

Pieni moottoriohjain hyvällä hyötysuhteella

Markku Kauppinen

Yksinkertainen moottoriohjain pienille DC-moottoreille esim. robotiikkakäyttöön. Moottoriohjain on suunniteltu erityisesti matalia loogisia jännitetasoja- ja käyttöjännitteitä varten, jotta kyseisillä jännitteillä saavutettaisiin mahdollisimman korkea hyötysuhde.

Perusteita uudelle ohjaimelle

Tämä Ideaportin pieni moottoriohjain toimii parhaiten silloin, kun käyttöjännite on melko matala (5V - 9V) ja moottorille tarvitaan jatkuvasti 1-2A virtaa, mutta hetkellisesti jopa useampia ampeereita.

Jos moottoriohjaimeksi valjastetaan näissä tapauksissa jokin hyvin suosittu bipolaariseen L29[n]... piiriperheeseen pohjautuva ratkaisu, tapahtuu pelkässä piirissä tehohukkaa jopa valtaosa siitä, mitä moottorille on ajateltu saatavan. Ilmiöstä saa tarkempaa tietoa internetistä hakemalla esim. "L298N voltage drop" ja/tai lukemalla piiriin datalehti. Jos asiaa ei ole aiemmin miettinyt, niin kannattaa tutustua.

Moottorit siis saadaan bipolaarisilla ohjaimilla "toimimaan", mutta auton tai robotin kulku voi olla melko vaivalloista, kun moottori ei saakaan tarpeeksi jännitettä.

Esimerkki: oletetaan että 1A virralla jännitepudotus on se pienin valmistajan ilmoittama 1,8V (eikä max. 3,2V). Käytössämme on 7,2V jännitelähde (2 x litium akku). Pudotuksen jälkeen jännite on 5,4V.

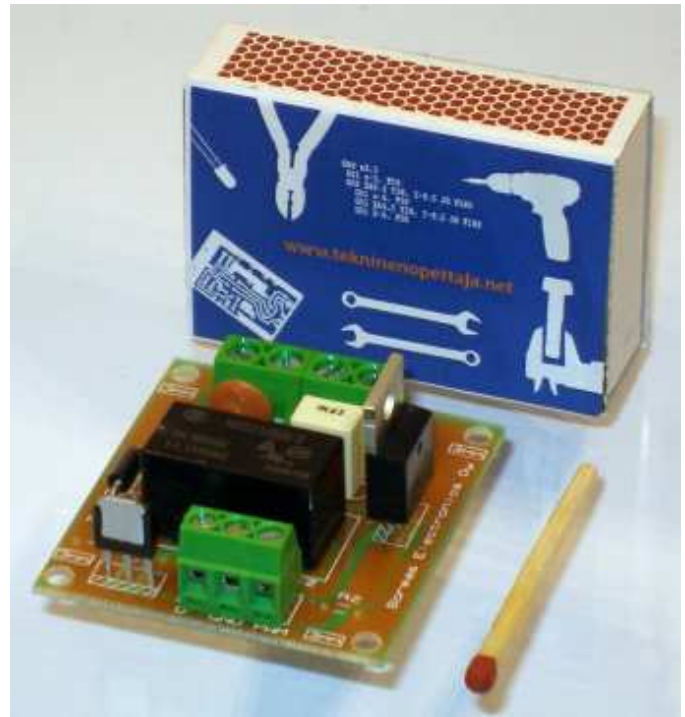
Moottorin käyttöön jää tällöin:

$$100\% * 5,4^2 / 7,2^2 = \sim 58\%$$

- kaava toivottavasti muistuttaa ensinnäkin että teho on verrannollinen jännitteen neliöön!

- jos siis pudotus on vähänkään suurempi kuin piirin valmistajan pienin ilmoittama, voidaan sanoa että moottori voi toimia maksimissaan ainoastaan puoliteholla

- ylläolevasta matematiikasta johtuen bipolaarisella transistoritekniikalla toteutettuja moottoriohjaimia kannattaa käyttää vasta silloin kun moottorille on tarjottavissa 12V tai sitä suurempi käyttöjännite



Ratkaisut hyötysuhdeongelmiin

Ideaportin moottoriohjaimessa on käytetty "vanhanaikaista" relettä suunnanvaihtoon, eli moottorin jännitteen napaisuuden vaihtoon (H-silta). Rele on kuitenkin kooltaan vain 16-napaisen IC-piirin kokoinen. Rele on ylläolevassa kuvassa oleva suorakaiteen muotoinen musta laatikko piirilevyn keskellä. Rele vie vain noin 200mW käytössä olevasta kokonaistehosta, kun L298N hukkasi jo 0,5A virralla n. kymmenkertaisesti tehoa. Ja jos relettä käytetään vain peruuttaessa, ei releeseen tarvita energiaa lainkaan, kun esim. auto kulkee eteenpäin.

Moottorin tehonsäätöön ja releen ohjaukseen on käytetty uudempia loogikkataso-MOSFET-transistoreita. Moottoriohjaimen käyttö onnistuukin myös matalia 3V - 3.3V loogisia jännitteitä käyttävillä kehitysalustoilla, kuten ESP8266/NodeMCU ja micro:bit. Moottorin tehoa säätäväksi transistoriksi on myös valittu yliampuvan suurivirtainen malli. Kun transistorin kanavavastus on siten mitätön, ei siinä muodostu myöskään lämpöä. Jäähdytyslevyä ei siis tarvita. Tämä antaa anteeksi releen käyttöä H-silta-kytkennässä. Rele on kuitenkin huomattavasti kevyempi kuin jäähdytyslevyt. Lisäksi moottorin säätöön tarvitaan releen ansiosta vain tuo yksi transistori siinä virtapiirissä, minkä kautta moottori saa virtansa.

Vastaavan kytkennän pulssileveys-säätöä varten H-siltoineen voisi tehdä myös kokonaan puolijohteilla. Tätä tarkoitusta varten on myös MOSFET pohjaisia IC-piirejä. Valtaosa kyseisistä piireistä on kuitenkin pintaliitosversioita ja kytkennöiltään monimutkaisempia, jolloin rakentelu koulujen robotiikkakäyttöön on haasteellista ja ymmärrys niiden toiminnasta jää vähäiseksi.

Pienille n. 1A virroille on valmiita MOSFET moduleita varsin halvalla (esim. Pololu), jotka ovat hieman parempia kuin bipolaariset ohjaimet. Ne eivät kestä kuitenkaan kovin hyvin hetkellisiä ylivirtoja, jolloin ne kuumentuessaan ja/tai ylivirtasuojauksien toimissa sammuvat kokonaan. Tämä johtuu näiden pienten pintaliitospiirien ylivirtasuojauksista ja MOSFET transistorien varsin suurista kanavavastuksista, jotka ovat jopa puoli ohmia (esim. Polulun Toshiba TB6612 piiriä käyttävät ohjaimet, joilla 1A virralla ja 5V jännitteellä 36% tehosta hukkuu lämmöksi).

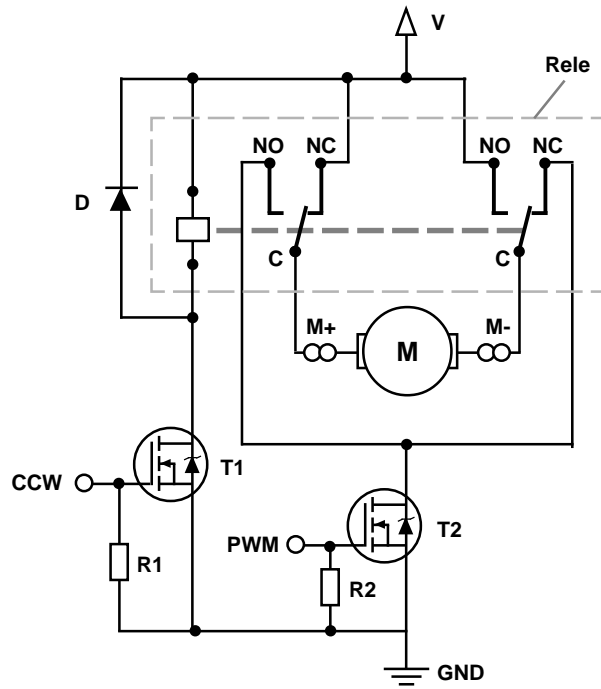
Kytkenän selostus

Kun rele on lepotilassa, kulkee virta kummankin vaihtokärjen osalta napojen NC (Normal Connected) ja C (Common) välillä. Moottorin navalla M+ on tällöin yhteys käyttöjännitteeseen plussaan V. Moottorin napa M- taas kytkeytyy kärkien kautta maahan, mutta vain jos transistori T2 tulosignaalin PWM ohjaamana sen sallii. PWM tuloon on tarkoitettu kytkettäväksi pulssileveysignaali, jonka avulla voidaan säätää moottorin läpi kulkevaa virtaa tehon säätämiseksi. Linjaan on tuotava > 2V looginen "1" pulssileveysignaali. Toimintoa voi demota myös vaikka painonapilla linjaa PWM plusjännitteeseen kytkemällä (kuten myös linjaa CCW, joka on kuvattu seuraavassa kappaleessa).

Kun suunnanvaihdon liittimeen CCW (CounterClockWise) tuodaan transistorin T1 aukaiseva jännite, vetää rele ja normaalisti avoimet kärjet NO (Normal Open) sulkeutuvat ja NC-kärjet avautuvat. Moottori saa tuolloin napaisuudeltaan käänteisen jännitteen ja moottori pyörii vastakkaiseen suuntaan, edelleenkin vain PWM signaalin sallimana.

Sekä CCW että PWM linjat kytkeytyvät suoraan MOSFET-transistorien hiloille. Näiden ja maan (GND) väliin on piirilevyille mahdollista laittaa varauksen purkuvastukset R1 ja R2. Hila käyttäytyy kuin pieni kondensaattori, johon jää varaus mikäli sitä ei pureta. Varaus taas voi jättää transistorit johdettavaan tilaan ja moottori voi jäädä pyörimään/rele päälle. Tämä on ongelma vain silloin kun hiloja ohjataan kytkimin eikä vastuksia tarvitse laittaa kun korttia ohjataan loogisilla porteilla (t. kehitysalustoilla kuten Arduino).

Jos käytät kytkentää pikku törmäilyautoon, voit kasvattaa transistorin T1 hilan kapasitanssia ulkoisella kondensaattorilla maata vasten. Kun kondensaattori varautuu plusjännitteestä törmäyskytkimen kautta, vetää rele hetkellisesti. Tämän jälkeen riippuu kondensaattorin ja purkuvastuksen suhteesta, miten pitkän ajan auto peruuttaa. Kytkiminä kannattaa käyttää viiksekkäitä herkkiä mikrokytkimiä (rajakytkin), joiden käytöstä on monia malleja internetissä.



Diodi releen vetokelan rinnalla on oikosulkemassa releen vetokelan induktanssin tuottamia negatiivisia piikkejä, jotka voivat aiheuttaa vaurioita levitessään käyttöjännitteen kautta. Piikkejä syntyy aina kelavirran nopean kytkemisen ja katkomisen seurauksena ja estosuuntainen diodi releen kelan rinnalla ehkäisee piikit ja sitä seuraavat muut värähtelyt tehokkaasti.

Kondensaattorit C1 ja C2 ovat osaltaan estämässä häiriöiden leviämistä moottorilta (ja PWM säädön takia) muualle laitteistoon. C1 voisi olla myös matalaimpedanssinen pieni elko, jos akkukäytössä tarvitaan hieman varauskuria PWM-käytön väistämättä aiheuttamien nopeiden jännitevaihteluiden takia. Elko voi ehkäistä kehitysalustaa sekoamasta, mikäli se saa virtansa samasta akusta.

Transistorit

Logiikkatasoisen MOSFET transistorin T2 - yhdessä hetkellisille ylivirroille immuunin releen kanssa - on tarkoitus mahdollistaa suuretkin hetkelliset ylivirrat ja "kaasutellut", ilman että moottorille päin syntyy merkittävää jännitehukkaa. Transistori T1 voi olla sama transistori kuin T2 tai huomattavasti pienivirtaisempikin tyyppi, ohjatussa vain releen kelaa. Valokuvassa etusivulla on käytetty pientä IRLU110 tyyppiä.

Osaluettelo

TR1 ----- IRLU110, IRLZ24...

TR2 ----- IRLZ24, 34, 44...

Rele ----- * HDF27/005-S (5V)

C1 ----- 1µ polko

C2 ----- 10n-22n kerko

D ----- esim. 1N4001... sarja

Liitin moottorille ja käyttöjännitteelle:

2 kpl 2 napaa RM5,08mm

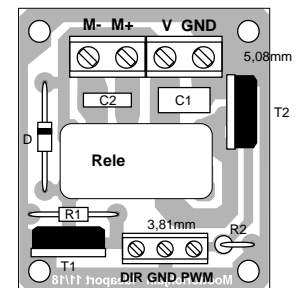
(tai 1kpl 4-nap.)

Liitin ohjauslinjapuolelle CCW/PWM:

1kpl 3 napaa RM3,81mm

Vain törmäilyautokäytössä:

R 1, R2 ---- >47k Ohm 1/4W



Releen valinta

Käytetty rele tyyppi on hyvin yleinen ja valmistajia on useita. Kyseisen "DIP" releen voi asentaa periaatteessa 16-napaista IC-kantaa käyttäen, vaihdettavaksi. Osaluettelon rele* on valittu esimerkiksi siltä pohjalta, että moottorin käyttöjännite on väliltä n. 5V-9V. Releen kela on nimellisjännitteeltään siksi 5V, mutta se toimii alueella 3,75V-10V. Useilla releillä on tämä hyvin laaja toimintajännitealue. Alue riippuu myös siitä, onko kyseessä saman releen vakio- vai herkkä-, ellei superherkkä malli. Yleensä mitä herkempi rele on, sitä laajempi on käyttöjännitealue.

Samaa kytkentää voi käyttää myös 12V tai suuremmillakin jännitteillä, kunhan rele vaihdetaan sopivaksi.

Huom. kuitenkin että maksimi jännitteet jotka CCW ja PWM linjoihin saa tuoda on 20V! Tämä on yleinen maksimi MOSFET-transistorien hilan jännitekesto.

Testitulokset

Mittauksissa transistorina T2 käytettiin IRLZ34 tyyppiä, ohjaimena oli 3,3V NodeMCU ja moottorin käyttöjännitteenä 5,06V. Kuormana oli 2kpl 4,7 Ohmin 11W vastuksia rinnankytkennässä. Moottorihjainkortti pystyi antamaan 4,88V jatkuvan jännitteen kuormalle eli keinokuormaan meni yli 2A virta. Transistorin yli mitatuksi häviöjännitteeksi jäi vain 97mV. Parempiin tuloksiin olisi päässyt IRLZ44 transistorilla, mutta saatua tulosta voi pitää hyvänä

Transistorin lämpenemistä ei pystynyt havainnoimaan sormin, koska siihen hukkui alle 200mW; olisi pitänyt mitata. Reserviä siis on, koska kyseinen TO-220 kotelo kestää yleisesti n. 2W tehoa ilman jäähdystä, eli kymmenkertaisesti.

Pitää kuitenkin huomauttaa että jos kytkentää käyttää "lineaarisesti" ja moottoreita haluaa ohjata jopa NTC/LDR-vastuksin, ei hila saa aina tarvittavaa jännitettä, jolloin kanavavastus on iso ja myös lämpenemistä tapahtuu. Moottoreiden pitää tällöin olla melko pieniä, eli myös alle 2W luokkaa.

Ideaport - 28.12.2018 www.ideaport.edu.hel.fi	
Markku Kauppinen	