

Predmet:	MIKROUPRAVLJAČI
Vježba: 09	Arduino – DC i Servo motori
Ishodi vježbe:	Objasniti osnovne principe rada i funkcije za upravljanje DC i servo motora pomoću Arduina. Upravlјati koristeći pulsno širinsku modulaciju (PWM).

Priprema za vježbu:

Budući da je mikroupravlјač računalo na čipu koji se programira kako bi upravljao priključenim vanjskim elektroničkim komponentama, priprema za vježbu se sastoji od dva dijela:

1. **Opis elektroničkih komponenti koje će se koristiti na LV** – proučiti tekst u uvodnom dijelu vježbe, proanalizirati i u bilježnicu ispisati najvažnije informacije za elektroničke komponente.
2. **Opis naredbi korištenih u LV** – proanalizirati programski kod za sve zadatke, ispisati nove naredbe i funkcije, objasniti njihovu namjenu i argumente. Ako ne možeš pronaći sve informacije u kodu priloženih zadataka, posluži se internetom npr. www.arduino.cc ...

Radu laboratoriju:

- Svaki zadatak treba prije prevođenja (eng. compile) pohraniti u napravljeni folder na Desktopu, tako da, u slučaju pogreške (HW, SW) imaš sačuvan kod.
- Na kraju LV, sve zadatke spremi na USB ili pošalji na svoj mail.
- Nazivi datoteka, zbog preglednosti, neka budu: LV01_ZAD01, LV01_ZAD02, itd.
- Vježbe se rade u paru, preporuka - jedan učenik spaja komponente, drugi piše programski kod, a na slijedećoj vježbi se uloge zamjenjuju.
- U zadacima koji zahtijevaju samostalno rješavanje, oba učenika sudjeluju u spajanju i programiranju.
- Za pojedini zadatak potrebno je u bilježnicu nacrtati električnu shemu s vidljivim oznakama korištenih pinova i vezu istih s oznakama u programskom kodu.
- Dobiveno rješenje treba komentirati, tj. dati zaključak što je novo u tom zadatku i kako je to riješeno, ukratko ispisati važniji dio koda (ne prepisivati cijeli kod) te navesti eventualne probleme i kako su isti riješeni.
- Ako su uz neki zadatak postoje pitanja, potrebno je u bilježnicu odgovoriti na ista.
- Ako u kodu postoji greška (negdje će biti namjerno stavljena) kod treba korigirati i objasniti!
- Budući da se na vježbama koriste stvarne komponente, postoji mogućnost da je neka komponenta neispravna (pregorena LED, oštećen kontakt tipkala, prekinut vodič...). Ukoliko se sklop ponaša drugačije od očekivanog, predvidjeti i tu mogućnost i pokušati zamijeniti komponentu drugom. **Isto vrijedni za ispitnu vježbu!**
- Prilikom spajanja, za Vcc (+5V) koristi crveni vodič, a za GND (-) crni vodič. Za ostale signale koristiti ostale boje.
- Za zadatke koje nisi stigao odraditi na vježbi, treba kod kuće razmisliti kako bi ih riješio
- Po završetku izvođenja vježbe, na temelju odrađene pripreme te riješenih zadataka, očekuje se da učenik zna odgovoriti na pitanja na kraju ovih materijala.

Pregledavanje priprema i provjeravanje znanja bit će na svakoj LV, uključujući i prethodne vježbe

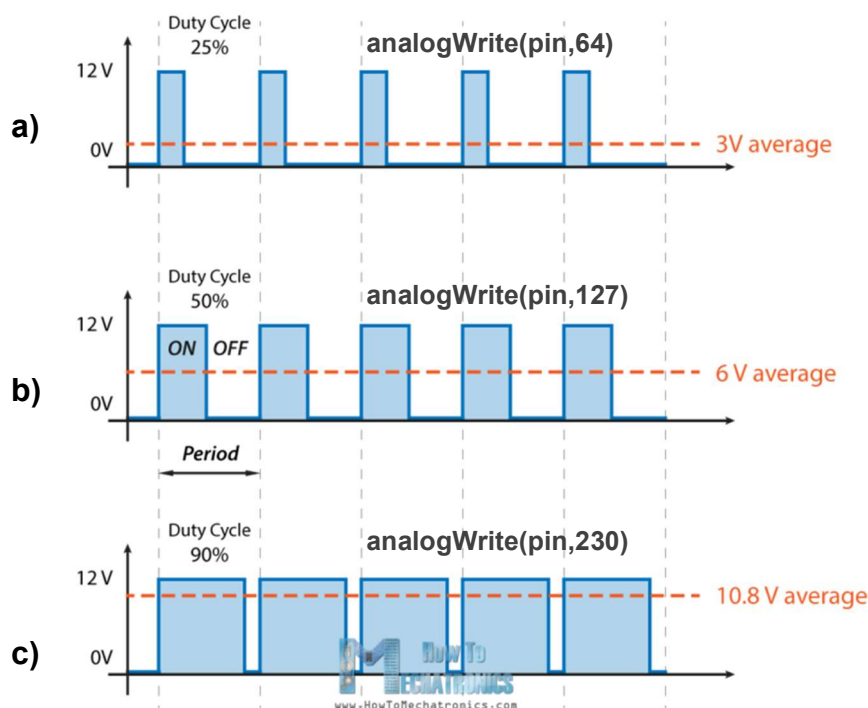
ISTOSMJERNI (DC) MOTORI

Istosmjerni ili DC motor (slika 1) napaja se pomoću dva vodiča [1]. Čim se motor uključi, osovina se okreće u krug i do 5000 rpm (revolution per minute = okretaja u minuti).



Slika 1. DC motor

Broj okretaja podešava se tehnikom koja se zove PWM (pulse width modulation = pulsno širinska modulacija). Ideja je upravljanje brojem okretaja motora uključivanjem i isključivanjem napajanja, budući da u digitalnoj tehnici koristimo samo razine 0 ili 1 (LOW ili HIGH). Ključna riječ je 'radni ciklus' (duty cycle), koji pokazuje omjer koliko vremena je napajanje uključeno u odnosu na koliko je vremena napajanje isključeno – u postocima. (slika 2).

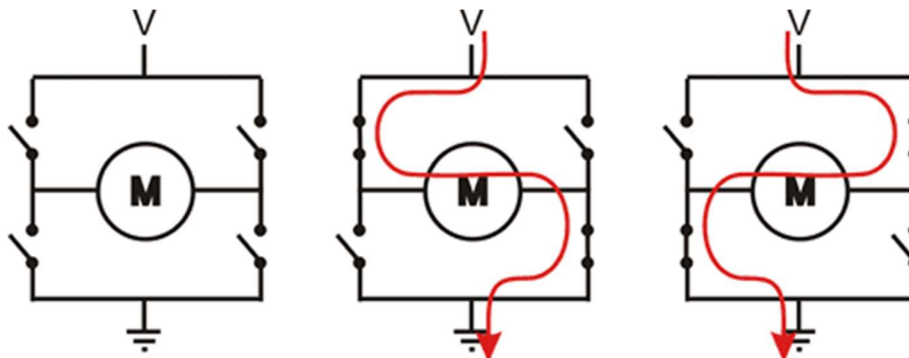


Slika 2. Pulsno širinska modulacija [2]

Ukoliko je vrijeme kad dovodimo napon na motor u odnosu na vrijeme kad nema napona u omjeru 50%, to znači je srednja vrijednost napona 50% i da motor prima 50% snage (slika 2b).

Ako je omjer 25%, tada je srednja vrijednost napona na motoru 25% od napona napajanja, pa i motor prima manju snagu (slika 2a). PWM se može primjenjivati kod 'tromijih' uređaja koje neće primijetiti brzu promjenu napona nego će slijediti srednju vrijednost (motori, LED,...).

Smjer vrtnje motora može se podešavati promjenom smjera struje kroz motor. Najčešća metoda je korištenje tzv. H-mosta (slika 3). H-most sastoji se od 4 sklopke (obično tranzistori ili MOSFET) s motorom u središtu. Uključivanjem odgovarajućih sklopki, možemo mijenjati smjer struje kroz motor, bez okretanja polariteta napona izvora.



Slika 3. H-most i princip promjene smjera struje uključivanjem odgovarajućih sklopki [3]

Za upravljanje DC motorom, kombiniraju se te dvije tehnike: H-most i PWM.

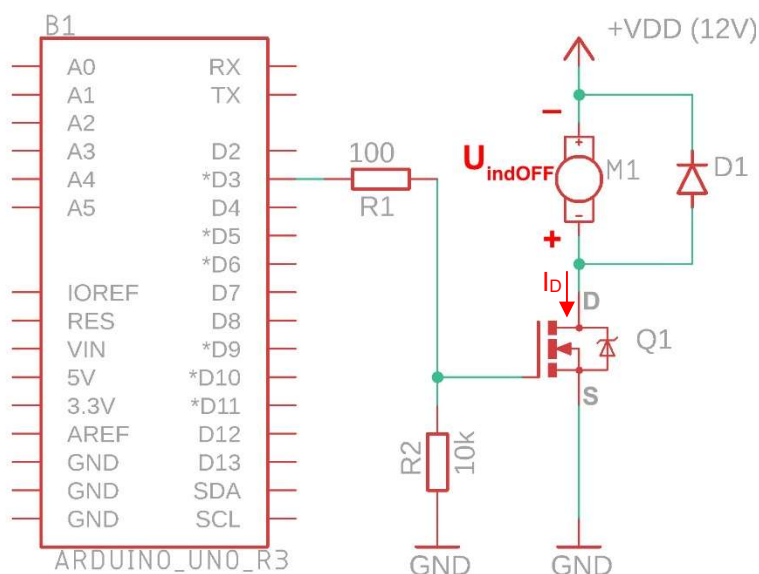
Digitalni **izlazi mikroupravljača ne mogu dati veliku snagu** (cca 10-20mA), pa se za upravljanje većim motorima koriste gotove pločice s tranzistorima. Pri tome, **mikroupravljač služi samo kao upravljački element, za smjer struje i PWM, dok se snaga za motore (trošila) crpi iz vanjskog izvora.**

Na laboratorijskim vježbama ne koristimo H-most, nego samo reguliramo brzinu vrtnje pomoću PWM-a direktno iz pina mikroupravljača.

MOSFET TRANZISTORSKA SKLOPKA

Ukoliko DC motor kojim želimo upravljati zahtijeva veću struju od 20 mA (maks. 40 mA koliko je prema tehničkim podacima maksimum za jedan pin ATmega328p) ili je radni napon veći od 5V, npr. 12V kao na primjer kod 12V LED diode, može se upotrijebiti tranzistor kao sklopka. Često se primjenjuje N-kanalni MOSFET u krugu odvoda. Primjer takvog MOSFET-a je IREZ44N.

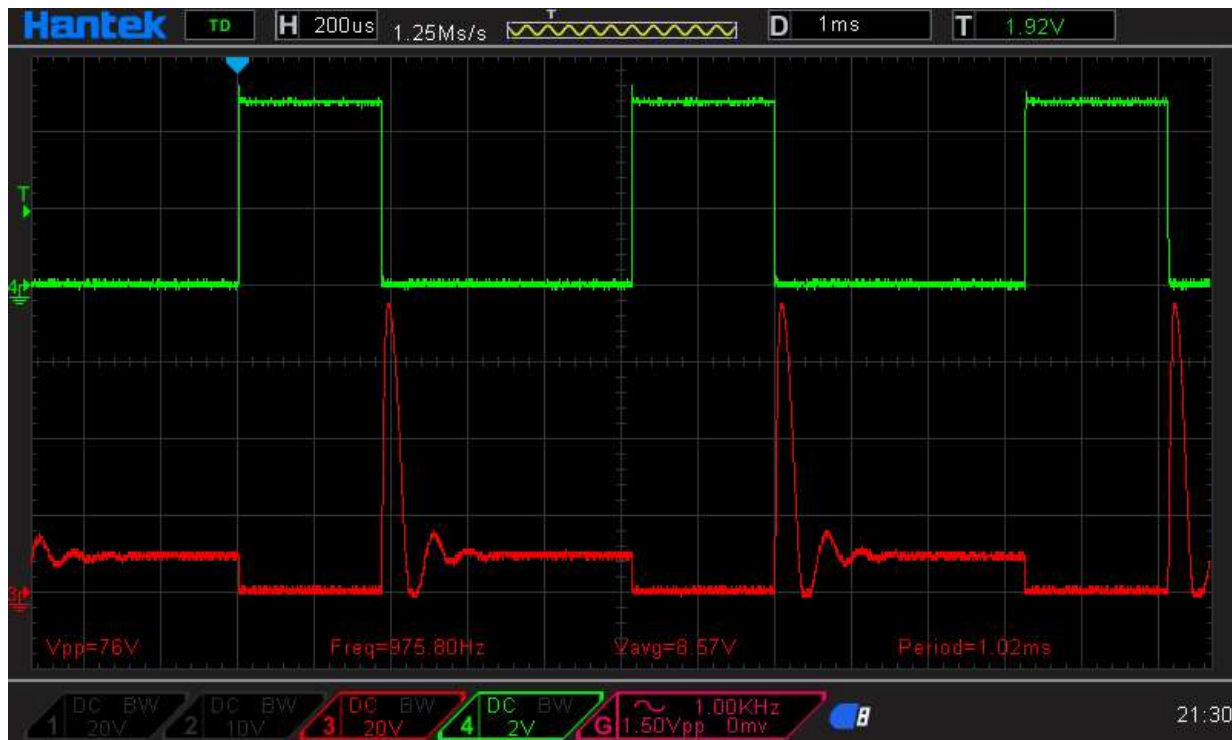
Uvod tranzistora (*Gate*) se spaja na izlazni pin mikroupravljača. Trošilo se spaja između pozitivnog pola izvora napajanja i uvoda (*Drain*) tranzistora. Slika 4.



Slika 4. Spajanje DC motora na mikroupravljač pomoću MOSFET tranzistora

Dioda D1 služi za zaštitu tranzistora od induciranog prenapona prilikom isključivanja tranzistora. Motor je induktivno trošilo koje se suprotstavlja prestanku toka struje, pa se prilikom isključivanja tranzistora na njemu inducira veliki naponski šiljak U_{indOFF} od nekoliko desetaka V. Polaritet napona je takav da je $+$ potencijal na strani tranzistora (*Drain*), a $-$ na strani Vcc. Iz tog razloga se ugrađuje zaštitna dioda D1, koja ograničava taj napon na približno 0,7V – koliko je napon na njoj dok vodi struju. U normalnom radu, dioda D1 je reverzno polarizirana i kroz nju ne teče struja.

Na slici 5. prikazan je oscilogram **napona na GATE elektrodi – zeleni pravokutni PWM signal** te **napon na DRAIN elektrodi, bez ugrađene zaštitne diode – crveni signal**. U trenutku isključivanja tranzistora, uočava se veliki inducirani napon na motoru.



Slika 5. Inducirani napon na namotu DC motora

MOSFET tranzistor je naponski upravljani i ima veliki ulazni otpor. Iz tog razloga nije potreban otpornik između pina 3 Arduina i GATE-a tranzistora.

Serijski otpornik R1 dodaje se kako bi ograničio struju prilikom uključivanja MOSFET-a. Gate MOSFET-a i podloga zapravo čine mali kondenzator i prilikom uključivanja i isključivanja taj se kondenzator nabija i izbiju. Prilikom nabijanja, kondenzator je u početku prazan, pa u tom trenu poteče relativno velika struja. Stoga se prilikom brzog uklapanja i isklapanja mogu javljati tzv. strujni šiljci.

Pull-Down otpornik R2 dodaje se kako bi držao GATE na potencijalu 0V u slučaju da pin mikroupravljača nije konfiguriran kao izlazni ili još nije prošao fazu podizanja sustava i još nije postavio željenu izlaznu vrijednost [4].

Tranzistor ima sposobnost velike brzine uklapanja i isklapanja (prelazak iz zapiranja u zasićenje i obratno). S druge strane, relej je elektromehanički uređaj koji može uklapati i isklapati i veće struje od tranzistora, ali zbog mehaničkih svojstava nije pogodan za PWM iz razloga što je frekvencija PWM signala Arduina 490 Hz (pinovi 3, 9, 10 i 11) ili 980 Hz (pinovi 5 i 6).

Releji se koriste kod sporijih promjena, za uključivanje većih istosmjernih ali i izmjeničnih krugova. Tranzistorska sklopka ne može uključivati izmjenične napone!

SERVO MOTOR

Servo motor je u suštini drugačiji motor. Namjena mu je precizno pozicioniranje osovine. Dakle, osovina se ne okreće u krug kao kod DC motora, nego se zakreće za određeni broj stupnjeva ulijevo ili udesno, npr. od -90° do $+90^\circ$.

Ima 3 vodiča: plus, minus i upravljački vodič. Plus i minus uvijek moraju biti uključeni budući da servo motor u sebi ima upravljačku elektroniku (slika 6).



Slika 6. Izgled malog servo motora [2]

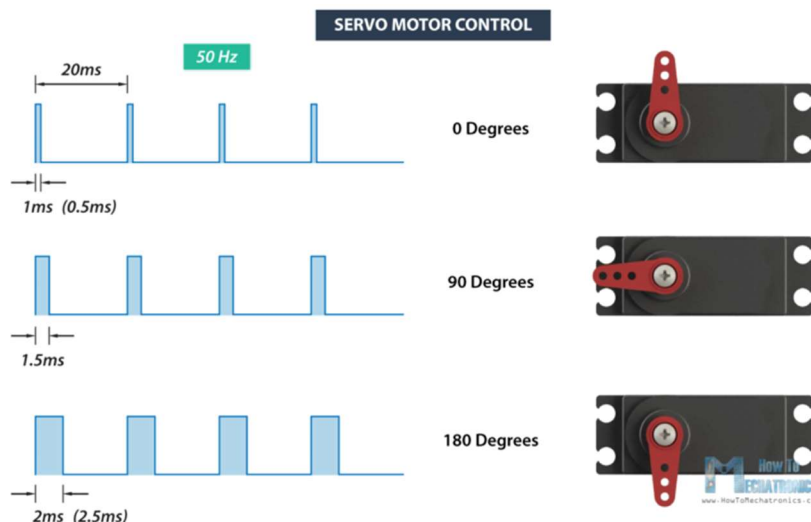


Slika 7. Dijelovi servo motora [2]

Servo motor sastoji se od 4 dijela: standardnog DC motora, reduktora, uređaja za detekciju pozicije (potenciometar ili enkoder) i upravljačke jedinice. Iz tog razloga servo motor spada u sustav sa zatvorenom petljom, tj. sa povratnom vezom (slika 7).

Upravljački signal koji Servo motor prima predstavlja željenu poziciju osovine i šalje informaciju na DC motor, sve dok se osovina ne pozicionira na željeni položaj. Položaj se određuje pomoću potenciometra, tako da upravljačka jedinica zna u kojem smjeru i koliko treba zakrenuti osovину.

Upravljački signal je također PWM, a trajanje pozitivnog impulsa određuje poziciju osovine.



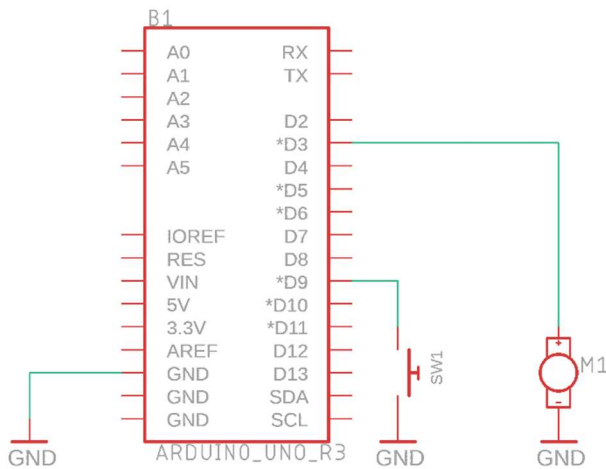
Slika 8. Upravljački PWM impuls za određene pozicije servo motora [5]

Trajanje impulsa 1,5 ms postavlja osovину u središnji položaj (90°). Dulji impuls, od 2 ms pozicionira osovину na poziciju 90° u smjeru suprotnom od kazaljke na satu (CCW), a kraći impuls u trajanju od 1 s pozicionira osovину na 90° u smjeru kazaljke na satu (CW). Dakle prema slici: 1ms za 0° , 1,5ms za 90° , te 2ms za 180° (slika 8).

Upravljački impulsi se ponavljaju svakih 20 ms. Zapravo, svakih 20 ms servo motoru kazujemo na kojoj poziciji treba biti.

Zadatak 1. Spoji spoj prema slici i upiši priloženi program. Nakon što pokreneš motor, doradi program tako da se motor okreće samo kad je tipkalo pritisnuto.

Električna shema:



Kòd zadatka

```
int PIN_motor = 3; // PWM pin na koji
                  // je priključen
                  // DC motor

void setup() {
  pinMode(PIN_motor, OUTPUT);
  digitalWrite(PIN_motor, HIGH);
}

void loop() {
  // dodati potreban kod
  //za izvršenje zadatka
}
```

Zadatak 2. Za spoj prema prethodnom zadatku, napiši program pomoću kojeg će se DC motor okretati od najmanje do najveće brzine i obratno. U ovom se zadatku tipkalo ne koristi, ali ga ne treba odspajati, jer će se koristiti u slijedećim zadacima.

Kòd zadatka

```
int PIN_motor = 3;

void setup() {
  pinMode(PIN_motor, OUTPUT);
}

void loop() {
  for (int i = 0; i < 255; i++) {
    analogWrite(PIN_motor, i);
    delay(5);
  }
  for (int i = 255; i >= 0; i--) {
    analogWrite(PIN_motor, i);
    delay(5);
  }
}
```

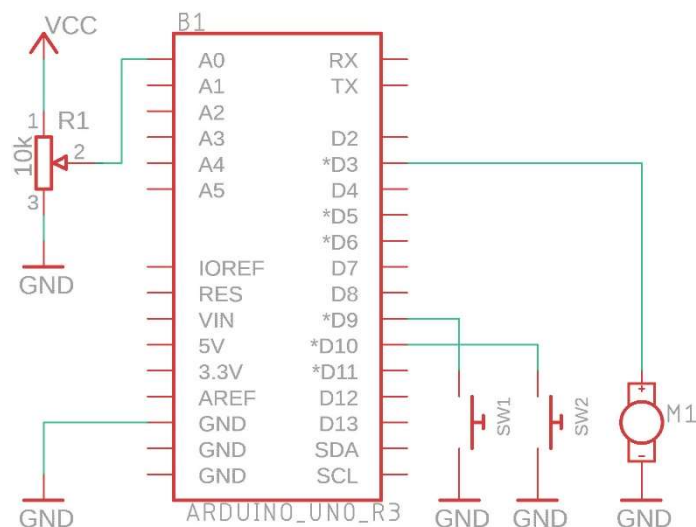
Zadatak 3. Proširi spoj dodavanjem još jednog tipkala i doradi program tako da se držanjem tipkala SW1 brzina povećava, a držanjem tipke SW2 smanjuje. Kad nije pritisnuto niti jedno tipkalo, brzina se ne mijenja. Varijablu koja se koristi za određivanje brzine (npr. int nSpeed) ograničiti u granicama minimalno 0 i maksimalno 255.

Napomena: umjesto rješenja s if-else koristiti **uvjetni operator „?”** programskog jezika C
 uvjetni_izraz ? izraz1 : izraz2 // ako je uvjetni izraz = true, izvršava se izraz1, ako nije izvršava se izraz2

```
(nSpeed<255) ? nSpeed++ : nSpeed = 255; // umjesto if-a za povećavanje brzine
(nSpeed>0) ? nSpeed-- : nSpeed = 0; // umjesto if-a za smanjivanje brzine
```

Zadatak 4. Napiši program koji će upravljati brzinom vrtnje motora u ovisnosti o položaju potencijometra. Motor se treba okretati samo kad su pritisnuta oba tipkala.

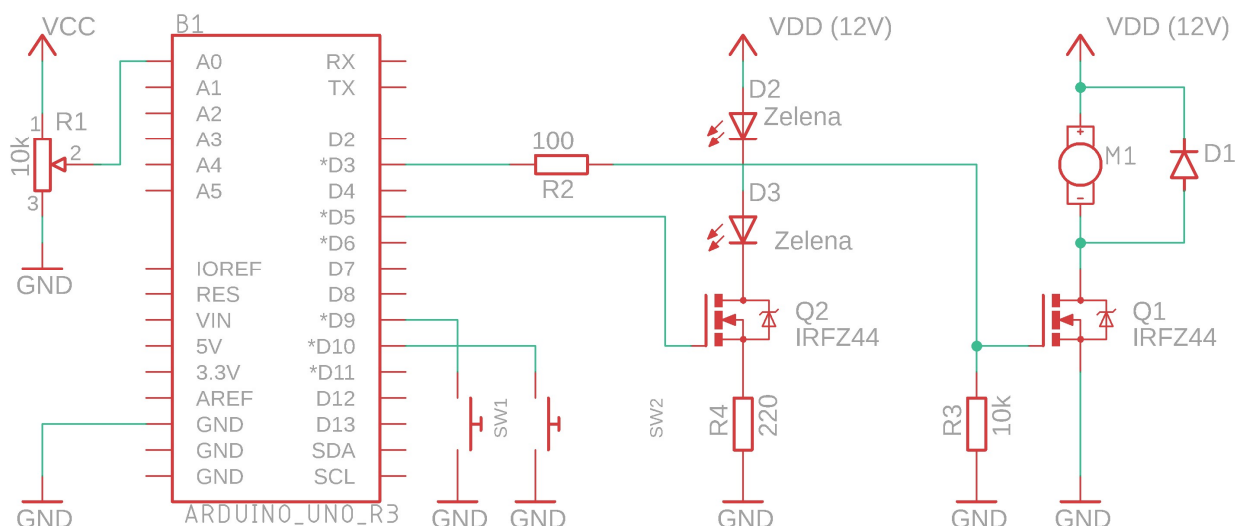
Električna shema:



Zadatak 5. U dogovoru s nastavnikom, modificiraj spoj prema priloženoj shemi.

- Koristeći MOSFET tranzistor IRFZ44N kao tranzistorsku sklopku, priključiti DC motor čiji je nazivni napon 12V i regulirati brzinu vrtnje (otpornik od 100 Ω ostvariti približno pomoću 2 otpornika 220 Ω spojena u paralelu).
- Povezati u seriju 2 zelene LED diode na izvor 12V te također pomoću MOSFET tranzistora regulirati njihovu svjetlinu. Prag vođenja zelenih LED dioda je oko 3,5V.

Električna shema:

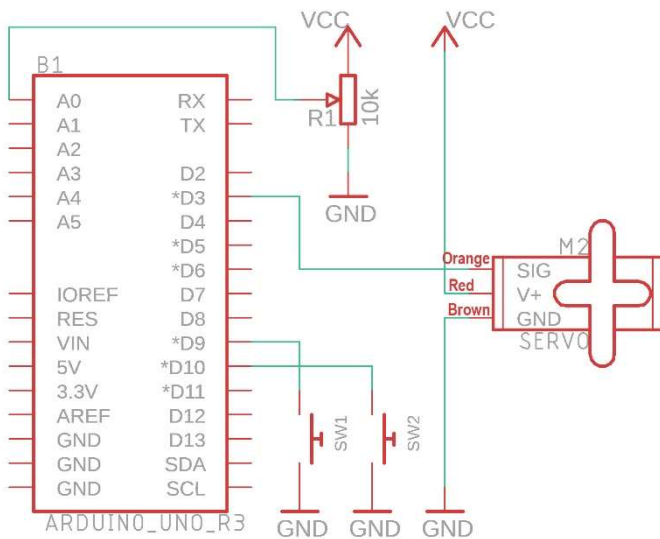


Ovaj zadatak ne treba rješavati, ali treba proučiti električnu shemu za obje primjene.

SERVO MOTOR

Zadatak 6. Umjesto DC motora, prema priloženoj shemi spoji **servo motor**. Ostale komponente ne treba odspajati. Napiši program koji će zakretati servo motor od 0 do 180 stupnjeva.

Električna shema:



Boja vodiča na servo motoru	Oznaka na servo motoru
Narančasta	Signal
Crvena	VCC
Smeđa	GND

Kòd zadatka

```
#include <Servo.h>
```

```
Servo myservo; // kreiraj servo objekt za kontroliranje servo motora
```

```
int pos = 0; // varijabla koja sadrži poziciju servo motora
```

```
void setup() {
    myservo.attach(9); // pin 9 na koji je priključen servo motor
}
```

```
void loop() {
    for (pos = 0; pos <= 180; pos += 1) { // servo kreće od 0 do 180
        // stupnjeva u koracima po 1
        // stupanj
        myservo.write(pos); // postavljanje servo motora na
        // poziciju pos (varijabla)
        delay(15); // čekanje 15ms za pozicioniranje
        // motora
    }
    for (pos = 180; pos >= 0; pos -= 1) { // servo kreće od 180 do 0
        // u koracima po 1 stupanj
        myservo.write(pos); // postavljanje servo motora na
        // poziciju pos (varijabla)
        delay(15); // čekanje 15ms za pozicioniranje
        // motora
    }
}
```


Zadatak 7. Doradi program iz prethodnog zadatka tako da položaj servo motora podešavaš pomoću potenciometra. Koristiti već poznatu funkciju `map()`. U ovom zadatku se ne koriste tipkala, ali ih ne treba odspajati.

Zadatak 8. Napiši program za pokretanje servo motora:

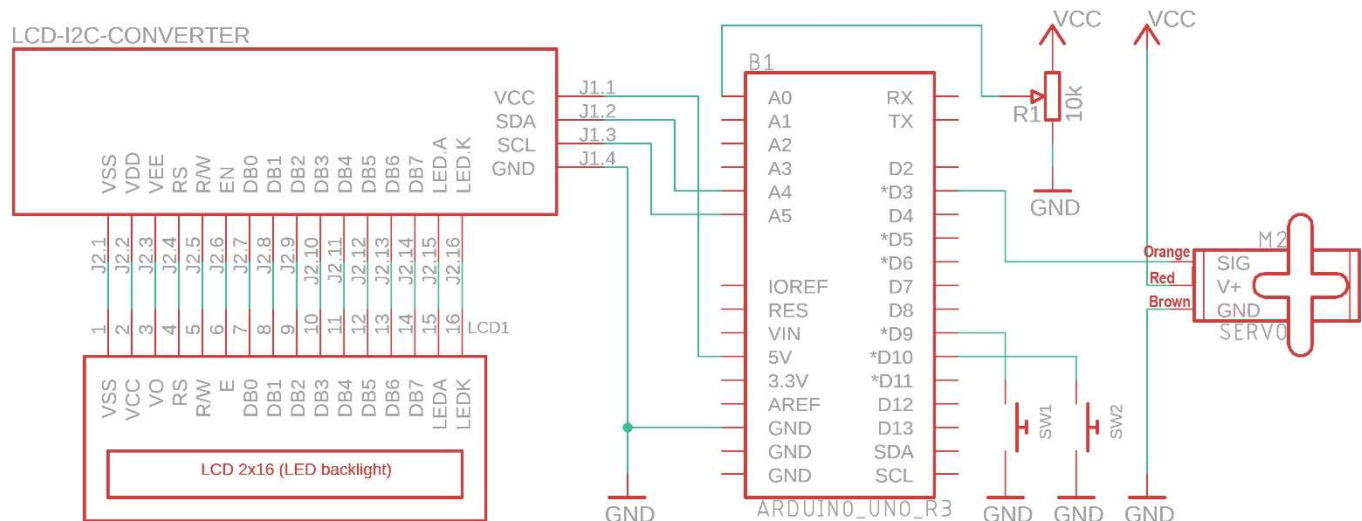
- pritiskom na SW1, motor se treba okretati ulijevo i na LCD-u ispisati poruku "**<--Moving Left**". Kad se tipkalo otpusti, motor treba stati.
- Pritiskom na SW2 motor se treba okretati udesno i na LCD-u ispisati poruku "**Moving Right-->**". Kad se tipkalo otpusti, motor treba stati.
- Kad nije pritisnuta niti jedna tipka, na LCD-u treba ispisati poruku: „**Ready**“, a servo ne mijenja položaj

U ovom zadatku se ne koristi potenciometar, ali ga ne treba odspajati.

Zadatak 9. Doradi program sa slijedećim:

- Na LCD-u u drugom retku treba ispisati kut u stupnjevima. I dok se motor pozicionira, i kad motor stoji, i kad je u krajnjem položaju.
- Kad dosegne krajnji položaj, treba ispisati poruku „**Left limit**“ ili „**Right limit**“ na LCD-u.
- Pritiskom na obje tipke istovremeno, treba ispisati poruku „**Resetting pos.**“, a servo motor se treba pozicionirati u središnji položaj. U središnjem položaju treba pisati „**Ready**“.

Električna shema:



Zadatak 10. Doradi program tako da potenciometrom podešavaš korak povećanja i smanjenja kuta (u koracima od 1 do 10). U donjem desnom kutu LCD zaslona treba cijelo vrijeme biti ispisan korak: u obliku „**Step:10**“.

Pitanja za provjeru znanja:

1. Što je DC motor i koje ima priključke?
2. Kojom tehnikom se podešava broj okretaja DC motora?
3. Kojom tehnikom se podešava smjer vrtnje motora?
4. Objasni PWM modulaciju!
5. Objasni funkciju `analogWrite()`, te objasni što predstavljaju njezini argumenti.
6. Nacrtaj i objasni kako funkcionira H-most!
7. Objasni pulsno širinsku modulaciju.
8. Koje se dvije tehnike koriste za cjelovito upravljanje DC motorom?
9. Na koji način se može upravljati istosmjernim trošilom veće snage pomoću mikroupravljača?
10. Nacrtaj shemu priključivanja 12V DC motora na mikroupravljač sa svim potrebnim komponentama.
11. Objasni čemu služi zaštitna dioda paralelno spojena DC motoru i objasni pojave koje se dešavaju.
12. Skiciraj valne oblike napona na *Gate* i *Drain* elektrodama prilikom isključenja tranzistora.
13. Čemu služe serijski otpornik R1 i paralelni otpornik R2 spojenog na Gate MOSFET tranzistora (slika 4)?
14. Objasni razlike između releja i diode po pitanju uključivanja većih trošila: AC/DC struje, brzina uklanjanja, iznos struje.
15. Što je servo motor i čemu služi?
16. Koja je razlika između DC i servo motora?
17. Od kojih dijelova se sastoji servo motor?
18. Objasni čemu služi pojedina komponenta servo motora?
19. Kako radi servo motor?
20. Objasni što znači da servo motor spada u sustav sa zatvorenom petljom, tj. sa povratnom vezom?
21. Objasni na koji način se podešava pozicija servo motora?
22. Kojom naredbom se pozicionira servo motor? Objasni argumente.
23. Zašto treba dodati naredbu `delay()` nakon naredbe za pozicioniranje osovine servo motora?
24. Objasni primjerom kako se umjesto `if-else` koristi uvjetni operator „?” programskog jezika C
25. Objasni ulaze jednog kanala L298N pločice.

LITERATURA:

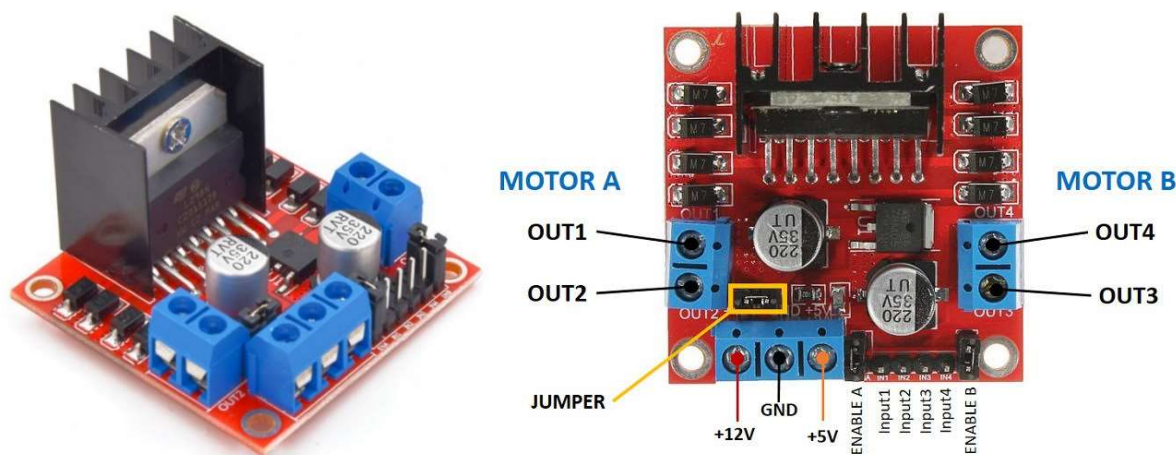
1. What is the difference between a DC motor and servo motor?, The Handy Bord, <http://handyboard.com/hb/faq/hardware-faq/dc-vs-servo/> , (pregledano 25.veljače 2020.)
2. Arduino DC Motor Control Tutorial – L298N | PWM | H-Bridge, How To Mechatronics, <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-dc-motor-control-tutorial-l298n-pwm-h-bridge/> (pregledano 25.veljače 2020.)
3. DC motor control with a basic H-bridge, Electronoobs, http://www.electronoobs.com/eng_circuitos_tut1.php, (pregledano 25.veljače 2020.)
4. Nick Gammon, Driving motors, lights, etc. from an Arduino output pin <https://www.gammon.com.au/motors> (pregledano 25.02.2020.)
5. How Servo Motors Work & How To Control Servos using Arduino, How To Mechatronics, <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-servo-motors-work-how-to-control-servos-using-arduino/>
6. ESP32 with DC Motor and L298N Motor Driver – Control Speed and Direction, Random Nerd Tutorials, <https://randomnerdtutorials.com/esp32-dc-motor-l298n-motor-driver-control-speed-direction/> (pregledano 25.veljače 2020.)
7. Introduction to L293D, The Engineering Projects, <https://www.theengineeringprojects.com/2017/07/introduction-to-l293d.html>, (pregledano 25.veljače 2020.)

PRILOG1: L298N pločica za upravljanje DC motorom

Za upravljanje DC motorom, kombiniraju se dvije tehnike: H-most i PWM.

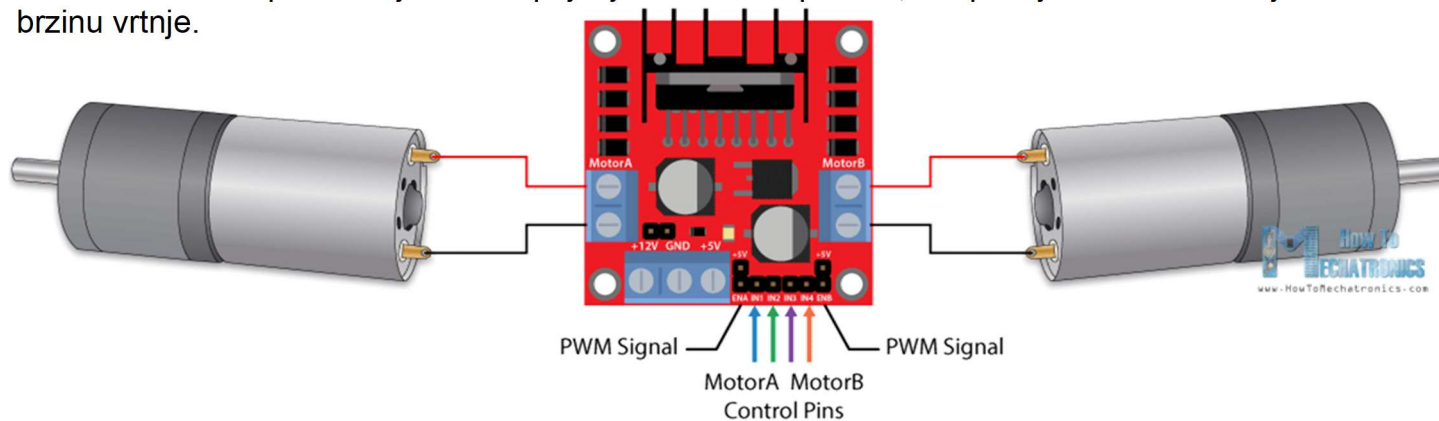
Digitalni izlazi mikroupravljača ne mogu dati veliku snagu (cca 10-20mA), pa se za upravljanje većim motorima koriste gotove pločice s tranzistorima. Pri tome, **mikroupravljač služi samo kao upravljački element, za smjer struje i PWM, dok se snaga za motore (trošila) crpi iz vanjskog izvora.**

Primjer takvog dvostrukog H-mosta je L298N pločica (slika 9). Ona omogućava upravljanje smjera vrtnje i regulaciju broja okretaja za dva motora napajanja 5V – 35V, vršnih struja do 2A.



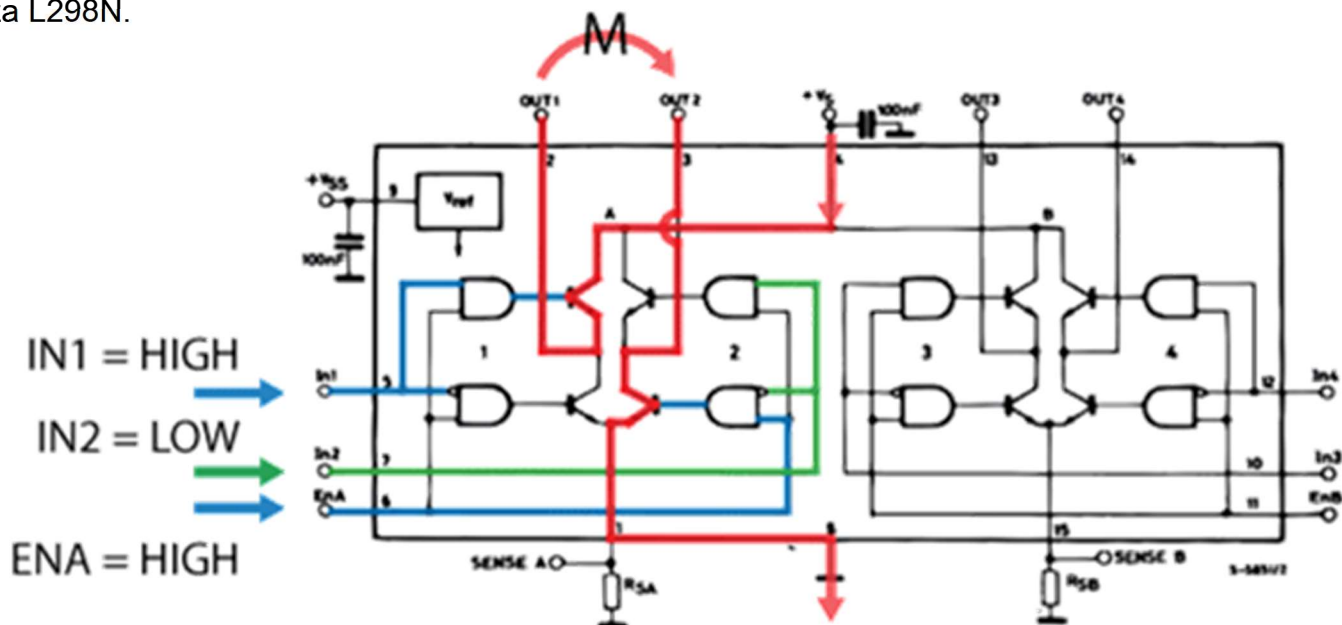
Slika 9. L298N s upravljačkim ulazima i izlazima za motore [6]

Na slici 10 prikazan je način spajanja motora na pločicu, te upravljački ulazi za smjer i brzinu vrtnje.



Slika 10. Povezivanje 2 DC motora na L298N pločicu [2]

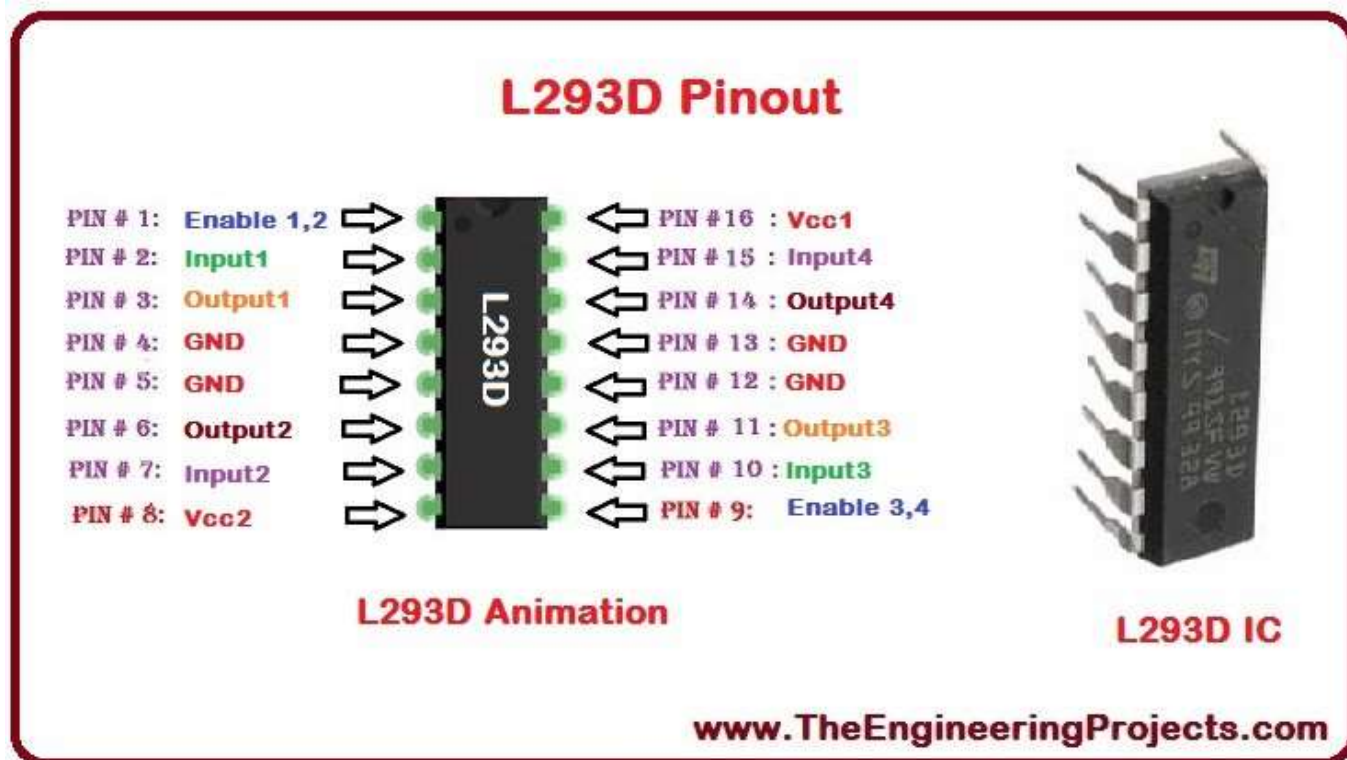
Na slici 11 prikazana je blok shema L298N, koja se nalazi u tehničkom listu (Datasheet) za L298N.



Slika 11. Blok shema L298N pločice [2]

Upravljački ulazi IN1 i IN2 služe za upravljanje smjerom vrtnje, a ulaz EN za regulaciju brzine vrtnje pomoću PWM. Uočiti da je logika AND sklopova takva da nikad ne mogu voditi oba tranzistora.

Još jedan primjer H-mosta je integrirani krug L293D, koji se također može nabaviti na gotovoj pločici. Slika 12.



Slika 12. L293D H-most integrirani krug [7]

Na laboratorijskim vježbama ne koristimo H-most, nego samo reguliramo brzinu vrtnje pomoću PWM-a.