

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Sulautetut järjestelmät

Tutkintotyö

Markku Autio

MIKROKONTROLLERIOHJATTU VIRTALÄHDE

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2008

yliopettaja Matti Ilmonen
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tietotekniikka

Sulautetut järjestelmät

Markku Autio

Mikrokontrolleriohjattu virtalähde

Tutkintotyö

27 sivua + 3 liitesivua

Työnohjaaja

yliopettaja Matti Ilmonen

Työnteettävä

Kesäkuu

16.01.2008

Hakusanat

mikrokontrolleri, regulaattori, virtalähde

TIIVISTELMÄ

Tutkintotyön aiheena oli mikrokontrolleriohjattu virtalähde. Tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa virtalähde, josta saadaan ulos 5 – 18 V ja 0 – 3 A. Tarkoituksena oli tehdä virtalähde, jota voidaan käyttää koekytcentöjen jännitteen syöttöön.

Laitteeseen suunniteltiin ohjauskortti, joka optisesti erotetun ohjausväylän ja A/D-muuntajan avulla pystyy ohjaamaan analogista regulaattorikorttia. Optisen erotuksen ansiosta regulaattorikortille ei heijastu mikrokontrollerin aiheuttamia häiriöitä. Ohjauskorttiin asennettiin LCD-näyttö ja kaksi pulssianturia, joiden avulla ulostulojännitettä ja virranrajoituksen suuruutta säädetään.

Regulaattoriksi löytyi ominaisuuksiltaan hyvä L200-regulaattori, jonka jänniteulostulo ja virranrajoitus ovat vastuksilla säädettävissä. Regulaattorin virran kasvattamiseksi asennettiin rinnalle tehotransistori, jonka läpi osa virrasta kulkee.

TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information technology

Embedded systems

Autio, Markku

Microcontroller controlled power supply

Thesis

27 pages + 3 appendixes

Thesis Supervisor

Principal Lecturer Matti Ilmonen

Commissioning Company Tampereen ammattikorkeakoulu

May

16.01.2008

Keywords

microcontroller, regulator, power supply

ABSTRACT

Topic of this thesis is microcontroller controlled power supply. A goal was to design and manufacture a power source that's output is 5 – 18 V and 0 – 3 A. The purpose of this power supply is to be source of a circuit model.

Controller card was designed for this device and it controls regulator card with optically separated bus and monitors it with ADC's. When the bus is optically separated, the microcontroller's unwanted signals can't disturb the regulator. A LCD-display and two pulse sensors was installed on the controller card for adjust output voltage and current limit.

L200-regulator was good choice for the regulator card because its output voltage and current limit can be set with external resistors. A power transistor was installed parallel with regulator to boost up the output current

SISÄLLYSLUETTELO

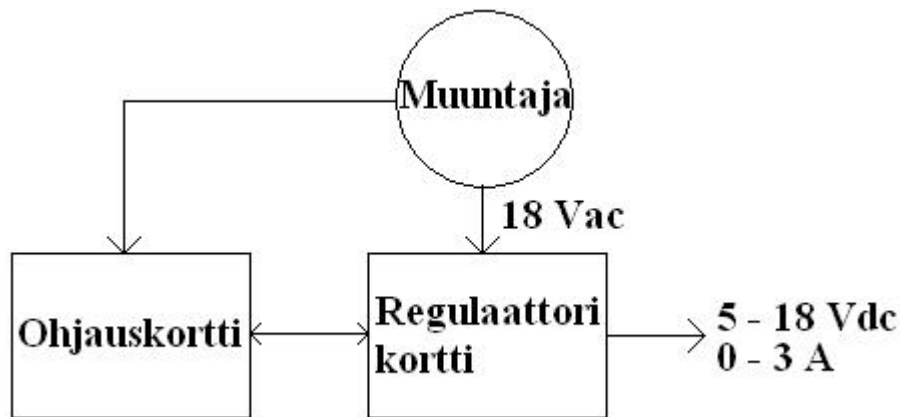
1 JOHDANTO	3
2 VIRTALÄHTEET	4
2.1 Kaupalliset virtalähteet	4
2.2 L200-regulaattori	4
3 KYTKENNÄN SUUNNITTELU	6
3.1 Ohjauskortti	6
3.1.1 Käyttöjännitteiden regulointi	6
3.1.2 Mikrokontrolleri	8
3.1.3 Nestekidenäyttö	11
3.1.4 Pulssianturit ja ohjauslaitteet	14
3.1.5 Optoerottimet	17
3.1.6 A/D-muunnin ja ohjausväylä	18
3.2 Regulaattorikortti	19
3.2.1 Muuntaja, tasasuuntaus ja jännitteen suodatus	19
3.2.2 Regulaattorikytkentä ja ohjaus	21
3.2.3 Kytkennän tilan monitorointi	24
4 YHTEENVETO	26
SÄHKÖISET LÄHTEET	27

SANASTO

A/D-muunnin	Analogia-digitaalimuunnin (<i>engl. ADC</i>)
D/A-muunnos	Digitaalisesta analogiseksi muunnos
H_{FE}	Transistorin virtavahvistuskerroin
Atmel	Yhdysvaltalainen puolijohdevalmistaja
Dallas semiconductor	Yhdysvaltalainen puolijohdevalmistaja
Maxim-ic	Yhdysvaltalainen puolijohdevalmistaja, omistaa nykyisin Dallas semiconductorin
Optoerotin	Kaksi eri sähköjärjestelmää optisesti erottava laite
E_{12} =	Tulos pyöristettynä E12-sarjan mukaiseksi
LED	<i>Light-Emitting Diode</i> eli valodiodi
IR	International Rectifier, yhdysvaltalainen puolijohdevalmistaja
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i> , suunnittelufilosofia, jossa konekielen käskyt pyrittiin pitämään yksinkertaisina
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> eli nestekidennäyttö

1 JOHDANTO

Tutkintotyön aiheena on mikrokontrolleriohjattu virtalähde. Tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa virtalähde, jota voidaan käyttää erilaisten koekytkentöjen jännitteensyöttöön. Alla olevassa kuvassa on virtalähde esitettynä lohkokaaviokuvana.



Kuva 1 Virtalähteen lohkokaavio

Kuvasta nähdään, että muuntajalta syötetään 18 V:n vaihtojännite regulaattorikortille ja ulostulojännite on säädettävissä välillä 5 – 18 V ja virranrajoitus välillä 0 - 3 A.

Suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa suunniteltiin ohjauskortti, jota käytetään ulkoisen regulaattorikortin ohjaukseen. Koska ohjauskortti on digitaalinen, niin sen ohjaukset täytyy optisesti erottaa, jotta digitaaliset signaalit ja kellotus eivät aiheuttaisi häiriöitä analogiseen puoleen.

Seuraavaksi suunniteltiin regulaattorikortti, jolla muuntajan antama vaihtojännite tasasuunnataan ja vakavoidaan. Regulaattorin jännitteen säätämiseen käytetty vastus toteutettiin D/A-muuntimella, jolloin ohjauskortilta tuleva dataväylä voi ohjata ulostulojännitettä.

Useissa virtalähteissä virranrajoitus on toteutettu jännitettä alentamalla, joten virranrajoitus päätettiin toteuttaa ohjelmallisesti, jolloin toista D/A-muunninta ei tarvita. Sen sijaan laitteen ulostulovirtaa ja -jännitettä täytyy mitata.

2 VIRTALÄHTEET

Virtalähde on elektroninen laite, josta saadaan ulos halutun suuruista ja tasattua jännitettä. Useimmissa virtalähteissä on myös jännitteen ja virranrajoituksen säädöt.

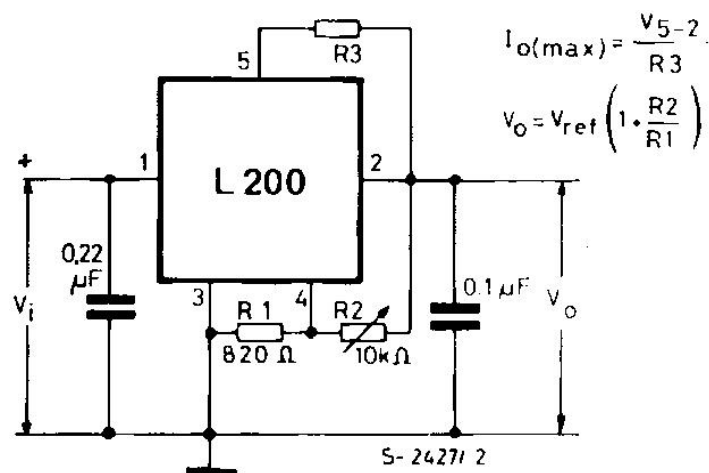
2.1 Kaupalliset virtalähteet

Kaupalliset virtalähteet ovat nykyisin hakkuriperiaatteella toimivia. Niiden sisään-tulojännitettä katkotaan ja tällä tavalla regulaattorin sisääntulojännite pidetään alhaisena. Kaikki virta kulkee kelan läpi suotokondensaattorille ja kelan magneettikenttään varastoituneella energialla korvataan katkaistu sisääntulovirta. Hakkurivirtalähteen hyötysuhde on hyvä, mutta sen tuottamat häiriösignaalit on vaikea poistaa.

Linearisessa virtalähteessä sisääntulojännite tasataan esimerkiksi regulaattorilla, ja sisään- ja ulostulon välinen jännite-ero jää regulaattoriin. Tämä aiheuttaa sen, että regulaattoriin jää suuri tehohäviö ja virtalähteen hyötysuhde huononee. Lineaarisen virtalähteen hyviä puolia on sen antama tasainen jännite ja yksinkertainen toteutus.

2.2 L200-regulaattori

L200 on yksiosainen jänniteregulaattori, jonka jännitteen ja virranrajoituksen suuruus on säädettävissä. Alla olevassa kuvassa on yksinkertaisin L200 regulaattorin kytkentä.



Kuva 2 L200 regulaattorin kytkentä /1/

Ulostulevan virranrajoitus on kuvan mukaan seuraavanlainen:

$$I_{O(MAX)} = \frac{V_{5-2}}{R_3} \quad (1)$$

jossa

V_{5-2} = regulaattorin jalkojen 5 ja 2 välinen jännite, joka on tyypillisesti 0,45V

Ulostulojännitteensäätö tehdään vastuksien R1 ja R2 jännitejaolla kuvasta poimitun kaavan mukaan:

$$V_O = V_{ref} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad (2)$$

jossa

V_{ref} = regulaattorin jalan 4 jännite, joka on tyypillisesti 2,77 V

Regulaattorin L200 jännitesäätö voidaan tehdä säätämällä vastuksen R1 tai R2 arvoa. Regulaattori pyrkii pitämään referenssijännitteen 2,77 V. Säätämällä vastuksen R1 arvoa alaspäin siinä kulkeva virta kasvaa. Sama virta kulkee myös vastuksen R2 kautta, jonka jännitehäviö suurenee. Tästä syystä myös ulostulon jännite kasvaa. Sama tapahtuisi myös R2:sta säätämällä, kun R1:n arvo on vakio.

Virran rajoitus on toteutettu regulaattorin sisäisellä erovahvistimella, joka tarkkailee jalkojen 2 ja 5 välistä jännitettä. Jos jännitehäviö näiden kahden pisteen välillä ylittää 0,45 V (vastuksen R3 yli oleva jännite), niin regulaattori pudottaa ulostulojännitettä niin kauan, että pisteiden välinen jännite on taas alle 0,45 V.

L200 regulaattorin tärkeimmät ominaisuudet: /1/

- Säädettävä virranrajoitus 2A:iin asti
- Säädettävä ulostulojännite 2,85 V:sta ylöspäin
- Pieni virrankulutus lepotilassa (4,2mA)

3 KYTKENNÄN SUUNNITTELU

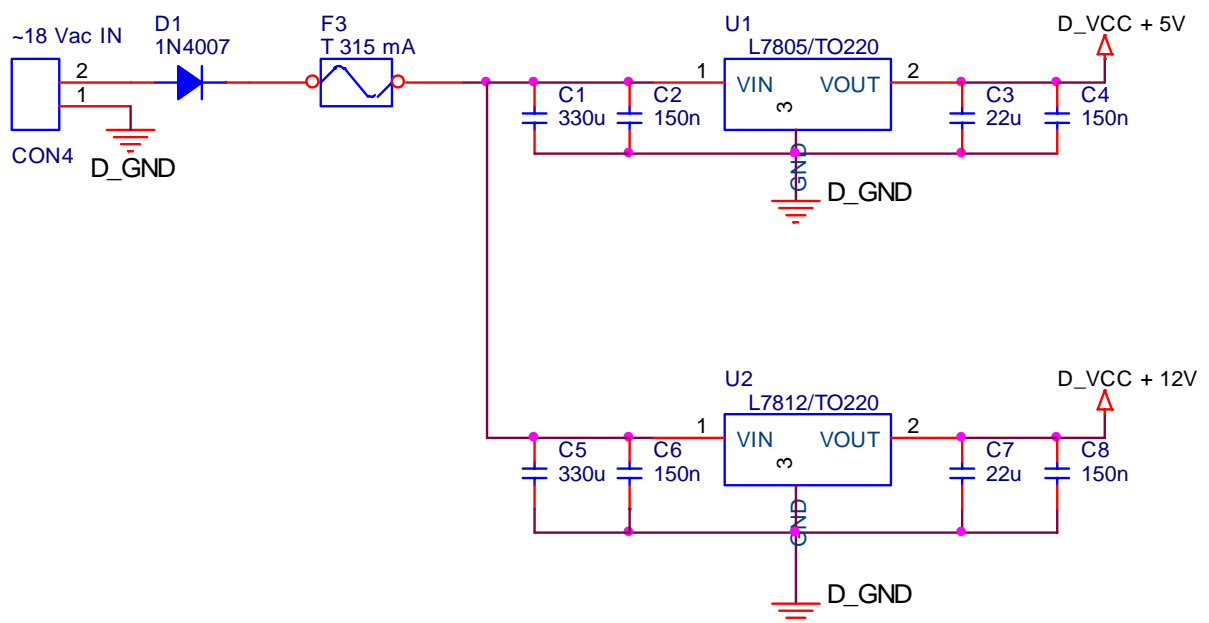
Laitteeseen suunniteltiin kaksi lohkoa; ohjauskortti, jolla ohjataan ja monitoroidaan regulaattorikortin toimintoja, sekä regulaattorikortti, jossa on jännitteen reguloimiseen ja säätämiseen tarvittavat kytkennät.

3.1 Ohjauskortti

Ensimmäiseksi työssä suunniteltiin laitteen ohjauskortti. Ohjauskortin mikrokontrolleriksi valittiin Atmelin valmistama ATmega32, jonka ympärille kytkentä suunniteltiin.

3.1.1 Käyttöjännitteiden regulointi

Ohjauskortilla tarvittavat jännitteet ovat +5 V ja +12 V. Jännitteiden muodostamiseen käytetään 78-sarjan regulaattoreita. L7805 reguloi +5 V:n ja L7812 +12 V:n jännitteet. Viiden voltin käyttöjännite tarvitaan kontrollerin sekä muiden oheislaitteiden käyttöjännitteeksi ja +12 V:n jännite tuulettimelle. Diodi D1 puoliaalto-atasuuntaa 18 V:n vaihtojännitteen +25 V:n tasajännitteeksi.



Kuva 3 Käyttöjännitteiden regulointikytkentä

Sulakkeen koko määräytyy tarvittavasta virrasta, jota kytkennän laitteet vievät seuraavasti:

- Tuuletin n. 100 mA
- LCD – näyttö n. 50 mA
- Optoerottimet n. 100 mA
- Mikrokontrolleri ja muut oheislaitteet n. 50 mA

Yhteensä laitteet tarvitsevat virtaa noin 300 mA, joten sulakkeeksi valittiin 315 mA:n hidas sulake. Hidas sulake tarvitaan, jotta kondensaattoreiden käynnistyksessä ottama virta ei polttaisi sitä.

Kytkenän tasasuunnatun jännitteen suodattavat kondensaattorit C1 ja C5 mitoitettiin seuraavan kaavan avulla.

$$C = \frac{I_L \cdot T}{U_{HUR}} \quad (3)$$

jossa

I_L = kytkennästä ulos otettava maksimivirta

U_{HUR} = jännitteen maksimivaihtelu

T = tasasuunnattavan jännitteen jaksonaika

Kytkenästä otetaan maksimissaan 315 mA:n virta ulos ja tasasuunnattavan jännitteen jaksonaika selviää seuraavasta kaavasta.

$$T = \frac{1}{f} \quad (4)$$

jossa

f = verkkovirran taajuus

Verkkovirran taajuus on 50 Hz, jolloin jaksonajaksi tulee:

$$T = \frac{1}{50\text{Hz}} = 20 \text{ ms}$$

Jännitteen maksimivaihtelu määräytyy regulaattorin L7812 minimisisäntulojännitteestä, jolla 12V:n käyttöjännite säilytetään. Datalehdessä selviää, että minimijänni-

te on 14,6 V. Muuntajalta saatava 18 V:n vaihtojännite on tasasuunnattuna 25 V, joten maksimijännitteen vaihtelu on:

$$25 \text{ V} - 14,6 \text{ V} = 10,4 \text{ V}$$

Sijoittamalla arvot kaavaan 1 saadaan laskettua kondensaattorien arvot.

$$C = \frac{315 \text{ mA} \cdot 20 \text{ ms}}{10,4 \text{ V}} = 0,0006057 \stackrel{E12}{=} 2 \cdot 330 \mu\text{F}$$

Kondensaattorit C2, C3, C4, C6, C7 ja C8 poistavat häiriöitä ja tasaavat jännitettä entisestään. Niiden arvoja ei erikseen mitoiteta. Kondensaattoreiden C1, C2, C5 ja C6 jännitteen keston tulee olla vähintään 25 V, joten niiden jännitteen kestoksi valittiin 35 V. Kondensaattoreille C3, C4, C7 ja C8 jännitteen kestoksi riittää 16 V.

3.1.2 Mikrokontrolleri

Laitteen tarvitsema mikrokontrolleri määräytyi vaadittavien toimintojen mukaan. Seuraavassa on listaus vaadituista ominaisuuksista:

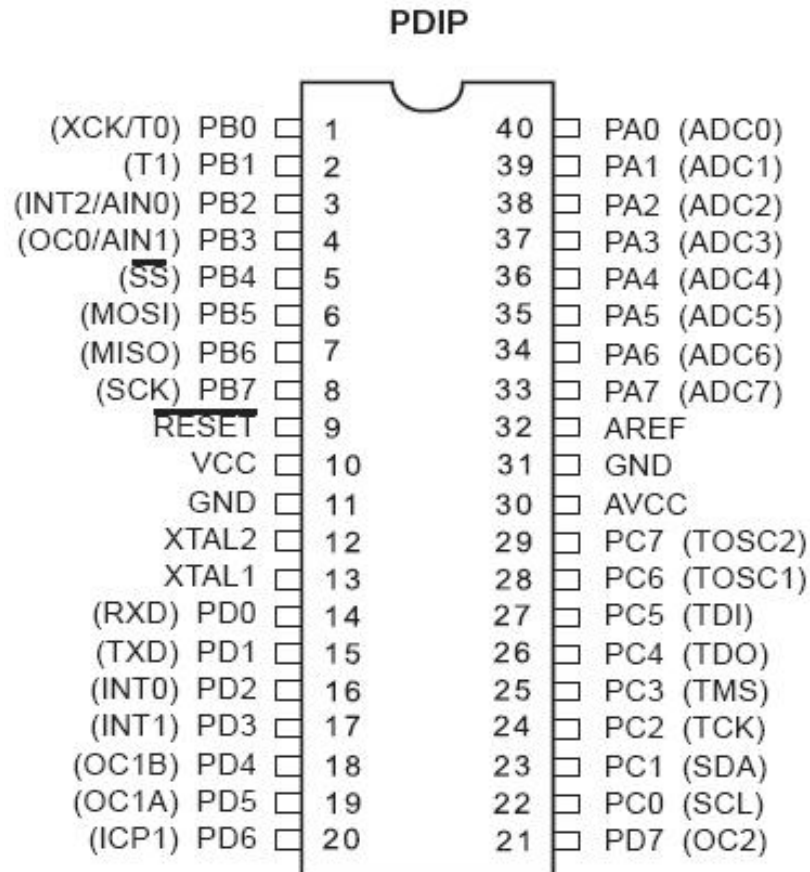
- LCD näytön ohjaus, vaatii kahdeksan I/O-porttia
- Vähintään kolme A/D-muunninta
- 10 optoerotettua ohjausporttia
- Sisääntulot pulssiantureille, vaatii neljä I/O-porttia

Sopiva mikrokontrolleri löytyi Atmelin valmistamista 8-bittisistä RISC-mikrokontrollereista.

ATmega32-mikrokontrollerin keskeisimmät ominaisuudet ovat seuraavat: /2/

- 32 kt:n Flash muisti
- 0 - 16 MHz:n kellotaajuus (myös mahdollisuus käyttää sisäistä oskillaattoria)
- 19 keskeytystä, 3 ulkoista
- käyttöjännite 4,5 - 5,5 V
- 32 I/O-porttia
- 4-kanavainen pulssinleveysmodulaattori
- 10-bittinen 8-kanavainen A/D-muunnin

Kytkenässä päätettiin käyttää ulkoista oskillaattoria, koska sisäisen kellotuksen käyttö olisi pitänyt aktivoida ohjelmallisesti, mikä olisi hankaloittanut ohjelmiston suunnittelua.

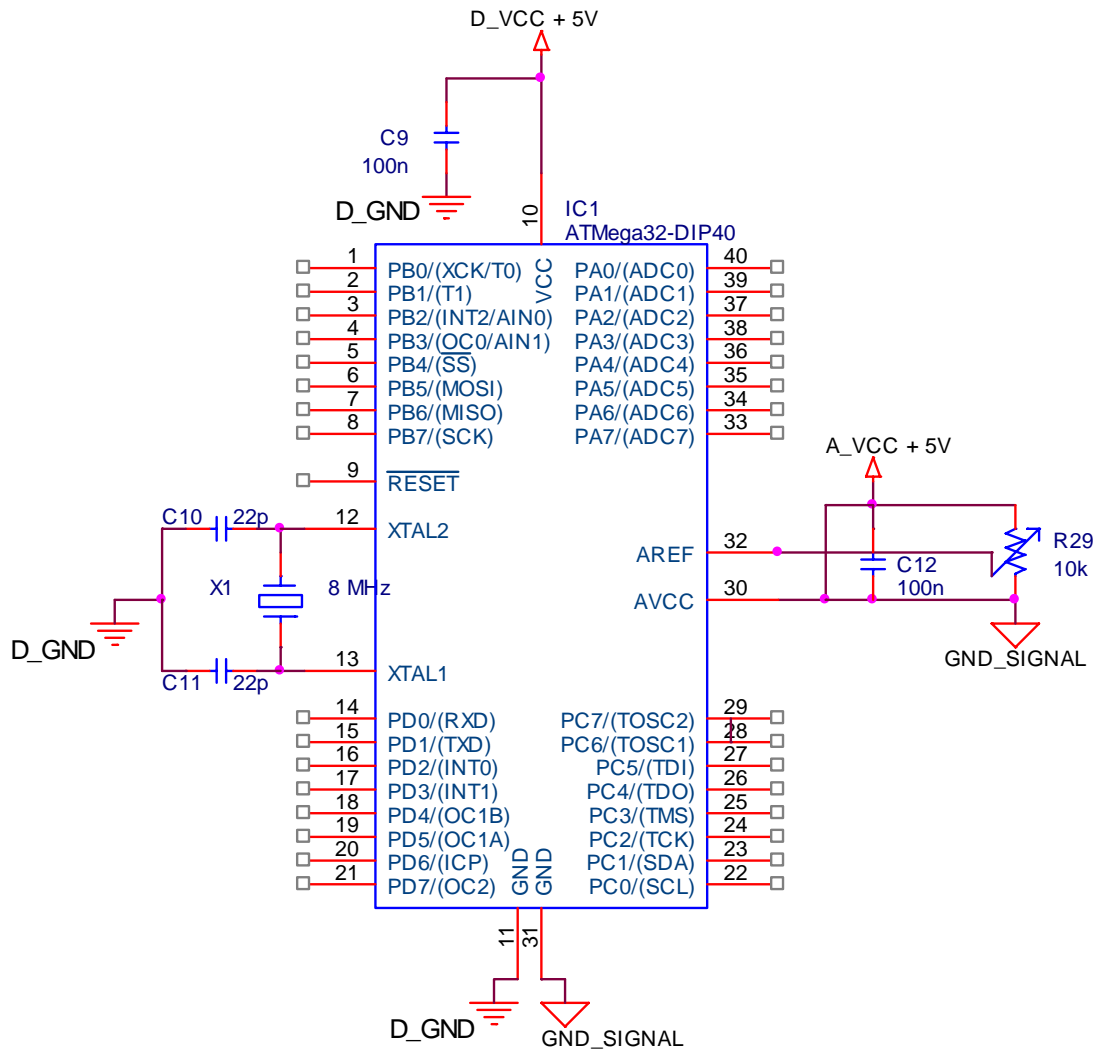


Kuva 4 ATmega32-mikrokontrollerin jalkajärjestys /2/

Yllä olevasta kuvasta voidaan huomata pulssinleveysmodulaatiokanavat (OC) pinneissä 4, 18, 19 ja 21, sekä A/D-muuntimen (ADC) pinneissä 33 – 40.

Oskillaattoriksi valittiin 8 MHz:n kideoskillaattori, jonka rinnalle asennettiin mikrokontrollerin datalehden määräämät 22 pF:n kondensaattorit.

Analogisen vertailijan referenssi säädetään säätövastuksen R29 avulla, kuten alla olevasta kuvasta voidaan nähdä.



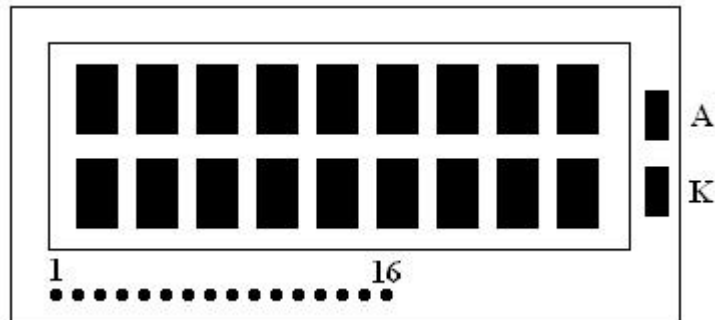
Kuva 5 Mikrokontrollerin peruskytkenä

Muita mikrokontrollerin peruskytkenän komponentteja ovat käyttöjännitteet sekä 100 nF:n kondensaattorit käyttöjännitteiden ja maiden välillä. Kondensaattoreiden tehtävä on poistaa häiriötä käyttöjännitteistä.

A_VCC + 5 V ja GND_SIGNAL ovat analogiselta laitteelta syötettyjä ja D_VCC + 5 V ja D_GND ovat mikrokontrollerin digitaalisia käyttöjännitteitä.

3.1.3 Nestekidenäyttö

Virtalähteen käyttöliittymä päätettiin toteuttaa 2 x 16 merkkisellä nestekide- eli LCD-näytöllä.



Kuva 6 Nestekidenäytön jalkajärjestys

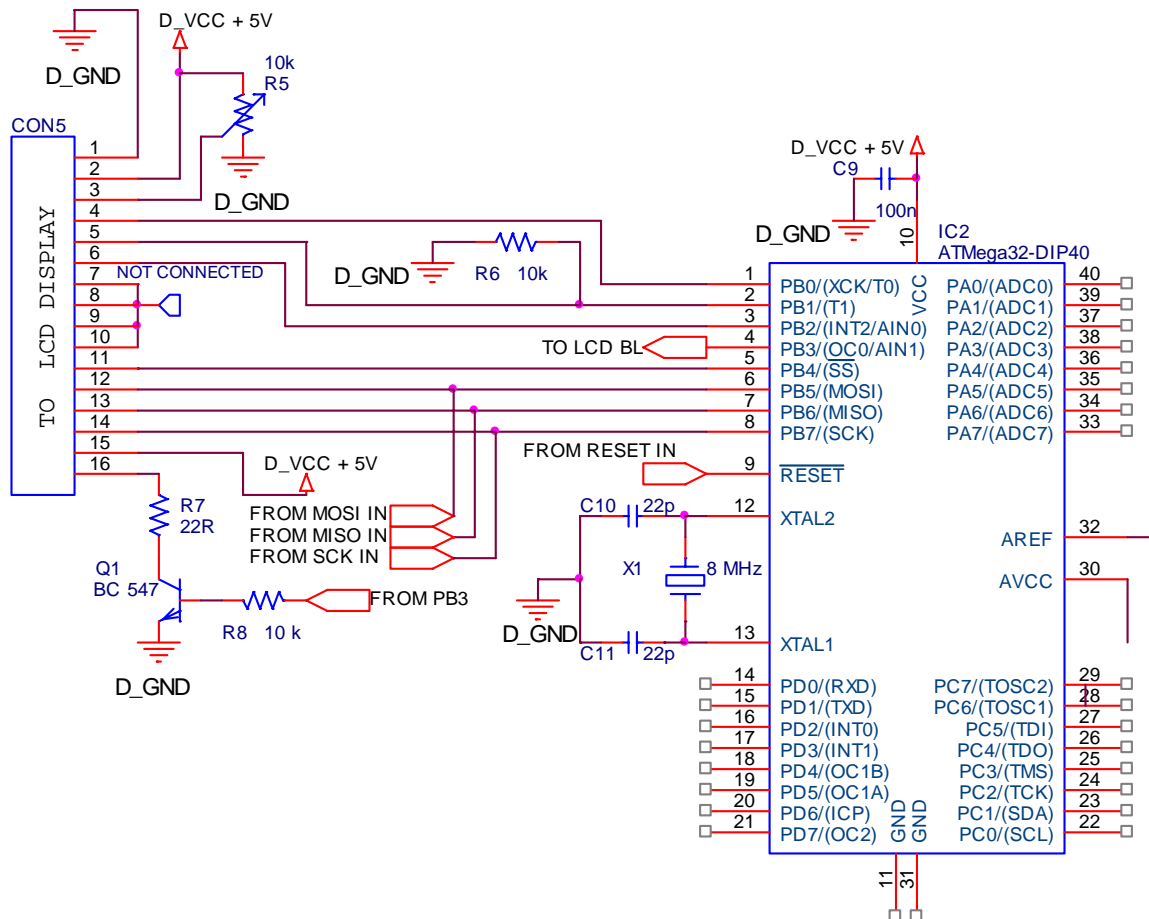
Näytön jalkajärjestys on seuraavan taulukon mukainen:

Taulukko 1 Nestekidenäytön jalkojen symbolit ja toiminnot

Jalka/nro	Symboli	Toiminto
1	V _{ss}	GND
2	V _{dd}	+3V tai +5V
3	V _o	Kontrastin säätö
4	RS	H/L rekisterin valintasignaali
5	R/ \bar{W}	H/L lue/kirjoita-valinta
6	E	H→L Sallinta signaali
7	DB0	H/L ohjausbitti
8	DB1	H/L ohjausbitti
9	DB2	H/L ohjausbitti
10	DB3	H/L ohjausbitti
11	DB4	H/L ohjausbitti
12	DB5	H/L ohjausbitti
13	DB6	H/L ohjausbitti
14	DB7	H/L ohjausbitti
15	A/V _{cc}	+4,2V taustavalolle
16	K	Taustavalon maa

Nestekidenäytön ohjaukseen tarvitaan vain ohjausbittejä 0 - 3, koska näytöltä ei lueta tietoja. Näytön kontrastin säätö tarvitsee 0 – 5 V:n jännitteen.

Nestekidenäyttö kytketään mikrokontrollerin porttiin B, koska tässä portissa ei ole muissa oheislaitteissa tarvittavia ominaisuuksia.



Kuva 7 Nestekidenäytön kytkentä mikrokontrolleriin

Säätövastuksella R5 säädetään näytön kontrasti.

Vastuksella R6 asetetaan näyttö kirjoitustilaan, kun kontrolleria ohjelmoidaan. Mikrokontrollerin ohjelmointi tapahtuu portin B pinneistä 5 – 7. Näytön täytyy olla kirjoitustilassa, jotta se ei syöttäisi dataa ulos ja sotkisi ohjelmointia.

Näytön taustavaloa ohjataan transistorilla Q1. Taustavalon kuluttaa virtaa n. 20 – 40 mA, joten sen virtaa rajoitetaan 22 Ω:n vastuksella. Transistorin Q1 tyyppi on BC547B ja sen maksimikantavirta on 100 mA, joten se kestää taustavalon kuluttaman virran helposti. Taustavalon virta lasketaan seuraavan kaavan mukaan:

$$I_{BL} = \frac{D_{V_{CC+5V}} - V_{BL} - V_{CE}}{R7} \quad (5)$$

jossa

$D_{V_{CC+5V}} = +5 \text{ V}$:n käyttöjännite

V_{BL} = taustavalon kynnyksjännite

V_{CE} = transistorin Q1 kollektoriemitterijännite saturaatiossa

Kun tähän kaavaan sijoitetaan arvot, saadaan virraksi

$$I_{BL} = \frac{5 \text{ V} - 4,2 \text{ V} - 0,1 \text{ V}}{22 \Omega} = 0,0318 \text{ A}$$

Kun tiedetään, että transistorin Q1 minimivirtavahvistus H_{FE} on 90, niin transistorin kantavirta lasketaan seuraavan kaavan mukaan:

$$I_B = \frac{I_{BL}}{H_{FE}} = \frac{0,0318 \text{ A}}{90} = 0,000353 \text{ A} \quad (6)$$

Tämän avulla saadaan laskettua transistorille kantavastuksen arvo, kaavalla:

$$R8 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} \quad (7)$$

jossa

V_{BE} = transistorin Q1 kantaemitterijännite

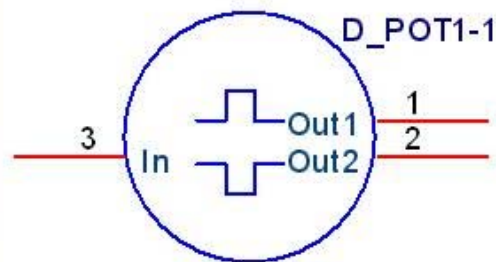
Mikrokontrollerin käyttöjännitteen alaraja on 4,5 V, joten laskussa käytetään tätä arvoa.

$$R8 = \frac{4,5 \text{ V} - 0,6 \text{ V}}{353 \mu\text{A}} = 11031 \overset{E12}{=} 10 \text{ k}\Omega$$

Taustavaloa ohjaava transistori on kytketty yhteen mikrokontrollerin pulssinleveysmodulaatiolähtöön, joten taustavalon kirkkautta voidaan säätää ohjelmallisesti. Pulssinleveyttä säätämällä säädetään transistorin johtamisaika.

3.1.4 Pulssianturit ja ohjauslaitteet

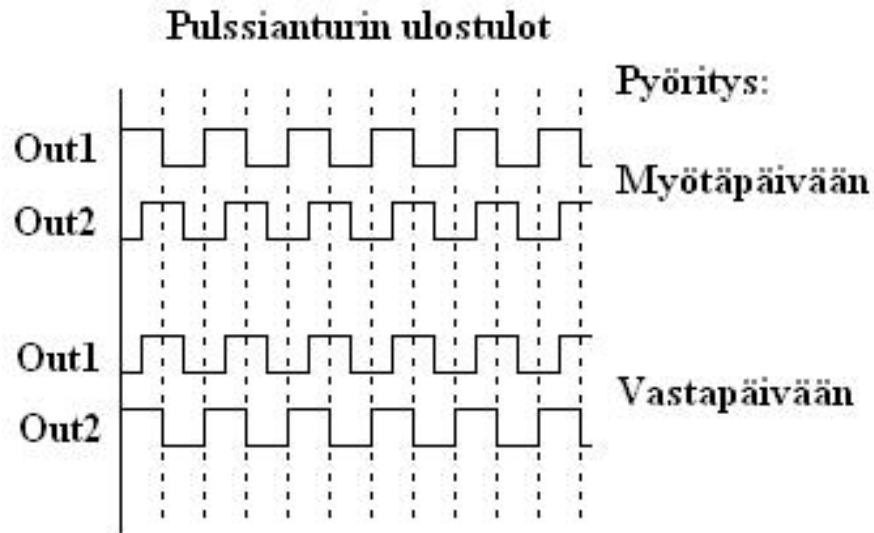
Laitteen jännitteen- ja virranrajoituksensäätöön käytetään pulssiantureita. Pulssianturissa on yksi maahan tai käyttöjännitteeseen kytkettävä jalka ja kaksi ulostuloa, joiden avulla saadaan tietää, kumpaan suuntaan ja kuinka nopeata akselia pyöritetään.



Kuva 8 Pulssianturi /4/

Pulssianturin pyörityssuunnan saa selville kokeilemalla, kumpi ulostulo antaa ensimmäisenä positiivisen pulssin. Nopeus taas saadaan selville pulssien toistonopeudesta. Mikrokontrollerin nopeus täytyy olla riittävä, jotta nopeasti pyörivän pulssianturin signaaleja ehditään tulkita. Tässä tapauksessa pulssianturi antaa 20 pulssia per kierros, joten nopeudella kierros/sekunti pulssien jaksonaika on $1/20$ s eli 50 ms. Mikrokontrollerille ei tämä nopeus tuota ongelmia. Ongelmallista on se, että jompikumpi ulostuloista saattaa jäädä ylätilaan ja kontrolleri tulkitsee anturin pyöriväksi, mutta tämä ongelma on ohjelmallisesti ratkaistavissa.

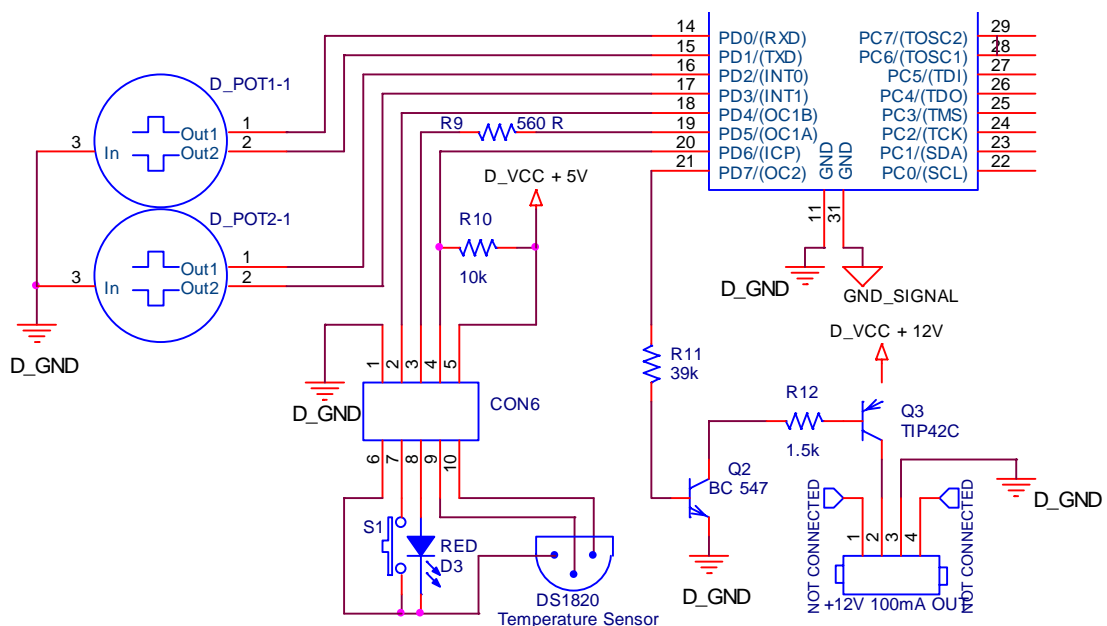
Pulssianturin ulostulot on piirretty aika-akselille alla olevassa kuvassa.



Kuva 9 Pulssianturin ulostulot

Pulssianturit kytkettiin portin D bitteihin 0 ja 1 sekä 2 ja 3.

Muita ohjauslaitteita portissa D ovat koteloon kiinnitettävät mikrokytkin S1, merkinanto LED D3, Dallas semiconductorin valmistama digitaalinen lämpötila-anturi DS1820 sekä tuulettimen ulostulo. Alla olevasta kuvasta selviää miten ne ovat kytketty kontrolleriin.



Kuva 10 Ohjauslaitteiden kytkentä

Kytöntä S1 käytetään virranrajoituksen palauttamiseen ja LED-valoa virranrajoituksen ilmaisuun.

LED-valon kynnysjännite on noin 1,5 V ja sen läpi kulkee 5 mA:n virta. Näillä arvoilla saadaan laskettua tarvittava etuvastus:

$$R9 = \frac{4,5 \text{ V} - 1,5 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 600 \Omega \stackrel{E12}{=} 560 \Omega$$

Lämpötila-anturilla tarkkaillaan regulaattorikortin jäähdytyslevyn lämpötilaa, tuulettimella, joka tulee kiinni liitäntään transistorin Q3 alapuolella, pyritään jäähdyttämään sitä, mikäli lämpötila kasvaa liian suureksi.

Tuuletin kuluttaa maksimissaan 100 mA virtaa, joten sitä ei voida ohjata suoraan kontrollerin ulostulolla, vaan se täytyy puskuroida transistoreilla. Ohjaavaksi transistoriksi valittiin suuritehoinen TIP 42C. Transistorin virtavahvistuskerroin on kuitenkin niin pieni, että sitä ohjaamaan laitettiin BC 547 -transistori.

Transistorista Q3 kollektorivirta on maksimissaan 100 mA ja sen virtavahvistuskerroin on minimissään 15. Transistorin kantavirta lasketaan kaavan 4 mukaan, mutta tässä tapauksessa virran I_{BL} tilalla on kollektorivirta I_C .

$$I_{B_Q3} = \frac{0,100 \text{ A}}{15} = 0,006666 \text{ A}$$

Transistorin Q3 vaatima kantavastus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$R12 = \frac{D_VCC_{+12V} - V_{BE_Q3} - V_{CE_Q2}}{I_{B_Q3}} \quad (8)$$

jossa

D_VCC_{+12V} = +12 V käyttöjännite

V_{BE_Q3} = transistorin Q3 kantaemitterijännite

V_{CE_Q2} = transistorin Q2 kollektoriemitterijännite saturaatiossa

Kun kaavaan sijoitetaan arvot, niin kantavastukseksi saadaan

$$R_{12} = \frac{12\text{ V} - 0,6\text{ V} - 0,1\text{ V}}{6,666\text{ mA}} = 1695\ \Omega \stackrel{E12}{=} 1,5\text{ k}\Omega$$

Transistorin Q2 kollektorivirta saadaan laskettua kaavaa 6 soveltamalla:

$$I_{C_Q2} = \frac{12\text{ V} - 0,6\text{ V} - 0,1\text{ V}}{1,5\text{ k}\Omega} = 0,00753\text{ A}$$

Transistorin Q2 virtavahvistus on 90, joten sen kantavirta on kaavan 4 mukaan:

$$I_{B_Q2} = \frac{0,00753\text{ A}}{90} = 0,0000837\text{ A}$$

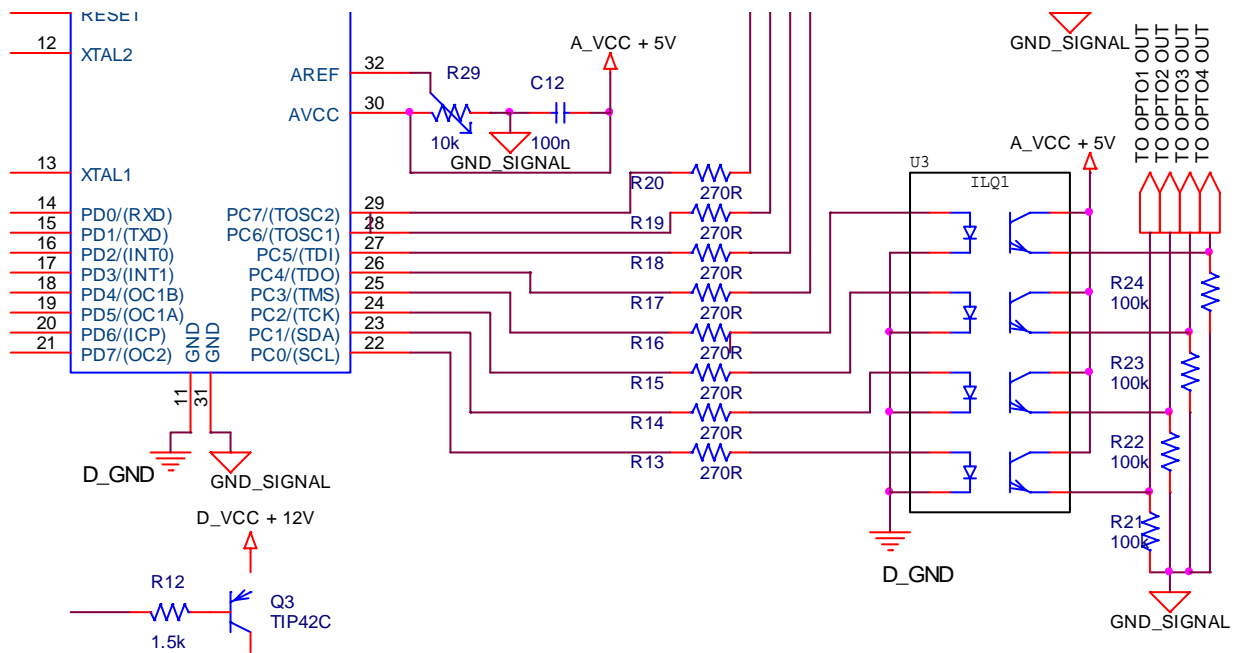
Kantavastus saadaan laskettua kaavalla 5:

$$R_{11} = \frac{4,5\text{ V} - 0,6\text{ V}}{83,7\ \mu\text{A}} = 46592\ \Omega \stackrel{E12}{=} 39\text{ k}\Omega$$

3.1.5 Optoerottimet

Regulaattorikortin ohjaamiseen varattiin mikrokontrollerin portti C ja portin A pinnit 6 ja 7. Jos digitaalisella mikrokontrollerilla halutaan ohjata analogista laitetta, niin häiriöiden välttämiseksi analoginen ja digitaalinen käyttöjännite täytyy erottaa toisistaan. Tähän tarkoitukseen käytettiin optisesti analogisen ja digitaalisen sähköjärjestelmän erottavaa optoerotinta.

Optoerottimen sisääntulossa on valodiodi ja ulostulossa fototransistori. Mikrokontrollerilla syötetään valodiodille 10 mA virta, jolloin se syttyy piirikotelon sisällä palamaan. Valo synnyttää fototransistorissa tarvittavan kanta-emitterijännitteen ja avaa transistorin. Alla olevassa kuvassa on esitetty portin C pinneihin 0 - 3 liitetty optoerotin ILQ1. Pinneissä 4 - 7 löytyy samanlainen kytkentä. Portin A pinneissä 6 ja 7 on optoerottimena käytetty ILCT1, joka on ominaisuuksiltaan samanlainen kuin ILQ1, mutta siinä on vain kaksi kanavaa.



Kuva 11 Optoerotin kytkentä

Optoerotin valodioiden kynnysjännite on 1,25 V ja minimi virta 10 mA. Näiden arvojen avulla voidaan laskea tarvittavat etuvastukset:

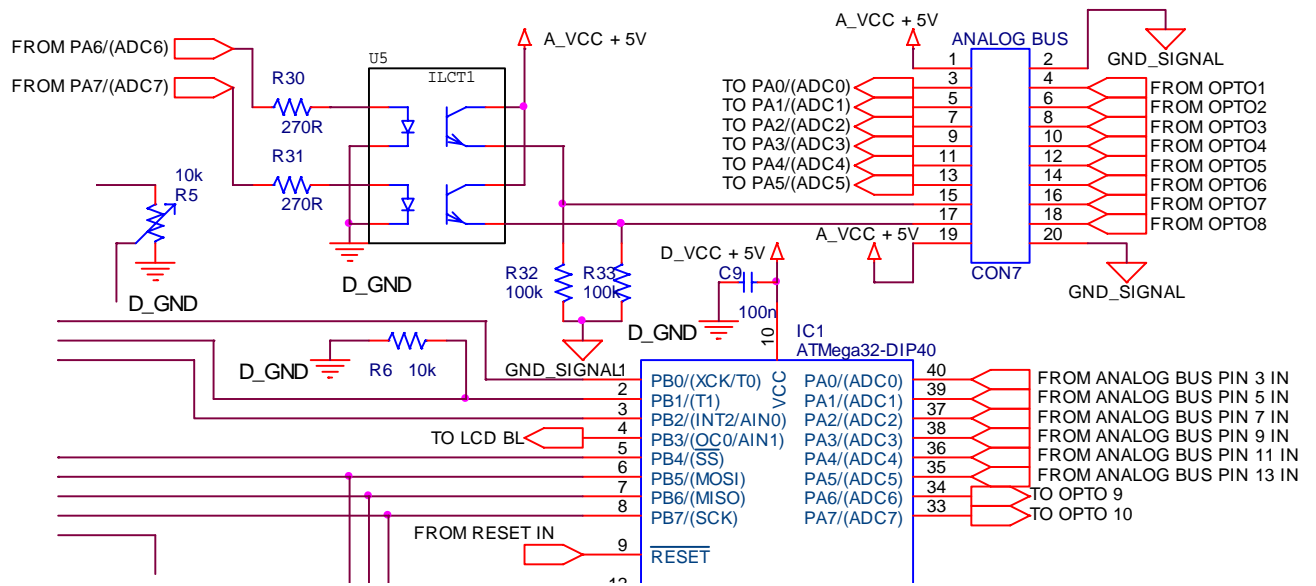
$$R_{13} = \frac{4,5 \text{ V} - 1,25 \text{ V}}{0,01 \text{ A}} = 325 \Omega \stackrel{E12}{=} 270 \Omega$$

Analogisella puolella olevat 10 k Ω vastukset luovat tarvittavan kantavirran transistorin avaamiseksi. Optoerotin toiminta voidaan näin testata ilman regulaattorikorttia.

3.1.6 A/D-muunnin ja ohjausväylä

Mikrokontrollerin portissa A on 8-kanavainen 10-bittinen A/D-muunnin, josta käytetään kanavia 0 - 5. Portin A pinnejä 6 ja 7 käytetään analogisen kortin ohjaukseen.

Tiedonvälitys ohjaukseen ja regulaattorikortin välillä tehdään 20-johtoisella latta-kaapelilla. Alla olevassa kuvassa on optoerotin ILCT1, portti A ja latta-kaapelin kytkentä.



Kuva 12 Optoerotin ILCT1 ja analogisen väylän kytkennät

3.2 Regulaattorikortti

Regulaattorikortin suunnittelussa lähdettiin liikkeelle regulaattorin valinnasta, jonka ympärille yksinkertainen kytkentä suunniteltiin.

3.2.1 Muuntaja, tasasuuntaus ja jännitteen suodatus

Laitteen virransyöttöön käytetään 300 W:n muuntaja, joka antaa ulostuloihin 2x18Vac. Tasasuunnattuna jännitteen huippuarvo on seuraavan kaavan mukainen:

$$\hat{U} = \sqrt{2} \cdot Vac \quad (9)$$

jossa

Vac = vaihtojännitteen tehollisarvo

Sijoittamalla arvot kaavaan saadaan jännitteeksi huippuarvoksi

$$\hat{U} = \sqrt{2} \cdot 18 Vac = 25,45 V$$

Tasasuuntaussillaksi valittiin IR:n valmistama 8 ampeerin tasasuuntaussilta, tyypiltään KBPC810. Tasasuuntaussillan diodien maksimikynnysjännite on 1 V per diodi.

Regulaattorin minimijännitehäviö on 2 V ja ulostulojännite on päätetty rajoittaa 18 V:iin. Sisääntulon minimiarvo on siis

$$U_{in_{min}} = 18 \text{ V} + 2 \text{ V} = 20 \text{ V}$$

Sisääntulojännite saa pudota maksimissaan seuraavan kaavan mukaan:

$$U_{Drop} = \hat{U} - (U_{in_{min}} + U_{Diode_bridge}) \quad (10)$$

jossa

$$U_{Diode_bridge} = \text{diodisillan diodien maksimijännitehäviö}$$

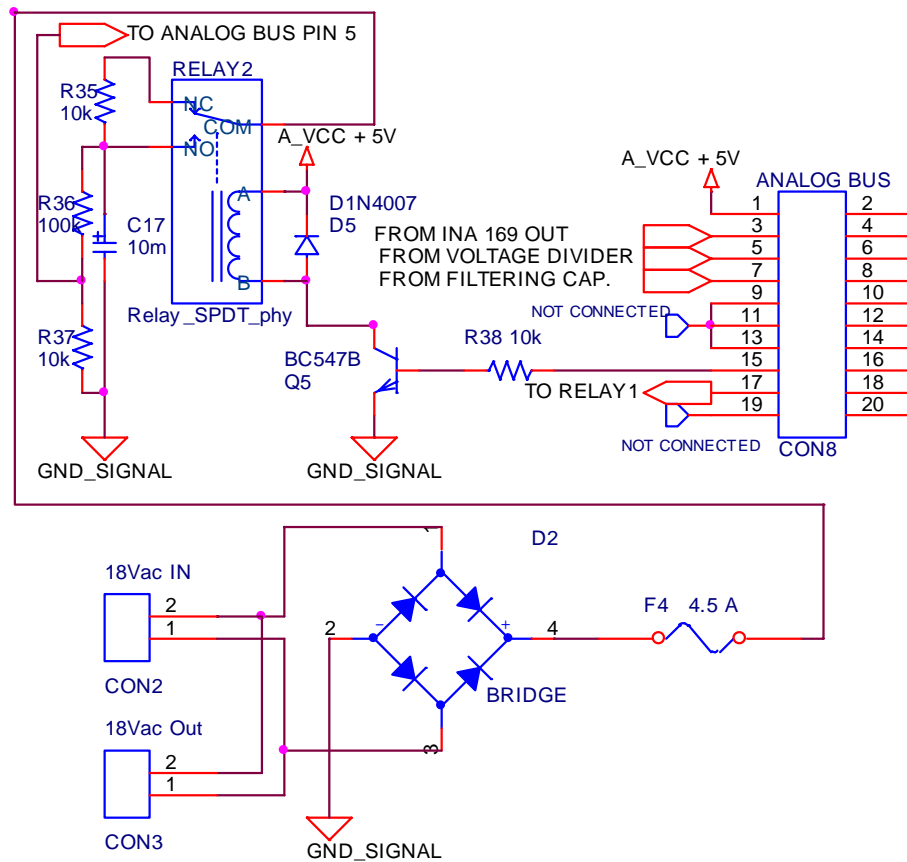
Kun arvot sijoitetaan kaavaan, saadaan maksimijännitteenalenemäksi

$$U_{Drop} = 25,45\text{V} - (20 \text{ V} + 2 \text{ V}) = 3,45 \text{ V}$$

Tämän avulla saadaan laskettua tarvittavan suotokondensaattorin arvo, kun kytkennästä otettava maksimivirta I_L on rajoitettu 3 ampeeriin ja jaksonaika on tällä kertaa 10 ms, koska jännite kokoalotasasuunnataan.

$$C = \frac{3 \text{ A} \cdot 10 \text{ ms}}{3,45 \text{ V}} = 0,008695 \text{ F} \stackrel{\text{E12}}{=} 10000 \mu\text{F}$$

Tämän kokoinen kondensaattori ottaa niin paljon virtaa käynnistyksen yhteydessä, että sulakkeet palaisivat ilman ns. pehmeää käynnistystä. Pehmeällä käynnistyksellä tarkoitetaan sitä, että alussa kondensaattorien virtaa rajoitetaan vastuksella ja kun kondensaattoreiden jännite on kasvanut tarpeeksi, eli pahin virtapiikki on ohitettu, se yhdistetään diodisiltaan. Alla olevassa kuvassa on esitetty tässä työssä käytetty ratkaisu pehmeään käynnistykseen.



Kuva 13 Suotokondensaattorin pehmeä käynnistys

Alkuvaiheessa relettä RELAY2 ei ohjata auki, jolloin virta kulkee vastuksen R35 kautta suotokondensaattorille C17. Kun kondensaattorin jännite on noussut tarpeeksi, niin rele kytketään päälle ja kondensaattori on siten suoraan yhteydessä diodisiltaan.

Vastuksien R36 ja R37 tarkoitus on pienentää jännitettä mikrokontrollerille sopivaksi.

3.2.2 Regulaattorikytkentä ja ohjaus

Jännitteen vakavoimiseen valittiin kohdassa 2.2 esitelty L200-regulaattori. Alla olevassa kuvassa on regulaattorin ja analogisen ohjausväylän kytkentä.

Todellisuudessa kytkennästä ei oteta näin paljon virtaa ulos, vaan ulostulovirta on rajoitettu ohjelmallisesti 3 A mikrokontrollerilla. Kun mikrokontrolleri huomaa virtaa otettavan enemmän, niin se rupeaa säättämään regulaattorin ulostulojännitettä pienemmäksi, niin kauan kuin virta on alle 3 A tai jännite 5 V. Regulaattorista saadaan minimissään 2,85 voltia ulos, mutta minimijännitekin on rajoitettu ohjelmallisesti 5 V. Jos virtaa kulkee yli 3 A ja jännite on jo minimissään, niin rele 1 avataan ja ulostulo menee kokonaan pois päältä.

Jänniteensäätöön käytetään 8-bittistä D/A-muunnosta, jossa alemman vastuksen arvoa säädetään 220 kΩ:n ja 510 Ω:n välillä. Säättäminen tapahtuu valitsemalla D/A-muuntimen vastuksia R42, R43, R45, R47, R49, R51, R53, R55 ja R57 mukaan rinnakkaiskytkentään. Kun kaikki kahdeksan bittiä on päällä, niin vastuksien rinnakkaisresistanssi on 510 Ω ja kun kaikki on pois päältä, rinnakkaisresistanssi on 220 kΩ. Vastus R41 luo D/A-muuntimen kanssa jännitejaon, jolloin ulostulojännite on säädettävissä kaavan 2 mukaan

$$V_{O_MIN} = 2,77 V \cdot \left(1 + \frac{3300 \Omega}{220000 \Omega} \right) = 2,81 V$$

$$V_{O_MAX} = 2,77 V \cdot \left(1 + \frac{3300 \Omega}{510 \Omega} \right) = 20,69 V$$

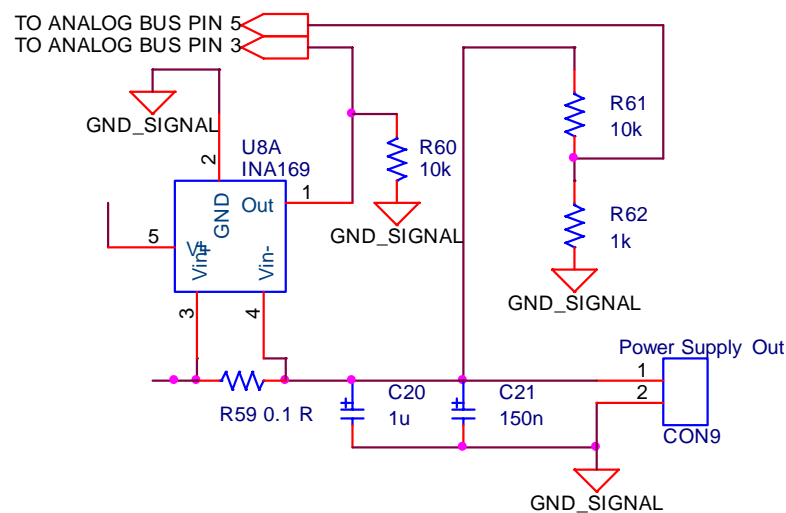
Ulostulojännitteen säätöalue on mitoitettu välille 2,81 V – 20,69 V, mutta ohjelmallisesti se on rajoitettu välille 5 V – 18 V.

Kondensaattorit C18 - C21 ovat jännitteen vakavoimiseen ja häiriönpoistoon.

3.2.3 Kytkennän tilan monitorointi

Regulaattorikortilta menee analoginen väylä ohjauskortille. Väylän avulla tuodaan ohjaus releille sekä D/A-muuntimelle. Regulaattorikortilta ohjauskortille vietään jännitetasoja mikrokontrollerin A/D-muuntimelle, joka tulkitsee näiden avulla kytkennän tapahtumia.

Alla olevassa kuvassa on virtalähteen ulostulon monitorointiin käytetty kytkentä.



Kuva 15 Ulostulojännitteen ja -virran monitorointikytkentä

Mikropiiri INA169 tarkkailee vastuksen R59 yli olevaa jännitettä, joka on suoraan verrannollinen ulostulovirtaan.

Vastuksien R61 ja R62 jännitejaolla pienennetään ulostulojännitteen tasoa mikrokontrollerille sopivaksi. Mikrokontrollerin A/D-muuntimelle tuleva jännite kerrotaan ohjelmallisesti 11:llä, jotta se on verrannollinen ulostulojännitteen kanssa. A/D-muuntimelle tulevat jännitetasot, kun ulostulon säätöalue on 5 V – 18 V, ovat jännitejaon mukaan seuraavat:

$$V_{A/D_MIN} = \left(\frac{5 \text{ V}}{11 \text{ k}\Omega} \right) \cdot 1 \text{ k}\Omega = 0,4545 \text{ V}$$

jossa

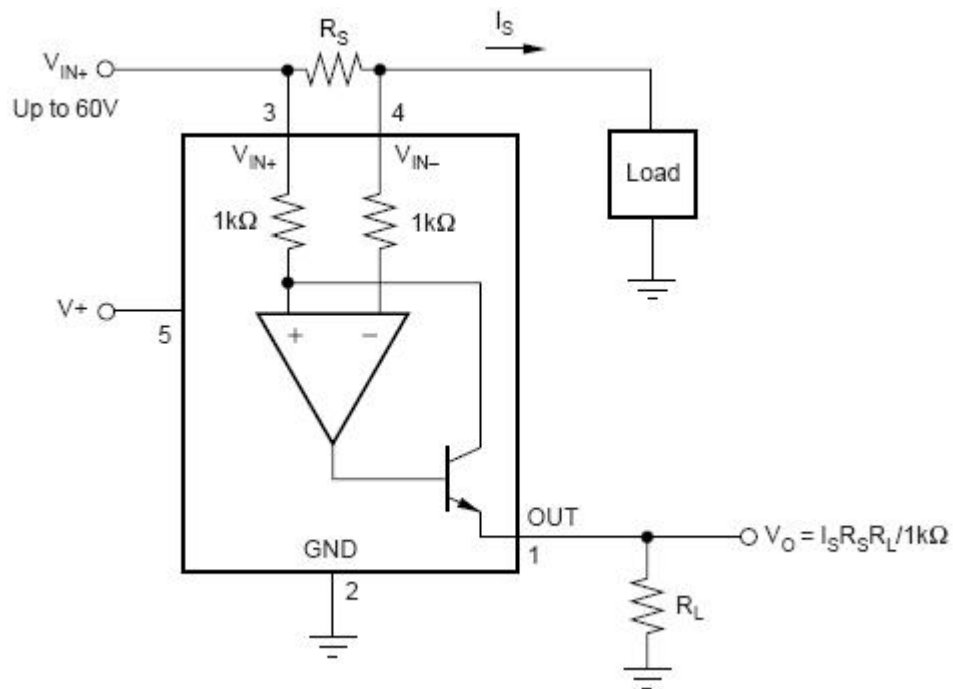
$$V_{A/D_MIN} = \text{A/D-muuntimelle tuleva minimijännite}$$

$$V_{A/D_MAX} = \left(\frac{18\text{ V}}{11\text{ k}\Omega} \right) \cdot 1\text{ k}\Omega = 1,6363\text{ V}$$

jossa

V_{A/D_MAX} = A/D-muuntimelle tuleva maksimijännite

Ulostulovirran monitorointiin käytetty INA169-mikropiirin sisäinen kytkentä näyttää seuraavalta: /3/



Kuva 16 INA169-mikropiirin sisäinen kytkentä

INA169-piirin sisältämä operaatiovahvistin tarkkailee vastuksen R_S jännitettä ja vahvistaa siihen syntyvän jännitehäviön kuvasta poimitun kaavan mukaan:

$$V_O = \frac{I_S \cdot R_S \cdot R_L}{1\text{ k}\Omega} \quad (11)$$

jossa

V_O = ulostulovirtaan verrannollinen jännitetaso

I_S = ulostulovirta

R_S = ulostulon sarjavastus

R_L = verrannollisenjännitetasonsäätövastus

Ulostulovirran mittausta säädetään siten, että ulostulovirran ollessa 5 A, ulostulon verrannollinen jännitetaso on 5 V. Ulostulon sarjavastus on valittu 0,1 Ω arvoiseksi, jolloin edellistä kaavaa johtamalla saadaan laskettua verrannollisen jännitetaso säästövastus:

$$R_L = \frac{1 \text{ k}\Omega \cdot 5 \text{ V}}{5 \text{ A} \cdot 0,1 \Omega} = 10 \text{ k}\Omega$$

4 YHTEENVETO

Tutkintotyön aiheena on mikrokontrolleriohjattu virtalähde. Tarkoituksena oli suunnitella ja rakentaa virtalähde, jota voidaan käyttää erilaisten koekytkentöjen jännitteensyöttöön. Regulaattorikytkennän todettiin toimivaksi koekytkentäalustalla. Ohjauskortista tehtiin prototyyppi, joka sisälsi ATmega32-mikrokontrollerin, LCD-näytön, 4 optisesti erotettua ohjauskanavaa sekä pulssianturit. Näiden avulla ohjauskortin toiminnot voitiin testata pienemmässä mittakaavassa.

Ohjauskortin mikrokontrolleriksi valittiin Atmelin valmistama ATmega 32 ja ulkoista ohjausta varten kytkentään suunniteltiin kymmenen optisesti erotettua kanavaa. ATmega 32-kontrollerissa on myös 8-bittinen A/D-muunnin, joista 6 kanavaa on käytössä. Laitteen ohjaus tapahtuu LCD-näyttöä ja pulssiantureiden avulla. Ohjauskortissa on myös ulostulo tuulettimelle ja LED-valolle. Myös digitaalinen lämpömittari ja kuittauspainike suunniteltiin kytkentään.

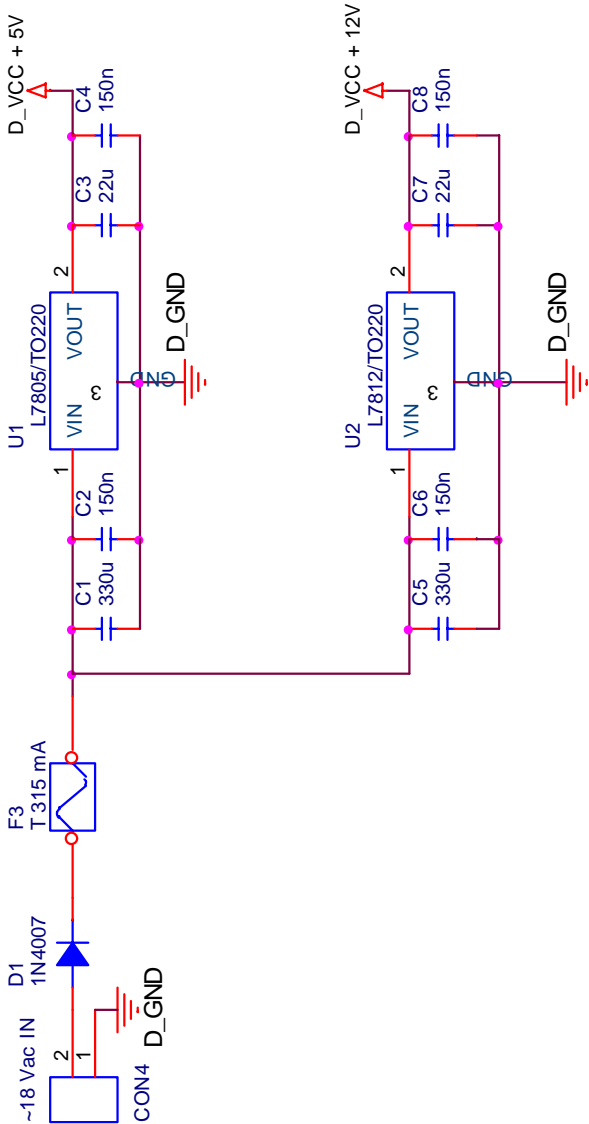
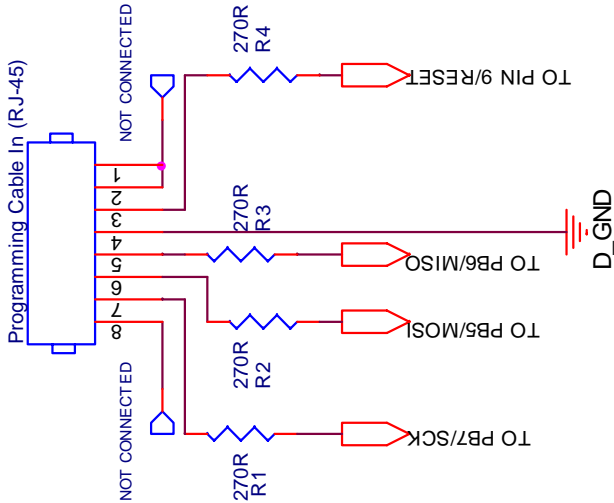
Regulaattorikortin ulostulojännite säädetään välillä 2,8 – 20,6 V. Alkuvaiheessa suunniteltu 5 – 18 V:n ulostulojännite rajoitetaan mikrokontrollerin ohjelmassa. Laitteeseen suunniteltu 0 – 3 A:n virranrajoitus toteutetaan myös ohjelmallisesti ulostulojännitettä säätämällä. Regulaattorikorttiin tuli myös kaksi relettä, joista ensimmäinen on ulostulon sallintaan ja toinen suotokondensaattorin pehmeään käynnistykseen.

SÄHKÖISET LÄHTEET

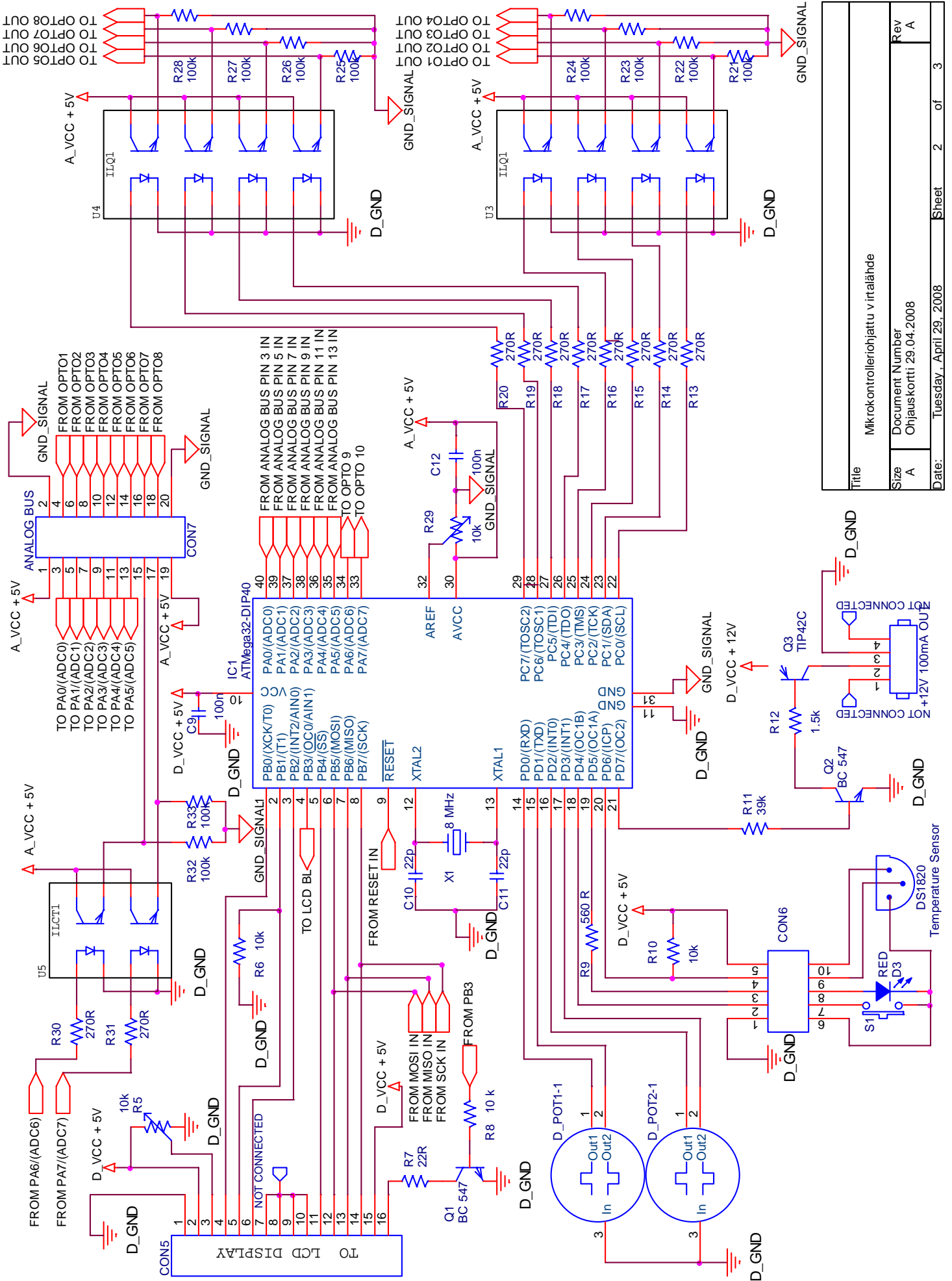
- /1/ <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/1318.pdf>
- /2/ http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/2503S.pdf
- /3/ <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/ina169.pdf>
- /4/ http://www.elfaelektronika.ee/cgi-bin/web_store.cgi?artnr=35-846-04&lng=eng

LIITTEET

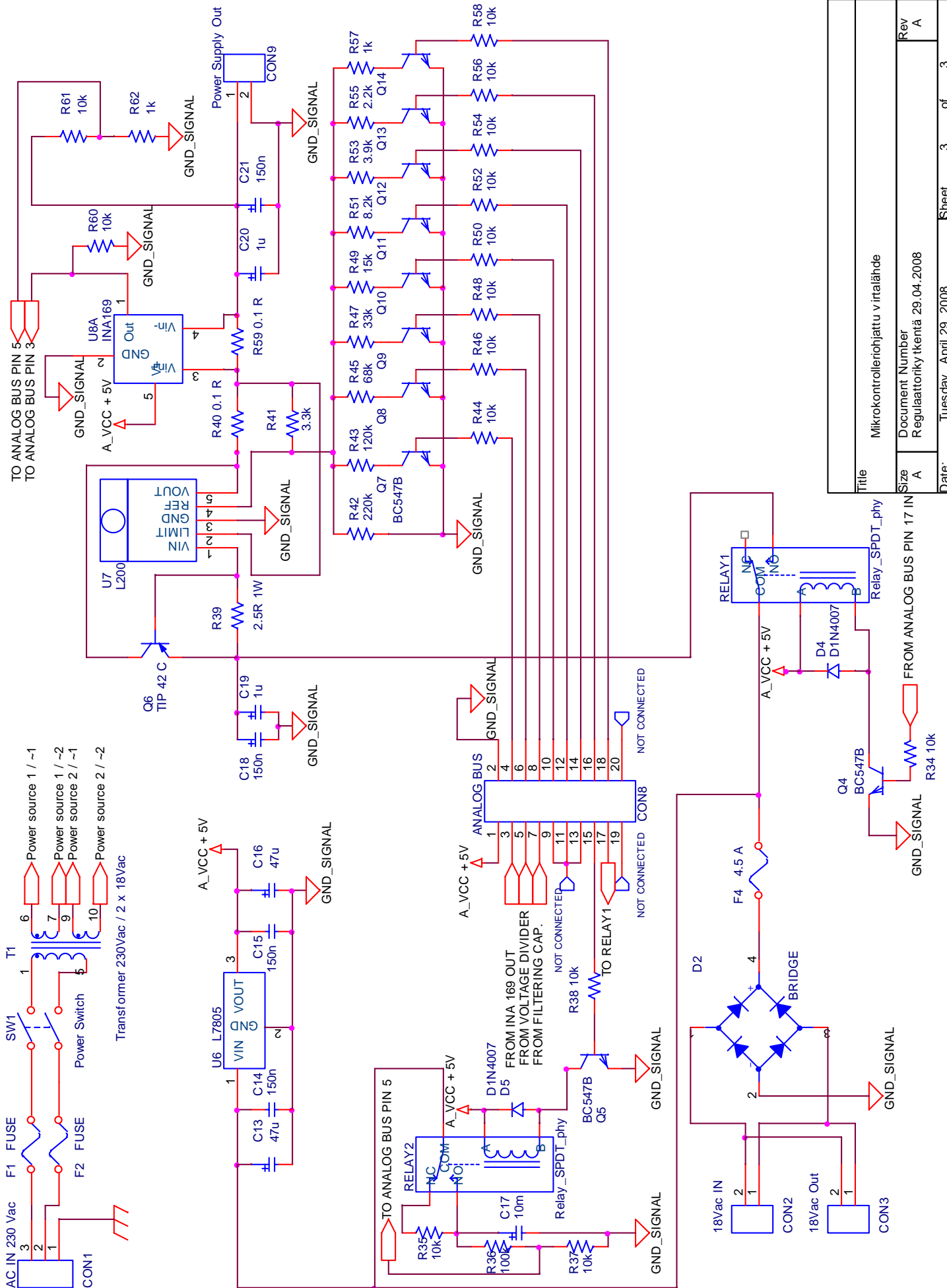
- Liite 1 Ohjaukortin jännitteiden reguloinnin kytkentäkaavio
- Liite 2 Ohjaukortin kytkentäkaavio
- Liite 3 Regulaattorikortin kytkentäkaavio



Title		Mikrokontrolleriohjattu virtalähde	
Size	A	Document Number	Ohjaukortin jännitteiden regulointi ja ohjelmointiliitäntä 24.04.2008
Date:	Thursday, April 24, 2008	Sheet	1 of 3
Rev	A		



Title		Mikrokontrollerihjattu v irtilähde
Size	Document Number	Ohjaukortti 29.04.2008
Rev		A
Date:	Tuesday, April 29, 2008	Sheet 2 of 3



Title		Mikrokontrolleriohjattu v iritalände	
Size	A	Document Number	Regulaattorikytkentä 29.04.2008
Date:	Tuesday, April 29, 2008	Sheet	3 of 3
Rev	A		