

Nastavni predmet:	MIKROUPRAVLJAČI
Vježba: 10	Arduino – Prekidni sustav – vanjski prekidi
Ishodi vježbe:	Koristiti prekidni sustav Arduino platforme, objasniti način rada IC fotodiode, te 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

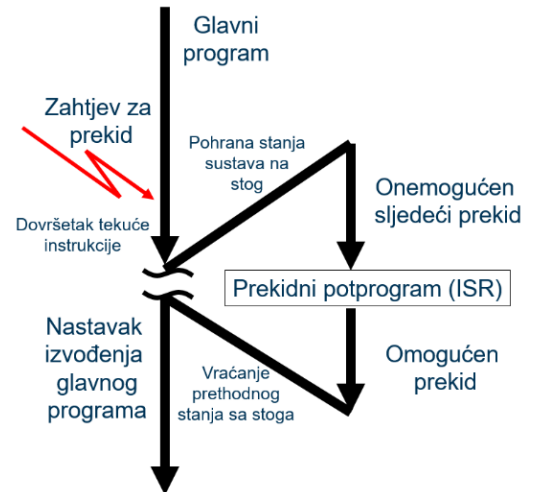
PREKIDNI SUSTAV

Prekidni sustav je sustav unutar računala 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:

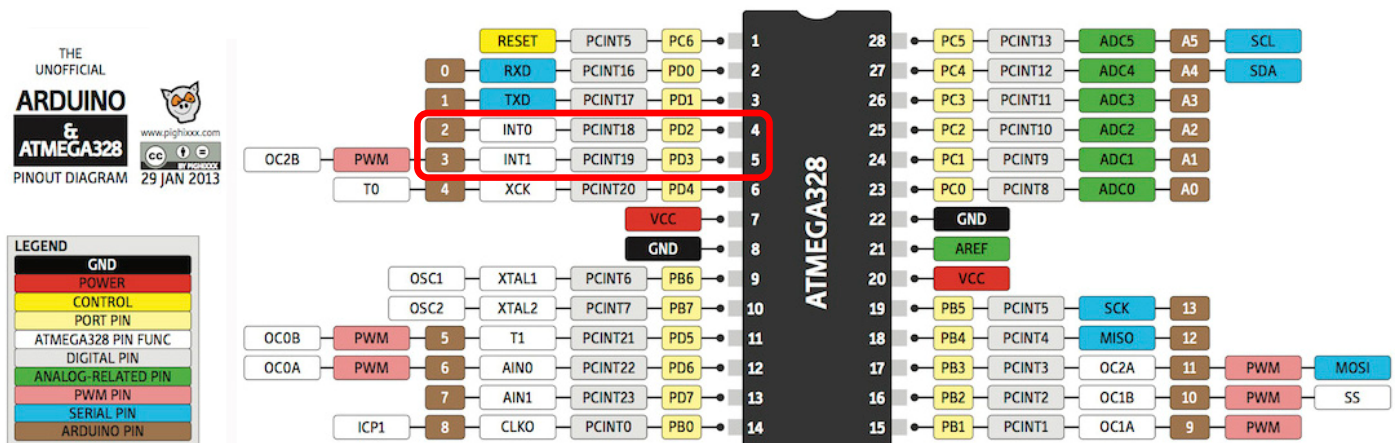
- procesor reagira tako da **prekida izvođenje tekućeg programa** (nakon završetka tekuće instrukcije)
- **pohranjuje stanje sustava**, što je zapravo stanje registara unutar procesora – A, PC, DPTR i ostalih registara opće i posebne namjene na stog (Stack)
- **pokreće prekidnu rutinu** (prekidnu proceduru, 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 1.



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.

Funkcije i realizacija zadatka korištenjem prekida:

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

```

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

  // Najava prekidne rutine isr0 koja će se izvršiti pojavom padajućeg
  // brida na pinu 2 (INT0)
  // osim FALLING, moguće je okidanje i na LOW, CHANGE, RISING i HIGH

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), isr0, FALLING);
  interrupts(); // Omogućava rad s 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

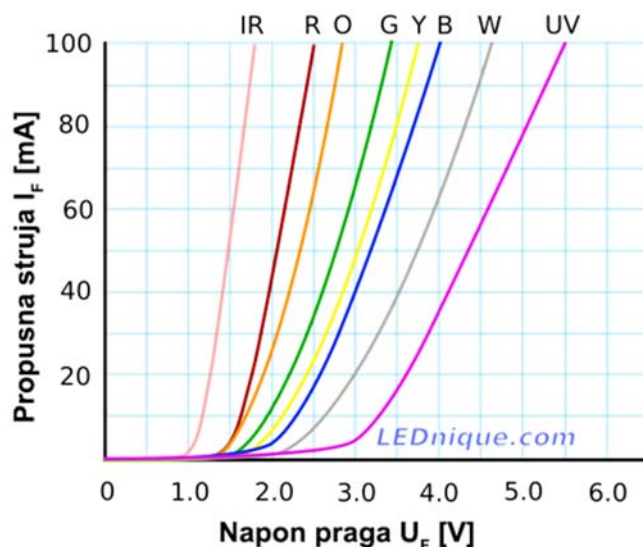
LED dioda je poluvodički optoelektronički izvor koji pretvara električnu energiju u svjetlosnu. Kao i standardna dioda ima dva izvoda Anodu (+) i Katodu (-). Isto tako ima propusnu i nepropusnu polarizaciju.

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

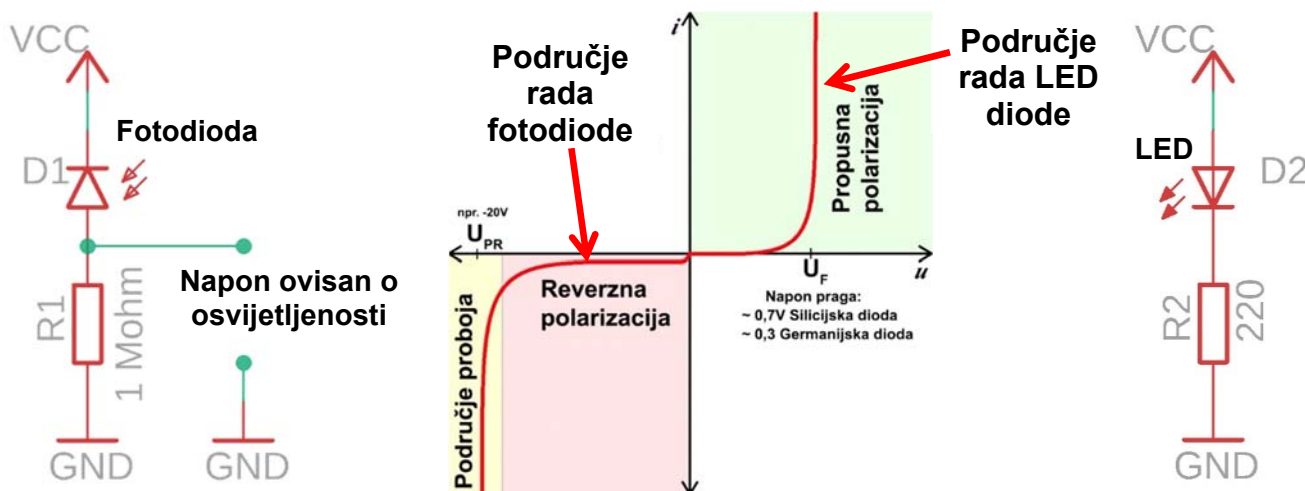
Tablica 1. Tablica s pragom otvaranja LED dioda različitih boja



Slika 3. LED diode raznih boja

IC FOTODIODA

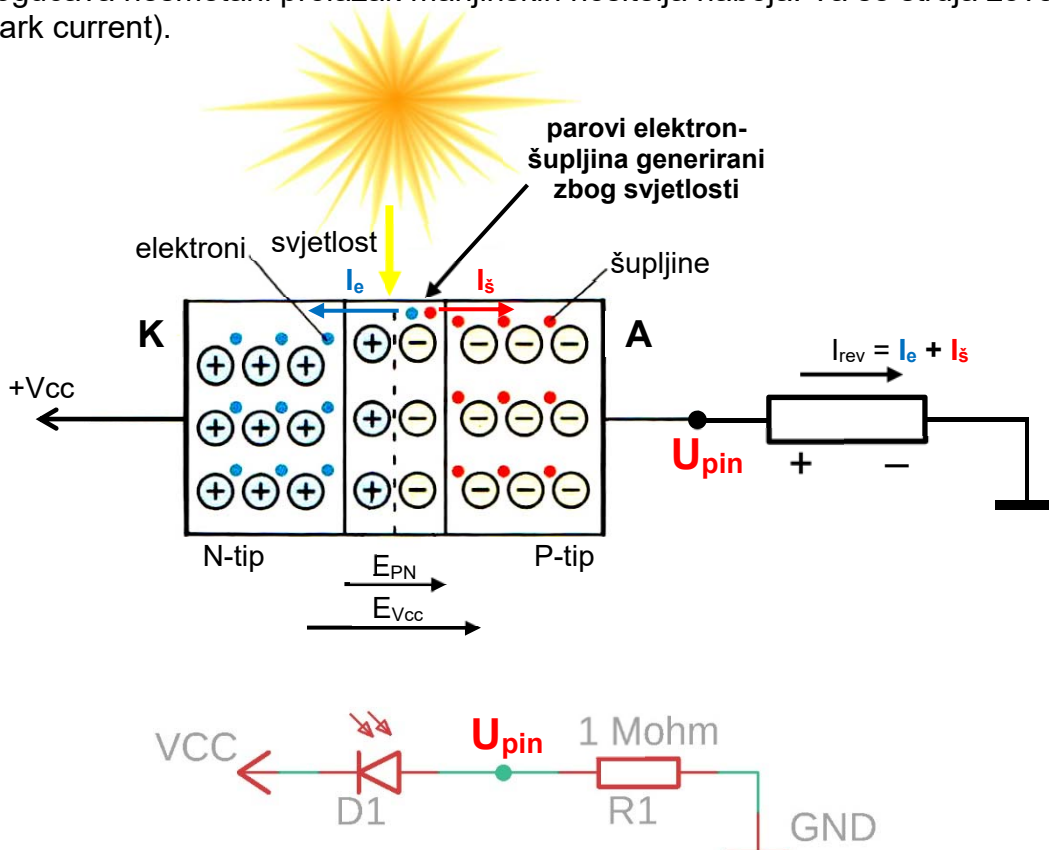
Fotodioda je vrsta poluvodičke diode koja pretvara svjetlost u električnu struju. Često se koristi naziv fotodetektor ili fotosenzor. Fotodioda se koristi u reverznoj polarizaciji, što znači da je katoda spojena na viši potencijal (+), a anoda na niži potencijal (-). Slika 1.



Slika 4. Područja rada fotodiode i standardne LED diode

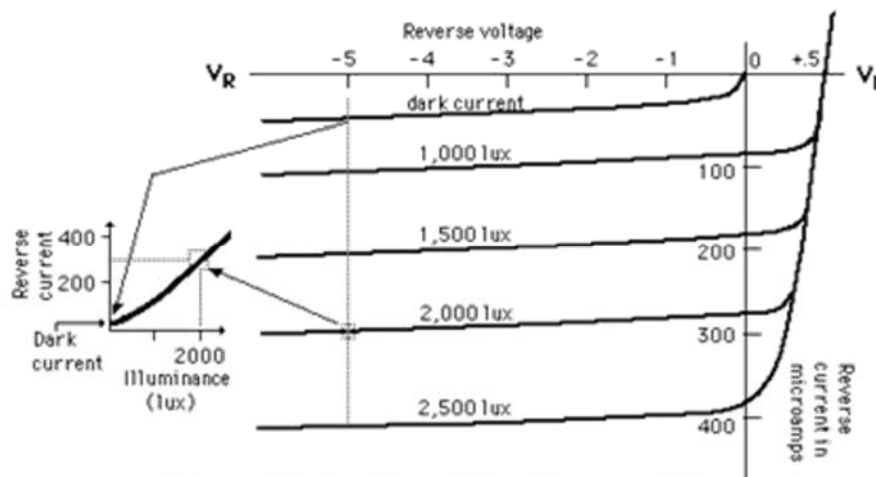
U reverznoj (zapornoj) polarizaciji diode, kroz PN spoj može teći samo struja manjinskih nosilaca.

Kad fotodioda, 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

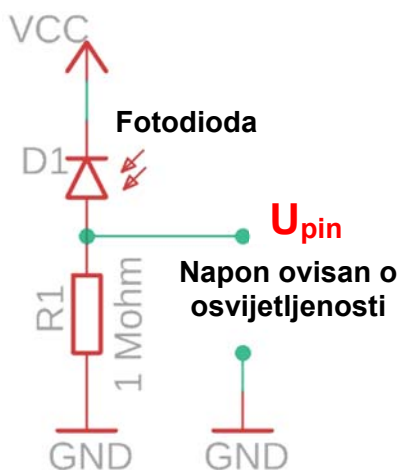
Svjetlost je e-m val, koji se kad putuje kroz prostor ponaša kao val, ali u interakciji s materijom se ponaša kao čestica. Te čestice nazivamo fotonima. Kad fotoni upadnu na pn spoj, dovode dodatnu energiju (uz toplinsku) i time uzrokuju dodatno stvaranje parova nosilaca naboja elektron – šupljina u 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.



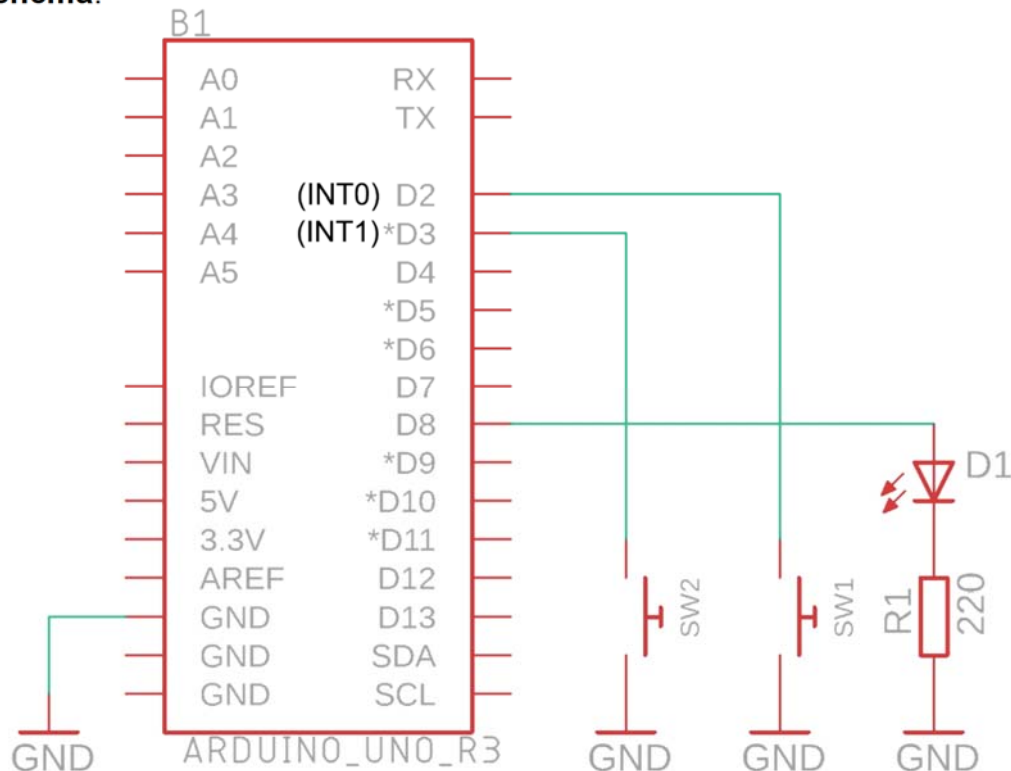
Slika 7. Krystal PN diode u reverznoj polarizaciji

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 $U_{R1} \approx 0$.

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 rst() {             // 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?

Zadatak 4. Doraditi prethodni zadatak koristeći vanjske prekide INT0 i INT1. Spoj nije potrebno mijenjati.

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);

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_SW1), led_off, FALLING); //1
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_SW2), led_on, FALLING); //2
    interrupts();    // globalno omogućavanje rada s prekidima
}

void loop() {        // Glavna programska petlja u kojoj
    digitalWrite(PIN_LED, state);
}

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

//1 najavljujemo vanjski prekid INT0 koji će pokrenuti funkciju Definiramo
ISR cpl (complement) koja izvršava funkciju za komplementiranje pojavom
padajućeg brida na pinu 2

```

//2 Definiramo ISR rst (reset) koja izvršava funkciju resetiranja pojavom padajućeg brida na pinu 3

Zadatak 5. Doraditi prethodni zadatak tako da skратиš interval ispisa brojeva na 200 ms. Doradi program tako da u sredini prvog retka dodatno ispisuješ broj pritisaka na tipke. Tipka za paljenje povećava broj za jedan, a tipka za gašenje smanjuje za jedan. U tu svrhu, ispred funkcije setup() deklarirati varijablu **volatile unsigned int counter = 0;** Prekidne potprograme doraditi sa **counter++;** i **counter--;**. U funkciju loop, dodati dio koda za ispis varijable counter na LCD.

Zadatak 6. Doraditi prethodni zadatak tako da onemogučiš da varijabla counter bude manja od 0. Umjesto **counter--;**, treba upotrijebiti slijedeći kod: **(counter<1) ? counter-- : counter=counter;**

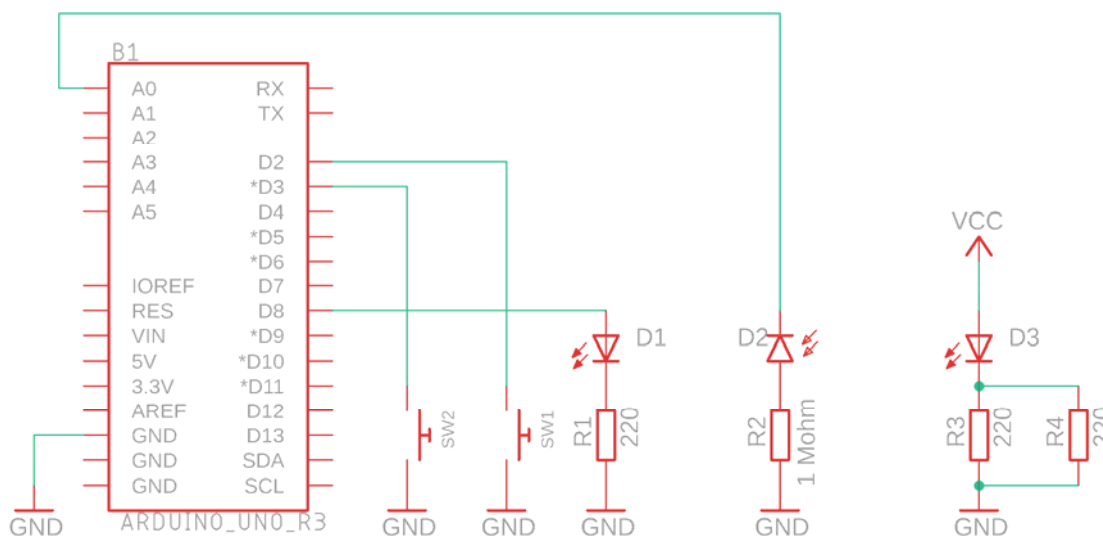
Po potrebi doradi program kako bi popravio ispis na LCD ako counter prijeđe 10 pa se tipkom SW2 vrati na jednoznamenasti broj.

NAKON OVOG ZADATKA POZOVI PROFESORA DA PREGLEDA ISPRAVNOST SKLOPA. POHRANI PROGRAM ZA DALJNJU UPORABU !

Zadatak 7. Bez odspajanja prethodno spojenih komponenata, proširi spoj dodavanjem infracrvene LED diode (D3), te infracrvene fotodiode (D2) prema shemi. IC LED i IC fotodiode trebaju biti usmjerene jedna prema drugoj na razmaku od cca 5 – 7 cm.

- Kao što je u uvodu navedeno, fotodiode (tamno crvena boja) se u krug spaja u reverznoj polarizaciji, u seriji s otpornikom iznosa 1 MΩ.
- Kako bi kroz infracrvenu LED diodu (prozirna dioda) pustili veću struju, potrebno je u seriju staviti otpornik od oko 110 Ω. To se može ostvariti paralelnim spojem 2 otpornika od 220 Ω.

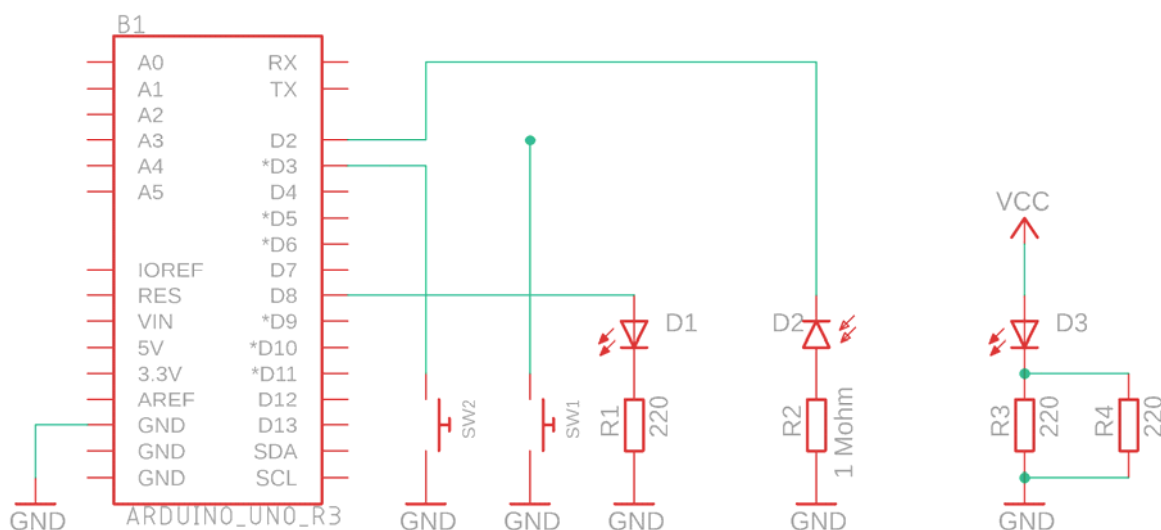
Na Serial monitoru treba pratiti analognu vrijednost u slučaju kad između dioda nema prepreka i kad se umetne prepreka. Očekivane AD vrijednost su otprilike 1000 kad nema prepreke i manje od 300 kad se umetne prepreka.



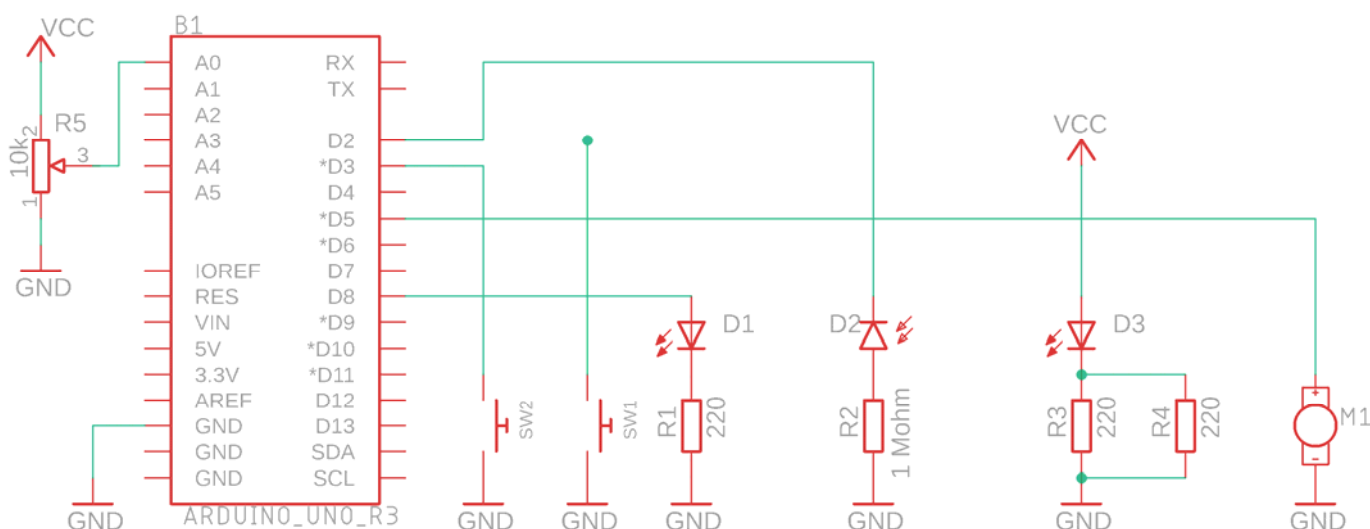
Zadatak 8. Nakon što utvrdiš očekivane AD vrijednosti, naredbu `analogRead()`, zamijeni naredbom `digitalRead()`. Sada na Serial monitoru treba ispisivati digitalnu vrijednost. Doradi program tako da upotrijebiš postojeću diodu na pinu 8. Kad se presječe snop nekom preprekom, dioda treba svijetliti, u suprotnom kad nema prepreke, dioda ne svijetli. Pohrani zadatak za daljnju uporabu.

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.

Za tu svrhu, potrebno je napraviti slijedeću promjenu: odspoji tipkalo SW1 s pina 2 (INT0). Umjesto tipkala na pin 2 spoji vodič koji je bio spojen na pin A0 (središnja točka dijelila Fotodiode – otpornik $R_x = 1\text{M}\Omega$). Na taj način je umjesto tipkala na INT0 spojen izlaz iz fotodiode.



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



Zadatak 11. Proširi kod tako da u sredini drugog retka ispisuješ broj okretaja motora u minuti (RPM). 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 podesiti 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 stanja  
  
counter = 0;  
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pin_SW1), ISR_LED_on, RISING);
```

Pitanja za provjeru znanja:

1. Što je prekidni sustav?

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)