan käyttöjännitealue. Toiseen banaaniliittimeen liitetään ulkoinen tasajännitelähde ja toiseen mitattava vaihtosuuntaaja kiinni. Piirilevy on kiinnitetty ruuveilla kiinni kotelossa oleviin kiinnitysreikiin. Kotelon koon määräsi pääasiassa kondensaattorin koko ja piirilevylle tarvittava alue. Komponenttien asettelussa kotelon kanteen kiinni oli otettava huomioon piirilevylle kiinnitettävien johtojen pituudet, jotta kotelon kansi saadaan tarvittaessa avattua. Jännitemittarin ja piirilevyn välinen kytkentä on myös toteutettu kaapelin avulla, koska jännitemittari kiinnitetään kotelon kanteen kiinni.

Kondensaattorin kiinnityksessä oli otettava huomioon, että se ei pääsisi liikkumaan kotelon sisällä, koska sen navat eivät saa oikosulkeutua. Kondensaattori kiinnitetään kotelon pohjaan kiinni niippusiteiden avulla. Piirilevyltä tulevat johdot asennetaan kondensaattorissa oleviin ruuvilittimiin, johon saa asennettua kaapelikengät hyvin kiinni. Kaikkien piirilevyn liittimien, kytkimen ja painonapin väliset johdotukset on tehty $1,5\text{mm}^2$ johdosta.



KUVIO 25 Mittalaitteen kotelo

6 MITTALAITTEEN KYTKENNÄN TOIMINTA

Mittalaitteen käyttöjännite tulee olemaan 24V-147V välillä, tämä jännitearvo riippuu siitä, minkä tyyppisestä laitteesta mitataan kytkentävirtaa. Mittalaite toimii tasajännitteellä, joka otetaan ulkoisesta jännitelähteestä. Kytkennässä on kytkin, jolla valitaan käyttöjännitteen mukaan joko 24V-64V:n tai 72V-147V:n jännitealue. Kytkimen avulla määritellään resistanssin suuruus vastuksien R1-R6 avulla, jotka ovat joko $6,9\text{k}\Omega$ tai $1,5\text{k}\Omega$. Kytkimen ollessa 24V-64V:n asennossa resistanssin suuruus on $1,5\text{k}\Omega$ ja virran suuruus vaihtelee 10mA-30mA välillä. Jännitealueella 72V-147V virta vastaavasti vaihtelee 9mA:n ja 20mA:n välillä. Vastuksissa tapahtuu jännitehäviötä, joten jännite (U_c) tulee vaihtelevaan 6,8V-16V.

Kondensaattorin jännitettä voidaan seurata mittalaitteessa olevasta jännitemittarista DPM100S, jossa jännitteen mittausta suoritetaan vastuksien $R_a=1\text{M}\Omega$ ja $R_b=1\text{k}\Omega$ avulla.. Kondensaattorin navat, eli mitattava jännite on kytketty jännitemittarin IN HI ja IN LO nastoihin. Jännitemittarin +5V käyttöjännite on toteutettu 5,1V zenerin avulla. Vastuksilla R11 ja R14 määritellään zenervirta, joka riippuu kytkentään tulevasta U_c -jännitteestä. Regulaattorikytkennän kuormitus on noin 300uA. Transistori ei tässä kytkennässä tarvinnut jäähtytystä, koska tehohäviöt jäivät sen verran alhaiseksi.

Kun mittalaitteeseen kytketään jännitteet, niin kytkennässä oleva 200V/10000uF kondensaattori alkaa latautua. Kytkennässä olevat vastukset R7 ja R8 muodostavat yhteensä noin 200 Ω resistanssin, joka rajoittaa kondensaattorin latausvirtaa. Kondensaattorin täyteen latautuminen kestää noin 12 sekuntia.

Kun kondensaattori on varautunut täyteen, niin kytkentävirta voidaan mitata liipaisemalla mittalaitteessa olevasta napista. Liipaisu tapahtuu tyristorin avulla antamalla virtapulssi sen hilalle, jonka virran suuruuden määrää hilaan kytketyn vastuksen resistanssin- R10 ja käyttöjännitteen suuruus. Kytkentävirta mitataan 1 Ω :n vastuksen yli, jonka jalkoihin on kytketty bnc-liitin, josta mitataan oskilloskoopin avulla vaihtosuuntaajan kytkentävirta. Virran suuruus on suoraan verrannollinen oskilloskoopissa antamaan jännitteen tulokseen. Kun mittalaitteen käyttöjännite irroitetaan mittauksien jälkeen, tämän jälkeen kondensaattori alkaa purkaantumaan vastuksen R9 kautta. Jotta kondensaattori olisi täysin purkautunut, niin tällöin on odotettava noin 50 minuuttia.

7 MITTAUKSET

7.1 Kalibrointi

Kalibroinnilla tarkoitetaan sitä, että säädettävän laitteen antamaa lukemaa verrataan kalibroituun mittanormaaliin. Jännitemittarin kalibroinnissa käytin Fluken yleismittaria (Kuvio 26), jonka avulla mittasin kondensaattorin yli olevaa jännitettä ja säädin jännitemittarissa olevasta trimmeristä jännitteen oikealle tasolle. Jännitemittarin kalibroinnin jälkeen tarkistettiin vielä, että lukema oli sama 15V:n ja 150V:n välillä.



KUVIO 26 Fluke 87 jännitemittari (Pharmaceutical Services Corporation 2010)

7.2 Mittalaitteen testaus

Elektroniikkalaitteita testataan ja mitataan, ja niillä varmistetaan että laite toimii halutulla tavalla. Laitteelle voidaan tehdä useita erilaisia testejä riippuen minkälaiseen käyttökohteeseen laite tulee käyttöön. Piirilevyn valmistumisen jälkeen laitteelle suoritetaan visuaalinen tarkistus, jolla varmistetaan, että johtimet tai komponenttien jalat eivät ole oikosulussa. Yleisimpiä oikosulun aiheuttajia voivat olla esimerkiksi tinasillat, varsinkin jos komponenttien juotettavat jalat ovat lähellä toisiaan. Sähköisessä mielessä testauksen tarkoituksena on todeta, että

laite toimii suunnitellulla tavalla. Laitteita voidaan testata erillisissä olosuhteissa, joissa varmistetaan, että niiden toiminta ei heikkene häiriöiden, lämpötilan tai kosteuden vaikutuksesta. Tätä mittalaitetta tullaan käyttämään ainoastaan normaalissa sisälämpötilassa, joten testaus tapahtuu sen mukaisesti.

KytKentä tullaan testaamaan koko jännitealueella, jonka standardi on määritellyt. Testaukset suoritin 5V:n välein, jolloin mittasin kytkennästä vastusten jännitehäviöt, zener-, transistorin kollektori- ja kondensaattorin jännitteet. Varmistin myös, että jännitemittari näyttää oikeaa lukemaa, minkä testasin mittaamalla yleismittarilla kondensaattorin napojen yli olevan jännitteen, jota vertasin sitten jännitemittarin näyttämään arvoon. Mittauksien välillä oli odotettava vähän aikaa etenkin, jos mittauksen aloitti suurimmasta jännitteestä pienempään jännitteeseen. Tämä sen takia, koska kondensaattorin latauksen täytyi purkautua kytkennässä olevan vastuksen kautta käyttöjännitteen arvoon.

Piirilevyn ensimmäisen version valmistuessa mittalaitetta testataan ilman kuormaa, kun kytkentä toimi niin tämän jälkeen siirryin mittaamaan jännitteet kuorman kanssa. Ensimmäinen vaihe oli varmistaa, että regulaattori kytkentään tulee tarvittavat käyttöjännitteet ja virrat. Tässä vaiheessa kytkennässä oli vielä 9,1V-zenerdiodi, jolla saatiin DPM125:n jännitemittarille jännitteet. Testasin laitteen ensin ilman kuormaa, jolloin jännitteet olivat teoreettisten arvojen kanssa saman suuruiset. Kun kuorma eli jännitemittari kytkettiin kiinni jännitteet putosivat, josta voidaan päätellä, että jännitemittarin aiheuttama kuorma on liian suuri. Regulaattori kytkentä ei voinut näin ollen toimia, koska jännitteen olisi tällöin täytynyt olla yli 9,1V:a. Vastuksien resistanssit ovat siis liian suuret, joten nämä on mitoitettava uudestaan.

Zenerdiodin jännite vaihtelu on myös noin 0,5V luokkaa, minkä perusteella aluksi epäilin, että jännitemittari ei näyttäisi oikeaa lukemaa tämän takia. Myöhemmin kuitenkin selvisi, että jännitemittarin DPM 125:n käyttöjännitettä ei saa kytkeä samaan piiriin, josta jännitettä mitataan. Jotta sain varmuuden, että vika johtui tästä syystä, testasin kytkennän kytkemällä 9V:n pariston jännitemittariin kiinni. Tällä saatiin selville, johtuiko vika jännitemittarin tyypistä, koska jännitelukema oli pariston kytkemisen jälkeen oikea vika on näin ollen todennäköisesti

jännitemittarissa. Tämän johdosta jouduin tilaamaan uuden tyyppisen jännitemittarin ja muuttamaan hieman kytkentää uuden mittarityypin mukaiseksi. Uuden jännitemittarin tyyppiä valitsin DPM100S:n. Tämän jännitemittarin käyttöjännite oli kuitenkin eri kuin DPM125:n, joten jouduin mitoittamaan kytkennän vastuksien ja zenerdiodin arvot uudestaan. Käyttöjänniteeksi täytyi siis saada noin 5V.

Jännitemittarin käyttöjännite on 4,64V, kun vastuksien resistanssi on 1,5k Ω . Lopputestauksessa oli vielä ongelmia koaksiaalikaapelin kanssa, joka oli itse juotettu, johtimet olivat oikosulussa ja tämän takia ei saatu tuloksia heti näkyviin oikein. Viallinen kaapeli aiheutti myös värähtelyä mittauksien alussa.

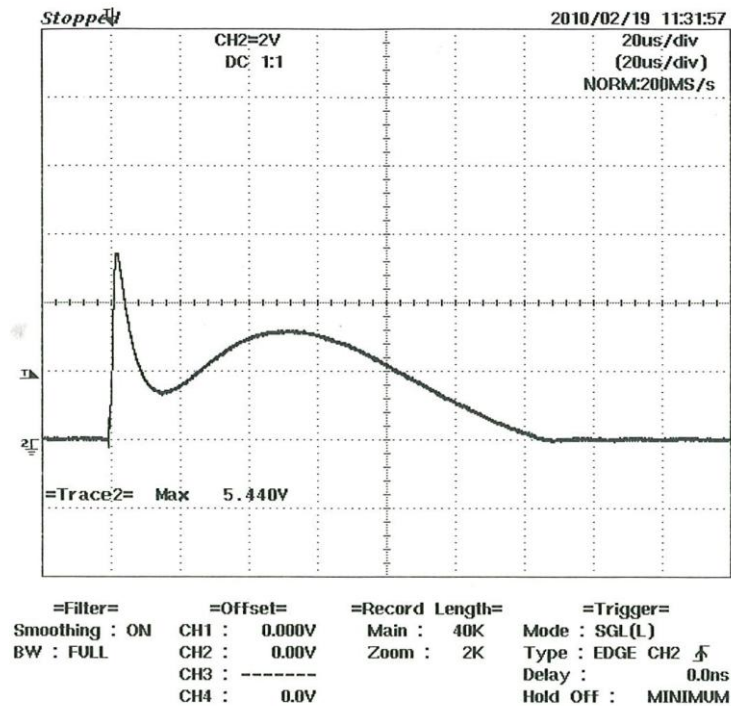


KUVIO 27 Yokogawa DL1540

Kun koaksiaalikaapelin vika oli korjattu, niin tämän jälkeen tehtiin uudet mittaukset uudella kaapelilla, jolloin mittalaite toimi moitteettomasti. Kytkentävirtaa mitataan Yokogawa DL1540 oskilloskoopilla (kuvio 27). Mittaukset suoritetaan oskilloskoopissa olevalla Trigger- eli liipaisutoiminnolla, jotta mittauksen tulokset saadaan näkyviin, on asetuksista säädettävä jännite

2V/ruutu. Mittaukset voidaan myös suorittaa jänniteprobella, jossa on käytössä vaimennusvaihtoehdot 1:10 tai 1:1, jolloin vaimennus on otettava huomioon mittaustuloksessa. Koaksiaalikaapelia käytettäessä suhdeluku on 1:1.

Mittaustuloksista huomataan, että testatulla vaihtosuuntaajalla kytkentävirta oli 5,44A (Kuvio 28).



KUVIO 28 Vaihtosuuntaajan kytkentävirta

8 YHTEENVETO

Tämän opinnätetyön tarkoituksena oli tutustua kytkentävirta-käsitteeseen ja toteuttaa tälle mittalaite EN50311-standardin pohjalta. Työn alussa kytkentävirta käsitteenä ei ollut vielä kovin tuttu, mutta työtä tehdessä kytkentävirrän käsite tuli selkeämmäksi. Kytkentää on melko helppo lähteä toteuttamaan, kun standardissa on määritelty tarvittavat arvot. Mittalaitetta suunnitellessa joutui soveltamaan opetettuja kytkentöjä ja mitoittamaan komponenttien oikeat arvot kohdalleen. Työn aikana oppi myös, että pientä vikaa voi joskus joutua etsimään pitkäänkin.

Tässä tapauksessa se oli jännitemittarin väärä tyyppi. Työn aikana sai myös käsityksen siitä, kuinka yrityksissä elektroniikkalaitteiden suunnittelu toteutetaan. Tämä auttaa jatkossa humioimaan heti työn alussa, mitä kannattaa ottaa huomioon laitteen suunnittelun kannalta.

Kytkenän suunnittelun alussa joutui hieman hakemaan komponentteja Teknowaren ohjelmasta, koska siellä on käytössä omat tyyppimerkinnät, jotka kuitenkin on merkitty loogisesti ohjelmaan. Työn tekemisessä meni aikaa noin 1,5 kuukautta, ja aikaavievin osa-alue oli piirilevyn testaus ja virheiden korjauksien kautta uudelleen mitoitus. Työn tekemisen alussa aikaa meni osaksi ohjelmien tutustumiseen ja komponenttien datalehtien tutkimiseen. Kun ensimmäinen versio mittalaitteesta oli valmis, niin työ alkoi edetä hieman nopeammin. Suurimman osan ajasta työn kulussa meni jännitemittarin vian selvittämiseen.

Työtä tehdessä opin myös käyttämään Pads ohjelmaa, jonka käyttö ei vielä ollut työtä aloittaessa kovin sujuvaa. Koska tämä aihe ei ollut vielä entuudestaan tuttu, niin tämä lisäsi taas tietämystä yhdellä osa-alueella.

Jos laitteesta tekisi seuraavaa versiota, niin voisi miettiä paremman tavan kiinnittää kondensaattorin piirilevyyyn kiinni. Kuormitusvirtaa voidaan vielä myös suurentaa tarvittaessa darlington kytkennällä, jossa kaksi transistoria on kytketty yhteen. Tämä kuitenkin vähentää lähtöjännitettä kaksi kertaa piin kynnysjännitteen verran, joka on noin 1,2-1,4V välillä.

LÄHTEET

Cirentec 2010 [viitattu 8.2.2010]. Saatavissa:

http://www.cirentec.com.mx/imagenes/principal/s42/s42_cab_options_280.jpg

Datasheet catalog 2010.a [viitattu 8.2.2010]. Saatavissa:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/BU407.pdf>

Datasheet catalog 2010.b [viitattu 8.2.2010]. Saatavissa:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/5/0wrdua3xiklrzh1cq5307zxcwy.pdf>

Datasheet catalog 2010.c [viitattu 8.2.2010]. Saatavissa:

http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/80185_DS.pdf

Elektroniikan luotettavuus ja käyttövarmuus [Viitattu 27.2.2006]. Saatavissa:

http://www.ele.tut.fi/teaching/74521/luotettavuus_ja_kayttovarmuus.pdf#search=%22elektroniikan%20luotettavuus%22

European Standard EN50311. Railway applications - Rollin stock - D.C supplied electronic ballasts for lighting fluorecent lamps. Brussel: CENELEC 2003

Farnell.2009. LASCAR - DPM100S - DPM, LCD, 3.5DIGIT, NEGATIVE RAIL [viitattu 2.3.2010]. Saatavissa: <http://www.farnell.com/datasheets/5665.pdf>

Hautala , M. , Peltonen , H. 2005 . Insinöörin Fysiikka osa 1. 7. painos. Saarijärvi: Lahden Teho-opetus Oy Sivut 272, 291-293

Huhtama, K. Stabilointikytkennät [viitattu 25.1.2010]. Saatavissa:

<http://koti.mbnet.fi/~huhtama/ele/index.php?si=ml12.sis&pa=>

Pharmaceutical Services Corporation 2010 [viitattu 8.2.2010]. Saatavissa:

<http://www.biotech.com/pscrental/files/fluke87v%5B1%5D.jpg>

Silvonen, K. , Tiilikainen, M., Helenius, K., Analogiaelektroniikka. 2. painos.
Helsinki:Edita Prima Oy

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Standardisointi. [viitattu 25.01.2010] .
Saatavissa: <http://www.sfs.fi/standardisointi/>

Tehomuuntajan kytkentävirtasysäys [viitattu 3.3.2010]. Saatavissa:
[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21A
C225695B002FB07B/\\$file/110_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/110_0007.pdf)

Tikkanen, H. 2004. Pads Piirilevysuunnitteluopas II. Jyväskylä: Gummerus
Kirjapaino OY

Wikipedia . Vaihtosuuntaaja. [viitattu 3.3.2010]. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Vaihtosuuntaaja>

LIITTEET:**LIITE1: OSALUETTELO****LIITE2: KYTKENTÄKAAVIO****LIITE3: OSASIJOTTELU****LIITE4: MITTAUSTULOKSET**

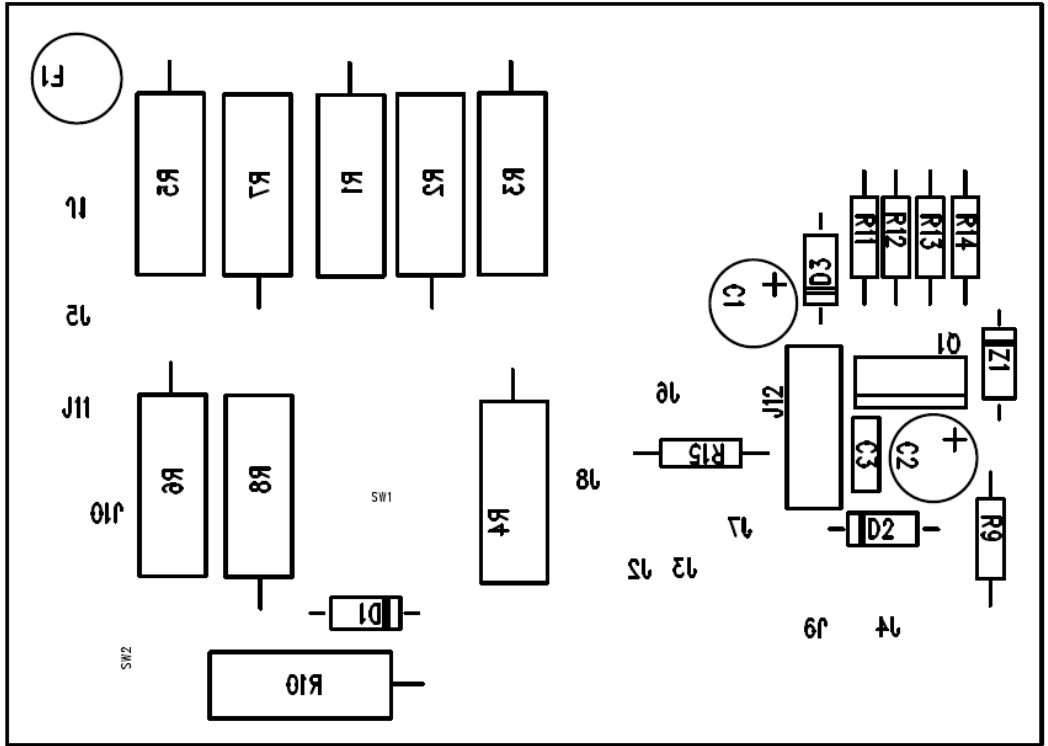
LIITE1

OSALUETTELO			
R1	3,3k Ω /4W	Jännitemittari	DPM100S
R2	1,2k Ω /4W	Ra	1k Ω
R3	1,2k Ω /4W	Rb	1M Ω
R4	1,2k Ω /4W	F1	Nappisulake 1A/200V
R5	1,2k Ω /4W	C1	50V/100uF
R6	820 Ω /4W	C2	50V/100uF
R7	100 Ω /4W	C3	63V/0,1uF
R8	100 Ω /4W	C4	200V/10000uF
R9	56k Ω	J1,J2,J5,J6	Banaaniliitin
R10	820 Ω /4W	J3,J4	Kondensaattorin kiinnitysjohdot apicoliittimillä
R11	100 Ω	J7, J8	BNC-liitin johdoilla
R12	100 Ω	J10	Tyristorin kiinnitysjohto
R13	100 Ω	J9,J11	Tyristorin kiinnitysjohto apicoliittimellä
R14	22 Ω	J12	liitinrima
R15	1 Ω	SW1	Vipukytkin
D1	MUR120	SW2	Painonappi/palautuva
D2	MUR120		
D3	MUR120		
Q1	BU407		
Z1	BZV85 5,1V/1W		

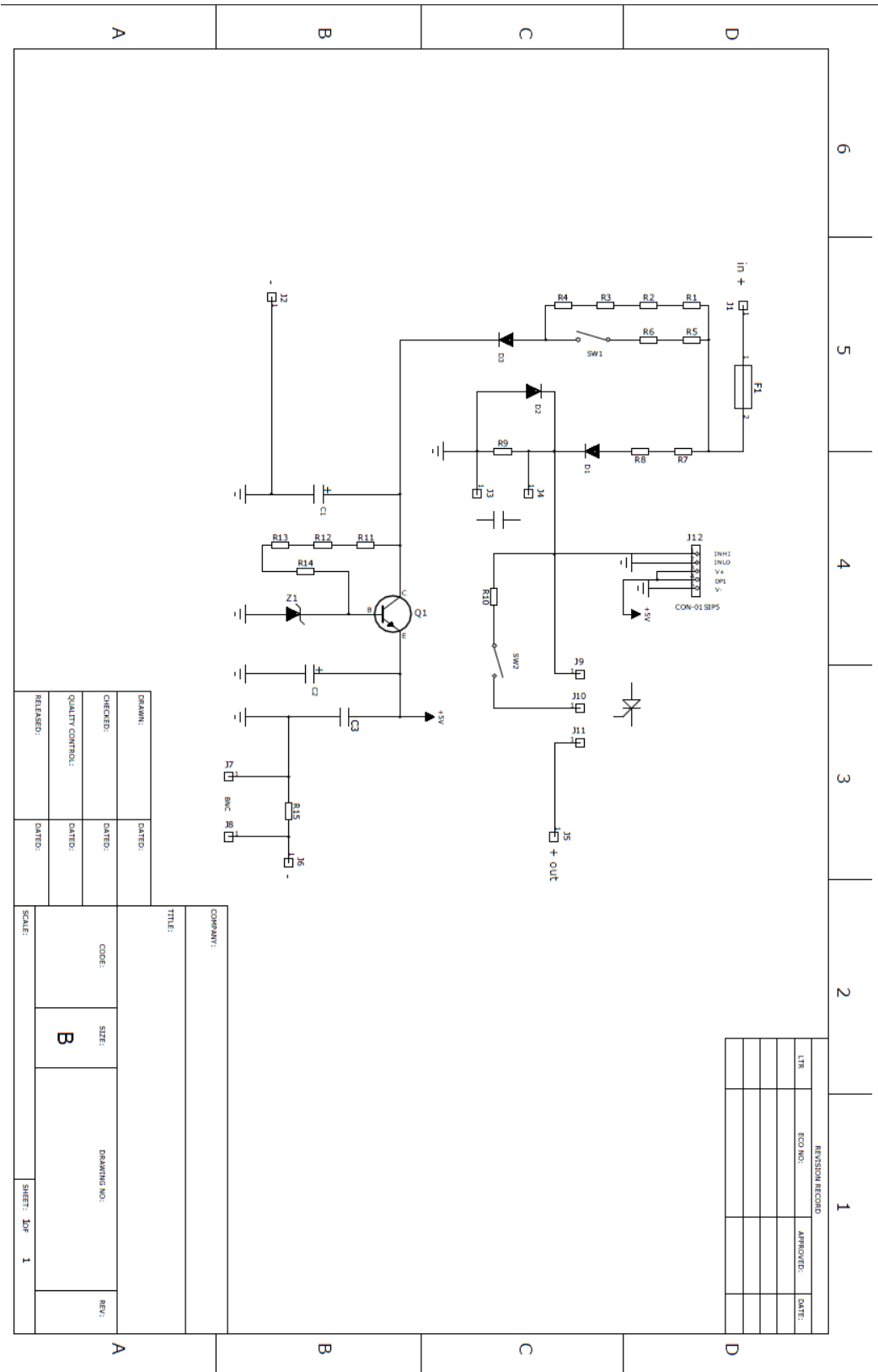
MITTAUSTULOKSET:

R=1,5k Ω						
U _{in} (V)	U _r (V)	U _z (V)	U _{qc} (V)	U _{out} (V)	U _c (V)	Jännitemittarin lukema (V)
15	8,2	5,02	6,8	4,12	14,57	14,5
20	12,2	5	7,8	4,23	19,6	19,5
25	16,2	4,99	8,7	4,3	24,6	24,5
30	20,3	4,97	9,7	4,35	29,5	29,4
35	24,5	4,95	10,6	4,39	34,5	34,3
40	28,6	4,93	11,5	4,42	39,5	39,4
45	32,6	4,9	12,4	4,44	44,4	44,2
50	36,6	4,86	13,3	4,46	49	49,2
55	40,7	4,81	14,9	4,48	54,4	54,1
60	45	4,75	15,1	4,5	59,4	59,1
65	49,3	4,64	16	4,51	64,6	64,1
R=6,9k Ω						
U _{in} (V)	U _r (V)	U _z (V)	U _{qc} (V)	U _{out} (V)	U _c (V)	Jännitemittarin lukema (V)
70	61,8	4,77	8,1	4,44	69,3	69,1
75	66,7	4,78	8,4	4,43	74,3	74
80	71,4	4,8	8,6	4,42	79,5	79
85	76,1	4,81	8,8	4,41	84,2	83,9
90	80,9	4,83	9,1	4,4	89,1	88,9
95	85,7	4,84	9,31	4,39	94,2	93,8
100	90,5	4,85	9,6	4,38	99,2	98,7
105	95,2	4,86	9,8	4,37	104,1	103,7
110	100	4,87	10	4,36	109,1	108,7
115	104,6	4,88	10,3	4,35	114	113,6
120	109,4	4,89	10,5	4,34	119	118,5
125	114,2	4,9	10,8	4,33	124	123,5
130	119	4,91	11	4,31	129	128,5
135	123,9	4,92	11,2	4,3	134,1	133,4
140	128,6	4,92	11,4	4,28	139	138,3
145	133,4	4,93	11,7	4,27	144	143,2
150	138	4,94	11,9	4,25	148,8	148,2

LIITE3



LIITE4



COMPANY:	
TITLE:	
DRAWN:	DATE:
CHECKED:	DATE:
QUALITY CONTROL:	DATE:
RELEASED:	DATE:

CODE:	SIZE:	DRAWING NO.:	REV.:
	B		
SCALE:	SHEET: 2/5		1