TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut

Kood:

JUHTIMISMOODUL TÕSTESEADMELE LIGHT MINI STACKER LV-150

Indrek Keskküla

Töö on tehtud elektroonikadisaini õppetooli juures

Juhendaja: dotsent Mihhail Pikkov

Kaitsmine toimub …. kaitsmiskomisjonis

Autor taotleb …. nimetust

Esitatud:

Kaitsmine:

Tallinn 2012

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen antud töö koostanud iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud. Käesolevat tööd ei ole varem esitatud kaitsmisele kusagil mujal.

Kuupäev:

Autor:…….. Allkiri:……..

Indrek Keskküla

IED….LT

Juhtimismoodul tõsteseadmele Light Mini stacker LV-150

Annotatsioon

Tõsteseadmele „Light Mini stacker LV-150“ oli vaja uut juhtimismoodulit, sest vana juhtimismoodul oli rikkega. Samuti vajas töö tellija täiendavat funktsionaalsust. Loodud skeem lülitab tõstuki mootori voolu, kaitseb tõstuki mootorit liiga suure voolu eest ning süütab valgussignalisaatori kui akupinge langeb alla lubatud piiri.

Töö käigus rajati lülitusahel, kaitseahel ja akupinge indikaator, valisiti kasutatavad elektroonikakomponendid ning projekteeriti vajalik trükkplaat.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 33 leheküljel, 7 peatükki, 11 joonist.

Indrek Keskküla

IED….LT

Controllmodule for lifter Light Mini stacker LV-150

Annotation

The lifter „Light Mini stacker LV-150“ needes a new controllmodule because the old controllmodule was broken. The customer also needed additional functionality. The created electrical schematic switches the motor current, protects motor from overload and displays the indicator light if the battery voltage drops below allowed value.

The autor of this thesis created a switching circuit, a protection circuit and battery voltage indicator, selected electronic components that were used and designed the nessesary printed circuit board.

The bachelor thesis is written in Estonian, it consists of 34 pages, 7 chapters, 11 figuures.

JOONISTE NIMEKIRI

Joonise nr.	Joonise nimi	Lk. nr.
1.1	Tõstuk Light Mini stacker LV-150	8
1.2	Mootori vooluahela talitlusskeem	9
2.1	Tõstuki elektriseadmete struktuurskeem	11
3.1	Tõstuki koormuse ja mootori voolutarbe vahelist seost kujutav graafik	12
4.1	Tõstuki lülitusreleede juhtimisskeem	14
4.2	Liigvoolu kaitseskeem	15
4.3	Pinge mõõtmine šhunttakisti klemmidel	17
4.4	Mootori tööst tingitud pingehüpped mõõdetuna šhunttakisti mootoripoolselt väljaviigult	17
4.5	Pingekõverad šhunttakisti väljaviikudelt	18
4.6	Akupinge langemise indikaator	19
5.1	Väljatöötatud trükkplaat	21

SISUKORD

Sissejuhatus 7
1. Tõstuki „Light Mini stacker LV-150“ ehituse ja tööreziimide ülevaade
1.1 Tõstuki „Light Mini stacker“ lühikirjeldus 8
1.2 Tõstuki „Light Mini stacker“ tööreziimide analüüs 9
1.3 Ülesande täpsustamine 10

2. Tõstuki juhtimismooduli struktuurskeemi väljatöötamine
2.1 Seadme struktuurskeemi kirjeldus 11
2.2 Seadme funktsioneerimine 11

3. Vajalikud eelmõõtmised ja arvutused 12

4. Tõstuki juhtimismooduli elektriskeemi väljatöötamine
4.1 Tõstuki mootori lülitusreleede juhtimisskeem 13
4.2 Liigvoolu kaitseskeem 14
4.3 Akupinge langemise indikaator 18

5. Juhtimismooduli trükkplaadi väljatöötamine
5.1 Kasutatud programmvarustus, nõuded väljatöötatavale trükkplaadile 21
5.2 Trükkplaadi projekteerimise tulemused 21

6. Loodud seadme eksperimentaalne uurimine 22

7. Seadme loomiseks kasutatud komponentide maksumus 23

Kokkuvõte 24

Viiteloetelu 25

Lisad 26

SISSEJUHATUS

Tõsteseade Light Mini stacker LV-150 osteti 2010 aastal ning selle lülitus- ja kaitseskeemis tekkis rike aastal 2011. Mitmed tehnikud üritasid seda remontida, kuid remont jäi iga kord poolikuks pakilisemate ülesannete ilmnemisel. Remonttööde ajalugu ei ole dokumenteeritud ning seega ei ole võimalik tuvastada milline oli esialgne rike. Samuti on seadme töö eest vastutav spetsialist otsustanud juhtimissüsteemi välja vahetada.

Tõsteseadme müünud ning sellele hooldust pakkuvalt ettevõttelt oleks võimalik osta uus lülitus- ja kaitseskeem, kuid hooldusspetsialist loobus sellest lahendustest järgnevatel põhjustel:

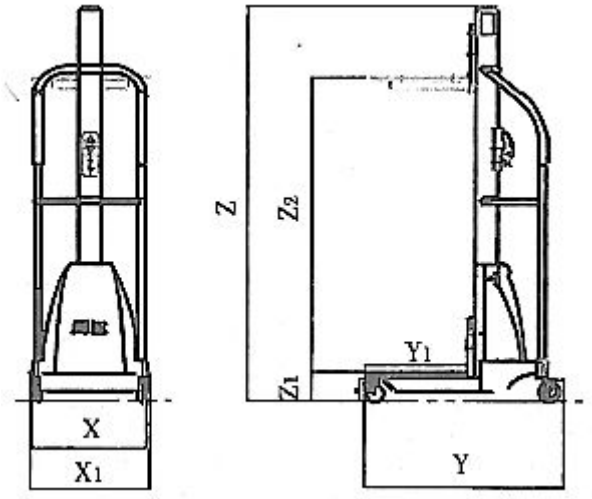
- Originaalosa koostekvaliteet ja töökindlus jätsid soovida mistõttu ei olda kindlad ka varuosa kvaliteedis ja töökindluses.
- Vaja on täiendavat funktsionaalsust.

Uue lülitus- ja kaitseskeemi loomine ongi käesoleva lõputöö põhieesmärk.

1.TÕSTUKI „LIGHT MINI STACKER LV-150“ EHITUSE JA TÖÖREZHIIMIDE ÜLEVAADE

1.1 TÕSTUKI „LIGHT MINI STACKER LV-150“ LÜHIKIRJELDUS

Tõstuk on loodud tööks sisetingimustes, inimjõul manööverdatav ja autonoomse toitega. Tõstuki tõstepinnaks on tasapind, mis teeb mugavaks tema kasutamise koorma liigutamiseks erinevatel kõrgustel riiulite ja tööpindade vahel. Samuti on tõstuk kergesti ja täpselt manööverdatav, mis teeb ta ideaalseks abivahendiks tootmispinnal, vabastades tootmistöölised tõstetööst.



Joonis 1.1 Tõstuk Light Mini stacker LV-150

Tõstuki andmelehel [1] on kirjas, et tõstepinna madalaim asend on 140 mm, maksimaalne tõstekõrgus 1540 mm ja suurim lubatud laadung 150 kg. Tõstuki tõstepinna liigutamiseks on tõstuki juhtpaneelil kaks nuppu, millest ülemine liigutab tõstepinda üles, alumine alla. Samal paneelil on akulaadija pistikupesa, lüliti seadme sisselülitamiseks ning roheline valgusdiood, mis põleb kui seade on sisse lülitatud.

Tõstemehhanismi ülekanne on teostatud tigureduktori, planetaarkäigukasti ning rihmaga. Ülekandega seotud detailide purunemisel võib tõstuki tõstepind koos temal oleva koormusega sattuda vabalangemisse. Vabalangemise peatamiseks on tõstuk varustatud sõiduauto turvarihmaga, mis lukustub, kui tõstepind järsult kukkuma hakkab.

Tõstuki käepidemepoolsed rattad on varustatud seisupiduritega, mille abil saab vältida tõstuki liikumist koorma tõstmise või langetamise ajal ja seeläbi veelgi vähendada tööõnnetuse ohtu.

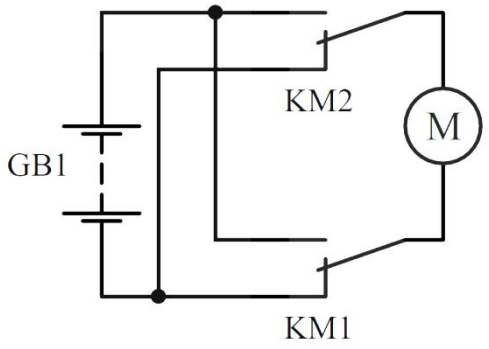
Tõstuki elektriahel koosneb akudest, mootorist, elektrijuhtmestikust- ja lülititest ning mootorit elektriga varustavast ja ülekoormuse eest kaitsvast moodulist ehk juhtimis- ja kaitsekseemist. Andmelehel [1] on juhtumis- ja kaitseskeemile antud ingliskeelne nimi

Electric control box. Muid seadmeid peale juhtumis- ja kaitseskeemi ei ole otstarbekas välja vahetada ning nende seadmete omadusi kirjeldatakse edaspidi.

1.2 TÕSTUKI „LIGHT MINI STACKER LV-150“ TÖÖREŽIIMIDE ANALÜÜS

Tõstukil on kaks režiimi: töörežiim ja akude laadimisrežiim. Režiimide vahetamine toimub juhtpaneelil oleva ümberlülituva kontaktiga lüliti abil. Lülitil on kaks asendit, millest üks ühendab akud tõstuki juhtumis- ja kaitseskeemiga, teine ühendab akud juhtpaneelil oleva akulaadija pistikupesaga [Lisa A].

Tõstuki mootori lülitamiseks on juhtimis- ja kaitseskeemil kaks releed. Releed on ümberlülituva kontaktiga ja ühendatud vastavalt joonisele 1.2.



Joonis 1.2 Mootori vooluahela talitlusskeem

Sellise ühendusviisi heaks omaduseks on mootori lühistamine läbi nullahela. See pidurdab mootorit ja tagab tõstepinna püsimise ettenähtud kõrgusel ka siis, kui tõstuk on koormatud. Tõstuki tõstepind hakkab liikuma üles või alla vastavalt sellele, kas kasutaja vajutab juhtpaneelil nuppu „ülesse“ või „alla“. Juhtimisnuppudega jadamisi on ühendatud nupule vastav lõpplüliti, mis katkestab lülitit läbiva voolu, kui tõstuk jõuab ülemisse või alumisse lõppasendisse. Tõstepinna liikumissuuna määrab ära mootori pöörlemissuund. Mootori pöörlemissuuna määrab see, milline relee on parasjagu sisse lülitatud ning milline mootori toitejuhe on ühendatud aku pluss-klemmi külge. Kui kasutaja vajutab mõlemat nuppu korraga ühendatakse mõlemad mootori juhtmed positiivse-pooluse külge, pingelang mootoril on null ning mootor ei pöörle.

Laadimisrežiimis toimuv antud lõputöö seisukohalt rolli ei mängi, sest laadimine toimub spetsiaalse akulaadijaga kui tõstuk on välja lülitatud.

1.3 ÜLESANDE TÄPSUSTAMINE

Ülesandeks on luua juhtimismooduli elektriskeem, mis :

- Lülitab olemasolevaid releesid ja juhib seeläbi mootori tööd vastavalt juhtpaneelil olevate nuppude kaudu saadud korraldustele.
- Mõõdab voolutugevust mootorit elektriahelas.

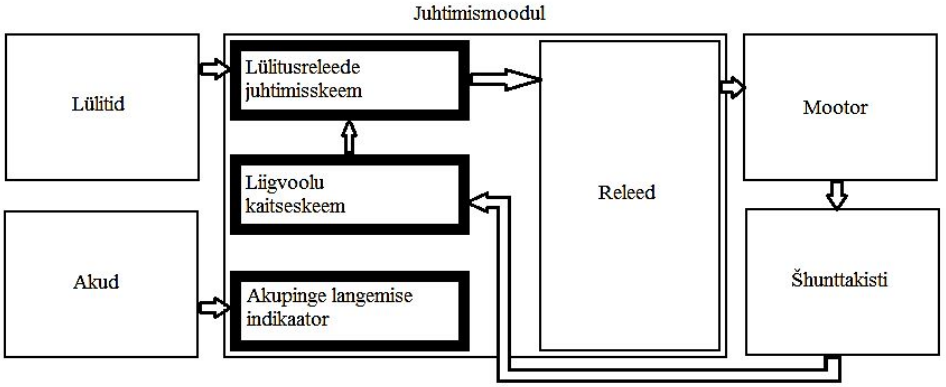
- Katkestab voolu releede mähistes kui vool mootoris ületab lubatut.
- Näitab tõstuki sisselülitamisel kas akude pinge on kõrgem või madalam lubatud miinimumväärtusest.

Juhtimismooduli väljatöötamisel peame võtma arvesse olemasolevate seadmete järgnevaid parameetrid:

- Akupaki pinge ja pliiaku pinge sõltuvus laetusest.
- Lülitusrelee mähise töövool ja pinge.
- Mootori pinget ja soojenemist lühiajalises ülekoormusrežiimis.
- Mootori voolutarve maksimaalse lubatud koormuse tõstmisel.

2. TÕSTUKI JUHTIMISMOODULI STRUKTUURSKEEMI VÄLJATÖÖTAMINE

2.1 SEADME STRUKTUURSKEEMI KIRJELDUS



Joonis 2.1 Tõstuki elektriseadmete struktuurskeem

Tõstuki elektriseadmete struktuurskeem jääb väga sarnaseks tõstuki tootja poolt loodud skeemile. Ainus seade, mida varem ei eksisteerinud on akupinge langemise indikaator. Seadmed, mis luuakse lõputöö käigus, on kujutatud tugevama piirjoonega kastidega. Nooltega on näidatud seosed erinevate seadmete vahel.

2.2 SEADME FUNKTSIONEERIMNE

Kasutaja juhib tõstuki tõstepinda juhtpaneelil olevate lülitite abil. Lüliti kontakti sulgumisel pingestub lüliti lülitusreleede juhtimisskeemil. Juhtimisskeemil olev lüliti pingestab omakorda relee mähise ja relee ühendab mootori akudega. Juhtimisskeemil olev lüliti peab eirama juhtpaneelil oleva lüliti mehaaniliste kontaktide põrkumisest tekkivaid häireid.

Liigvoolukaitse mõõdab mootori voolu. Samas ei tohi see reageerida mootori käivitusvoolule ega muudele juhuslikele vooluhüpetele. Juhuslikud vooluhüpped võivad tekitada tingituna asjaolust, et tõstuki mehhaanilised osad ei ole ideaalsed. Kui mootorivool on mingi aja jooksul üle teatud taseme, tagab liigvoolu kaitse voolu katkemise mõlema mootorivoolu lülitusrelee mähises. Lülitusreleed peavad jääma väljalülitatud asendisse senikauaks kuni kasutaja hoiab all mõnda juhtpaneelil olevat nuppu. Liigvoolu katise rakendumine peab lisaks relee mähistes oleva voolu katkestamisele käivitama ka helisignaalseadise.

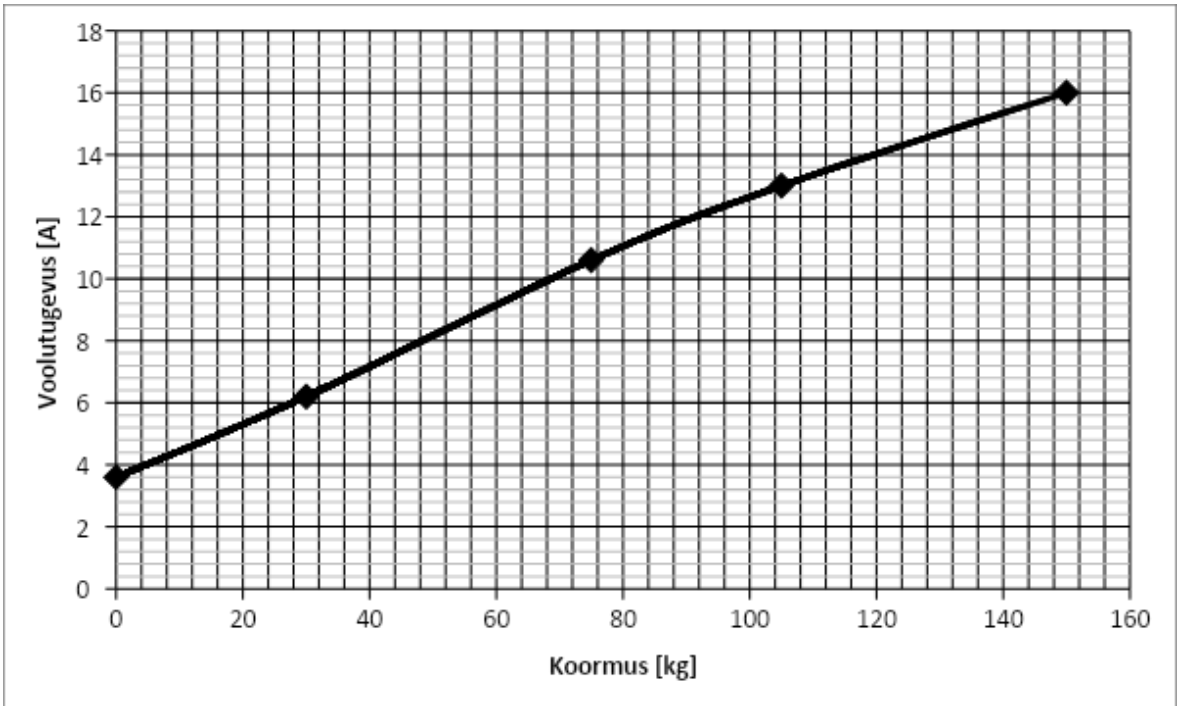
Akupinge langemise indikaator mõõdab akude pinget. Kui akude pinge langeb alla pinge, millest alates akud laadimist vajavad, süütab seade vastava valgussignalisaatori juhtpaneelil. Indikaator on usaldusväärne enne tõstepinna liigutamist. Tõstepinna liigutamisel tekitab elektrimootor akudel pingelang, mis võib indikaatori tööd mõjutada. Indikaator ei sekku seadme töösse, vaid annab infot akude seisundi kohta seadme kasutajale.

3. VAJALIKUD EELMÕÕTMISED JA ARVUTUSED

Liigvoolu kaitseskeemi rajamiseks peame teadma milline on vool mida tarbib tõstuki mootor maksimaalse kaaluga laadungi tõstmisel. Tõstuki mootoriks on harjadega alalisvoolumootor Dunkermotoren GR63X55. Mootorit pingestatakse otse akudelt 24 voldiga ja mootori andmelehe [2] andmetel on lubatud maksimumvool kestva töö režiimis 4,9 amprit. Mootori voolutarve maksimaalsel lubatud pöördemomendil on 33 amprit [2]. Voolutugevuse mõõtmiseks maksimumkoormusel koormasime tõstukit järjest suuremate raskustega kuni jõudsime tõstuki tootja poolt lubatud maksimumi, 150 kilogrammini [1]. Mootorile andsime toite tööstuslikult toiteplokilt ning toiteploki küljes olevalt digitaalselt ampermeetrilt lugesime tõstmisel tarbitava voolu hulga. Vooluhulka iseloomustavad suurused ei kajasta käivitusvoolu suurust.

Koormus [kg]	Mootori voolutarve koormuse tõstmisel [A]
0	3,6
30	6,2
75	10,6
105	13
150	16

Tabel 3.1 Mootori voolutarve erinevate koormuste tõstmisel



Joonis 3.1 Tõstuki koormuse ja mootori voolutarbe vahelist seost kujutav graafik

Mootori tootja ei paku ühtegi graafikut mis kujutaks mootori soojenemiskõveraid erinevatel ülekoormustel. Seega peame leidma muul viisil kinnitust, et voolutugevus 16 A ei riku tõstuki mootorit ühe töötsükli jooksul. Mootoritootja väidab oma kodulehel [3], et GR seeria mootori mähisetraadid on isolatsiooniklassiga „F“ ning seetõttu väga suure

lühiajalise ülekoormustaluvusega. Asjaolu, et mootor peab sellise suurusega ülekoormusele vastu ühe tõstetsükli jooksul kinnitavad ka lisas H näidatud arvutused.

Teostatud mõõtmistest [Tabel 3.1, Joonis 3.1] saame, et liigvoolu kaitseskeem peab rakenduma kui mootori vool ületab 16 amprit. Eirata käivitusvoolu impulssi mis tekib mootori käivitumisel.

Liigvoolu kaitseskeemis mõõdame voolu šhunttakistiga ja paraja suurusega šhunttakisti valimiseks on vaja teada vooluahela takistust. Teades vooluahela takistust saab valida optimaalse suurusega shunttakisti millel tekib parasjagu suur pingelang.

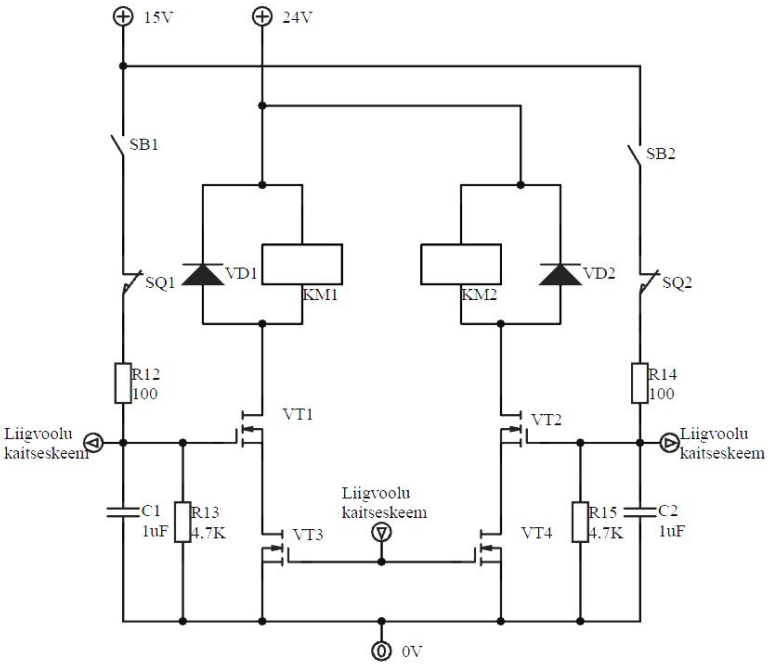
Teame, et suurim vool millel oma mootoril töötada lubame on 16 A. Seega on ahela efektiivne takistus voolu juures leitav Ohmi seadusest:

$$R = \frac{24}{16} = 1,5\ \Omega.$$

Ahela efektiivne takistus on aluseks shunttakisti valimisele peatükis 4.2.

4. TÕSTUKI JUHTIMISMOODULI ELEKTRISKEEMI VÄLJATÖÖTAMINE

4.1 TÕSTUKI MOOTORI LÜLITUSRELEEDE JUHTIMISSKEEM



Joonis 4.1 Tõstuki lülitusreleede juhtimisskeem

Relee mähiste nominaalpinge on 24 V ja takistus $R_{KM} = 288\ \Omega$ [4]. Väljatransistoride VT1, VT2, VT3 ja VT4 avatud oleku neelu-lätte vaheline takistus on $R_{DS} = 7,5\Omega$ [5]. Kui VT1 ja VT2 on avatud jääb relee KM1 mähisele pingelang U_{KM1} ja see avaldub

$$U_{KM1} = U_{in} - U_{in}\frac{2R_{DS}}{R_{KM}+2R_{DS}} = 24 - 24\frac{15}{288+15} = 24 - 1,2 = 22,8\ V\ .$$

Valem 4.1 Relee mähisele jääv pingelang

Sama kehtib KM2 kohta. Ühes releemähises, mis on jadamisi ühendatud kahe väljatransistoriga, tekib vool

$$I = \frac{24}{R_{KM}+2R_{DS}} = \frac{24}{303} = 79mA\ .$$

Kui mõlemad releemähise voolu lülitavad transistorid on avatud, eraldub ühelt transistorilt soojusena

$$P = I \cdot U = 79 \cdot 0,6 = 47,4\ mW\ ,$$

kus U on pool valemis 4.1 leitud jadamisi ühendatud avatud transistoripaarile jäävast pingest. Nii ahelas tekkiv vool, kui ka eralduv soojusvõimsus on allpool transistori tootja poolt määratud väärtuste [Lisa B].

Lüliteid hõlmava elektriahela pingestame 15 voldiga, sest liigvoolu kaitseskeemis kasutatakse 15 voldil töötavaid loogikalülitusi. SB1 ja SB2 on juhtpaneelil olevad surunupplülitid. SQ1 ja SQ2 on vastavad lõpplülitid mis katkestavad vooluahela, kui tõstuki tõstepind jõuab ülemisse või alumisse lõppasendisse. Lülitite kontaktpinnad võivad pärast nupu allavajutamist põrkuda kuni 2 ms vältel[6]. Häirete mõju vähendamiseks on ahelas kondensaatorist ja takistist koosnev madalpääsfilter. C1 ja R13 koosnev madalpääsufilter tekitab viivituse mille pikkus on

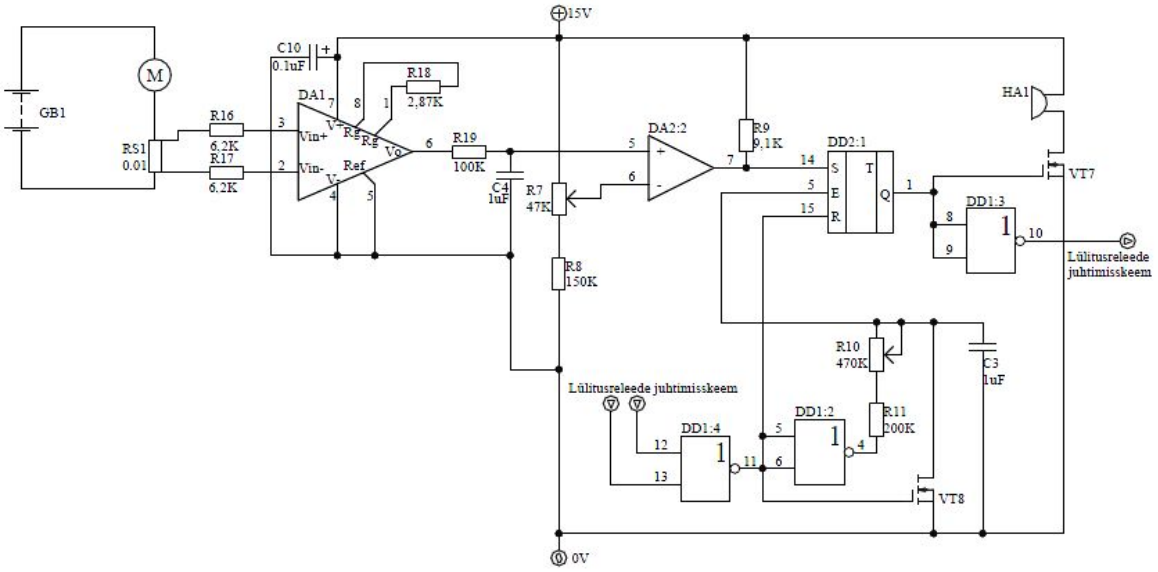
$$t = 4\cdot\tau = 4\cdot R13\cdot C1 = 4\cdot 4700\cdot 1\cdot 10^{-6} = 18,8\cdot 10^{-3}s = 18,8ms\,.$$

Valem 4.2 Transistori sulgumisele kuluv aeg.

Viite suurus on valitud suurem kui kontaktide põrkumise sisukohalt vajalik. Releed lülitavad elektrimootorit ehk suurt induktiivset komponenti sisaldava tarbija voolu. Selline tarbija võib tekitada kaarleegi relee kontaktide vahel hetkel kui kontaktid lahutatakse. Kui kontaktide lahutamine leiab aset mõne hetkelise katkestuse tõttu võib juhtuda, et katkestuse lõppedes surutakse kontaktid omavahel uuesti kokku enne kaarleegi katkemist. See võib aga esile kutsuda kontaktide kokkusulamist mille tagajärjel ei katke ühendus ka pärast voolu katkemist relee lülitusmähises. Ajaline viide 18,8 ms on lühem kui viide mida inimesest operaator tajuda suudab [7].

Valemis 4.2 on kordaja 4 sellepärast, et kulub ligikaudu 4 ajakonstandi pikkune aeg enne, kui paisu ja lätte vaheline pinge langeb alla 0,6 voldi, ning transistor on kindlalt suletud[5]. Sama kehtib C2 ja R15 koosneva madalpääsufiltri kohta. Transistorid VT1 ja VT2 lülitatakse sisse väga kiiresti ning nende väljalülitumist aeglustav ajaline viide tagabki häirekindluse. R12 ja R14 on sümboolse suurusega ja nende ülesanne on kondensaatorite C1 ja C2 laadimisvoolude kontrolli all hoidmine. R13 ja R15 kaudu saab lahkuda ka transistoride VT1 ja VT2 paisude jääklaeng.

4.2 LIIGVOOLU KAITSESKEEM



Joonis 4.2 Liigvoolu kaitseskeem

Joonisel on kujutatud mootori elektriahela talitlusskeem šhunttakistiga, diferentseeriv võimendi, komparaator, integraator ja triger. Joonisel ei ole näidatud integraalskeemide DD1,DD2 ja DA2 toitejalad ning nene juurde kuuluvad kondensaatorid. Need on kujutatud tõsteseadme täieliku elektriskeemi kujutaval joonisel [Lisa C].

Peatükis 3 leidsime, et maksimaalne lubatud mootori vool on 16 A ja sellele vastav mootori vooluahela efektiivne takistus on 1,5 Ω. Valime šhunttakisti, millele takistus oleks alla 1% kogu elektriahela takistusest. Sellisel moel võime kindlad olla, et šhunttakisti lisamine ei avalda olulist mõju mootori tööle. Hästi sobib 10 mΩ takisti, mis annab meile pingeteguriks 10mV/A.

Diferentseerivaks võimendiks valime mikroskeemi INA122, mis on joonisel 4.2 tähistatud skeemitähisega DA1. INA122 võimendus G määratakse takistiga R_G, mille väärtuse saame arvutada kasutades seadme andmelehel [8] antud valemit

$$G = 5 + \frac{200k\Omega}{R_G}.$$

Avaldades valemist R_G saame

$$R_G = \frac{200k\Omega}{G-5}.$$

Valem 4.3 Avaldis mikroskeemi INA122 võimendust määrava takisti arvutamiseks

Valemi 4.3 kasutamiseks peame leidma vajamineva võimendusteguri. Võimendi väljundpinge saab olla vahemikus 0-15 V. Šhunttakisti pingetegur on 10 mV/A. Võiksime võimendusteguri valida selliselt, et kui mootoris voolab maksimaalne lubatud 16 A ja pinge shunttakistil on 160mV, on võimendi väljund oma maksimumil 15V. See aga võtaks võimaluse maksimumvoolu reguleerida 16 A kõrgemaks. Maksimumvoolu suurendamise vajadus võib tekkida tulevikus tõstuki mehaaniliste kaotegurite kasvust tingituna või siis selletõttu, et ammendatud on teised võimalused käivitusvoolust tingitud kaitse rakendumise vältimiseks. Suurema reguleerimisvõimaluse tagab võimendustegur, mille korral 20 amprit mootori voolu põhjustab võimendi väljundil pinge 15V. Sellisel juhul on pingevahe šhunttakisti väljaviikudel ja võimendi sisenditel 200mV ja võimendustegur G avaldub

$$G = \frac{15}{0,2} = 75.$$

Kasutades valemit 4.3 saame takisti R_G suuruseks

$$R_G = \frac{200k\Omega}{75-5} = 2.857k\Omega.$$

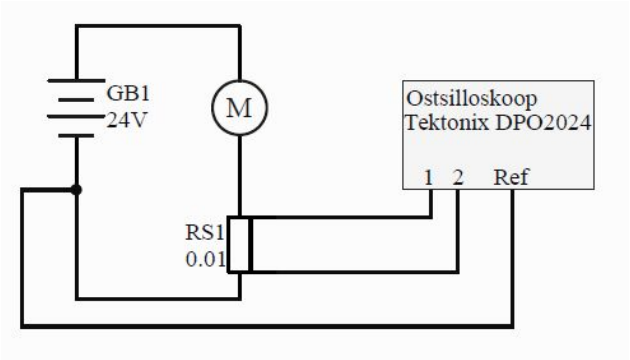
Lähim suurus sellele 1% tolerantsiga takistite reas on 2.87kΩ. Mikroskeemi INA122 sisendid on kaitstud sisemiste dioodidega mis on ühendatud toiteallika klemmidega [8]. Tuleb tagada, et kui pinge sisendil kasvab 0,3 V üle toitepinge oleks vool piiratud suurusele mis on väiksem kui 5 mA. Meie rakenduses võib sellist olukorda tekitada, sest

shunttakisti on ahelas mille pinge võib tõusta kuni akupingeni mis on 9V kõrgem kui diferentseeriva võimendi toitepinge. Selline pinge saab sisendile langeda kui esineb šhunttakisti rike, külmjoodise teke mõnel šhunttakisti väljaviigul või vooluahela katkemine mõnel kontaktil mis jääb šhunttakistist negatiivse akuklemmi poole. Sisendite voolu piiramiseks soovitab INA122 andmeleht [8] kasutada sisendite voolu piiravaid takisteid R16 ja R17. Vahetult pärast akude laadimist võib akupaki pinge olla kuni 29 V. Madalama pingega voolurada on pingel 0V. Takistite R16 ja R17 väärtused saame avaldada Oomi seadusest

$$R_{16}, R_{17} = \frac{U}{I} = \frac{29V}{0{,}005mA} = 5800\Omega.$$

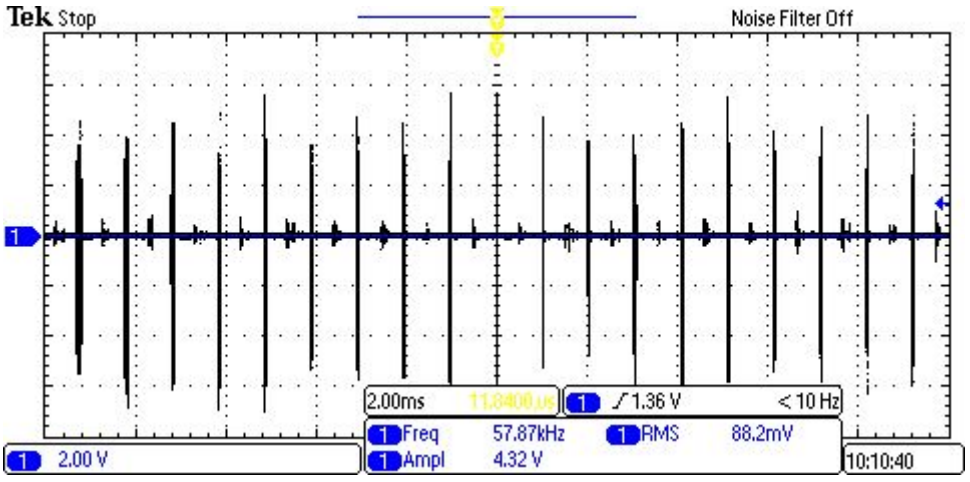
Vool pidi olema väiksem kui 5mA seega valime takistuse arvutatust ühe nimimõõdu võrra suurema. Seega R16 ja R17 takistuseks valime 6,2kΩ.

Harjadega elektrimootoritel on omadus tekitada suuri pingehüppeid ja häireid mootori vooluahelas. Mõõdeti pinget shunttakisti väljaviikudel vastavalt joonisel 4.3 näidatud skeemile.



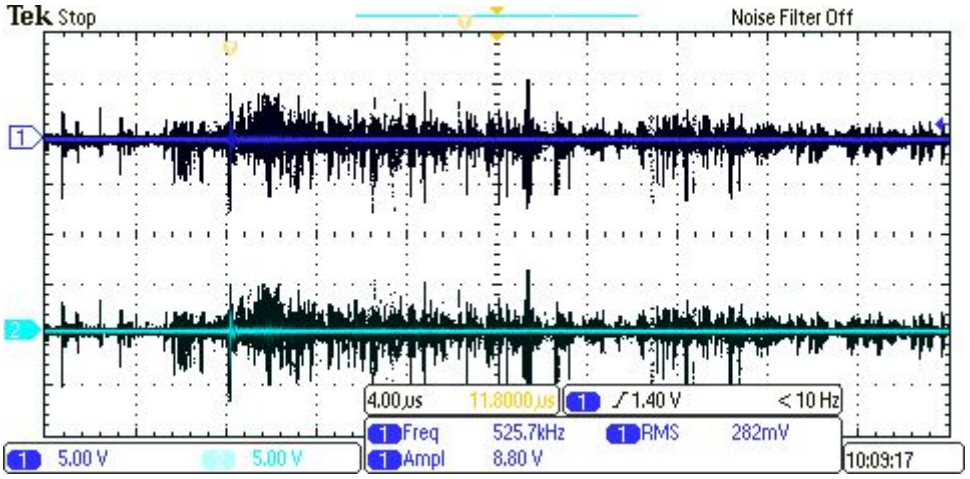
Joonis 4.3 Pinge mõõtmine šhunttakisti klemmidel

Mõõtmise tulemuseks on pingekõver joonisel 4.4, millel on näha mitme voldini ulatuvad mootori tööst tingitud pingehüpped.



Joonis 4.4 Mootori tööst tingitud pingehüpped mõõdetuna šhunttakisti mootoripoolselt väljaviigult

Märkida tuleb, et mõõtmise ajal ei olnud tõstuk koormatud. Koormatud tõstuki puhul saaksime samas mõõtepunktist mõõtes teistsuguse pingekõvera. Oodata oleks pingeimpulsside sageduse vähenemist, sest need on otseselt seotud mootori pöörlemiskiirusega ning mootori koormuse kasvades pöörlemiskiirus langeb[2].



Joonis 4.5 Pingekõverad šhunttakisti väljaviikudelt

Jooniselt 4.5 on näha, et pingehüpped mõlemal šhunttakisti klemmil langevad kuju poolest kokku. Seega võib järeldada, et diferentseeriva võimendi tööd pingehüpped ei sega, sest diferentseeriv võimendi näeb oma sisenditel alati pingevahet mis, on võrdne pingelanguga šhunttakisti klemmidel.

Komparaator on joonisel 4.2 tähistatud skeemitähisega DA2:2. See on kahest komparaatorist koosneva seadme LM2903 üks komparaatoritest. Trimmertakisti R7 on kaitseahela rakendumispunkti määramiseks. Voolul 16 A on diferentseerva võimendi väljundpinge

$$16A \cdot 10\frac{mV}{A} \cdot 75 = 160mV \cdot 75 = 12V \ .$$

Seega peab komparaatori inverteerival sisendil olema pinge 12 V.

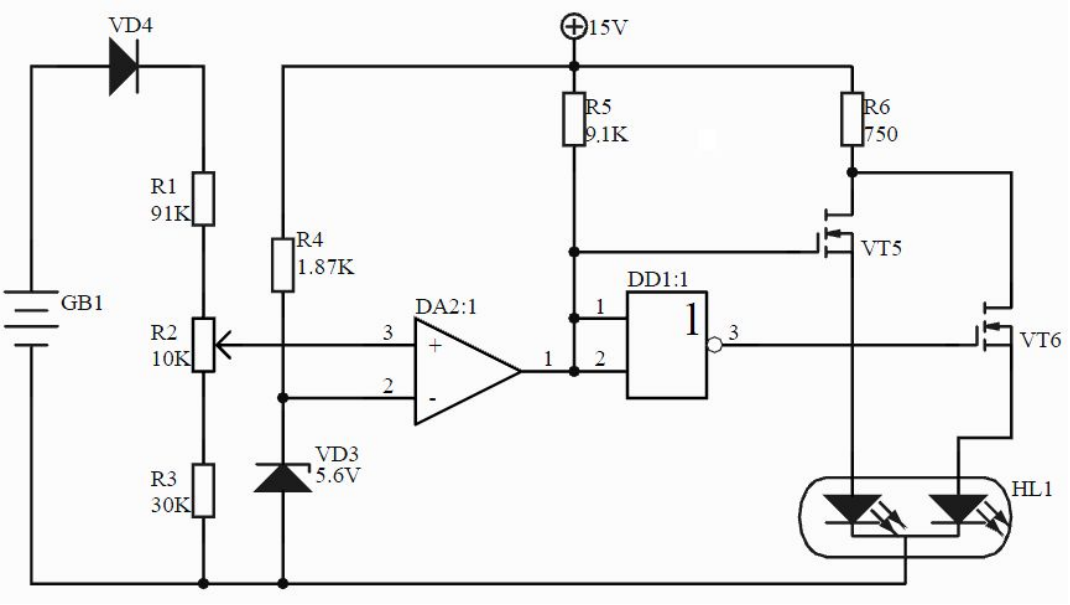
Joonise 4.2 alumises osas on kaks NOR lülitust. DD1:4 külge on ühendatud mõlemad joonisel 4.1 näidatud releede juhtimisskeemi väljundid. Selle tulemusena on DD1:4 väljund madal juhul, kui mõni juhtpaneelil olevatest tõstuki tõstepinda liigutatavatest nuppudest on alla vajutatud. Selline sisend on kaitseskeemi toimimiseks oluline sellepärast, et kui kaitseahel rakendub, lakkab vool mootoris. Kui mootori vool oleks ainus kaitseahela sisend, lubataks kaitseahel tõstuki töö jätkumist mõned hetked pärast esialgset rakendumist. Tõstukilt ei ole aga selle lühikese aja sees liigne koormus eemaldatud ning kaitseahel rakendub uuesti. Tekib omamoodi ostsilleerumine, mis võib rikkuda mootorivoolu lülitusreleed. Juhtpaneelil olevate lülititega seotud sisend tagab kaitseskeemi

püsimise rakendunud olekus senikauaks, kuni kasutaja hoiab all mõnda tõstuki tõstepinda liikuma panevat lülitit.

DD1:2 on tehtud inverteriks ja tema väljundil olev integraator viivitab kaitseahela täieliku sisselülitamist. Koormatud tõsteseadme mootori käivitusvool ületab lühiajaliselt maksimaalset lubatud voolu. Selline vooluimpulss käivitaks kaitseahela ning selle eiramiseks ongi vaja viivitada kaitseahela käivitamist. Trimmertakisti R10 lubab valida viiteaja pikkuse suures vahemikus, sest väga keeruline on ennustada käivitusvoolu impulsi suurust või pikkust. Seega tuleb häälestus teha pärast seadme valmimist. VT8 lühistab kondensaatori C3 ja eemaldab laengu trigeri „Enable“ sisendilt.

DD2:1 on nivoole reageeriv RS triger, inglise keeles „RS-latch“. Trigeri tootja garanteerib, et lubatud on mõlemale sisendile kõrge nivoo anda. Andmelehel antud tõeväärtustabeli kohaselt [Lisa D] on sellise sisendite kominatsiooni korral trigeri väljund kõrgel nivool. Antud juhul on kõrge nivoo 15 V. Tigeri väljund on ühendatud NOR lülitusega DD1:3 ja transistori VT7 paisuga. DD1:3 on ühendatud nii, et ta toimiks trigeri väljundit inverteerivalt. Kui kaitse rakendub ning trigeri väljund tõuseb kõrgele pingenivoole, ehk 15V, langeb DD1:3 väljund madalale nivoole ehk 0V. Kaitseskeemi väljund on sellisel juhul pingel 0V ning transistorid VT3 ja VT4 lülitusreleede juhtimisskeemil välja lülitatud (joonis 4.1). Samaaegselt lülitatakse transistori VT7 abil sisse helisignalisaatori elektriahel.

4.3 AKUPINGE LANGEMISE INDIKAATOR



Joonis 4.6 Akupinge langemise indikaator

Akupinge langemise indikaatori keskne element on komparaator, mis võrdleb akupinget etteantud tugipingega. Pliiakude pinge on laetult 12,6 V. Akut loetakse tühjaks, kui pinge langeb alla 10,5 V. Täiesti tühjaks pliiakut aga laadida ei tohiks, sest see vähendab aku eluiga. Akut tuleks laadida, kui ta on kaotanud 25% oma laengust, ehk siis aku pinge on langenud 11,7 voldini [Lisa E]. Antud juhul on kaks akut ühendatud jadamisi ja laetud akupaki pinge on 25,2 V, tühja akupaki pinge 21 V ja aku tühjenemise indikaator peaks

tööle asuma pingel $V_r^{`}$=23,4 V. Skeemi on lisatud diood VD4, mille ülesanne on kaitsta skeemiosi vale polaarsusega toite eest. Seega tuleb arvestada ränidioodi päripingelanguga milleks on 0,7 V. Seega jääb pärast dioodi rakendumispingeks $V_r = 22,7V$. Stabilitron tuleks valida selliselt, et tema nimipinge korda mingi täisarv võrduks rakendumispingega. Farnelli kataloogis leidub stabilitron, mille nimipinge $V_Z = 5,6\ V$ ning see on ligikaudu 4 korda väiksem kui V_r. Vajatakse pingejagurit, mille $V_{OUT} = 5,6\ V$ kui $V_{IN} = V_r = 22,7\ V$. Valemist

$$V_{OUT} = V_{IN}\frac{R_2}{R_1+R_2} \rightarrow \frac{V_{OUT}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

on näha, et $R_1 + R_2$ peab olema 4 korda suurem kui R_2. Järelikult $R_2 = \frac{1}{3}R_1$. Valime $R_1 = 91\ k\Omega$ ja $R_2 = 30k\Omega$. Sellise pingejaguri väljundpinge

$$V_{OUT} = 22,7 * \frac{30}{91+30} = 5{,}63\text{V},$$

mis mahub stabilitroni tolerantsi piiridesse[11]. 10 kΩ trimmertakisti annab võimaluse reguleerida pingejaguri väljundit $V_{IN} = V_r = 22,7\ V$ korral 5,20 – 6,93 V ulatuses. See on piisav, et kõrvaldada komponentide tolerantsist tingitud ebatäpsused. Samuti pakub see võimalust reguleerida indikaatori rakendumispinget V_r 18,34 – 24,45 V ulatuses.

Stabilitroni andmelehel [9] on kirjas, et stabilitrone testitakse vooluga $I_{ZT1} = 5mA$. Kuigi valitud stabilitron talub voolu

$$I_Z = \frac{P_{tot}}{V_Z} = \frac{500mW}{5{,}6V} = 89,3mA\ ,$$

ei ole põhjust valida voolule I_Z suuremat väärtust, kui $I_{ZT1} = 5mA$. Vajaliku voolutugevuse saame takistiga R4, mille takistus peab olema

$$R_4 = \frac{15V - V_Z}{I_{ZT1}} = \frac{15V - 5{,}6V}{5mA} = 1,88k\Omega\ .$$

Sellele takistusele lähim nimitakistus on 1,87kΩ 2% tolerantsiga seeriast.

Kui akude pinge on üle akude tühjenemise indikaatori rakendumispinge $V_r^{`}$, on komparaatori DA2:1 väljund 15V. Inverteri DD1:1 väljund on madalal nivool ja transistor VT6 on välja lülitatud. Samaaegselt on transistor VT 5 sisse lülitatud ja HL1 roheline valgusdiood põleb. Kui akupinge langeb alla rakendumispinge $V_r^{`}$, lülitub komparaatori väljund null-nivoole,VT5 lülitub välja, inverteri DD1:1 väljundile tekib 15 V ja transistor VT6 süütab HL1 punase valgusdioodi.

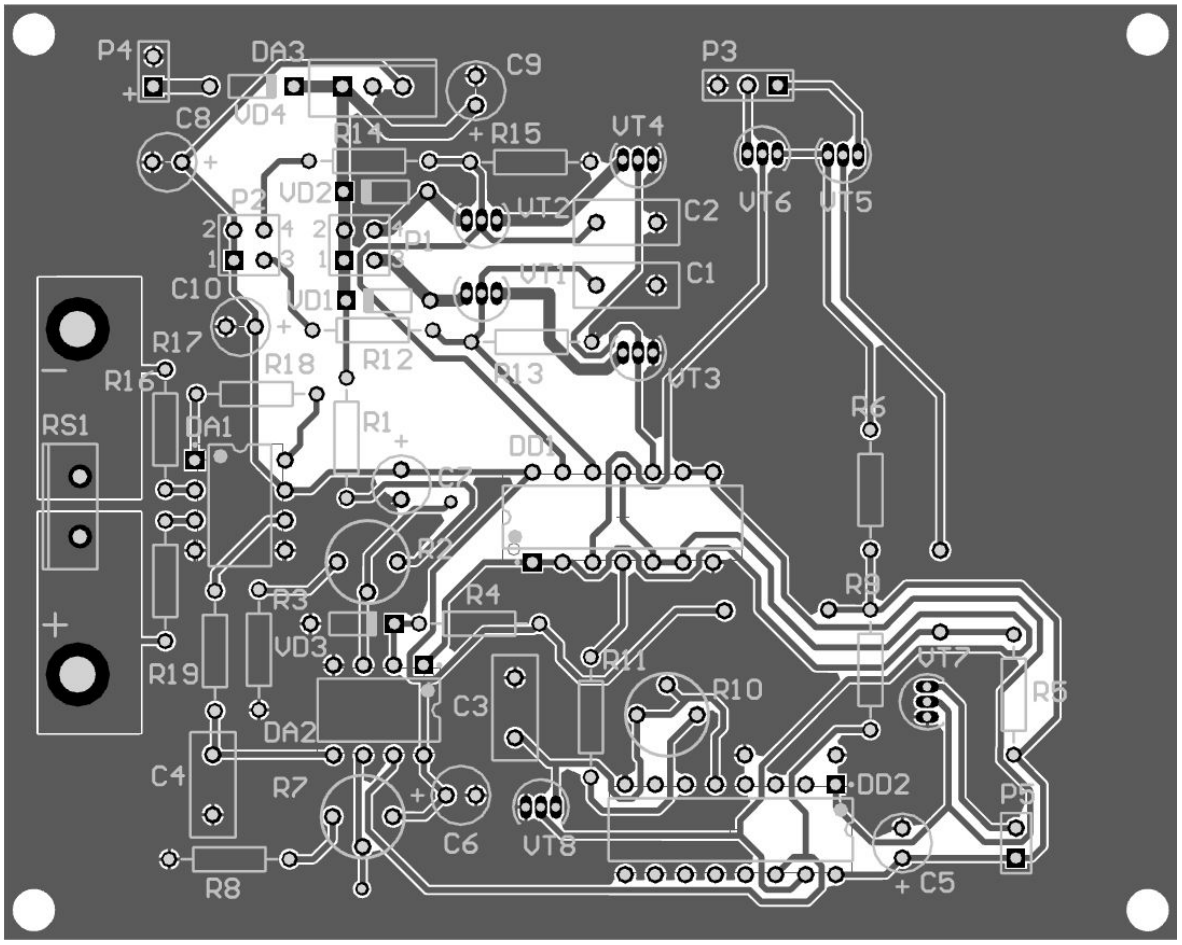
5. JUHTIMISMOODULI TRÜKKPLAADI VÄLJATÖÖTAMINE

5.1 KASUTATUD PROGRAMMVARUSTUS, NÕUDED VÄLJATÖÖTATAVALE TRÜKKPLAADILE

Trükkplaadi väljatöötamiseks kasutati programmi Altium Designer. See ühendab endas skeemiredaktori ja trükklaadi joonistamise tööriistad. Altium Designeris disainitud trükkplaat saadeti trükkplaadi tootjale Gerber RS-274-X formaadis.

Kasutame tekstoliitplaati FR4 paksusega 1,6 mm, mille vasekihi paksus on 35 µm. Minimaalne juhtme laius ja minimaalne kahe juhtme vahe tohib olla 0,2 mm. Minimaalne puuraugu läbimõõt tohib olla 0,4 mm. Me ei pea arvestama trükkplaadi radade parasiitmahtuvuste ja induktiivsustega, sest meie seadmes on ainult alalisvoolud.

5.2 TRÜKKPAADI PROJEKTEERIMISE TULEMUSED



Joonis 5.1 Väljatöötatud trükkplaat

Joonisel 5.1 on kujutatud trükkplaadi alumine vasekiht, puuraugud ja pealmine siiditrükk. Trükkplaadi nurkades on augud plaadi monteerimiseks M3 kruvidega. Kõik juhtmed ühendatakse trükkplaadiga pistikute abil. Ainsaks erandiks on mootori elektriahel, mille üks osa on šhunttakisti RS1. Mootori elektriahela juhtmed ühendatakse kaablikingade ja

poltide abil. Komponentide paigutus on paremini nähtav trükkplaadi kolmedimensiooniliselt kujutiselt [Lisa F].

6. LOODUD SEADME EKSPERIMENTAALNE UURIMINE

Seadme pingestamisel ilmnesid järgnevad puudused:

1. Triger DD2 ei juhi transistori VT7 paisult jääklaengut kui trigeri „enable“ sisend on madalal pingenivool 0 V.
2. Difernentseeriva võimendi DA1 väljundipinge ei tõusnud üle 7,7 V, kui sisendite pingevahe oli 200 mV.

Kui trigeri „enable“ sisend on madalal pingenivool 0 V on trigeri väljund nn kolmandas olekus. See tähendab, et sisendi impedants on kõrge ja sisend ei toimi voolu ärajuhtivana. Paisu jääklaengu ärajuhtimiseks ühendame paisu läbi 10kΩ takisti pingel 0V oleva trükplaadirajaga. Kui trigeri väljund on kõrgel pingenivool 15 V tekib läbi 10kΩ takisti vool 1,5mA mis on vähem kui trigeri tootja poolt lubatud maksimaalne 2,4 mA[9].

Diferentseeriva võimendi DA1 eksperimentaalsel uurimisel selgus, et sisendi V_{in}^{-} pinge peab olema ~ 0,7V kõrgem sisendite V- ja Ref pingest. Sobiva pingelangu tekitab päripingestatud ränidiood. See tõstab mõlema diferentseeriva võimendi sisendi pinget V- sisendi suhtes, ning pingevahe shunttakisti jalgadel on jätkuvalt proportsionaalne ainult shunttakistit läbiva vooluga.

7. SEADME LOOMISEKS KASUTATUD KOMPONENTIDE MAKSUMUS

Komponendid on valitud Farnelli kataloogist ja hinnad vastavad Farnelli veebipoe hindadele[12].

Nr	Kommentaar	Skeemitähis	Kogus	Tüki hind €	Rea hind €
1	Kondensaator	C1, C2, C3, C4	4	0,120	0,480
2	Elektrolüütkondensaator	C5, C6, C7, C8, C9, C10	6	0,004	0,024
3	INA122	DA1	1	4,610	4,610
4	LM2903	DA2	1	0,760	0,760
5	LM7815	DA3	1	0,740	0,740
6	CD4001UBE	DD1	1	0,370	0,370
7	MC14043B	DD2	1	0,590	0,590
8	Helisignalisaator ABI-023-RC	HA1	1	2,270	2,270
9	Valgusindikaator L-59EGC	HL1	1	0,430	0,430
10	Takisti	R1, R3, R4, R5, R6, R8, R9, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19	16	0,010	0,160
11	Trimmertakisti	R2, R7, R10	3	1,150	3,450
12	Šhunttakisti	RS1	1	4,840	4,840
13	Diood	VD1, VD2, VD4	3	0,076	0,228
14	Stabilitron, 5,6 V	VD3	1	0,025	0,025
15	Väljatransistor, n-kanal, VN2222LLG	VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6, VT7, VT8	8	0,120	0,960
16	Trükkplaat		1	32,250	32,250
				Kokku	52,187

Tabel 6.1 Juhtimismooduli rajamiseks kasutatud komponentide nimekiri

KOKKUVÕTE

Antud töö eesmärgiks oli uue juhtimismooduli loomine tõstukile „Light Mini stacker LV-150“. Töö käigus rajati lülitusreleede juhtimisskeem, liigvoolu kaitseskeem, akupinge langemise indikaator ja seadme trükkplaat.

Peatükis 6 loetletud puudustest oli esimene põhjustatud lõputöö tegija tähelepanematusest, teine aga valest eeldusest. Lõputöö tegija eeldas, et INA122 töö ei sõltu toitepingest. Praktikas selgus, et sõltuvus on siiski olemas ning lisas G näidatud rakendus ei tööta samaväärselt kui toitepinge on 15 V.

Samuti ilmnes täiendavaid probleeme loodud seadme monteerimisel tõstukile. Kui tõstepind oli koormatud suurema raskusega kui 80 kg tekitas gravitatsioonijõud olukorra kus tõstuki mootor hakkas pöörlema kiiremini kui ta oleks pidanud pöörlema etteantud pingel. See põhjustas pinge tõusu mootori elektriahelas ning shunttakistile jääv pingelangu kasvas suuremaks kui maksimaalsest lubatud mootorivoolust tekitatud pingelang. Kaitseahela käitumist illustreerib lisa I. Probleem lahendati DD1 13 jala lahtiühendamisega vastava transistori paisu küljest ja ühenduse loomisega sama seadme 12 jalaga. Sedasi muutub DD1 neljas VÕI-EI lülitus inverteerivaks lülituseks ja kaitseahel ei reageeri shunttakistilt tulevale pingelangule kui tõstepind liigub maapinna suunas. Tõstuki töökorda saamise tähtaja saabumise tõttu ei jõudnud töö tegija otsida paremat lahendust. Proovida võib 26 V nominaalpingega TVS dioodi ühendamist mootori väljaviikude vahele.

Tõstuki mehaanilised osad on halvas seisukorras mistõttu tekitavad nad suure hulga täiendavaid mehaanilisi energiakadusid. Pärast konsultatsiooni töö tellijaga otsustati tõstuki tõstevõimet langetada 150-nelt kilogrammilt 100-le kilogrammile. Vähendada tuli ka diferentseeriva võimendi DA1 võimendustegurit G 75-lt 60-le. Ainult sedasi oli võimalik tekitada olukord kus võimendi väljundpinge ei saanud ligilähedaseks tema toitepingega ning tõstuk tõstis 100 kg ilma kaitseahela rakendumiseta. Kui tõstuki mehaanika paremasse töökorda viiakse on võimalik võimendusteguri tõstmine lõputöös ettenähtud väärtusele ja kaalupiirang uuesti 150-nele kilogrammile tõsta.

Töö tulemuseks oli praktikas kasutatav tõsteseade. Võrreldes püstitatud ülesandega on tõstuki tõstevõime väiksem ettenähtust, kuid seda saab suurendada mehaaniliste osade tööd efektiivsemaks muutes. Samuti ei tööta ülekoormuskaitse tõstepinna liikumisel maapinna suunas. Kui mõni objekt jääb tõstepinna ja tõstuki jalgade vahele kiilub mootor kinni ja mootori lühisvool sulatab sulavkaitsme. Sellist tähelepanematust tõstuki operaatori poolt peab antud töö tegija vähetõenäoliseks.

VIITELOETELU

1. documents82.pdf, http://intra.se/?nav=produkter&produkt=35&language=1, 14.03.2012

2. GR63X55.pdf, http://dunkermotoren.com/data/technical_data/motors/pdf/GR63x55.pdf#page=1, 15.03.2012

3. BRUSHED DC MOTORS GR/G, http://dunkermotoren.com/default.asp?id=9&lang=2, 15.03.2012

4. Catalog07.pdf ,http://www.nicerelay.com/Catalog07.pdf, 16.03.2012

5. VN2222LL-D.PDF, http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/VN2222LL-D.PDF. 19.03.2012

6. Contact Bounce of a Mechanical Switch, http://www.cs.ucla.edu/classes/summer03/csM152A/l1/handout/bounce.pdf, 26.03.2012

7. Human Reaction Times as a Response to Delays in Control Systems, http://www.measurepolis.fi/alma/ALMA%20Human%20Reaction%20Times%20as%20a%20Response%20to%20Delays%20in%20Control%20Systems.pdf, 26.03.2012

8. ina122.pdf, http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina122.pdf, 20.03.2012

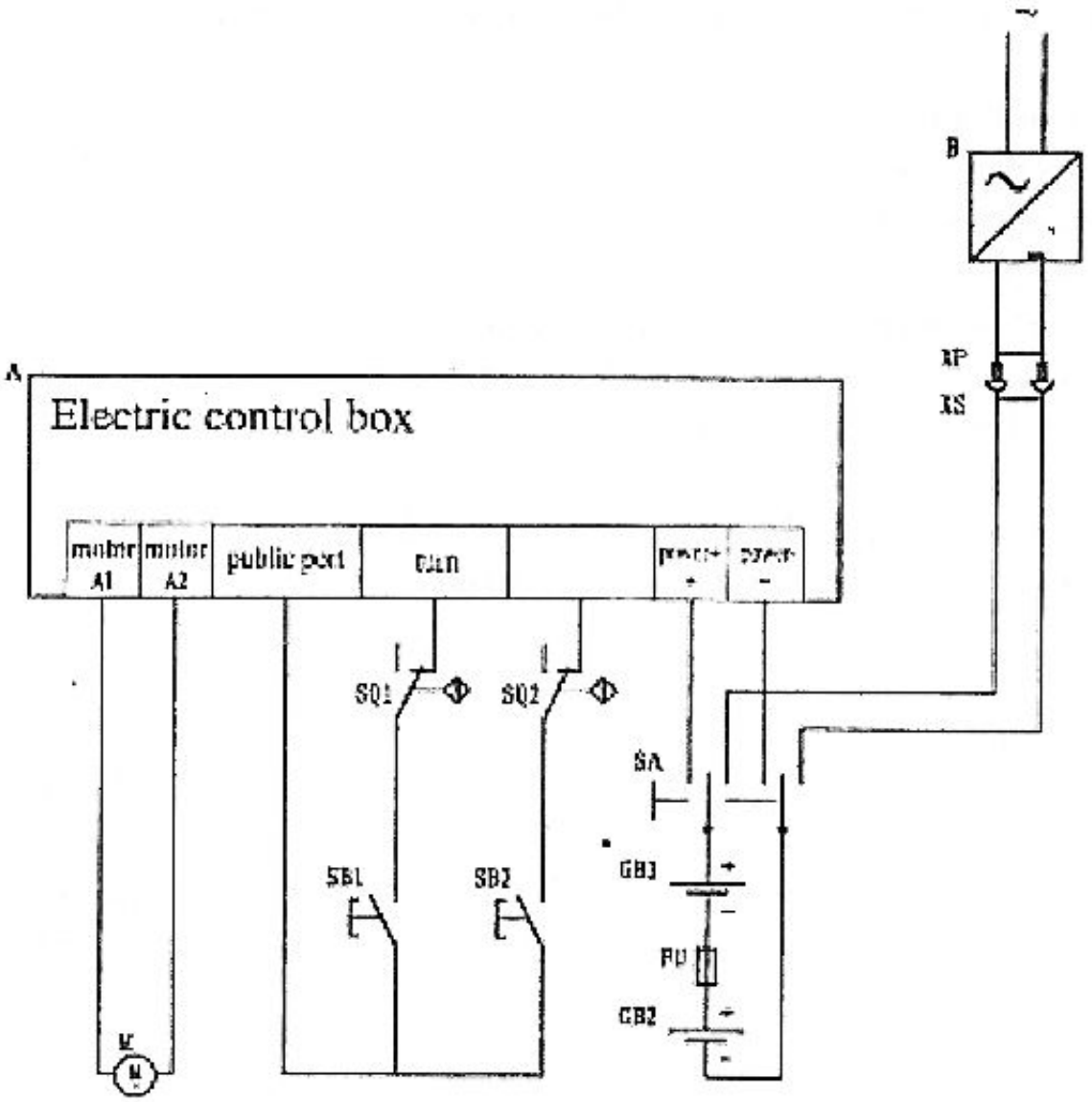
9. MC14043B-D.PDF, http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC14043B-D.PDF, 22.03.2012

10. Lead-acid_voltage_vs_SOC.PNG, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/7/79/Lead-acid_voltage_vs_SOC.PNG, 22.03.2012

11. bzx55-se.pdf , http://www.vishay.com/docs/85604/bzx55-se.pdf, 23.03.2012

12. Farnell Eesti, http://ee.farnell.com/, 29.03.2012

Lisa A. Tõstuki „Light Mini stacker LV-150“ elektriseadmete ühendusskeem seadme andmelehelt [1].



Lisa B. Väljavõte transistori VN2222LLG andmelehest [5]

VN2222LL

Preferred Device

Small Signal MOSFET 150 mAmps, 60 Volts

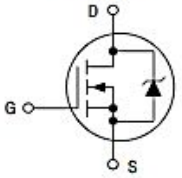
N−Channel TO−92

ON Semiconductor®

http://onsemi.com

150 mA, 60 V
$R_{DS(on)}$ = 7.5 Ω

N−Channel



TO−92
CASE 29
STYLE 22

Features

- Pb−Free Packages are Available*

MAXIMUM RATINGS

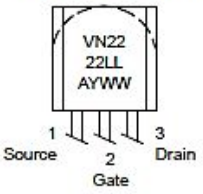
Rating	Symbol	Value	Unit
Drain−Source Voltage	V_{DSS}	60	Vdc
Drain−Gate Voltage (R_{GS} = 1.0 MΩ)	V_{DGR}	60	Vdc
Gate−Source Voltage − Continuous − Non−repetitive ($t_p \le 50$ µs)	 V_{GS} V_{GSM}	 ±20 ±40	 Vdc Vpk
Drain Current − Continuous − Pulsed	 I_D I_{DM}	 150 1000	mAdc
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	400 3.2	mW mW/°C
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	−55 to +150	°C

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction−to−Ambient	$R_{\theta JA}$	312.5	°C/W
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/16″ from case for 10 seconds	T_L	300	°C

MARKING DIAGRAM & PIN ASSIGNMENT



A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week

ORDERING INFORMATION

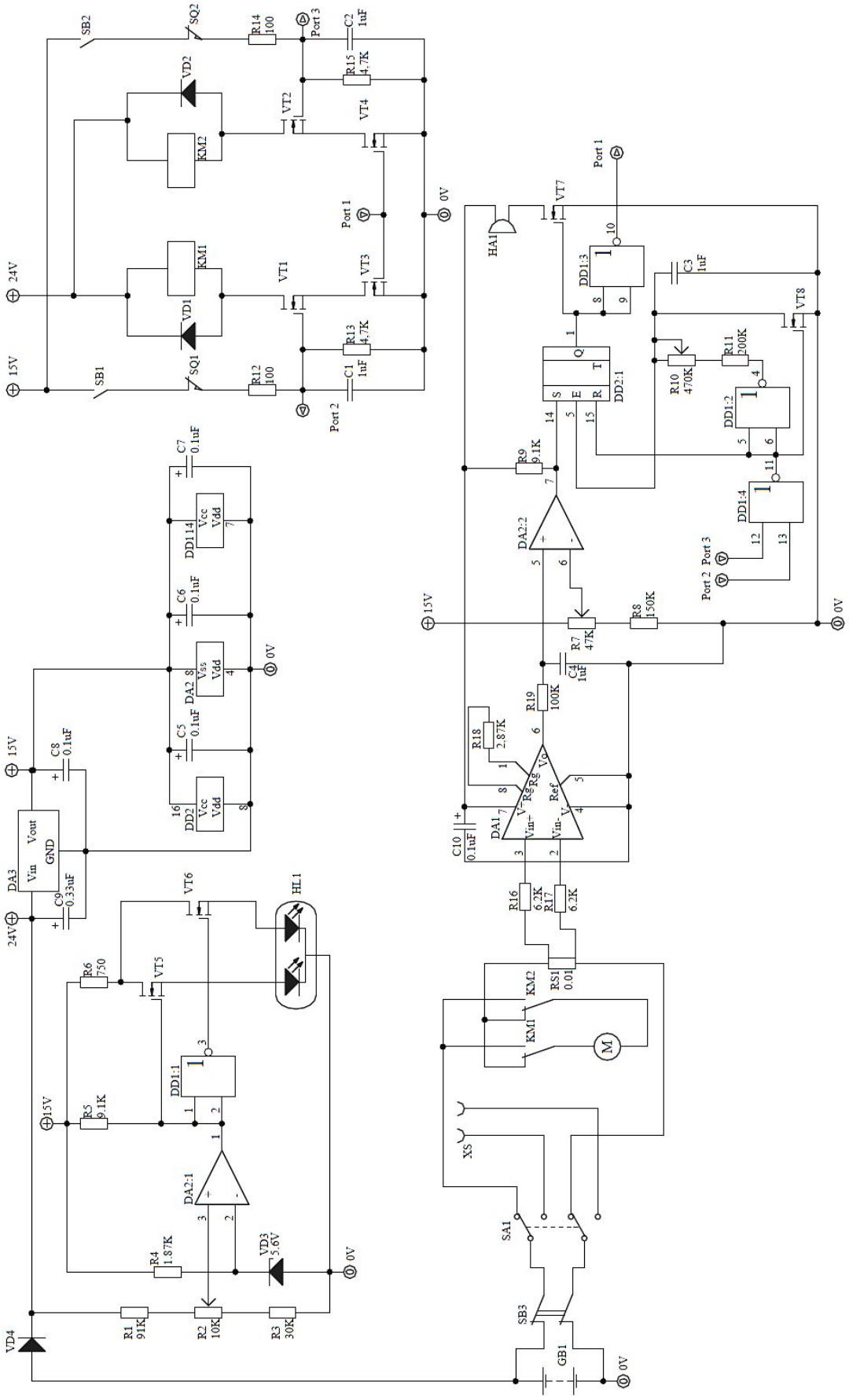
See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

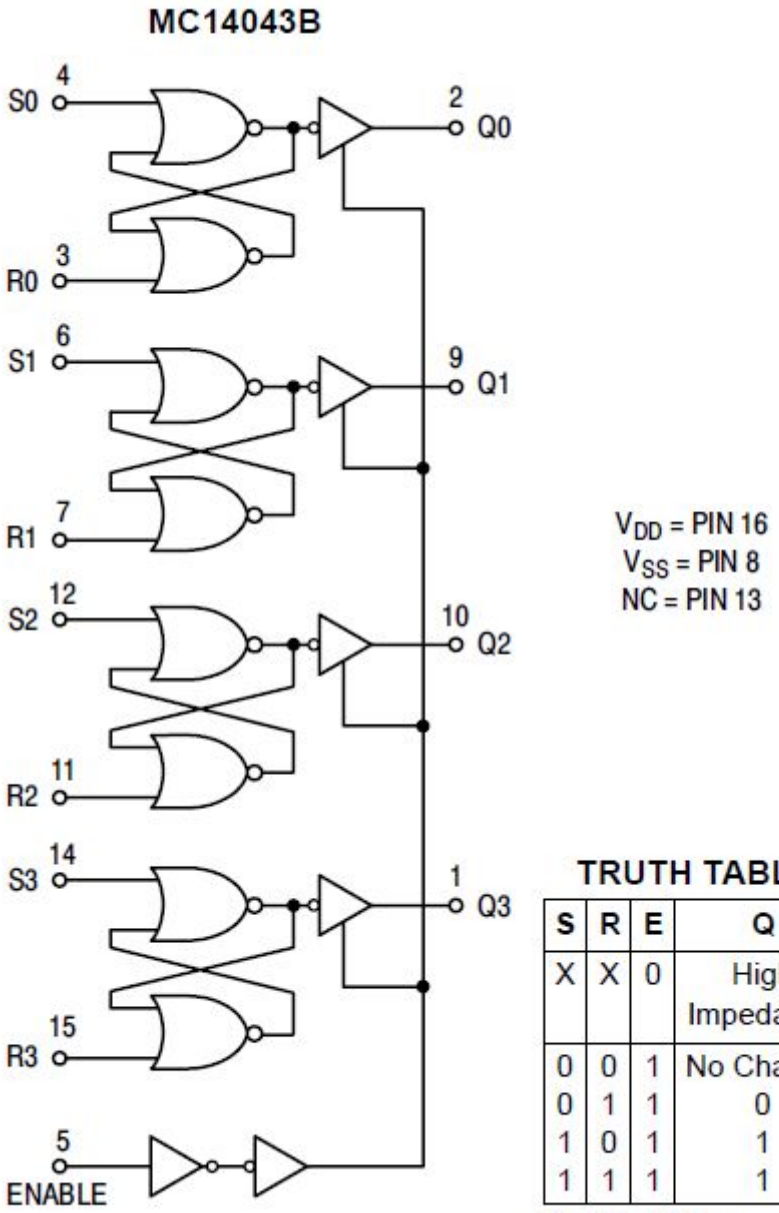
*For additional information on our Pb−Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2004

Lisa C. Tõstuki täielik elektriskeem



Lisa D. Trigeri MC14043B sisemine struktuur ja olekute tõeväärtustabel tootja andmelehelt [7]

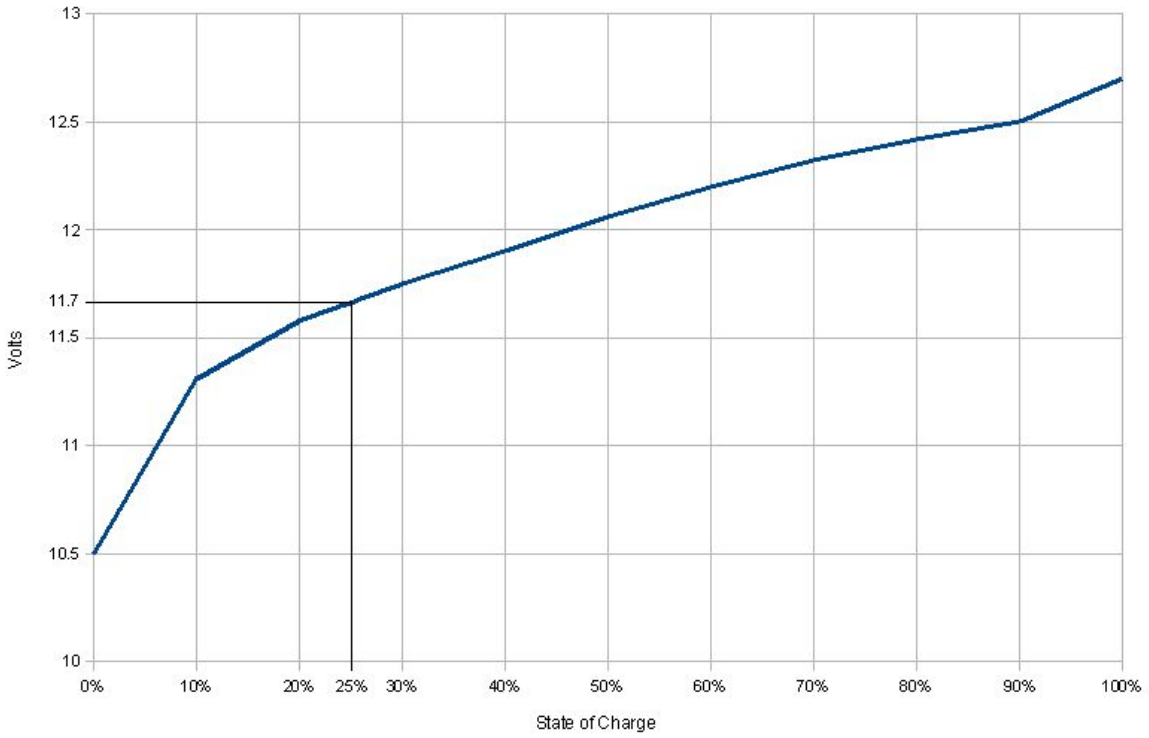


TRUTH TABLE

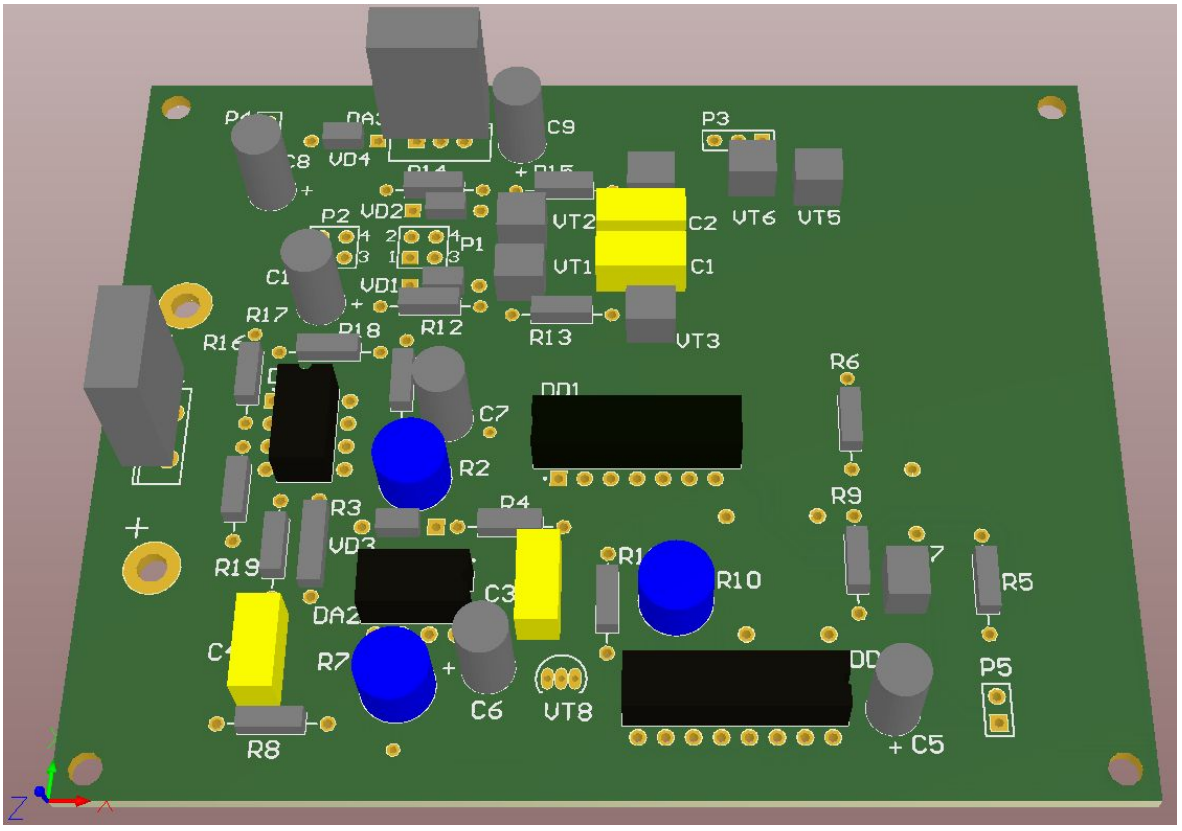
S	R	E	Q
X	X	0	High Impedance
0	0	1	No Change
0	1	1	0
1	0	1	1
1	1	1	1

X = Don't Care

Lisa E. Akupinge sõltuvus aku laetusest [10]. Jooned mis näitavad 25 % laetust ja pinget 11,7 volti on lisatud lõputöö koostaja poolt.



Lisa F. Väljatöötatud seadme trükkplaadi kolmedimensiooniline kujutis. Kujutis on välja lõigatud ekraanipildist.



Lisa G. Ühepolaarse toitega režiimis šhunttakisti pingelangu mõõtmine. Joonis pärineb mikroskeemi INA122 andmelehelt [8].

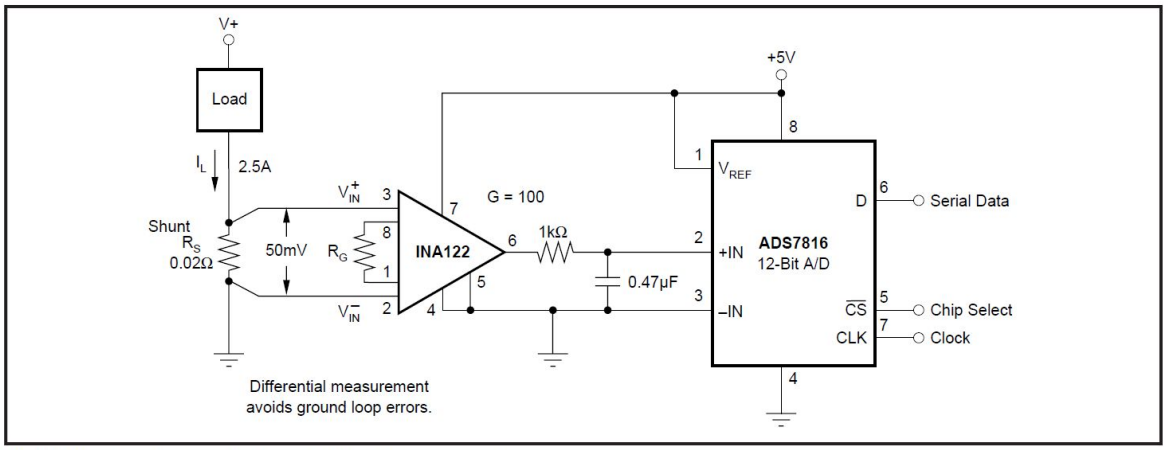


FIGURE 6. Single-Supply Current Shunt Measurement.

Lisa H. Elektrimootori Dunkermotoren GR 63 X 55 24 VDC soojenemise arvutus.

Arvutusülesande lihtsustamiseks eeldame, et mootor on homogeenne vasetükk mis soojeneb kogu oma ruumala ulatuses ühtlaselt. Arvutamiseks tuleb teada järgmiseid parameetreid:

Vase soojusmahtuvus $C_{vask} = 0,385 \frac{J}{g \cdot K}$.

Mootori mass $m = 1700g$.

Mootor tarbib maksimumraskuse tõstmisel võimsust

$$P = 16A \cdot 24V = 384W$$

Sellest soojuseks muundub

$P_{soojus} = 384 \cdot (1 - \eta) = 384 \cdot 0,37 = 142,08\ W$.

η on kasutegur. Antud ülesande puhul $\eta = 0,63$ [2].

Arvutame kui mitme kraadi võrra soojeneb üks gramm vaske ühe sekundi jooksul kui seda kuumutada võimsusega P_{soojus} .

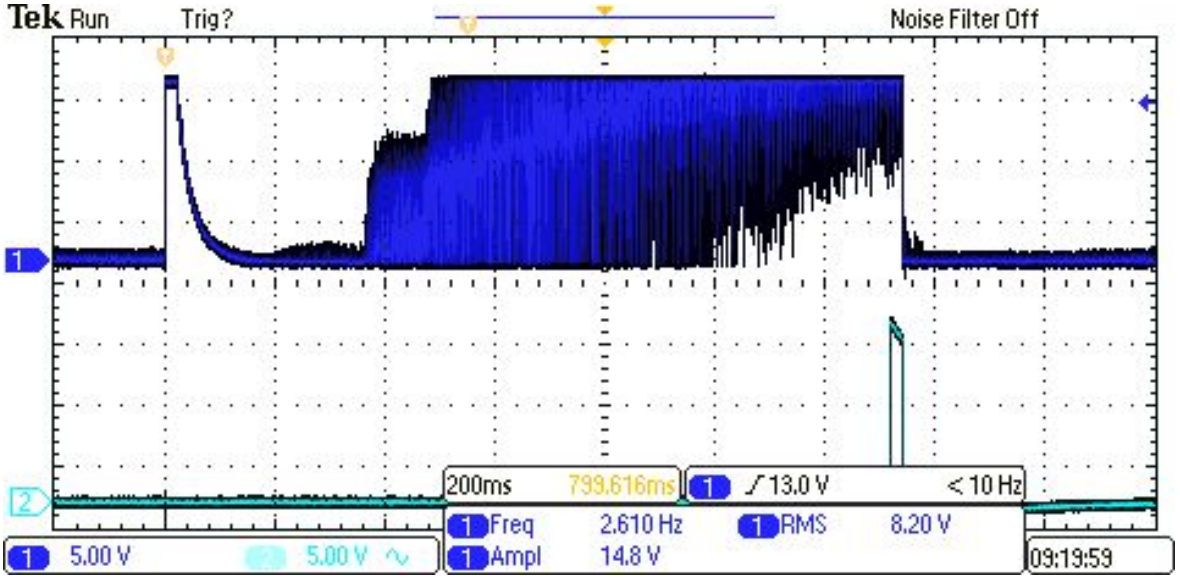
$$\frac{P_{soojus}}{C_{vask}} = \frac{142,08}{0,385} = 369,04\ \frac{K}{s}.$$

1700 g vaske soojeneb aga kiirusega

$$\frac{369,04}{1700} = 0,22\ \frac{K}{s}.$$

Järelikult soojeneb mootor ühe maksimumkoormusel tõstetsükli jooksul, mis kestab 22 sekundit [1]

$$22 \cdot 0,22 = 4,84\ K$$

võrra. Selline arvutusmeetod ei ole eriti täpne, sest mootor koosneb eraldiseisvatest eri materjalidest osadest mis soojenevad erineva kiirusega. Samuti ei võta see arvesse seadmelt hajuvat soojust mis soojenemiskiirust pidurdavad. Ebatäpsustest hoolimata on siiski näha, et mootori soojenemine ühe tõstetsükli jooksul ei ole märkimisväärne ega mootorile ohtlik.

Lisa I. Ostsilloskoobi ekraanipilt millel on kujutatud diferentsvõimendi väljundpinge kasv kui tõstepind liigub maapinna poole ja on koormatud vähemalt 80 kilose raskusega. Ülemine pingekõver on mõõdetud võimendi DA1 väljundilt aku miinusklemmi pinge suhtes. Sellel paistavad vasakult paremale järjestades mootori käivitusvoolust tingitud pingehüpe, pinge kasv kuni kaitseahela rakendumispingeni ning pinge kukkumine pärast kaitseahela rakendumist. Alumine pingekõver on mõõdetud komparaatori DA2 väljundilt, mis on ühendatud trigeri DD2 „S“ sisendiga, aku miinusklemmi suhtes. Legendi tagant on nähtav pingeimpulss mis rakendab kaitseahela.