

»Mladi za napredek Maribora 2018«

36. srečanje

Nadgradnja električnega kolesa

Raziskovalno področje: Elektrotehnika, elektronika

Raziskovalna naloga

Avtor: MITJA DOKL, JAKA GSELMAN, PRIMOŽ GALUN

Mentor: DARKO VIŠOČNIK, BENJAMIN VERGLES

Šola: SREDNJA ELEKTRO-RAČUNALNIŠKA ŠOLA MARIBOR

Število točk: 157

Mesto: 4

Priznanje: srebrno

Maribor, februar 2019

»Mladi za napredek Maribora 2018«

36. srečanje

Nadgradnja električnega kolesa

Raziskovalno področje: Elektrotehnika, elektronika

Raziskovalna naloga

Maribor, februar 2019

Kazalo

1	Uvod.....	3
2	Povzetek	4
3	Cilji	4
4	Zahvala	4
5	Vsebinski del	5
5.1	Motor	5
5.2	Krmilnik ASI BAC 800	6
5.3	Baterija	7
5.4	Arduino	8
5.5	Zaslon	8
5.6	Merjenje napetosti	9
5.7	Nadzorovanje kolesa z Arduino	10
5.8	Digitalni potenciometer in nadzor hitrosti kolesa.....	10
5.9	Temperaturni senzor	13
5.10	Merilnik hitrosti in pedal assist.....	13
6	Potek dela	14
7	Zaključek	16
8	Družbena odgovornost	16
9	Viri in literatura	18
9.1	Spletni viri	18

Kazalo slik

Slika 1 Kolo z hub motorjem (vir: Avtor naloge)	5
Slika 2 Notranja zgradba brez-krtačnega motorja (vir: Electrical Engineering Stack Exchange).....	6
Slika 3 Krmilnik ASI BAC 800 (vir: Accelerated Systems).....	6
Slika 4 18650 litij-ionske celice (vir: Avtor naloge)	7
Slika 5 Arduino LCD prikazovalnik z I2C modulom (vir: Avniroi.com).....	8
Slika 6 Delilnik napetosti (vir: electroschematics)	9
Slika 7 Arduino relay za izklop motorja (vir: Whenintrasit)	10
Slika 8 Ročica za nastavljanje hitrosti (vir: avtor naloge)	10
Slika 9 Notranja zgradba potenciometer (vir: Celicode).....	11
Slika 10 Digitalni potenciometer MCP1000 (vir: SparkFun Eletronics)	11
Slika 12 TP35 temperaturni senzor (vir: Adafruit).....	13
Slika 13 Kolo z nameščenimi zavorami (vir: Avtor naloge).....	14
Slika 14 Akumulator z BMS(vir: Avtor naloge).....	15
Slika 15 3D model nosilca alumolatorja (vir: Avtor naloge)	15
Slika 16 Naše električno kolo (vir: Avtor naloge).....	16

1 Uvod

Pri tej raziskovalni nalogi smo se osredotočili predvsem na sam koncept e-mobilnosti. Ker so električni avtomobili zelo dragi ter za mnoge nedostopni smo razmišljali, kako bi lahko e-mobilnost približali vsem ljudem. Najlažji in predvsem dostopen način so električna kolesa. Odločili smo se, da bomo električno kolo, ki smo ga naredili prejšnje leto nadgradili oz. dodali posebne funkcije, ki bi pripomogle za bolj udobno vožnjo. Električna kolesa so vedno bolj priljubljena predvsem za transport v mestu, zadnje čase pa postajajo vedno bolj zmogljiva ter primerna za daljše razdalje.

Električna vozila predstavljajo čistejši ter ekološki način transporta, saj uporabljajo obnovljiv vir energije. Ločimo dve različni vrsti električnih vozil:

- hibridna vozila
- polno električna vozila

Hibridna vozila so ta, ki uporabljajo električno energijo ter fosilna goriva. Polno električna vozila pa delujejo samo na električno energijo. V prihodnosti bi naj bilo veliko več električnih vozil, vendar bo težava za pridobivanje električne energije. Hibridi predstavljajo najboljšo kombinacijo teh dveh. Imajo zelo dober izkoristek, ampak še vedno manj onesnažujejo okolje kot navadni avtomobili.

Za izvedbo celotne elektrifikacije transportnega sistema ter vozil pa bi bilo potrebno spremeniti tudi infrastrukturo mest ter naselij. Polnilci bi morali biti bolj dostopni oz. na vsakem parkirišču.

Pri tem pa nastanejo tudi slabosti ter šibke točke električnih vozil:

- so zelo draga
- težave s prevoženo razdaljo in zmogljivostjo baterij
- obremenitev za slovenski oz. evropski elektro-energetski sistem

Različna podjetja kot so Tesla, Toyota, Zero, Alta ... se trudijo, da bi težave odpravili, ter približale to tehnologijo veliko ljudem na tržišču, ker so podjetja s takšnim konceptom dokaj nova, je težko prepričati kupce, naj se odrečejo navadnemu gorivu ter se odločijo za nakup električnega vozila. Pri tem pomaga tudi država saj izdaja nepovratna sredstva za lastnike električnih vozil. Kljub svojim pomanjkljivostim se je število prodanih električnih vozil v zadnjih nekaj letih zvečalo za kar 35 %. S svojim električnim kolesom želimo posplošiti električno mobilnost, da se bo nanjo gledalo enako kot na vozila z motorjem na notranje izgorevanje.

2 Povzetek

Za raziskovalno nalogo smo naredili električno kolo. Sestavljeno je iz elektromotorja, baterije, krmilnika in različnih vezij ter senzorjev. Akumulator smo naredili sami iz litij-ionskih baterijskih celic. Med seboj smo jih povezali s strojem za punktiranje. Delovanje baterije nadzira BMS (Battery Management System), ki se uporablja za pravilno in enakomerno polnjenje in praznjenje celic. Akumulator smo namestili v ogrodje kolesa, s pomočjo držala, natiskanega s 3D tiskalnikom. V zadnje kolo smo namestili elektromotor. Krmilnik, ki je bil vgrajen v motorju smo odstranili in ga nadomestili z močnejšim. Na kolo smo namestili tudi ročico za reguliranje hitrosti elektromotorja, tempomat, zavore z izklopnimi stikali in LCD prikazovalnik. Za krmilnik smo uporabili Arduino ploščico. Vhode in izhode smo sprogramirali tako, da so na majhnem zaslonu vidne informacije o delovanju kolesa.

3 Cilji

Cilj raziskovalne naloge je bil ustvariti električno kolo, ki bi bilo zmogljivejšo, hitrejše ter naprednejše od drugih na tržišču. S tem kolesom želimo prikazati potencial električnih koles, kot prevozno sredstvo. Želeli smo narediti kolo, ki je primerno za vsakodnevne potrebe, to pomeni, da ima velik domet in je dovolj okretno za sproščeno vožnjo. Med drugim smo električno kolo naredili tudi zaradi tekmovanja, v katerem preizkušamo električna kolesa v štirih različnih disciplinah:

- vzpon na klanec
- spretnostna vožnja
- dvo-urna vožnja na hipodromu
- inovativnost in predstavitev kolesa

4 Zahvala

Zahvaljujemo se mentorju za vso pomoč pri delu raziskovalne naloge. Zahvaljujemo se tudi Srednji elektro-računalniški šoli Maribor za vso finančno podporo. Zahvaljujemo se tudi vsem, ki so k raziskovalni nalogi kakorkoli pomagali.

5 Vsebinski del

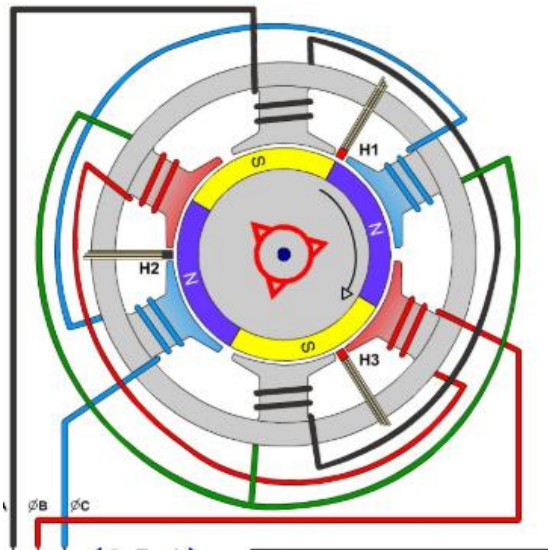
5.1 Motor

Uporabili smo brez-krtačen elektromotor s Hall senzorji. Takšni motorji so najpogostejši med električnimi vozili, saj lahko kljub manjši velikosti proizvedejo veliko moči. Zardi tega so tudi veliko lažji od drugih motorjev. Prav tako je naš motor HUB motor, kar pomeni da je vgrajen neposredno v kolo kolesa, to nam prihrani veliko prostora, saj ni potrebe, da bi bil motor v okviru kolesa. Motor ima tudi posebnost, ki ni tako pogosta v elektromotorjih, krmilnik ima vgrajen v motor. Ta krmilnik smo odstranili, saj ga bomo nadomestili z drugim močnejšim krmilnikom. Ker elektromotor nima krtačk, ki se bi sčasoma obrabile, ne potrebuje vzdrževanja.



Slika 1 Kolo z hub motorjem (vir: Avtor naloge)

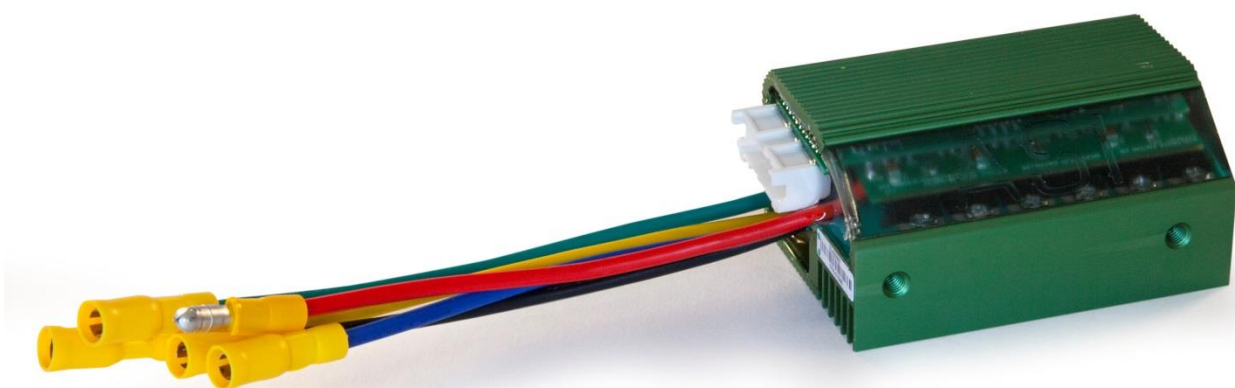
Brez-krtačni motorji delujejo na trifazni izmenični napetosti, saj so v elektromotorju trije pari elektromagnetov, ki se izmenično vklaplajo in izklaplajo. To povzroči rotacijo motorja. V motorju so tudi Hall efekt senzorji, ki merijo magnetna polja in s tem nadzirajo hitrost ter položaj rotorja v motorju. To informacijo uporabi krmilnik za bolj učinkovitejšo delovanje.



Slika 2 Notranja zgradba brez-krtačnega motorja(vir: Electrical Engineering Stack Exchange)

5.2 Krmilnik ASI BAC 800

Brez krtačni elektromotorji za delovanje potrebujejo krmilnik. Krmilnik pretvori enosmerni tok baterije v izmeničnega trifaznega, ki ga motor potrebuje za delovanje. Čeprav ima naš motor svoj krmilnik, smo se mi odločili, da želimo več moči. V motorju je bil namaščen 1000W krmilnik z največjo porabo toka 30A, kar je dovolj za navadno uporabo, ampak če se želimo peljati po hribu navzgor, je takšna moč premajhna. Uporabili smo ASI BAC 800-72-70 krmilnik, ki ima največjo porabo toka 70A. Takšen tok bi naš motor v trenutku uničil, zato smo krmilnik omejili na 40A. To pomeni, da lahko, dokler so temperature motorja dovolj nizke uporabimo večjo moč.



Slika 3 Krmilnik ASI BAC 800(vir: Accelerated Systems)

5.3 Baterija

Akumulator je sestavljen iz litij-ionskih celic, saj lahko shranijo veliko energije v majhni velikosti. Pogosto se uporabljajo v električnih vozilih, saj imajo velik izkoristek. So tudi veliko lažje od drugih vrst baterij kot na primer svinčene. V primeru poškodbe pa so veliko bolj varne kot litij - polimerske baterije. Akumulator smo sestavili iz 18650 baterijskih celic.



Slika 4 18650 litij-ionske celice (vir: Avtor naloge)

Posamezna celica ima napetost 3,6V, napolni se lahko na 4,2V in sprazniijo na 3,2V. Mi smo izbrali Panasonic NRC18650B celice, ki imajo kapaciteto 3350mAh. Ker bomo uporabljanji močnejši krmilnik, ki potrebuje 72V za delovanje bomo vezali 17 celic zaporedno ($17 \times 4.2V = 71.4V$), tako smo dobili primerno napetost. Da pa bomo pridobili čim večjo kapaciteto, moramo te vezati še vzporedno. Glede na kapaciteto ene celice ter na moč motorja, smo se odločili da je 30Ah primerna kapaciteta akumulatorja. Zato smo teh 20 celic vezali vzporedno 9 krat. Tako smo dobili baterijo iz 180 celic s kapaciteto 30Ah in napetostjo 72V.

5.4 Arduino

Arduino Uno bo nadziral vse podatke ter s svojimi vhodi spreminjal hitrost kolesa. Arduino Uno je razvojna ploščica z mikrokrmilnikom, ki lahko nadzira analogne in digitalne vhode in izhode. Arduino ploščica se zelo pogosto uporablja za elektronske projekte, zaradi njene preproste uporabe in programiranja. Ima 14 digitalnih vhodov in izhodov ter 6 analognih vhodov. Arduino deluje na napetosti od 5V do 20V, zato bomo potrebovali step-down pretvornik, ki bo napetost baterije 60V znižal na 12V.

Arudino po predstavljal možgane kolesa, nadziral in spremljal bo vse kar se v kolesu dogaja. Nadziral bo porabo moči ter stanje in temperaturo akumulatorja. Z njim bomo tudi sprogramirali več načinov vožnje:

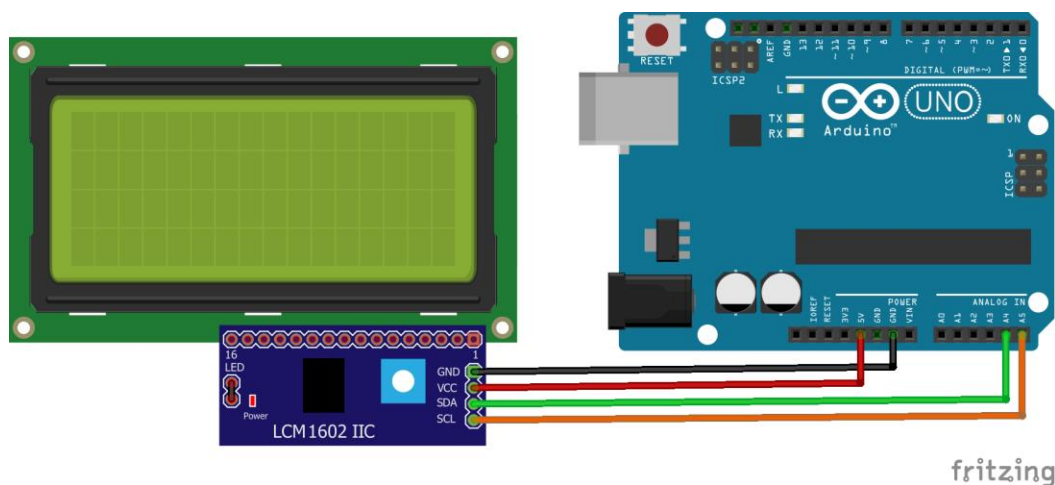
ECO-način bo omejil porabo motorja na 500W ter hitrost na 25km/h. Prav tako bo za delovanje potreboval pedal-assist. Kar pomeni, da bo motor uporabljen samo kot pomoč pri poganjanju s pedali. To bo pripomoglo k manjši utrujenosti voznika ter k večjemu dosegu akumulatorja.

NORMAL-način bo dopuščal uporabo 1500W moči ter doseganje hitrosti do 50km/h. Voznik bo lahko uporabil motor brez potrebe po poganjanju s pedali. To bo vplivalo na doseg; ki bo veliko manjši kot pri ECO načinu.

BOOST- način bo odstranil vse blokade in omejitve. Uporabil boš lahko polno moč motorja in dosegal velike hitrosti.

5.5 Zaslón

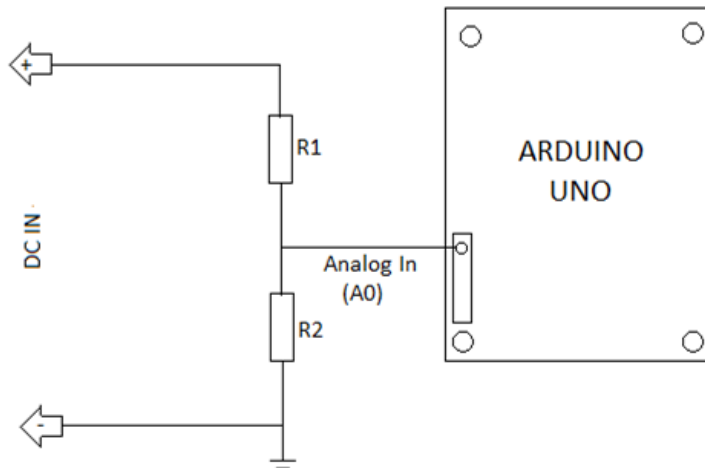
Na LCD zaslonu bomo prikazovali vse podatke o kolesu (hitrost, stanje akumulatorja, porabo energije, način vožnje). Zaslón bom krmilili z i2c modulom, ki nam bo zmanjšal število vhodnih pinov iz 16 na 4. Zaslón lahko prikaže 20 znakov v 4 vrsticah.



Slika 5 Arduino LCD zaslon z I2C modulom (vir: Avniroi.com)

5.6 Merjenje napetosti

Za merjenje napetosti akumulatorja smo uporabili analogni vhod Arduina. Ampak ta lahko meri napetosti le med 0V do 5V, naša baterija pa ima 72V, zato bomo uporabili delilnik napetosti iz dveh uporov ter tako dobili primerno napetost na izhodu.



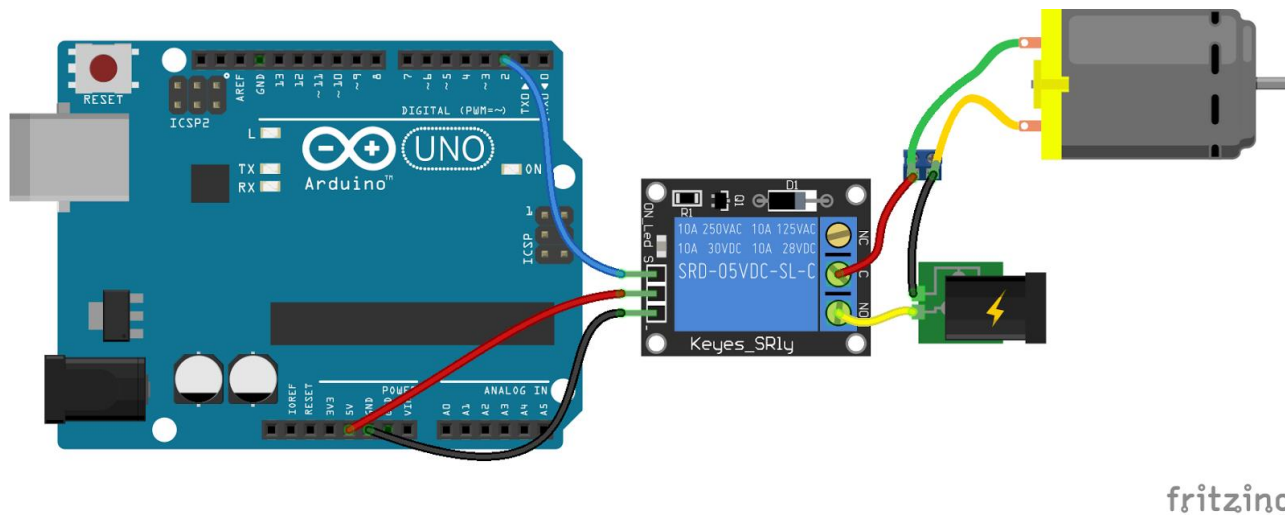
Slika 6 Delilnik napetosti (vir: electroschematics)

Da smo dobili vrednosti uporov smo si najprej zadali neko maksimalno vrednost napetosti. V našem primeru je maksimalna napetost akumulatorja 72V zato smo si izbrali maksimalno napetost 90V pri tej napetosti bo na uporu R2 napetost 5V in na uporu R1 85V. Sedaj ko imamo te podatke lahko izračunamo vrednosti uporov. Uporu R1 smo zadali vrednost 100kOhm, saj bo z okroglo številko lažje računati. Vrednost upora R2 je določena s enačbo:

$$R2 = (U_{R2} * R1) / U_{R1}$$

5.7 Nadzorovanje kolesa z Arduinoom

Kolo komunicira s krmilnikom preko večjih vhodov; imamo tipalo v zavorah, pedal assist, ročka za hitrost. Želimo, da bi Arduino upravljal z vsemi vhodi krmilnika. Z Arduinoom želimo nadzirati hitrost kolesa ter sprejemati porabo moči, v primeru prevelike temperature želimo, da se motor varno ustavi in izklopi. Za izkop kolesa smo uporabili rele, ki ga bo nadziral Arduino. Rele je nameščen na pozitivni žico akumulatorja.



Slika 7 Arduino relay za izklop motorja(vir: Whenintrasit)

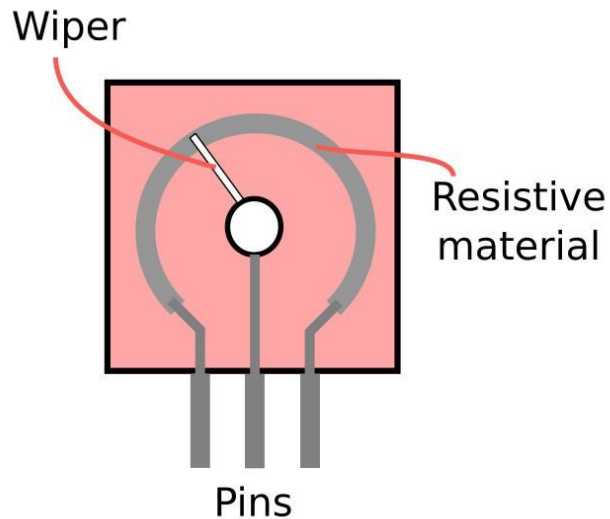
5.8 Digitalni potenciometer in nadzor hitrosti kolesa.

Hitrost kolesa nadziramo z ročico, ki ima v notranjosti potenciometer. Glede na vrednost potenciometra kolo spreminja hitrost. Ročica je nameščena na krmilu kolesa.



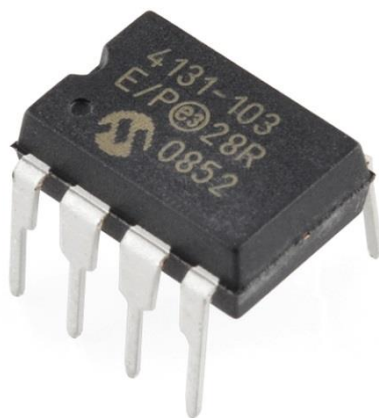
Slika 8 Ročica za nastavljanje hitrosti (vir: avtor naloge)

Na vhod potenciometra je priključena napetost 5V. Če spremenimo položaj drsnika potenciometra se med prvim in drugim pinom spremeni upornost. Zato potenciometer deluje kot delilnik napetosti. Spremembo napetosti prebere krmilnik, če je napetost večja bo hitrost kolesa večja, če bo napetost manjša bo hitrost manjša.



Slika 9 Notranja zgradba potenciometer (vir: Celicode)

Da bomo spreminjali napetosti z arduinom, bomo zaporedno na drugi pin potenciometra priključili digitalni poteciometer MCP41000. Digitalni poteciometri so po funkciji enaki navadnim poteciometrom razlikujejo se le v tem, da ne obračamo drsnika, temveč se upornost spreminja z pulzno širinsko modulacijo. Imajo še eno slabost, omejeni so na število korakov. Kar pomeni, da je določeno število vmesnih vrednosti. MCP1000 ima 255 korakov z največjo upornostjo 100kOhm. V tem primeru imamo 254 vmesnih upornosti med 0 Ohm in 100kOhm. Za našo uporabo je to dovolj, če bi pa potrebovali bolj natančne vrednosti oziroma več vrednosti pa uporaba MCP1000 ne bi bila primerna.



Slika 10 Digitalni potenciometer MCP1000(vir: SparkFun Eletronics)

Kadar delamo z mcp1000, mu moramo v programu najprej določiti ali bo pin Arduina uporabljen kot vhod ali izhod, v tem primeru je izhod:

```
pinMode (10, OUTPUT);
```

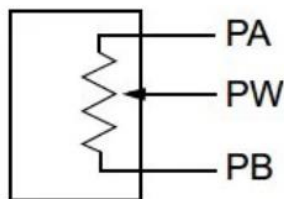
Nato pa je potenciometru nastaviti največjo, najmanjšo ter srednjo (polovično) upornost:

```
// največja vrednost
digitalPotWrite(0x00);
delay(1000);

// srednja vrednost
digitalPotWrite(0x80);
delay(1000);

// najmanjša vrednost
digitalPotWrite(0xFF);
delay(1000);
```

Vrednost, na potenciometru spreminjamo z ukazom: digitalPotWrite(i), kjer je i vrednost med 0 in 255. Vrednost v ohmih pa dobimo z enačbo:



$$R_{WA}(D_n) = \frac{(R_{AB})(256 - D_n)}{256} + R_W$$

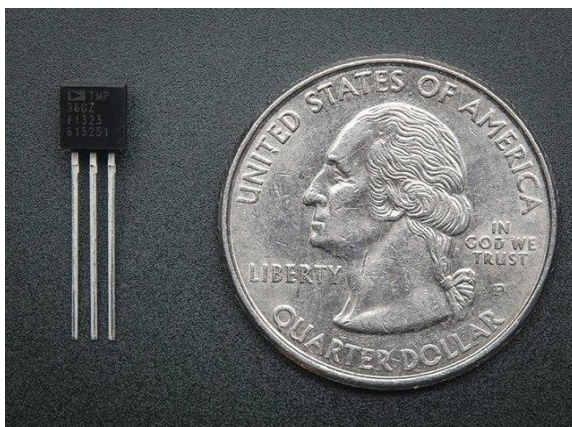
$$R_{WB}(D_n) = \frac{(R_{AB})(D_n)}{256} + R_W$$

$D_n = (i)$, vrednost, na digitalnem izhodu

R_W = upornost kazalca, ki je zapisana v specifikacijah potenciometra (v našem primeru 125 Ohm)

5.9 Temperaturni senzor

Za nadzor temperature akumulatorja smo uporabili TMP35 temperaturni senzor. Ima merilno območje med -40°C in 150°C . Ima tri priključke vhod, analogni izhod in ground. Na vhod smo priključili napetost 5V na analogni izhod pa smo priključili na Arduinov pin A1. Da dobimo temperaturo v stopinjah Celzija uporabimo formulo: $T[^{\circ}\text{C}] = (U_{\text{izh}}[\text{mV}] - 500)/10$. Če se temperatura akumulatorja dvignila nad 70°C se na LCD zaslonu prikaže opozorilo. Nato motor počasi zmanjša hitrost, da se varno ustavi ter se izklopi relay. Dokler temperatura ne pade pod 45°C uporaba motorja ni mogoča.



Slika 11 TP35 temperaturni senzor(vir: Adafruit)

5.10 Merilnik hitrosti in pedal assist

Hitrost kolesa bomo merili s »Hall effect« senzorjem ter magnetom. »Hall effect« senzor meri prisotnost magnetnega polja. Če je prisotno magnetno poje, se napetost na izhodu zviša. Enak princip delovanja uporabljajo števcji, ki jih po navadi srečamo na kolesih. Magnet bo nameščen na eno iz med naper kolesa. Na isti višini je na vilicah nameščen Hall senzor. Ko se magnet in senzor srečata napetost na izhodu senzorja naraste. Hitrost dobimo tako, da delimo premer kolesa s časom, ki ga potrebuje kolo, da naredi eno obrat. Hitrost se bo sproti izpisovala na LCD zaslonu, ki je nameščen na krmilu kolesa.

Na enak način merimo, s kakšno hitrostjo oseba poganja. Na gonilni pesti je nameščenih v krogu 6 magnetov, na okvir kolesa pa je nameščen »Hall effect« senzor. Ko voznik poganja, senzor to zazna ter počasi zažene motor. Hitrost motorja je odvisna od hitrosti poganjanja. To bo vozniku zmanjšalo napor poganjanja ter izboljšalo doseg kolesa na eno polnjenje.

6 Potek dela

Projekt se je začel z nakupom gorskega kolesa znamke Kilimanjaro, katerega smo predelali električno kolo. Za pogon smo nabavili komplet, v katerem je bil elektromotor moči 1kw že vgrajen v kolo. Komplet je vseboval še krmilnik samega motorja, obe zavori z vgrajenima senzorjema, ki izklopita motor pri zaviranju, ter glavno krmilno stikalo za izklop oz. vklop pogonskega motorja.



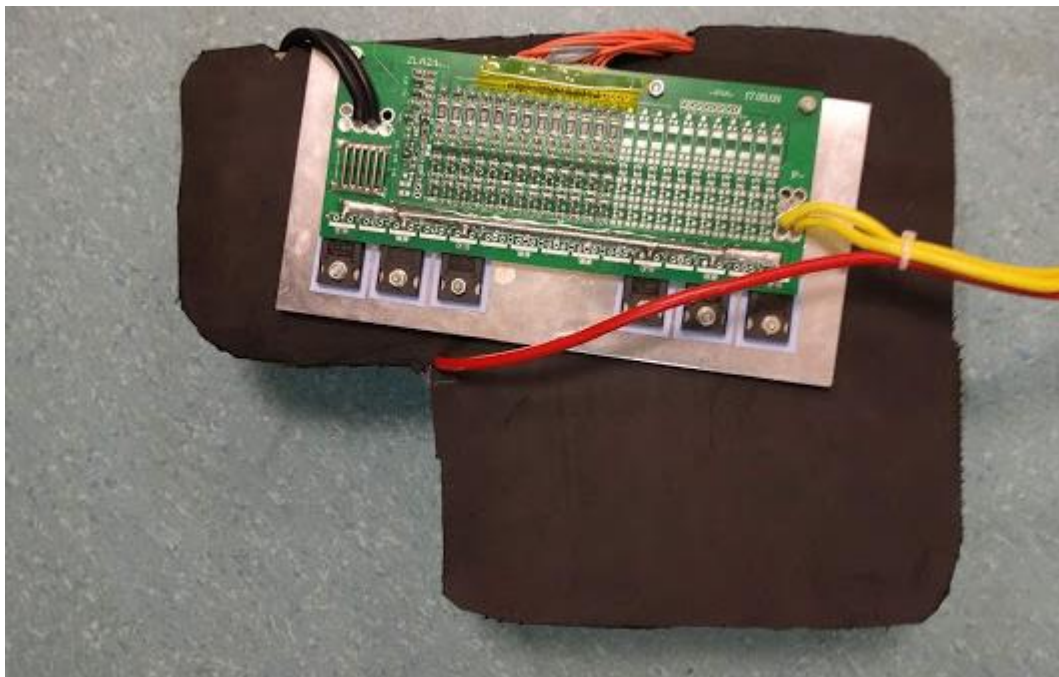
Slika 12 Kolo z nameščenimi zavorami(vir: Avtor naloge)

Pri nameščanju motorja smo imeli nekaj težav z samim 26 paličnim kolesom, v katerem je bil vgrajen naš motor, glavna težava je bila, da je bilo naše novo zadnje kolo manjše od sprednjega, zato smo morali kupiti novi plašč in zračnico. Naslednja težava so bile zavore na zadnjem kolesu, ker smo najprej imeli načrt na zadnje pogonsko kolo namestiti disk zavore ampak smo kmalu ugotovili, da med motorjem in zavornim cilindrom zadnje zavore, ni bilo dovolj prostora, zato je prišlo do prevelikega trenja.

Zaradi te težave smo se odločili uporabiti standardne »V« zavore, a smo jih morali zaradi manjšega premera zadnjega kolesa malo prirediti. Zaradi velike izhodne moči samega motorja, smo mu morali zagotoviti dovolj velik tok in napetost.

Po dolgem iskanju po spletu smo ugotovili da nobena od že sestavljenih baterij ne ustreza našim pogojem, zato smo se odločili, da jo izdelamo sami. Akumulator smo izdelali iz 170 litij-ionskih baterijskih celic. Vsaka od njih je imela napetost 3,6 V in kapacitivnost 3600 mAh. Celice smo spojili s pomočjo stroja za punktiranje. Posamezne segmente punktiranih celic smo zalepili z vročim lepilom v obliko črke »L«, ter na posamezne module baterijskih celic

prispajkali žice BMS-a za polnjenje in glavna debelejša kabla za napajanje motorja in ostalih komponent. Nazadnje smo akumulator povili s PVA peno za dodatno zaščito.



Slika 13 Akumulator z BMS(vir: Avtor naloge)

Akumulator smo namestili v sredino okvirja kolesa med noge. Ker je bila baterija narejena po meri, zanjo ni obstajal noben nosilec. Težavo smo rešili tako, da smo glede oblike baterije izdelali 3D model nosilca in ga nato natisnili s pomočjo 3D tiskalnika.



Slika 14 3D model nosilca akumulatorja(vir: Avtor naloge)

Za spremljanje parametrov kot so poraba baterije, hitrost, izhodna moč, napetost in tok smo izdelali svoj sistem ki je bil nadzorovan z Arduino UNO-m ter bil prikazovan na LCD

prikazovalniku. Sam sistem nam je omogočal, da smo na kolesu lahko imeli »pedal assist« funkcijo. To je bilo izvedeno s pomočjo hall senzorja na gonilki kolesa, ki je beležil, kdaj se gonilka vrti in takrat sprožil elektromotor, ki je pomagal vozniku pri vožnji. Hitrost vožnje se je beležila na podoben način s pomočjo hall senzorja nameščenega na prednjih vilicah kolesa in magnetom pritrjenim na naperi.

7 Zaključek

Sam projekt izdelave našega električnega kolesa je bil skozi leto poln raznih komplikacij in vanj je bilo vloženega veliko truda in denarja. Ampak se je zelo izplačalo, saj smo si nabrali mnogo izkušenj na področju delovanja elektromotorjev, izdelave baterij ter samega programiranja in izdelave komponent. Na naše kolo smo še posebej ponosni, saj je preseglo pričakovanja glede končne hitrosti in samega dosega. Zaradi baterije narejene po meri, je imelo kolo doseg preko 100 km z enim polnjenjem in največjo hitrostjo okoli 65 km/h. Proti našim pričakovanjem so bili tudi rezultati na tekmovanju z električnimi kolesi v katerem smo bili udeleženi, saj smo z našim kolesom premagali nekatere ostale ekipe iz Slovenije, ki so v svoje kolo vložile 3x več denarja kot mi.



Slika 15 Naše električno kolo (vir: Avtor naloge)

8 Družbena odgovornost

Delo, ki je potekalo v prostorih našega krožka na naši šoli, je od vsakega kandidata naše tričlanske ekipe zahtevalo veliko zbranosti, natančnosti in vselej tudi veselja pri projektu. Za izdelavo električnega kolesa smo se odločili zato, ker smo želeli prispevati svoj delež k

izboljševanju električnih koles, ki bodo zraven električnih avtomobilov v prihodnosti pomemben način transporta oseb na krajših razdaljah. S tem smo tudi prispevali k ohranjanju našega okolja, saj naše kolo poganja energija iz obnovljivih virov brez strupenih izpustov.

9 Viri in literatura

9.1 Spletni viri

- <https://www.tme.eu/sl/details/accu-ncr18650b/akumulatorji/panasonic/ncr18650b/> (20. Januar, 2019),
- <https://learn.adafruit.com/tmp36-temperature-sensor/overview> (21. Januar, 2019),
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Potentiometer> (21. Januar, 2019),
- <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/11195c.pdf>, (2. Februar, 2019),
- <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-ammeter>, (22. Januar, 2019),
- <https://www.arduino.cc/> (3. Februar, 2019),
- <https://www.electroschematics.com/9351/arduino-digital-voltmeter/> (3. Februar, 2019),
- <http://accelerated-systems.com/wp-content/uploads/2016/07/BAC-800-Product-Sheet.pdf> (3. Februar, 2019),