

Predmet:	MIKROUPRAVLJAČI
Vježba: 13	Arduino – Prekidni sustav – vanjski prekidi
Ishodi vježbe:	Koristiti prekidni sustav Arduino platforme, objasniti način rada IC fotodiode, koristiti IC LED i IC fotodiodu u projektima, konstruirati sustav za mjerenje broj okretaja

Upute za izradu pripreme za vježbu:

Budući da je mikroupravljač 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 nastavku, 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 ...

Upute za izradu vježbe:

- 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 neispravna (pregorena LED, oštećen kontakt tipkala, prekinut vodič...). Ukoliko se sklop ponaša drugačije od očekivanog, predvidjeti i tu mogućnost i pokušati zamijeniti komponentu drugom.
- 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

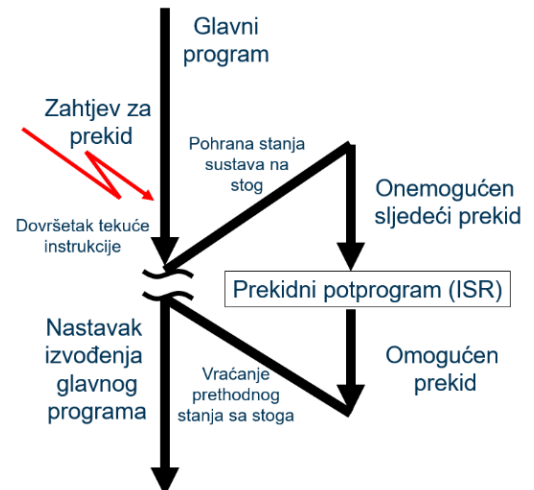
PREKIDNI SUSTAV

Prekidni sustav je sustav unutar računala ili mikroupravljača koji omogućuje prekidanje izvršavanja glavnog programa i rješavanja nekog važnog događaja koji zahtijeva trenutnu reakciju.

Prekidni signali (ako se radi o hardverskom prekidu) su digitalni signali koji se dovode na nožicu procesora ili mikroupravljača koji dojavljuju određenu pojavu u sustavu – npr. pritisak tipke, pomak miša, pritisak 'emergency' tipke, primitak informacije sa serijskog porta i sl.

Pojavom prekidnog signala:

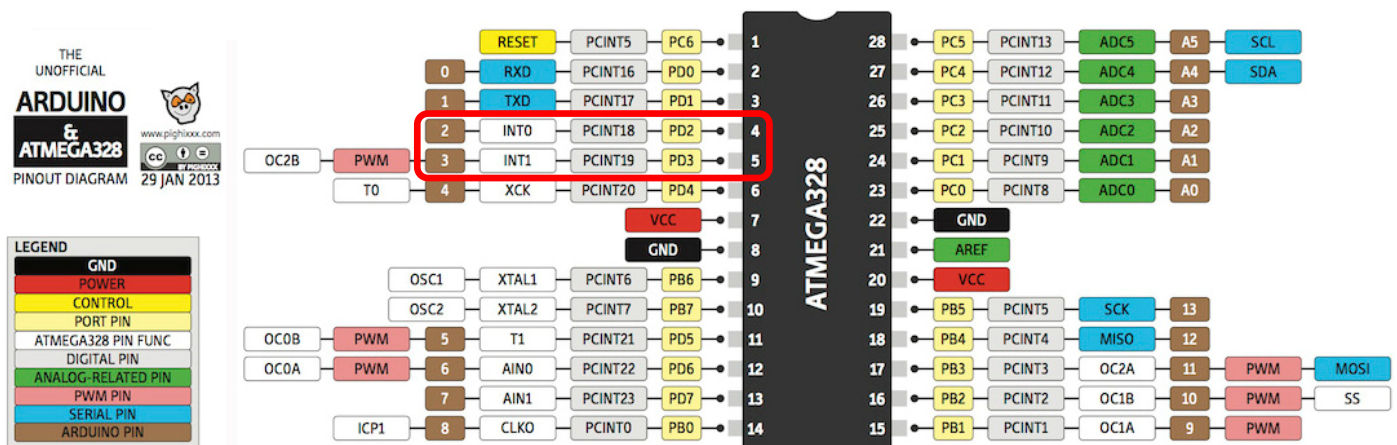
- procesor reagira tako da **prekida izvođenje tekućeg programa** (nakon završetka tekuće instrukcije)
- **pohranjuje stanje sustava**, što je zapravo stanje registara unutar procesora – A, PC, DPTR i ostalih registara opće i posebne namjene na stog (Stack)
- **pokreće prekidnu rutinu** (prekidnu proceduru, prekidni potprogram – engl. interrupt handler, interrupt service routine = ISR) kako bi reagirao na događaj (slika 1)



Slika 1. Tijek operacija prilikom pojave prekida

Prekidna rutina je privremena i nakon što ju procesor izvrši, sa stoga povlači stanje registara koje je bilo prije prelaska na prekidni potprogram i nastavlja izvođenje glavnog programa.

Mikroupravljač ATmega 328p ima ukupno 26 prekida od kojih su samo 2 vanjska (INT0 i INT1). Raspored svih izvoda, kao i izvoda za vanjske prekide INT0 i INT1 dani su na slici 2.



Slika 2. Veza izvoda Arduino UNO i ATmega 328p mikroupravljača, te prikaz alternativnih funkcija

U ovom slučaju pinovi 2 i 3 se ne mogu koristiti kao GPIO (ulazno/izlazni pinovi), nego kao pinovi za pokretanje prekida.

Struktura programa i potrebne funkcije za realizaciju zadatka korištenjem prekida:

Sintaksa: `attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin), ISR, mode)`

```

void setup() {
  pinMode(2, INPUT_PULLUP); // Pin 2 ulazni s uključenim Pull-Up otpornikom

  // Najava vanjskog prekida INT0 koji će pokrenuti prekidnu rutinu isr0 (što
  // će zapravo biti funkcija isr0) pojavom padajućeg brida na pinu 2
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), isr0, FALLING);

  // funkcija digitalPinToInterrupt(2) na Arduino UNO će za pin
  // broj 2 vratiti vrijednost 0 (pin 2 ima alternativnu funkciju INT0)
  // osim FALLING, moguće je okidanje i na LOW, CHANGE, RISING i HIGH

  interrupts(); // Globalno omogućavanje rada s bilo kakvim prekidima, ne
                // samo vanjskim prekidima
}

void loop() {
  // Glavna programska petlja u kojoj se odvija glavni program;
}

void isr0() {
  // Prekidna rutina koja se aktivira pojavom padajućeg brida na pinu 2 (INT0)
}

```

Više:

<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/external-interrupts/attachinterrupt/>

IC LED DIODA

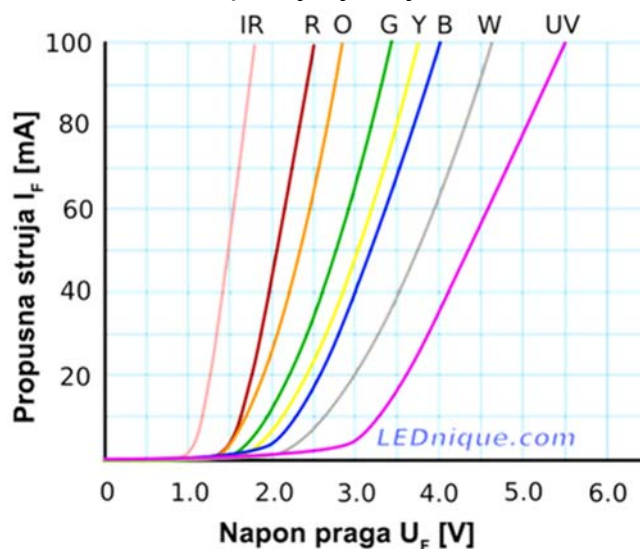
LED dioda je poluvodički optoelektronički izvor koji pretvara električnu energiju u svjetlosnu. Kao i standardna dioda ima dva izvoda Anodu (+) i Katodu (-). Isto tako ima propusnu i nepropusnu polarizaciju.

IC LED dioda, kao i bilo koja LED dioda, emitira svjetlost određene valne duljine, jedino je valna duljina tog svjetla takva da ju ne možemo vidjeti golim okom (850 nm do 940 nm). U tablici 1 dane su valne duljine LED dioda različitih boja. Na slici 3 se može vidjeti da je prag otvaranja oko 1,2V.

IC LED dioda se u strujni krug se spaja kao i standardna LED dioda, dakle treba odgovarajući predotpor. Izračun serijskog otpora objašnjen je u uvodu LV01 - Upravljanje svjetlećim elementima.

Typical LED Characteristics			
Semiconductor Material	Wavelength	Colour	V _F @ 20mA
GaAs	850-940nm	Infra-Red	1.2v
GaAsP	630-660nm	Red	1.8v
GaAsP	605-620nm	Amber	2.0v
GaAsP:N	585-595nm	Yellow	2.2v
AlGaP	550-570nm	Green	3.5v
SiC	430-505nm	Blue	3.6v
GaInN	450nm	White	4.0v

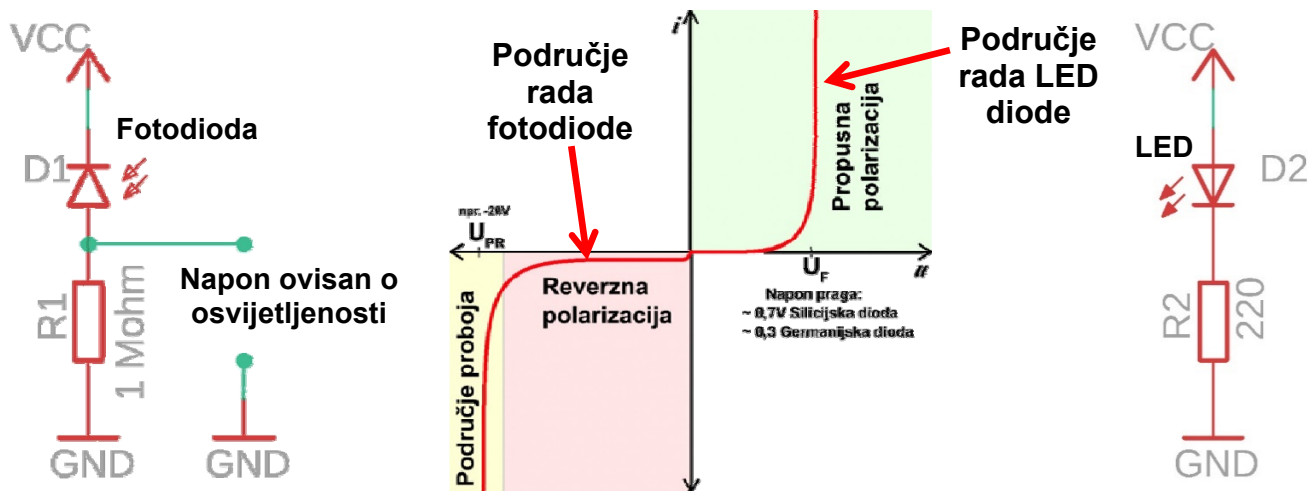
Tablica 1. Tablica s pragom otvaranja LED dioda različitih boja



Slika 3. LED diode raznih boja

IC FOTODIODA

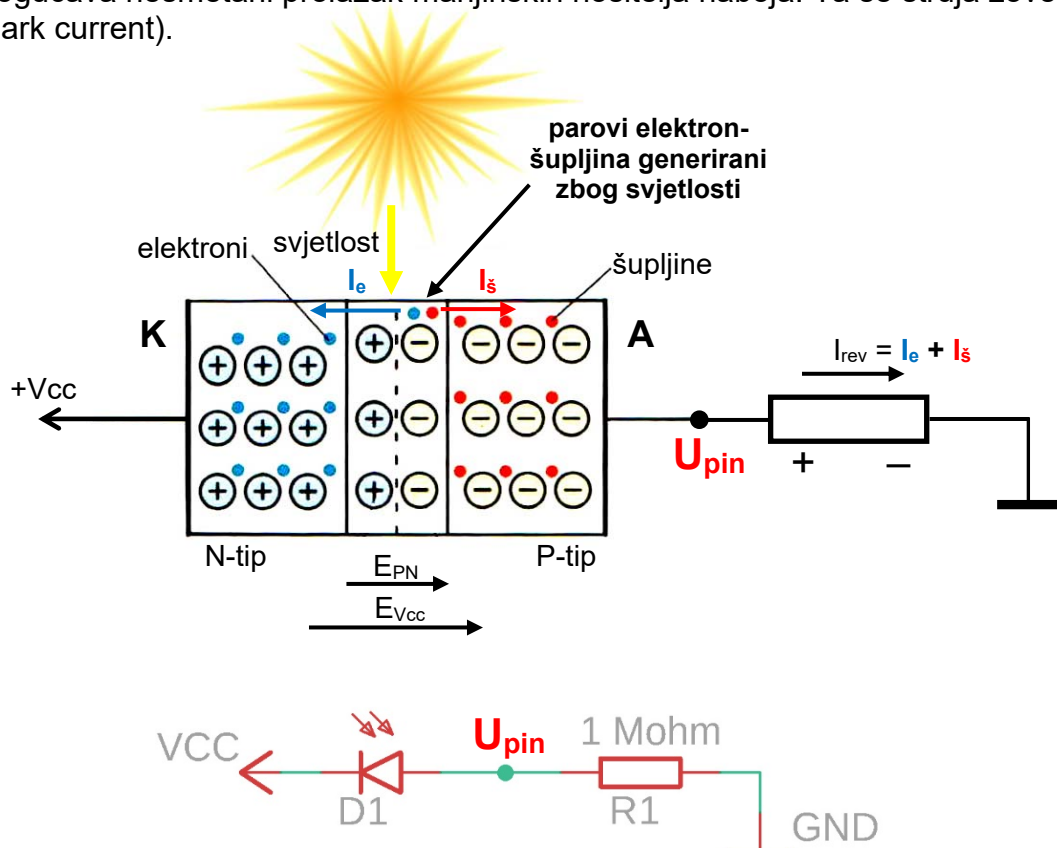
Fotodiode je vrsta poluvodičke diode koja pretvara svjetlost u električnu struju. Često se koristi naziv fotodetektor ili fotosenzor. Fotodiode se koristi u reverznoj polarizaciji, što znači da je katoda spojena na viši potencijal (+), a anoda na niži potencijal (-). Slika 1.



Slika 4. Područja rada fotodiode i standardne LED diode

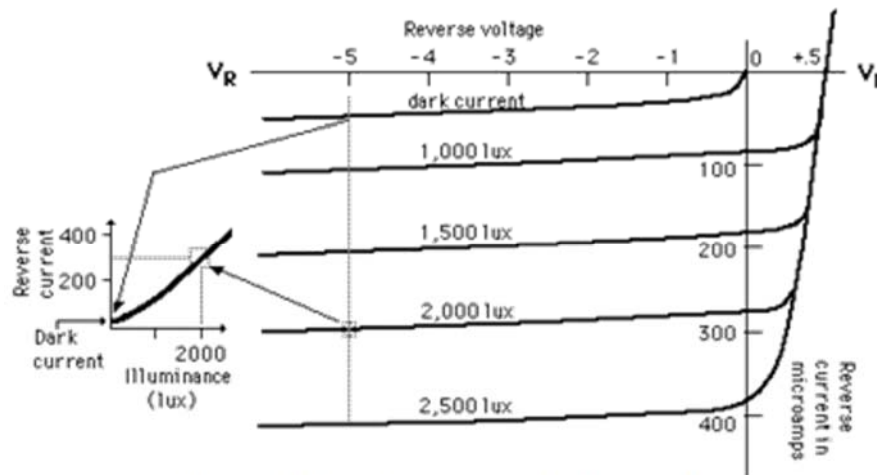
U reverznoj (zapornoj) polarizaciji diode, kroz PN spoj može teći samo struja manjinskih nosilaca.

Kad fotodiode, odnosno njezin PN spoj nije osvijetljen, zbog zaporne polarizacije teče samo vrlo mala struja malobrojnih manjinskih nosilaca naboja koji se generiraju zbog topline. Kod nepropusne polarizacije PN barijera sprječava prolazak većinskih nosilaca, dok takva polarizacija omogućava nesmetani prolazak manjinskih nositelja naboja. Ta se struja zove tamna struja (Dark current).



Slika 5. Kristal PN diode u reverznoj polarizaciji

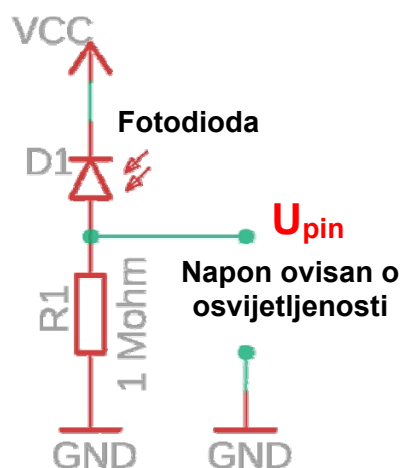
Svjetlost je e-m val, koji se kad putuje kroz prostor ponaša kao val, ali u interakciji s materijom se ponaša kao čestica. Te čestice nazivamo fotonima. Kad fotoni upadnu na pn spoj, dovode dodatnu energiju (uz toplinsku) i time uzrokuju dodatno stvaranje parova nosilaca naboja elektron – šupljina u području pn barijere. To dovodi do povećanja reverzne struje. Ako se još poveća osvjetljenost, stvara se još veći broj slobodnih nosilaca naboja, pa se reverzna struja dodano povećava. Dokle god na pn spoj upada svjetlo, teći će reverzna struja, pa će se dioda ponašati kao strujni izvor. Ako se poveća osvjetljenje, povećati će se i zaporna struja. U-I karakteristika fotodiode u zapornom području dana je na slici 6.



Slika 6. U-I karakteristika fotodiode [7]

Vidimo da za određeni reverzni napon, npr. -5V, iznos struje ovisi o osvjetljenju (slika 6). Budući da se dioda ponaša kao strujni izvor, napon na otporniku spojenom u seriju ovisit će o struji $U = I_D \cdot R$. Budući da je struja malenog iznosa, za značajniji iznos napona, potrebno je upotrijebiti veći otpor. Uz struju od cca 100uA treba staviti otpornik od cca 1Mohm.

Da bi struju pretvorili u napon, koristimo naponsko djelilo koje se sastoji od otpornika velikog otpora i fotodiode. Na A/D pretvornik dovodimo potencijal središnje točke U_{pin} , koji se mijenja ovisno o osvjetljenosti PN spoja. Slike 5 i 7.



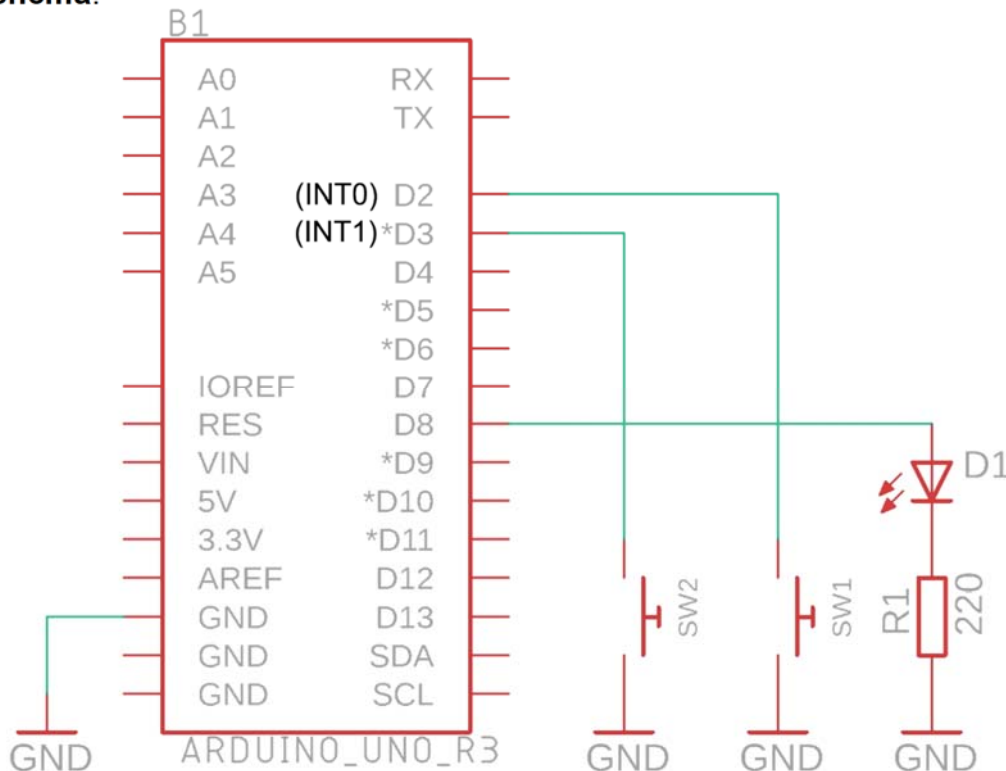
Slika 7. Kristal PN diode u reverznoj polarizaciji

Kad dioda nije osvjetljena, kroz diodu i otpornik teče vrlo mala reverzna struja. Pad napona na otporniku iznosi $U_R = I_{Drev} \cdot R1$ i zbog male struje $U_{R1} \approx 0$.

Kad se dioda osvjetli, generira se veći broj parova elektron-šupljina i poteče veća reverzna struja. Iz tog razloga, potencijal točke U_{pin} raste i mikroupravljač registrira logičku jedinicu. Budući da je i kod vrlo osvjetljenog pn spoja, struja malena, u seriju se stavlja veliki otpor, kako bi se na njemu pojavio napon dovoljan za logičku jedinicu.

Zadatak 1. Spoji spoj prema shemi i napiši program kojim ćeš pomoću jednog tipkala uključivati LED na pinu 8, a pomoću drugog tipkala isključivati LED. **Paralelno tipkalima treba dodati kondenzator 10 pF radi sprječavanja istitravanja tipkala (debouncing).**

Električna shema:



Kòd zadatka

```
int pin_SW1 = 2;
int pin_SW2 = 3;

int pin_LED = 8;

void setup() {
    //Definiranje funkcija pinova Arduina
    pinMode(pin_SW1, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pin_SW2, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PIN_LED, OUTPUT);
}
bool state = LOW;    // Stanje na pinu

void loop() {
    // Glavna programska petlja u kojoj
    if (digitalRead(pin_SW1)==0) { // se odvija glavni program
        led_on();                // i gdje se KONTINUIRANO provjerava
    }                             // je li tipka pritisnuta
    // to je tzv. POOLING tehnika

    if (digitalRead(pin_SW2)==0) {
        // if (!digitalRead(pin_SW2)) // drugi način korištenja if naredbe
        led_off();
    }

    digitalWrite(pin_LED, state);
}
```

```
void led_on() {           // Funkcija koja se izvršava nakon
    state = HIGH;         // pritiska na tipku SW1
}
void led_off() {          // Funkcija koja se izvršava nakon
    state = LOW;          // pritiska na tipku SW2
}
```

Zadatak 2. Dodaj LCD i doradi program tako da na LCD-u u prvom retku ispisuješ stanje izlaza na kojem je spojena LED u obliku „LOW“ ili „HIGH“.

Zadatak 3. Doradi program tako da na zaslonu u drugom retku ispisuješ brojeve od 0 do 9 u vremenskim intervalima od 2 sekunde. Nakon dostizanja broja 9, brojanje kreće od 0. I dalje, pritiskom na tipku SW1, potrebno je uključiti LED diodu. Pritiskom na tipku SW2 potrebno je diodu isključiti. Na koji si problem naišao? Je li LED dioda odmah reagirala i zašto nije?

Zadatak 4. Doraditi prethodni zadatak koristeći vanjske prekide INT0 i INT1. Spoj nije potrebno mijenjati. Funkciju digitalWrite(PIN_LED, state) treba premjestiti u obje prekidne funkcije ISR_led_on i ISR_led_off kako bi se stanje na LED promijenilo odmah po pokretanju prekida.

Kòd zadatka

```
int pin_SW1 = 2;
int pin_SW2 = 3;

int PIN_LED = 8;

bool state = LOW;    //stanje na pinu

void setup() {
    pinMode(pin_SW1, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pin_SW2, INPUT_PULLUP);
    pinMode(PIN_LED, OUTPUT);

    // najavljujemo vanjski prekid INT0 koji će pokrenuti funkciju
    // ISR_led_on pojavom padajućeg brida na pinu 2
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_SW1), ISR_led_on, FALLING);
    // funkcija digitalPinToInterrupt(pin_SW1) na Arduino UNO će za pin
    // broj 2 vratiti vrijednost 0 (pin 2 ima alternativnu funkciju INT0)

    // najavljujemo vanjski prekid INT1 koji će pokrenuti funkciju
    // ISR_led_off pojavom padajućeg brida na pinu 3
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_SW2), ISR_LED_off, FALLING);
    // funkcija digitalPinToInterrupt(pin_SW2) na Arduino UNO će za pin
    // broj 3 vratiti vrijednost 1 (pin 3 ima alternativnu funkciju INT1)

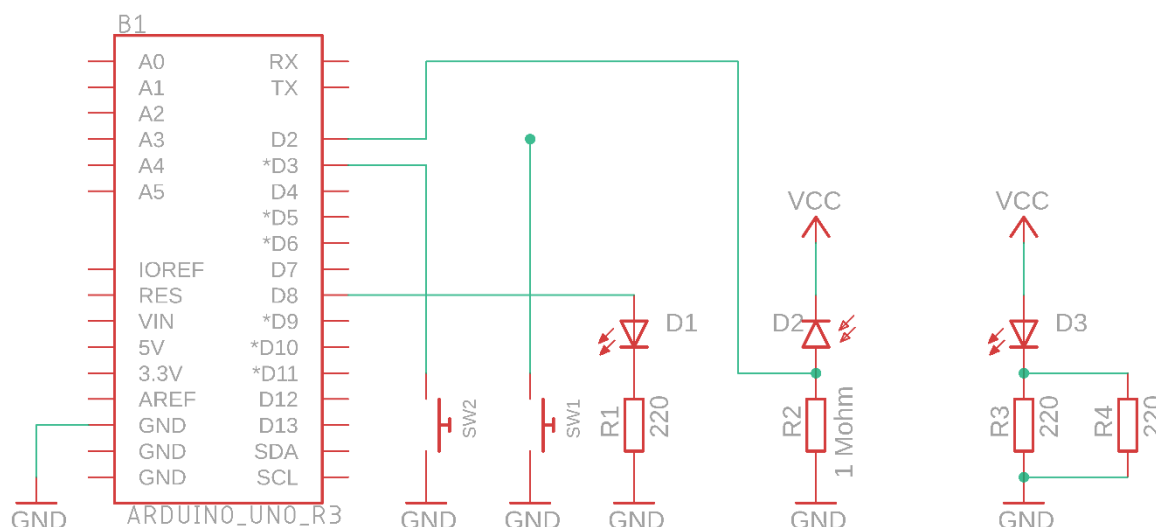
    interrupts();    // Globalno omogućavanje rada s bilo kakvim prekidima
}

void loop() {        // Programska petlja u kojoj se odvija neki proces
                    // Ubaciti dio koda za ispis parametara na LCD
}
```

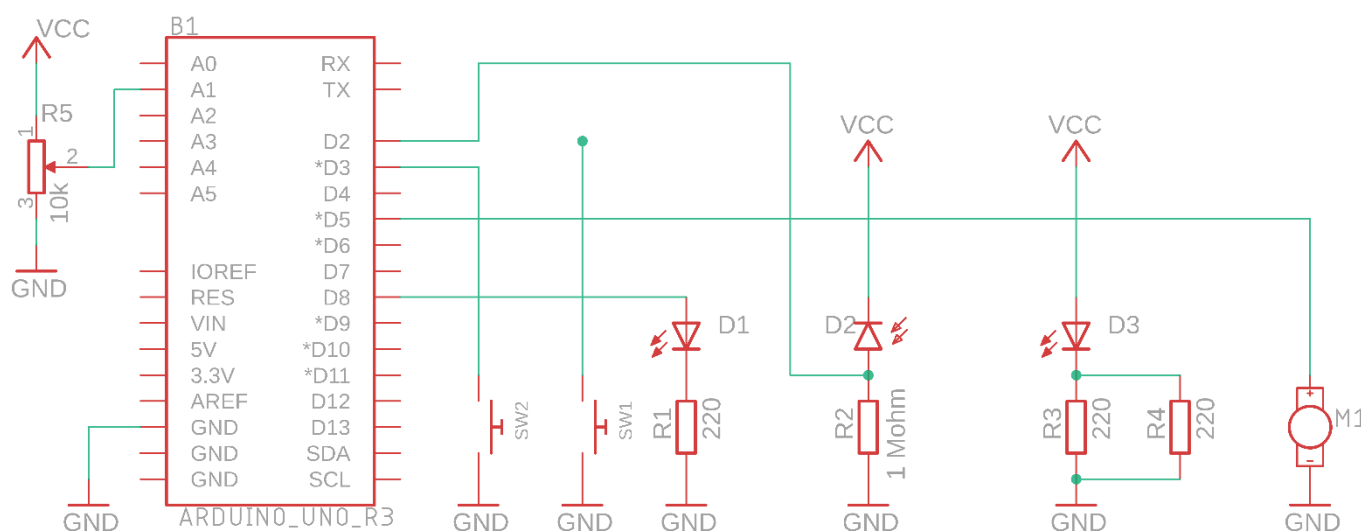
8

Zadatak 9. Ponovo učitaj kod Zadatka 6 i provjeri je li ostala željena funkcionalnost. Modificiraj spoj kako bi umjesto brojanja pritisaka na tipku SW1, sklop brojao broj presijecanja IC snopa između IC LED i IC fotodiode.

- Sa pina 2 (INT0) odspoji tipkalo SW1
- Umjesto tipkala, na pin 2 spoji vodič koji je bio spojen na pin A0 (središnja točka dijelila Fotodioda – otpornik $R_2 = 1\text{M}\Omega$). Na taj način je umjesto tipkala na INT0 spojena fotodioda.



Zadatak 10. Proširi spoj dodavanjem DC motora na pin broj 5 i potenciometra na pin A1, prema priloženoj shemi ispod. Proširi kod iz prethodnog zadatka tako da pomoću potenciometra reguliraš brzinu vrtnje motora. Na osovinu motora zalijepi ljepljivu traku kako bi pomoću nje presijecao IC snop.



Zadatak 11. Proširi kod tako da u sredini drugog retka ispisuješ broj okretaja motora u minuti (RPM=Revolutions Per Minute). U tu svrhu treba upotrijebiti postojeći Delay od 200 ms. U funkciji loop treba na odgovarajuća mjesta kod predložen u nastavku:

Prijedlog koda za funkciju loop()

```
delay(200);  
detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_SW1));  
  
int rmp = 60 * counter;    // formulu treba prilagoditi kako bi izračun bio  
                           // ispravan  
  
lcd.setCursor(5, 1); // postavljanje kursora na lokaciju 5,1 (stupac, redak)  
lcd.print("RPM:      ");  
lcd.setCursor(10, 1);  
lcd.print(rmp);         // ispisivanje broj okretaja  
  
counter = 0;  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_SW1), ISR_led_on, RISING);
```

Pitanja za provjeru znanja:

1. Što je prekidni sustav?
2. Što je prekidni potprogram?
3. Što znači ISR?
4. Što se unutar mikroupravljača zbiva nakon pojave prekidnog signala?
5. Koja se funkcija u Arduino IDE okruženju koristi za najavu prekida i gdje se treba napisati?
6. Kako izgleda struktura programa kad se koriste prekidi?
7. Kakvi prekidi postoje u mikroupravljaču?
8. Na kojim pinovima Arduino UNO (ATmega328p mikroupravljača) se nalaze vanjski prekidi i koje su im oznake?
9. Čemu služi funkcija `digitalPinToInterrupt()`, koji su joj argumenti i koju vrijednost vraća?
10. Čemu služi funkcija `interrupts()`?
11. Objasni slijedeći izvadak koda: `(counter>0) ? counter-- : counter=counter;`
12. Ako se za pokretanje vanjskih prekida koristi tipkalo, je li potrebno koristiti Pull-Up otpornik i zašto?
13. Koju komponentu treba koristiti, gdje i kako ju spojiti, kad se koristi tipkalo kao izbor vanjskih prekida u ATmega328p mikroupravljaču i zašto?
14. Nacrtaj simbol za IC LED diodu i IC fotodiodu!
15. Kako se spaja IC LED dioda na mikroupravljač?
16. Ima li IC LED dioda viši ili niži prag otvaranja od LED dioda s vidljivim svjetlom? Nacrtaj graf za nekoliko različitih LED dioda uključujući i IC?
17. Koliki prag otvaranja približno ima IC LED dioda?
18. Nacrtaj U-I karakteristiku diode i objasni u kojem području radi IC LED dioda, a u kojem području radi IC fotodioda.
19. Nacrtaj shemu povezivanja IC foto diode na pin mikroupravljača!
20. Zašto se kod fotodiode u seriju spaja otpornik velikog iznosa?
21. Objasni zašto fotodioda radi u zapornoj polarizaciji!
22. Nacrtaj shemu PN spoja i objasni princip rada IC foto diode.
23. Što je tamna struja (Dark Current)?
24. Na U-I karakteristici, u zapornom području, nacrtaj krivulje zaporne struje i njihovu ovisnost o osvjetljenju!
25. Nacrtaj graf ovisnosti reverzne struje u ovisnosti o osvjetljenju!
26. Objasni princip mjerenja broja okretaja korišten u LV!
27. Kako se spaja IC LED dioda na mikroupravljač?

LITERATURA:

1. Nediljka Furčić, Elektronički sklopovi, Zagreb: Neodidacta, treće izdanje 2014.
2. Wikipedia, Light-emitting diode, https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode, (pregledano 01. veljače 2018.)
3. LEDnique, <http://lednique.com/current-voltage-relationships/iv-curves/> (pregledano 15. veljače 2018.)
4. Kingbrite, Datasheet: www.us.kingbright.com/images/catalog/SPEC/WP7113SRD-D.pdf (pregledano 01. veljače 2018.)
5. Shine retrofits: <https://www.shineretrofits.com/knowledge-base/lighting-learning-center/lumens-vs-candela.html> (pregledano 01.03.2018).
6. Wikipedia, Traffic lights 4 states, https://he.wikipedia.org/wiki/קוֹבֵץ:Traffic_lights_4_states.png (pregledano 10.09.2018).
7. Electronics Hub, What is a Photodiode? Working, Characteristics, Applications, <https://www.electronicshub.org/photodiode-working-characteristics-applications/>, (pregledano 10.03.2020)