

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan osasto

Fysiikan laitos

Kandidaatintyö

Näytteen liikkeen kontrollointi

Työn ohjaajana ja tarkastajana toimi diplomi-insinööri Hanna-Leena Varis.

Lappeenrannassa 18.5.2006

Jani Tuhkanen

Korpimetsänkatu 6-8 C 22

53850 Lappeenranta

041 433 69 97

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	3
2. KYTKIMEN ERI TOTEUTUSVAIHTOEHTOJA	4
2.1 BJT kytkimenä	4
2.2 FET kytkimenä	6
2.3 Rele kytkimenä.....	8
3. KOMPONENTTIEN VALINTA	9
4. KYTKIMEN SUUNNITTELU	10
4.1 Kytkimen suunnittelu lähtöarvojen perusteella.....	10
4.2 Kytkimen suunnittelu mittauksien perusteella	12
4.3 Kytkimen testaus.....	14
5. YHTEENVETO	15
LÄHTEET.....	17

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

MERKINNÄT

A_V	Jännitevahvistus
B	Kanta
C	Kollektori
D	Nielu
E	Tasajännitelähde, Emitteri
G	Hila
I_B	Kantavirta
I_{Coil}	Kelan virta
$I_{C_{sat}}$	Kollektorin kyllästysvirta
I_{LED}	LED:n virta
M	Askelmoottori
P_{Coil}	Kelan teho
Q	Transistori
R	Vastus
R_B	Kantavastus
R_b	Etuvastus
R_C	Kollektorivastus
R_{Coil}	Releen kelan resistanssi
S	Lähde
V_{CC}	Käyttöjännite
$V_{C_{Esat}}$	Kollektori-emitteri-jännite kyllästyksessä
V_{GS}	Hila-lähde jännite
V_{GSoff}	Hila-lähde jännitteen raja-arvo
V_{in}	Tulojännite
V_{LED}	LED:n jännite
V_Z	Zener-jännite
β	Virtavahvistuskerroin

LYHENTEET

BJT	Bipolar Junction Transistor	Bipolaaritransistori
JFET	Junction Field Effect Transistor	Liitoskanavatransistori
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor	Metallioksidikanavatransistori
LED	Light Emitting Diode	Valodiodi

1. JOHDANTO

Lappeenrannan teknillisen yliopiston fysiikan laitos rakentaa puolijohdeiden tutkimista varten magnetometriä. Puolijohdenäytettä liikutetaan magnetometrin sisällä ylös- ja alaspäin askelmoottorin avulla. Näytetangon liikkumiselle halutaan asettaa rajat: kymmenen senttimetriä suuntaansa. Tässä työssä suunnitellaan ilmaisim, joka havaitsee, jos näytteenpidin on liikkunut yli sallittujen liikkumarajojen, ja katkaisee tällöin moottorilta käyttöjännitteen.

Sauvan liikuttamiseen käytetään askelmoottoria, jonka ohjaus on tietokonepohjainen. Moottorin käyttöjännite on 7,5 V 1,5 A virralla. Käyttöjännite otetaan verkkovirrasta muuntajalla, jonka lähtöarvoiksi on ilmoitettu 7,5 V ja 1,5 A.

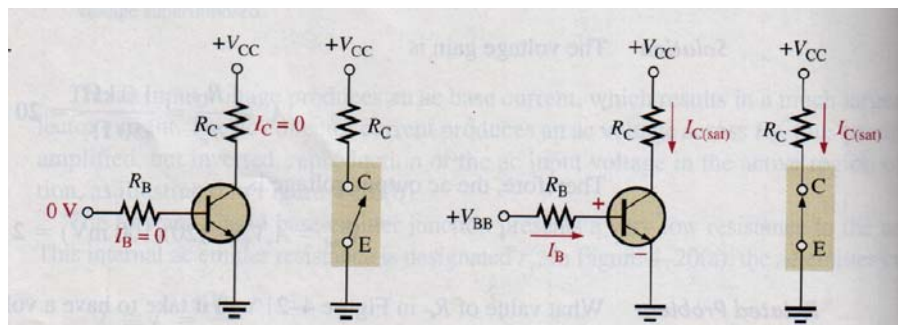
Sauvan ei haluta liikkuvan putkessa yli kymmentä senttimetriä suuntaansa, jotta sauva ei hajoaisi. Siinä tapauksessa, että askelmoottori yrittäisi liikuttaa näytesauvaa yli sallittujen rajojen, moottorin käyttöjännite on saatava katkaistua. Tähän tarvitaan sensori, joka havaitsee sauvan liikkuneen yli sallittujen rajojen, sekä kytkin, joka katkaisee jännitteen moottorilta.

2. KYTKIMEN ERI TOTEUTUSVAIHTOEHTOJA

Kytkimen toteuttamiseksi on olemassa useita eri vaihtoehtoja. Kytkimenä voitaisiin käyttää muun muassa BJT- tai FET-transistoria tai relettä. Seuraavaksi tutkitaan, miten kytkin voitaisiin toteuttaa näitä vaihtoehtoja käyttäen. Myöhemmin valitaan sovellukseen parhaiten sopiva komponentti.

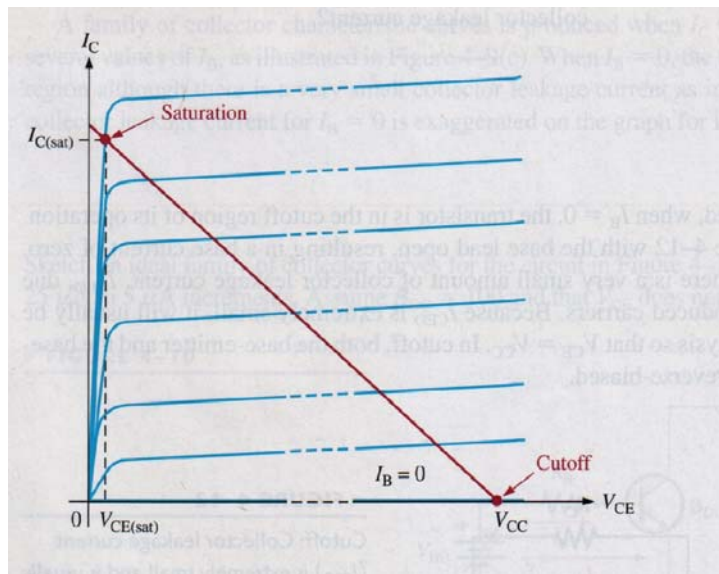
2.1 BJT kytkimenä

BJT-transistoria voi käyttää kytkimenä hyödyntäen sen cutoff- ja kyllästystiloja. Kuva 2.1 havainnollistaa BJT:n kytkinsovellusta. Avoin kytkin saadaan, kun transistori on cutoff-tilassa. Suljettua kytkintä taas vastaa transistorin kyllästystila.

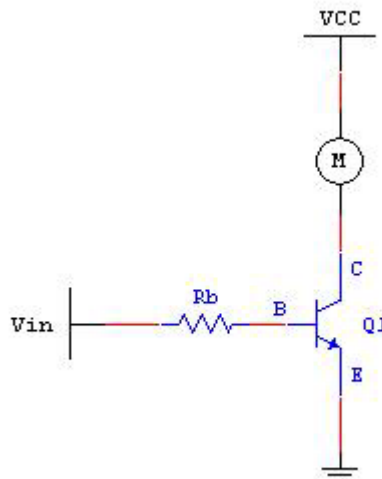


Kuva 2.1. BJT kytkimenä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa BJT on katkaisutilassa, jolloin se vastaa avointa kytkintä. Oikeanpuoleisessa kuvassa kytkin on suljettu, jolloin transistori on kyllästyksessä I_C .

Kuvassa 2.2 on esitetty BJT:n lähtökäyrästä, josta selviää milloin transistori on kyllästystilassa ja milloin katkaisutilassa. Kuvassa 2.3 on esitetty BJT ohjaamassa askelmoottoria.



Kuva 2.2. BJT:n lähtökäyrästä. Kuvasta näkee, että transistori on kyllästyksessä (Saturation), kun V_{CE} on lähes nolla ja katkaisutilassa (Cutoff), kun V_{CE} on käyttöjännitteen V_{CC} suuruinen [1].



Kuva 2.3. BJT ohjaamassa askelmoottoria M. Moottori pyörii, kun transistori Q1 on kyllästystilassa.

Transistori saadaan katkaisu- eli cutoff-tilaan, kun kannalle ei johdeta lainkaan virtaa. Tällöin piirissä ei kulje kuin pientä vuotovirtaa kollektorin ja emitterin välillä. Jännite kollektorin ja emitterin välillä on tällöin käyttöjännitteen suuruinen [1]. Tässä sovelluksessa virran ajaminen nolnaan ei onnistuisi, vaan se olisi rajoitettava niin pieneksi, ettei transistorin kanta–emitteri-kynnysjännite ylittyisi.

Kun kannalle syötetään tarpeeksi suuri virta, saadaan transistori ajettua kyllästystilaan. Transistorin kyllästysvirta voidaan laskea kaavalla

$$I_{\text{Csat}} = \frac{V_{\text{CC}} - V_{\text{CEsat}}}{R_{\text{C}}}, \quad (2.1)$$

missä I_{Csat} on kollektorin kyllästysvirta, V_{CC} käyttöjännite, V_{CEsat} kollektori–emitteri-jännite kyllästyksessä ja R_{C} kollektorivastus. Koska V_{CEsat} on yleensä hyvin pieni verrattuna käyttöjännitteeseen, voidaan kannalle tarvittava virta laskea kaavan

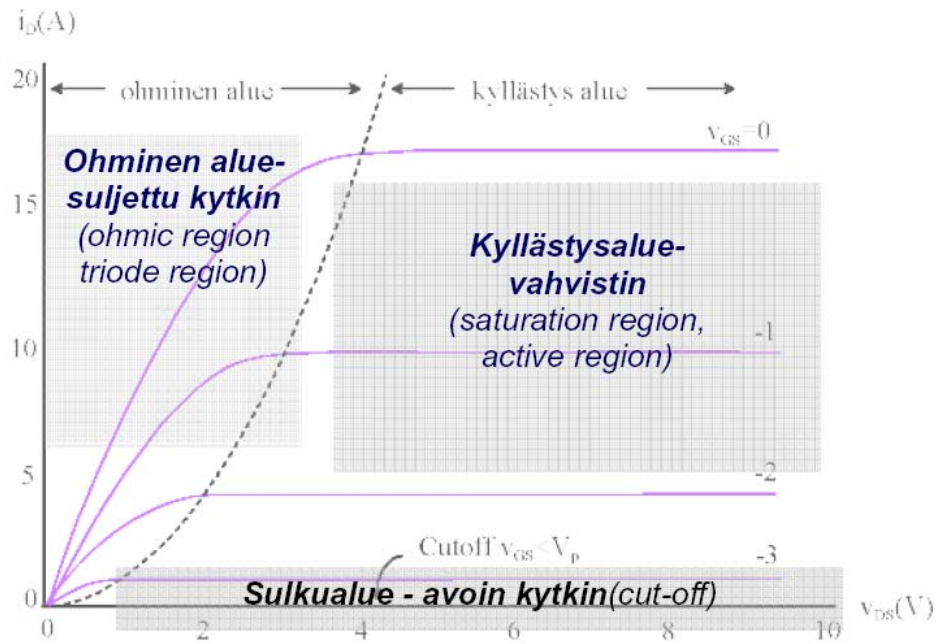
$$I_{\text{B}} = \frac{I_{\text{Csat}}}{\beta} \quad (2.2)$$

mukaan, missä I_{B} on kantavirta ja β transistorin virtavahvistuskerroin. Ohmin lakia hyväksi käyttäen saataisiin tästä laskettua tarvittava kantavastus $R_{\text{B}}/1/$.

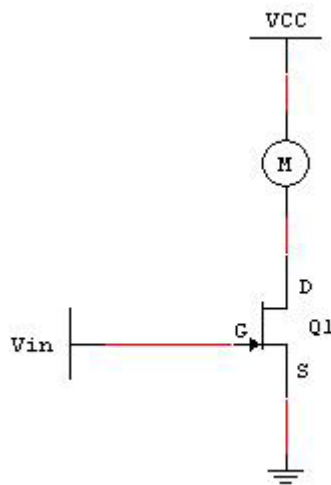
2.2 FET kytkimenä

FET-transistoria voidaan käyttää kytkimenä ohjaamalla sen hilajännitettä. FET-transistorit jaetaan kahteen ryhmään, JFET ja MOSFET. Seuraavaksi tarkastellaan, miten näitä voitaisiin käyttää kytkimenä.

JFET johtaa vain, kun hilan ja lähteen välillä olevan pn-liitoksen yli on negatiivinen jännite. Tämä tarkoittaa sitä, että n-kanavaisessa JFET-transistorissa hila-lähde-jännite V_{GS} tulee olla negatiivinen. Vastaavasti p-kanavaisessa JFET:ssä V_{GS} tulee olla positiivinen. Jännitteen V_{GS} tulee olla välillä $0 \dots V_{\text{GSoff}}$, jotta transistori toimisi parhaiten. V_{GSoff} on n-kanavaisessa JFET:ssä negatiivinen ja p-kanavaisessa positiivinen. Kuvassa 2.4 on esitetty JFET:n lähtökäyrästä, josta näkee transistorin toimintatilat eri hila-lähde-jännitteillä. Kuvassa 2.5 on n-kanavainen JFET-transistori ohjaamassa askelmoottoria.



Kuva 2.4. JFET transistorin lähtökäyrästä. Pystyakselilla on transistorin nieluvirta ja vaaka-akselilla nielu-
lähdejännite. Parametrina kuvassa on hila-lähde-jännite V_p .



Kuva 2.5. Askelmoottori n-kanavaisen JFET:n ohjaamana. Moottori pyörii, kun Q1 on ohmisella alueella.

Seuraavaksi tutustutaan vain n-tyyppisen MOSFET:n toimintaan. Toiminta p-kanavaisella MOSFET:illa on muuten vastaava, mutta jännitteiden napaisuudet ovat päinvastaiset.

Avaustyyppin MOSFET-transistorissa ei normaalitilassa ole johtavaa yhteyttä nielun ja lähteen välillä. Kun hilalle tuodaan positiivinen kynnyksjännitteen yltävä ohjausjännite,

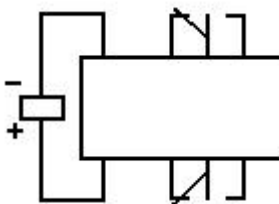
saadaan n-kanavainen avaustyyppin MOSFET johtamaan. Toisin sanoen nielun ja lähteen välille muodostuu johtava yhteys.

Sulkutyyppin MOSFET voi toimia sekä sulkua- että avaustyyppisenä. Negatiivisella hilajännitteellä n-kanavainen sulkutyyppin MOSFET toimii sulkutyyppisenä ja positiivisella hilajännitteellä avaustyyppisenä.

Sulkutyyppisenä toimiessaan n-MOSFET:n kanava sulkeutuu, kun hilalle tuodaan negatiivinen ohjausjännite. Kun jännite saavuttaa raja-arvon V_{GSoff} , ei nieluvirtaa kulje lainkaan. Kuten JFET:kin, n-kanavainen sulkutyyppin MOSFET johtaa parhaiten ohjausjännitteen ollessa 0 V:n ja V_{GSoff} :n välillä /1/.

2.3 Rele kytkimenä

Transistorien lisäksi kytkimenä voi käyttää relettä. Releen tulee olla lukittumaton. Tällöin releen avoimet kärjet sulkeutuvat ja kiinni olevat avautuvat, kun kelalle syötettävä jännite nousee yli kelan kytkentäjännitteen. Kun jännite laskee alle vapautusjännitteen, palautuvat kärkien tilat ennalleen /3/. Releen kelalle syötetään ohjausjännite ja käyttöjännite johdetaan releen kärkien kautta kuormalle. Kuvassa 2.6 on rele kytkimenä. Kuvassa on esitetty myös releen kärkien kontaktit, kun rele on reset-tilassa /4/.



Kuva 2.6 Lukittumattoman releen kontaktit, kun rele on reset-tilassa.

Kuvassa releen kontaktit on esitetty, kun rele ei vedä. Kun rele vetää, saadaan auki olevien kärkien välille kontakti.

3. KOMPONENTTIEN VALINTA

Sauvan liikettä tarkkailevaksi sensoriksi oli jo aiemmin suunniteltu Honeywellin HOA2001-infrapunsensoria, joka valittiin käyttöön. Sensori antaa lähtöjännitteenä vähintään 2,4 V optisen väylän ollessa vapaana. Väylän ollessa tukittuna lähtöjännite on korkeintaan 0,4 V. Käyttöjännitteenä voidaan käyttää 4,5 – 10 voltia /5/. Kuvassa 3.1 on HOA2001 infrapunsensori.



Kuva 3.1. HOA2001-infrapunsensori /5/.

Koska moottorin käyttämä virta on 1,5 A, ei BJT-transistori sovellu käyttöön, sillä transistorin kollektori ei kestä tämän suuruusluokan virtoja. Toisaalta tehotransistori ei tule kysymykseen johtuen sen pienestä virtavahvistuskertoimesta. Pienen virtavahvistuksen takia olisi kannalle syötettävä niin suuri virta transistorin ajamiseksi kyllästystilaan, ettei sensorin virransyöttökyky riittäisi /5/. Myöskään FET:n virtakestoisuus ei riittäisi moottorin tarvitsemaan virtaan. Parhaat virrankestoisuudet saavutetaan releellä ja FET-tehotransistorilla. Releen kelan tarvitseman pienen virran ja kärkien suuren virrankestoisuuden vuoksi rele soveltuu hyvin käyttöön, jossa on tarkoitus ohjata suuria virtoja pienillä virroilla.

Käyttöön valittiin Tyco Electronicsin P2-rele, koska P2-releen kärjet kestävät jopa 5 A virtoja, jolloin teholahteessa voi sallia häiriöitäkin releen tuhoutumatta. Releen kela ei saa olla lukkiutuva. Tällöin releen kärjet vaihtavat tilaansa, kun kelan yli on tarpeeksi suuri jännite. Kun jännite laskee tietyn rajan alle, vaihtavat kärjet jälleen tilaansa /3/. Releen

kytkentäjännite on 3,38 V, maksimissaan 9,80 V. Kelan jännitteen ollessa tällä välillä rele vetää. Kelajännitteen laskiessa alle 0,45 V:n lakkaa rele vetämästä. Kelan tehoksi on ilmoitettu $P_{\text{Coil}} = 140 \text{ mW}$ ja resistanssiksi $R_{\text{Coil}} = 145 \Omega$. Näistä saadaan laskettua, että kelan virta I_{Coil} on noin 31 mA /4/.

Koska releen kytkentäjännite on 3,38 V ja infrapunasensorin lähtöjännite korkeassa tilassa on minimissään 2,4 V, sensorin lähtöjännitettä on vahvistettava, jotta jännitetasot ovat sopivat. Vahvistimeksi valittiin LM358N-operaatiovahvistin. Sen käyttöjännite voidaan asettaa aina 32 V:in asti, jolloin sen käyttöjännitteenä voidaan käyttää samaa kuin HOA2001-infrapunasensorilla, 7,5 V. Vahvistimen virransyöttökyky on 20-60mA, joten myös se on sovellukseen riittävä /6/.

4. KYTKIMEN SUUNNITTELU

Kytkin suunniteltiin aluksi pelkkien datalehdistä saatujen lähtöarvojen ja teorian pohjalta. Kytkimen lopullinen suunnittelu tapahtui mittauksien avulla. Lähtöarvojen perusteella suunniteltua kytkintä paranneltiin ja siihen tehtiin tarvittavia muutoksia mittaustulosten perusteella.

4.1 Kytkimen suunnittelu lähtöarvojen perusteella

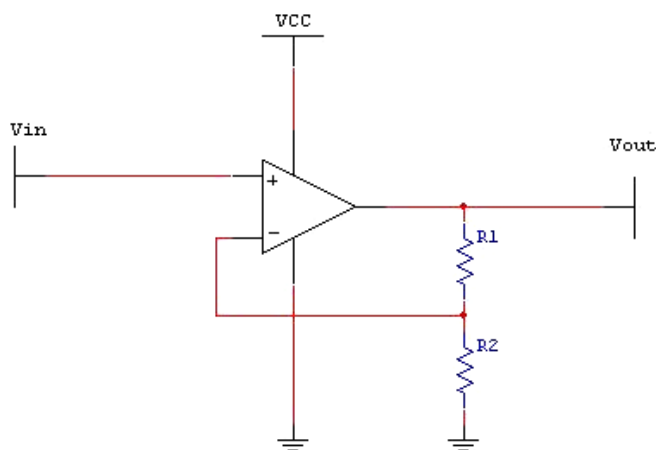
Koska moottorin käyttöjännite on 7,5 V, päätettiin, että myös muilla komponenteilla käytetään samaa käyttöjännitettä. Tällöin kaikkien komponenttien käyttöjännite voidaan ottaa samasta pisteestä. Infrapunasensorin infrapunadiodin yli ei saa kytkeä kuin 1,6 V:n jännite, ja se kestää vain 50 mA virtaa, joten jännitettä on alennettava ennen diodia ja se on suojattava virranrajoittimella. Kun infrapunadiodin rinnalle asetetaan zener-diodi, jännitettä voidaan alentaa /1/. Virranrajoittimeksi asetetaan infrapunadiodin kanssa sarjaan sopivan kokoinen vastus. Pienimmän saatavilla olleen zener-diodin zenerjännite V_Z oli 3,3 V. Tällöin virranrajoittimen yli jää 1,7 V. Virta infrapunadiodin läpi rajoitetaan 20 mA:in. Näistä saadaan laskettua etuvastuksen arvo $R_b = 85 \Omega$.

Infrapunailmaisain havaitsee, jos valo ei pääse kulkemaan infrapunälähttimen ja vastaanottimen välillä. Tällöin puskurilogiikan lähtö on alhaalla. Kun väli on vapaa, eli valo pääsee kulkemaan, on lähtö ylhäällä. Lähdön ollessa alhaalla lähtöjännite on korkeintaan 0,4 V, ja ylhäällä lähtöjännite on taas vähintään 2,4 V.

Koska sensorin lähtöjännite on minimissään 2,4 V, kun optinen väylä on vapaana ja korkeintaan 0,4 V väylän ollessa tukittuna, lähtöjännitettä on vahvistettava, jotta se saataisiin releen kelan vaatimalle tasolle. Releen kytkeväjännite ei kuitenkaan saa ylittyä sensorin lähdön ollessa alhaalla. Kun operaatiovahvistimen käyttöjännitteenä on 7,5 V, ei vahvistimelta voida saada tätä suurempia jännitteitä, joten kelan maksimijännite 9,80 V ei tule ylitetyksi. Vahvistinkytkentä on kuvan 4.1 mukainen. Vahvistimen vahvistuksen tulee olla vähintään 1,5. Vastusten R_1 ja R_2 arvot saadaan kaavan

$$A_v = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (4.1)$$

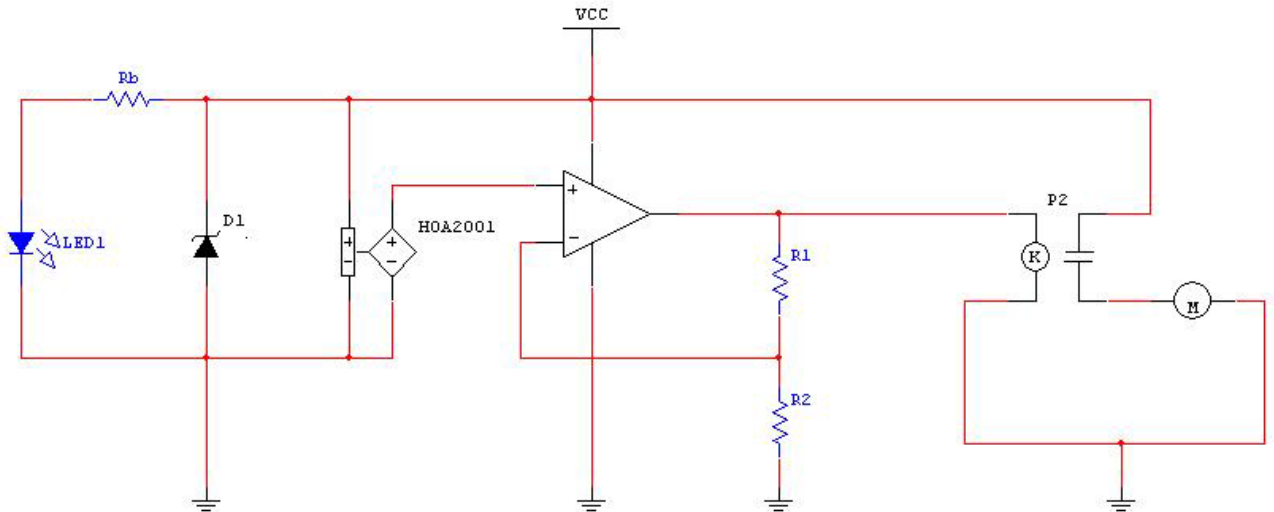
mukaan, missä A_v on vahvistimen jännitevahvistus /1/.



Kuva 4.1. Operaatiovahvistin negatiivisella takaisinkytkennällä. Kuvassa $R_1 = 1000 \Omega$ ja $R_2 = 1800 \Omega$

Operaatiovahvistimen lähtöjännite kytketään releen kelalle ja moottorin tarvitsema käyttöjännite releen kärjille. Moottorin käyttöjännite saadaan nyt katkaistua, kun kelan

jännite pudotetaan alle kytkentäjännitteen. Kuvassa 4.2 on esitetty kytkimen kytkentäkaavio. Kuvassa HOA2001-infrapunasensori on kuvattu jänniteohjaimena. LED1 esittää sensorin infrapunadiodia.

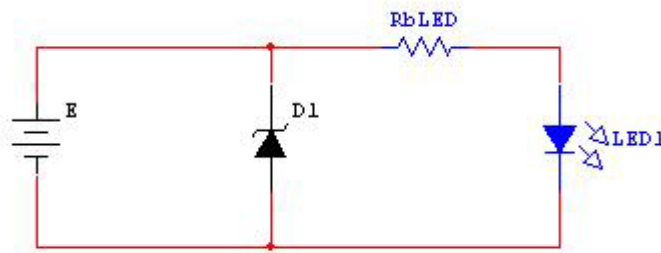


Kuva 4.2. Kytkimen kytkentäkaavio. Kytkennän käyttöjännite $V_{CC} = 7,5 \text{ V}$, etuvastus $R_b = 85 \text{ } \Omega$, vastus $R_1 = 1000 \text{ } \Omega$ ja vastus $R_2 = 1800 \text{ } \Omega$. Kuvassa HOA2001-sensori on esitetty jänniteohjaimena, LED1 on sensorin infrapunadiodi.

4.2 Kytkimen suunnittelu mittauksien perusteella

Mittaamalla havaitaan, että muuntaja syöttää 10 V jännitettä. Tämän vuoksi käyttöjännite alennetaan koko piiristä 7,5 V:iin lukuun ottamatta releen kärjille menevää moottorin käyttöjännitettä ja operaatiovahvistimen käyttöjännitettä. Käyttöjännitettä alennetaan, ettei sensorin jännitekestoisuus 10 V ylittyisi mahdollisen häiriön sattuessa. Piirin virta rajoitetaan zener-diodin eteen sijoitettavalla etuvastuksella 70 mA:iin. Koska muuntajalta saadaan 10 V jännite ja zenerin yli on 7,5 V, jää vastuksen yli 2,5 V. Kun käytetään E12-sarjan vastuksia, saadaan vastukseksi $R_{b1} = 39 \text{ } \Omega$.

Infrapunasensorin infrapunadiodi suojataan nyt pelkällä etuvastuksella R_{bLED} , eikä käytetä zener-diodia alentamaan infrapunadiodin yli olevaa jännitettä kuten aiemmin tehtiin. Infrapunadiodin suojaus on esitetty kuvassa 4.3



Kuva 4.3. Infrapunadiodin suojaus etuvastuksella. Zener-diodilla D_1 alennetaan jännitelähteen E syöttämä jännite 7,5 V:iin.

Vastus mitoitetaan kaavan

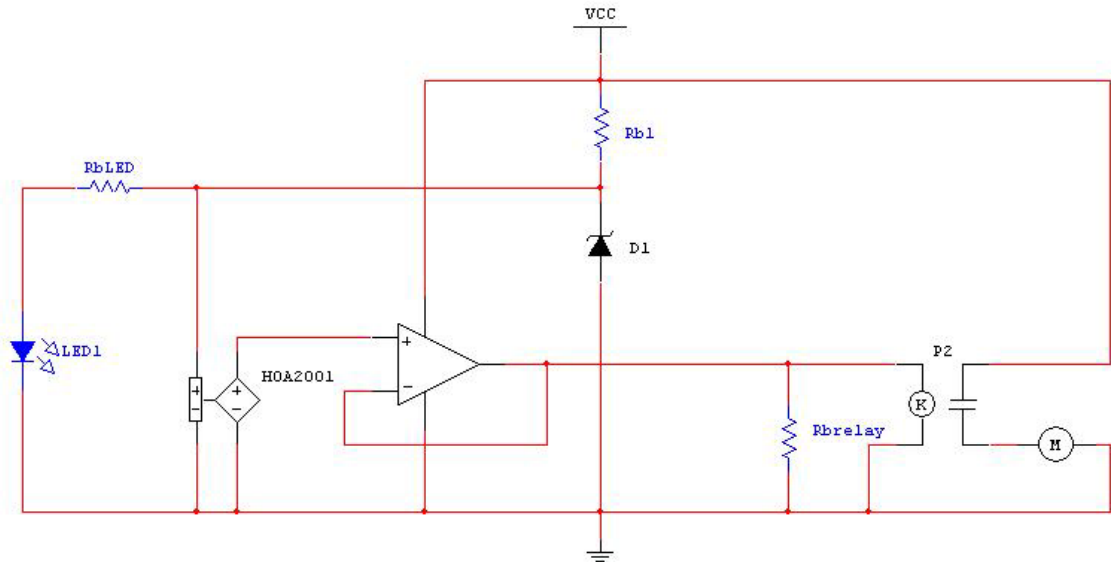
$$R_{\text{bLED}} = \frac{V_{\text{CC}} - V_{\text{LED}}}{I_{\text{LED}}} \quad (4.2)$$

mukaan, jossa R_{bLED} on etuvastus, V_{CC} alennettu käyttöjännite, V_{LED} LED:n yli oleva jännite ja I_{LED} LED:n läpi menevä virta. Infrapunadiodi kestää maksimissaan 50 mA virtaa, mutta se rajoitetaan noin 20 mA:iin. Tällöin kaavan mukaan, $R_{\text{bLED}} = 295 \Omega$. E12-sarjan vastuksista lähimmäksi sattuu 330Ω . Tällöin virta infrapunadiodin läpi on noin 17 mA.

Mittaamalla havaittiin sensorin lähtöjännitteen olevan 7,25 V, kun sitä ei kuormiteta. Kuormitettuna lähtöjännite kuitenkin laskee alle releen kytkentäjännitteen. Sensorin lähtöjännitteen vahvistamisen sijasta päätettiin asettaa sensorin ja releen väliin jännitteenseuraja. Tällöin operaatiovahvistimen lähtöjännitteen tulisi olla sama kuin sensorin lähtöjännitteen $/1/$. Käytännössä jännitteenseurajalla saatiin kuitenkin vain pienennettyä releen kuormituksen vaikutuksia ja releen kytkentäjännite tuli ylitetyksi, kun sensorin optinen väylä oli vapaa.

Operaatiovahvistin syöttää 41 mA virtaa, jolloin releen kela on suojattava releen rinnalle asetettavalla etuvastuksella R_{brelay} , koska kela kestää vain 31 mA virtaa $/4/$. Kun etuvastukseksi asetetaan 390Ω vastus, saadaan kelan läpi kulkeva virta rajoitettua tarpeeksi pieneksi.

Kuvassa 4.4 on mittausten perusteella saatu lopullinen kytkimen kytkentäkaavio. Kytkentä on muokattu lähtöarvojen perusteella tehdystä kytkennästä mittauksilla tehtyjen havaintojen perusteella.



Kuva 4.4. Kytkimen lopullinen kytkentäkaavio. Kytkennän käyttöjännite V_{CC} on 10 V. Vastusten arvot ovat $R_{b1} = 39 \Omega$, $R_{bLED} = 330 \Omega$ ja $R_{brelay} = 390 \Omega$. HOA2001-sensori on esitetty jännitteenohjaimena ja LED1 kuvaa sensorin infrapunalediä.

4.3 Kytkimen testaus

Kytkentää testattiin samalla, kun sitä rakennettiin koekytkentäalustalle. Tällöin tarkkailtiin, ettei komponenttien jännite- ja virtakestoisuudet ylity. Tällä tavalla muun muassa vastus R_{brelay} osattiin asettaa, kun havaittiin, että operaatiovahvistimen syöttämä virtaa on 41 mA, kun releen kela kestää vain 31 mA.

Kun jännitteet ja virrat oli saatu asetettua komponenttien vaatimille tasoille, testattiin releen toimintaa yleismittarilla. Releen kärkien väliltä mitattiin ohmimittarilla niiden välinen resistanssi, kun kela on jännitteinen ja kun jännite pudotetaan kelalta pois. Havaittiin, että sensorin optisen väylän ollessa vapaa, eli kun kelalla on jännite, on kärkien välillä olematon, alle 1Ω , vastus. Kun väylä tukittiin pahvilevyllä, ei kelalle päässyt

jännitettä. Tällöin ohmimittari näytti O.L, eli vastus kärkien välillä oli hyvin suuri, eikä niiden välillä ollut kontaktia.

Releen toiminta testattiin myös mittaamalla jännite, kun kärjelle syötettiin moottorin käyttöjännite. Tällöin jännite mitattiin toisen kärjen ja maan väliltä. Kun kela oli jännitteinen, saatiin kärjen ja maan välille 10 V jännite. Kun taas kelalla ei ollut jännitettä, putosi jännite kärjen ja maan välillä 0 V:iin.

Lopuksi kytkin vielä testattiin askelmoottorin kanssa. Tällöin kytkin kytkettiin sen varsinaiseen käyttökohteeseen ja testaus vastasi soveltuvin osin todellista tilannetta. Moottori ei kuitenkaan ollut kytkettynä magnetometriin eikä testauksessa käytetty näytteenpidintä, vaan moottori oli pöydällä kuormittamattomana. Sensorin väylä tukittiin käsin pahvinpalalla. Kun väylä pidettiin vapaana, pyöri moottori tietokoneen määräämän ohjauksen mukaisesti. Kun väylään laitettiin tukkeeksi pahvilappu, saatiin moottori pysähtymään, joten kytkin toimi niin kuin alussa oli haluttukin.

Kytkimen toimittua halutulla tavalla, siitä juotettiin lopullinen versio reikälevylle ja se otettiin käyttöön magnetometrin moottorin kytkimenä.

5. YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ilmaisin, joka havaitsee, jos magnetometrin näytteenpidin liikkuu yli sille asetettujen rajojen. Havaitsemiseen käytetään infrapunasensoria HOA2001. Tämä sensori antaa korkean lähtöjännitteen, kun sen optinen väylä on vapaa ja matalan jännitteen väylän ollessa tukittuna. Lähtöjännitteen ollessa korkeassa tilassa, kytkin on suljettu ja matalalla lähtöjännitteellä avoin. Moottorin tarvitsema käyttöjännite syötetään releen kärkien kautta, jolloin moottori saa käyttöjännitteen vain infrapunasensorin optisen väylän ollessa vapaa.

Suunnitteluprosessi oli kaksivaiheinen. Aluksi tutustuttiin teorian pohjalta kytkimiin ja valittiin sopivat komponentit. Teoriaan pohjautuvan suunnittelun valmistuttua kytkintä testattiin ja siihen tehtiin tarvittavat muutokset. Kytkin suunniteltiin aluksi datalehdistä

saatavien lähtöarvojen mukaan. Tämän jälkeen kytkimen suunnittelua jatkettiin mittausten avulla. Mittauksissa huomattiin, etteivät kaikki jännitetasot olleet haluttuja, eivätkä kaikki komponentit kestäisi kyseisiä jännitteitä. Mittausten avulla kytkin saatiin toimivaksi ja sitä päästiin testaamaan käytännössä. Testausten osoitettua, että kytkin toimii halutulla tavalla, se otettiin käyttöön magnetometrin askelmoottorin kytkimenä.

Kytöntä käytetään suoraan moottorin käyttöjännitteen katkaisemiseen. Pienin muutoksin kytkimen lähtöjännitteessä sitä voitaisiin kuitenkin käyttää myös moottorin ohjaukseen. Tällöin rele ohitettaisiin ja relettä ohjaavalla jännitteellä ohjattaisiin mikrokontrolleria. Mikrokontrollerille täytyisi kirjoittaa esimerkiksi C-kielinen koodi, jonka mukaan moottorin pyörimissuunta tarvittaessa käännettäisiin. Nyt käyttöjännitettä ei tarvitsisi katkaista, vaan moottorin pyörimissuunta vain käännettäisiin näytetangon liikkeessä yli rajojensa ja mittaustapahtuma voisi jatkua keskeytyksettä.

Lähteet

- /1/ T L Floyd, *Electronic Devices*, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2005
ISBN 0-13-127827-4
- /2/ FET laboratoriotyöohje
<http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2920600/fetv3.pdf> 16.5.2006
- /3/ Artikkelit reletyypeistä
http://www.geofex.com/Article_Folders/relays/relays_for_switching_audio_signa.htm 10.5.2006
- /4/ Tyco P2 releen datalehti. Tyco Electronics, 2004.
- /5/ HOA2001 infrapunasensorin datalehti. Honeywell.
- /6/ LM358 operaatiovahvistimen datalehti. National Semiconductor Corporation 1995.