

# Elektronički sustav za kontrolu rada benzinskog motora

---

Starčić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:883509>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-24**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Završni rad

**ELEKTRONIČKI SUSTAV ZA KONTROLU RADA  
BENZINSKOG MOTORA**

Rijeka, srpanj 2024.

Ivan Starčić

0069086080

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Završni rad

**ELEKTRONIČKI SUSTAV ZA KONTROLU RADA  
BENZINSKOG MOTORA**

Mentor: Prof. dr. sc. Miroslav Vrankić

Komentor: v. asist. dr. sc. Zoran Šverko

Rijeka, srpanj 2024.

Ivan Starčić

0069086080

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Rijeka, 20. lipnja 2024.

Zavod: **Zavod za automatiku i elektroniku**  
Predmet: **Elektronika II**  
Grana: **2.03.03 elektronika**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Ivan Starčić (0069086080)**  
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike

Zadatak: **Elektronički sustav za kontrolu rada benzinskog motora**

Opis zadatka:

Predložiti realizaciju sustava za sinkronizirano gašenje svjećica u benzinskom motoru. Opisati postojeća rješenja takvih sustava. Objasniti arhitekturu predloženog sustava te opisati njegove prednosti i nedostatke.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

*Ivan Starčić*

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

*Miroslav Vrankić*

---

prof. dr. sc. Miroslav Vrankić

*Zoran Šverko*

---

dr. sc. Zoran Šverko (komentor)

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

*Dubravko Franković*

---

prof. dr. sc. Dubravko Franković

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ja, Ivan Starčić, student Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, s prebivalištem na adresi Molindrio 7, 52440 Poreč, OIB 45119746612, JMBAG 0069086080, ovim putem izjavljujem pod materijalnom i kaznenom odgovornošću da je moj završni rad pod naslovom: Elektronički sustav za kontrolu rada benzinskog motora, isključivo moje autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu.

Rijeka, srpanj 2024.

---

Ivan Starčić



# Sadržaj

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD .....   | 1  |
| 2. PRINCIP RADA OTTO MOTORA S UNUTARNJIM IZGARANJEM .....             | 2  |
| 3. PRINCIP RADA MJENJAČA .....  | 3  |
| 4. OSNOVNI PRINCIP RADA BRZOG MJENJAČA.....                           | 5  |
| 5. PRINCIP RADA SOFTWAREA.....  | 7  |
| 5.1 Okretaji u minuti motora s unutarnjim izgaranjem .....            | 9  |
| 5.2 Brzina kretanja motocikla .....                                   | 10 |
| 5.3 Omjer stupnja prijenosa .....                                     | 11 |
| 5.4 Matrica vremena gašenja svjećica.....                             | 13 |
| 6. IZRADA TISKANE PLOČICE .....                                       | 15 |
| 6.1 Izrada sheme.....   | 15 |
| 6.1.1 Konektor.....   | 16 |
| 6.1.2 Sklop za upravljanje MOSFET-om i relejem .....                  | 17 |
| 6.1.2 Shema otpornog djelila, "pulldown" otpornika i zener diode..... | 19 |
| 6.1.3 Shema arduino.....  | 20 |
| 6.2 Izrada tiskane pločice .....                                      | 22 |
| 7. INSTALACIJA SKLOPA NA MOTOCIKL .....                               | 27 |
| 8. ZAKLJUČAK .....  | 30 |
| 9. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....                                      | 31 |
| Popis slika .....   | 32 |
| Popis tablica .....   | 33 |
| Literatura .....  | 34 |
| Programi korišteni pri izradi projekta .....                          | 35 |

## 1. UVOD

Na ovom projektu radit će se na unaprijeđivanju načina mijenjanja stupnja prijenosa. Vozne karakteristike cestovnog motocikla u posljednjih 20 godina se nisu pretjerano mijenjale. Elektronika je značajno napredovala i koristi se pri unaprijeđenju sljedećih sustava: kontrola protu-proklizavanja kotača, ABS-a, aktivnog ovijesa, digitalnog zaslona te unaprijeđenja promjene stupnja prijenosa čime se bavimo u ovom projektu.

Brzi mjenjač eng.(*quickshifter*) se u današnje vrijeme nalazi u glavnoj kontrolnoj jedinici za rad motora s unutarnjim izgaranjem (isključivo kao softver eng. *software*), dok se kao nadogradnja može kupiti od proizvođača trećih strana kao zasebna komponenta.

Brzi mjenjač značajno smanjuje opterećenje vozača te smanjuje ljudsku grešku koja može rezultirati oštećenjem komponenata prijenosa.

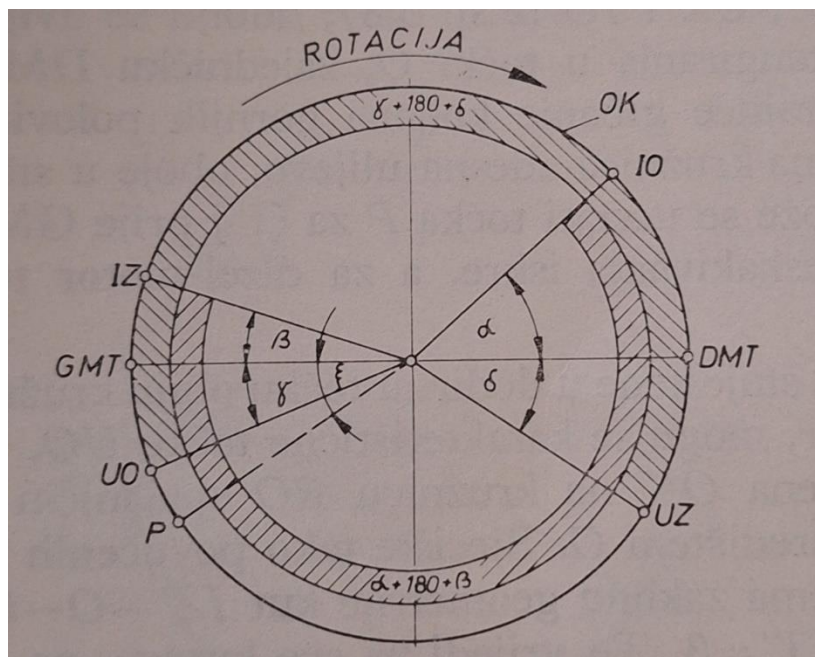
Za shvaćanje principa rada brzog mjenjača prvo ćemo proći osnove rada motora s unutarnjim izgaranjem i mjenjača.



## 2. PRINCIP RADA OTTO MOTORA S UNUTARNJIM IZGARANJEM

Princip rada Otto motora s unutarnjim izgaranjem možemo podijeliti na četiri takta (prikazano Slikom 2.1):

1. Prvim taktom usisava se smjesa zraka i goriva (od točke UO do UZ).
2. Drugim taktom smjesa se sabija te nekoliko stupnjeva prije nego što klip dostigne najvišu mrtvu točku svjećica zapali smjesu (od točke UZ do P).
3. U trećem taktu smjesa gori i gura klip prema dolje te obavlja rad (od točke GMT do IO).
4. U četvrtom taktu produkti sagorijevanja (vodena para, ugljikov monoksid, ugljikov dioksid, dušikovi oksidi, krute čestice) se izbacuju van te ciklus počinje ponovno (od točke IO do IZ).



Slika 2.1 Razvodni dijagram četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem

### 3. PRINCIP RADA MJENJAČA

Razlog zbog kojeg nam treba mjenjač u pogonu vozila koji je pogonjen motorom s unutarnjim izgaranjem pa tako i vozila pogonjena električnim strojem je prilagodba okretaja stroja na željenu brzinu kretanja vozila.

Razlike mjenjača na motociklu i automobilu su velike te se ista stvar ne bi mogla implementirati na automobilu s ručnim mjenjačem.



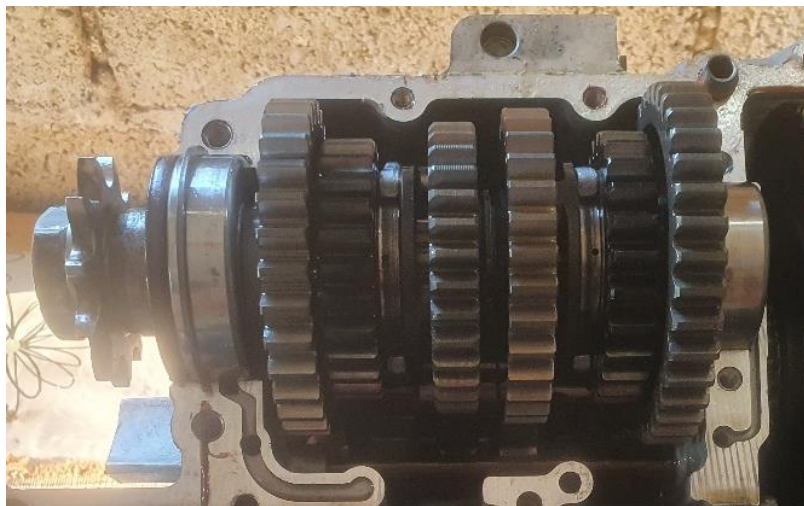
*Slika 3.1 Sinkronizirani automobilski mjenjač*

Konusna tarva spojka (sinkron) je prstenasti uređaj koji se postavlja između pogonjenog zupčanika i kandžaste spojke.

On ima 2 glavne zadaće:

1. Izjednačava dvije različite brzine dvoje rotirajućih objekata.
2. Mora moći mehanički spojiti dva objekta zajedno.

Kandžasta spojka ima veliki dosjed između kandži pa sinkroniziranje nije potrebno, ali nedostatak takve spojke je dosta grubo mijenjanje.



*Slika 3.2. Mjenjač u motoru motocikla*



*Slika 3.3. Kandžasta spojka*

## 4. OSNOVNI PRINCIP RADA BRZOG MJENJAČA

Neovisno o kojoj vrsti mjenjača govorimo promjeni stupnja prijenosa uvijek mora prethoditi redukcija momenta u mjenjaču.

Vodeći se navedenom definicijom uočavamo da se promjena stupnja prijenosa na motociklu može napraviti na 3 različita načina:

1. Uobičajen način kakav susrećemo i na automobilima s ručnim mjenjačem. Prilikom otpuštanja papučice gasa istovremeno stišćemo kvačilo. Kada je papučica kvačila stisnuta do kraja uklonili smo moment na mjenjaču te tada pomičemo ručicu mjenjača i biramo željeni stupanj prijenosa. Otpuštamo kvačilo i polako pritišćemo gas.
2. Kada želimo promijeniti stupanj prijenosa lagano naslonimo nogu na polugu za promjenu stupnja prijenosa, potom naglo smanjujemo gas. Značajno smo smanjili moment na mjenjaču, mijenjamo stupanj prijenosa te što je moguće prije ponovno dodajemo gas jer ćemo početi decelerirati te promjena neće biti ugodna za vozača i može biti štetna za prijenos motocikla.
3. Način kojim se bavimo u ovom projektu. Na poluzi za promjenu stupnja prijenosa nalazi se senzor pritiska. Guranjem noge o polugu, senzor očitava da vozač želi promijeniti stupanj prijenosa te brzi mjenjač uklanja moment s mjenjača. Nakon promjene moment se vraća te nastavljamo voziti bez potrebe stiskanja kvačila ili promjene položaja ruke na akceleratoru.

Postoje dvije vrste brzih mjenjača. Razlikuje ih način kojim vrše uklanjanje momenta:

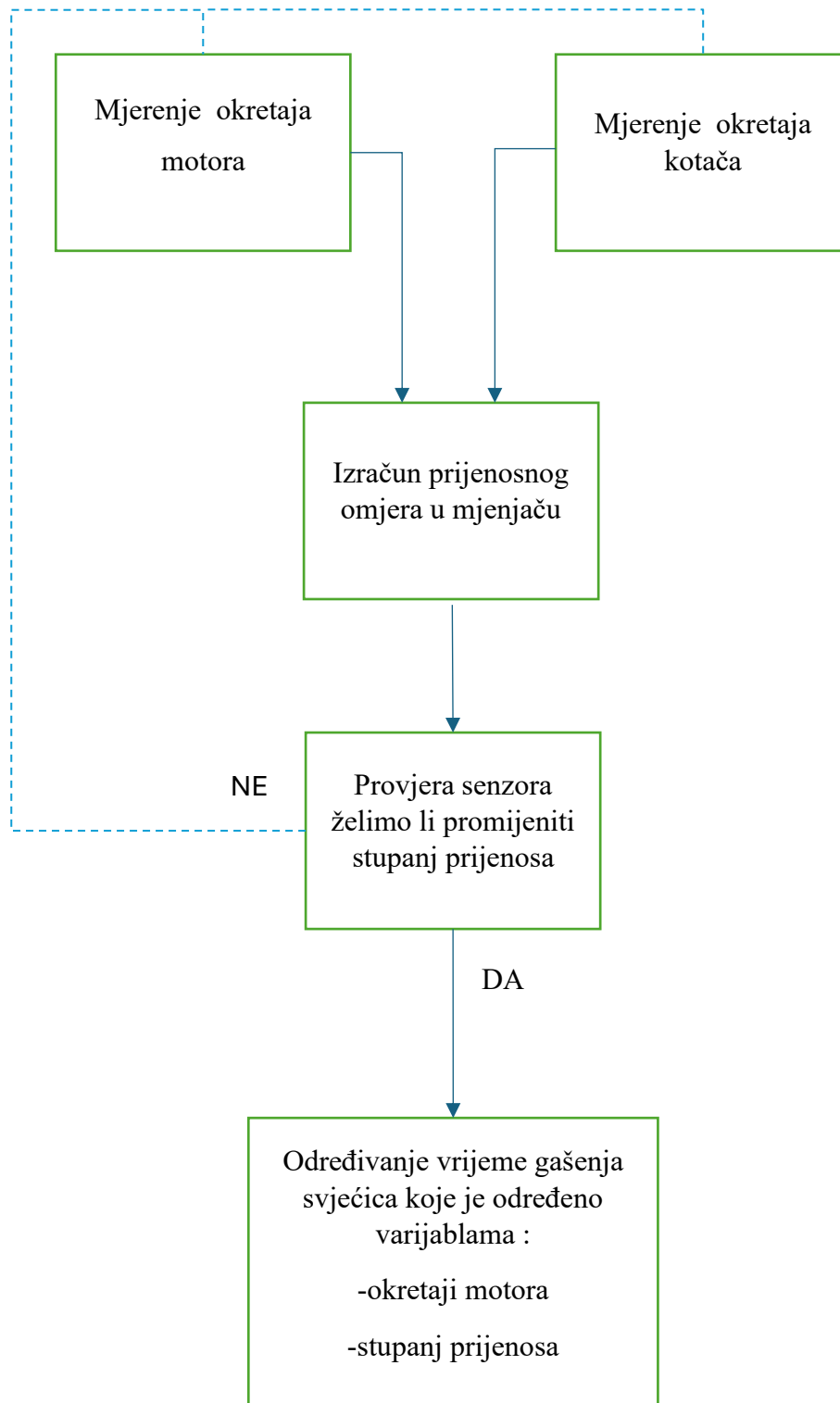
1. Prvi način je gašenje injektora za ubrizgavanje goriva. Razlozi zašto ne želimo koristiti ovakvu vrstu upravljanja su navedeni u nastavku. U motorima s unutarnjim izgaranjem gdje se injektor nalazi između leptir ventila za zrak i usisnih ventila, između ventila i injektora na stijenki glave i usisne cijevi nalazi se ukapljeno gorivo. Količina tog goriva ovisi o tlaku i brzini zraka te ono može biti dostatno da motor radi još par ciklusa. Prilikom potrošnje ukapljenog goriva na stjenkama glave i usisne cijevi nakon gašenja injektora, smjesa zraka i goriva u cilindru odlazi izvan sigurne zone odnosno koeficijent  $\lambda$  (koeficijent pretička zraka) postaje veći od 1 (previše mase zraka u odnosu na masu goriva) zbog čega može doći do neželjenih detonacija unutar cilindra i do oštećenja motora. Prilikom ponovnog paljenja injektora može se dogoditi ista stvar zato jer se dio goriva

ukapljuje na stijenkama umjesto da ulazi u cilindar. Može biti i do 2 puta sporija promjena stupnja prijenosa zato jer motor razvija moment dok se ne potroši svo ukapljeno gorivo.

2. Drugi način je gašenje svjećica i taj način je odabran za korištenje u ovom projektu iz razloga navedenih u nastavku. Nemamo problema sa neželjenim detonacijama unutar motora jer injektori i dalje ubrizgavaju gorivo, ali se ono ne zapali te brže je od načina kada se gase injektori. Jedini nedostatak je da prilikom paljenja svjećice nastaju veliki naponi u sustavu paljenja, ali to je lako rješivo sa ispravnim odabirom komponenata (na to ćemo se ponovno vratiti u nastavku).

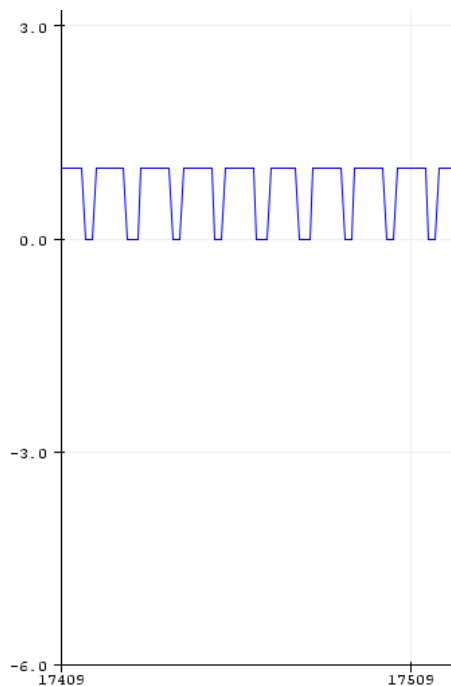
## 5. PRINCIP RADA SOFTWAREA

Sljedeća slika opisuje osnovni princip rada softwarea.



Slika 5.1. Shematski prikaz izvođenja programa

Prvi korak je izrada koda pomoću kojeg arduino izračunava frekvenciju pravokutnog signala prikazanog na slici 5.2



*Slika 5.2 Prikaz signala okretaja motora s unutarnjim izgaranjem*

U nastavku slijedi kod koji pretvara signal prikazan na slici 5.2 u frekvenciju.

```
#define MainPeriod 100 //definiranje perioda

long previousMillis = 0; // pohranjuje zadnje vrijeme ciklusa
volatile unsigned long duration=0; // akumulira širinu impulsa
volatile unsigned int pulsecount=0;
volatile unsigned long previousMicros=0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(0, myinhandler, RISING); // odabir interupt pina na arduinu te
                                           //da li želimo padajući ili uzlazni brid
}
void myinhandler() // prukupljanje signala sa interupt pina
{
  unsigned long currentMicros = micros();
  duration += currentMicros - previousMicros;
  previousMicros = currentMicros;
  pulsecount++;
}
```

```

void loop()
{
  unsigned long currentMillis = millis();

  if (currentMillis - previousMillis >= MainPeriod) // oduzimanjem vremena
                                                    //prošlog i trenutnog ciklusa dobivamo period
  {
    previousMillis = currentMillis;
    unsigned long _duration = duration;
    unsigned long _pulsecount = pulsecount;
    duration = 0; // brisanje brojača
    pulsecount = 0;
    float Freq = 1e6 / float(_duration); // trajanje je u mikro sekundama zbog toga je 1e6 / T

    Freq *= _pulsecount; // računamo frekvenciju
    Serial.print("Frequency: "); // ispis podataka na računalu
    Serial.print(Freq);
    Serial.println("Hz");
  }
}

```

Nakon što imamo kod koji nam računa frekvenciju pravokutnog signala možemo izračunati okretaje motora i brzinu kretanja motocikla.

### 5.1 Okretaji u minuti motora s unutarnjim izgaranjem

Izračunavanje okretaja u minuti motora s unutarnjim izgaranjem je navedno sljedećom relacijom:

$$\text{okretaji u minuti} = \text{frekvencija} * 60 \quad (5.1)$$

Frekvencija se množi sa 60 tako da se sekunde pretvore u minute.

U nastavku slijedi kod koji pretvara frekvenciju u okretaje u minuti.

```

Freq_1 *= _pulsecount_1;
float rpm = Freq_1 * 60;

```



Frekvencija: 56.75 Hz ,Okretaji: 3472.22 Rpm  
Frekvencija: 57.87 Hz ,Okretaji: 3479.47 Rpm  
Frekvencija: 57.99 Hz ,Okretaji: 3506.86 Rpm  
Frekvencija: 58.45 Hz ,Okretaji: 3521.13 Rpm  
Frekvencija: 58.69 Hz ,Okretaji: 3512.33 Rpm  
Frekvencija: 58.54 Hz ,Okretaji: 3557.87 Rpm  
Frekvencija: 59.30 Hz ,Okretaji: 3592.53 Rpm  
Frekvencija: 59.88 Hz ,Okretaji: 3595.40 Rpm  
Frekvencija: 59.92 Hz ,Okretaji: 3619.69 Rpm  
Frekvencija: 60.33 Hz ,Okretaji: 3629.32 Rpm  
Frekvencija: 60.49 Hz ,Okretaji: 3668.68 Rpm  
Frekvencija: 61.14 Hz ,Okretaji: 3651.41 Rpm  
Frekvencija: 60.86 Hz ,Okretaji: 3651.41 Rpm

*Slika 5.3. Prikaz izračunate frekvencije i okretaja motora s unutarnjim izgaranjem*

## **5.2 Brzina kretanja motocikla**

Frekvencija se dijeli sa brojem 6 zato jer je 6 impulsa za jedan okret kotača.

Sve se množi sa 3600 zato da se sekunde pretvore u sate.

$$\text{brzina kretanja motocikla}[km/h] = \frac{\text{frekvencija}}{6} * 3600 * \text{opseg kotača}[km] \quad (5.2)$$

```

Frequency: 25.15Hz
Brzina: 29.54 Km/h
Frequency: 25.64Hz
Brzina: 30.11 Km/h
Frequency: 25.35Hz
Brzina: 29.77 Km/h
Frequency: 24.47Hz
Brzina: 28.74 Km/h
Frequency: 24.17Hz
Brzina: 28.39 Km/h
Frequency: 24.98Hz
Brzina: 29.34 Km/h
Frequency: 25.71Hz
Brzina: 30.19 Km/h
Frequency: 24.61Hz
Brzina: 28.90 Km/h
Frequency: 23.89Hz
Brzina: 28.06 Km/h
Frequency: 23.84Hz
Brzina: 27.99 Km/h
Frequency: 24.94Hz
Brzina: 29.29 Km/h
Frequency: 24.69Hz

```

*Slika 5.4 Prikaz izračunate frekvencije i brzine kretanja motocikla*

U nastavku slijedi kod koji pretvara signal frekvenciju senzora kotača u brzinu kretanja motocikla.

```

Freq *= _pulsecount;
float brzina = (Freq / 6) * 60 * 60 * 0.0019573;

```

### 5.3 Omjer stupnja prijenosa

Za izračun omjera stupnja prijenosa potrebno je prije izračunati okretaje motora te brzinu kretanja motocikla.

$$\text{omjer stupnja prijenosa} = \frac{\frac{\text{dijametar kotača}}{2} * 0.10472 * 3.6 * \text{okretaji motora}}{\text{brzina kretanja motocikla} * \text{završni prijenos lančanika}} \quad (5.3)$$

U nastavku slijedi kod koji izračunava omjer stupnja prijenosa u mjenjaču.

```
float omjer = ((0.6238 / 2) * 0.10472 * 3.6 * rpm) / (brzina * 5.6672);
```

Omjer zupčanika u mjenjaču za prvi stupanj prijenosa je 2,5. Gledajući sliku 5.5 vidimo da je izračunati omjer ima zanemariva odstupanja.

```
Omjer: 2.49 ,Okretaji: 3749.06 Rpm  
  
Omjer: 2.53 ,Okretaji: 3725.78 Rpm  
  
Omjer: nan ,Okretaji: 3712.87 Rpm  
  
Omjer: 2.50 ,Okretaji: 3740.65 Rpm  
  
Omjer: nan ,Okretaji: 3747.50 Rpm  
  
Omjer: 2.52 ,Okretaji: 3735.99 Rpm
```

*Slika 5.5 Prikaz izračunatog omjera prvog stupnja prijenosa i okretaja motora s unutarnjim izgaranjem*

Omjer zupčanika u mjenjaču za drugi stupanj prijenosa je 1,71. Gledajući sliku 5.6 vidimo da je izračunati omjer ima zanemariva odstupanja.

```
Omjer: 1.71 ,Okretaji: 3631.08 Rpm  
  
Omjer: 1.74 ,Okretaji: 3604.04 Rpm  
  
Omjer: 1.73 ,Okretaji: 3589.09 Rpm  
  
Omjer: 1.71 ,Okretaji: 3639.01 Rpm
```

*Slika 5.6 Prikaz izračunatog omjera drugog stupnja prijenosa i okretaja motora s unutarnjim izgaranjem*

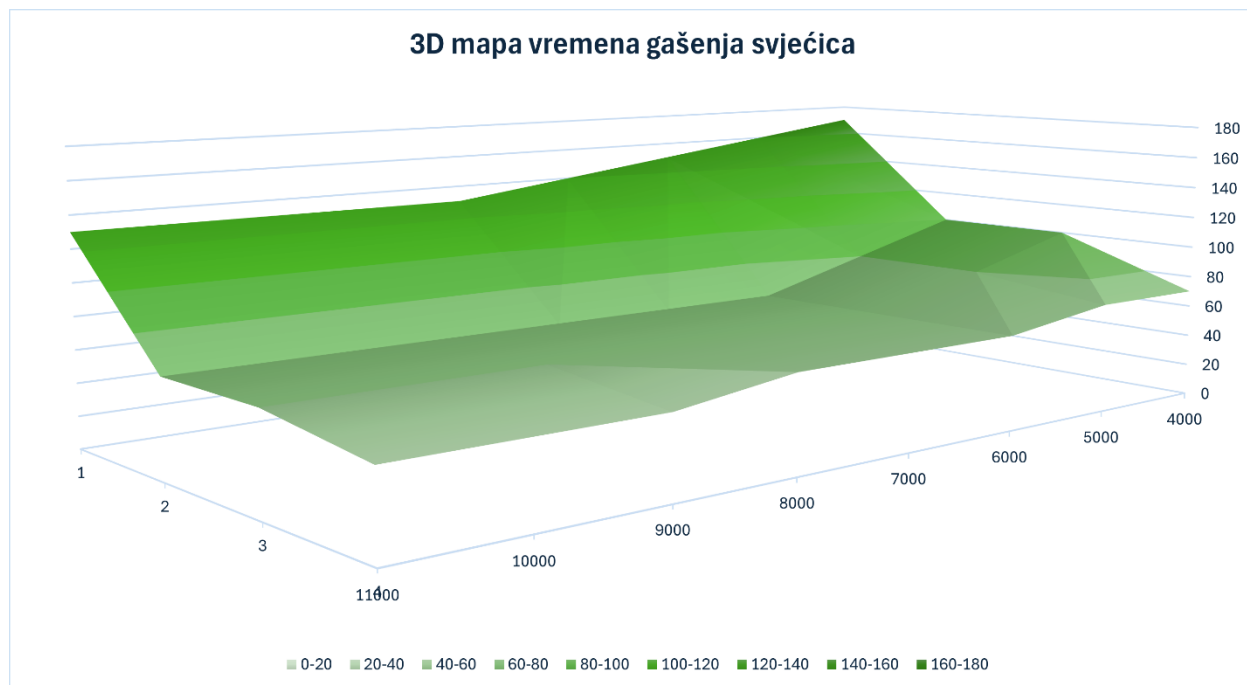
## 5.4 Matrica vremena gašenja svjećica

Svaki stupac je jedan stupanj prijenosa. Svaki red matrice predstavlja 1000 okretaja u minuti motora s unutarnjim izgaranjem počevši od 4000 okretaja u minuti. Sve vrijednosti u petom stupnju prijenosa su nule zato što ako slučajno gurnemo polugu dobit ćemo neugodni trzaj prilikom vožnje te to služi kao osiguranje.

```
int mapa[8][5] = {
    {170, 80, 80, 70, 0},
    {160, 70, 70, 70, 0},
    {150, 60, 60, 60, 0},
    {140, 60, 60, 60, 0},
    {130, 60, 60, 60, 0},
    {130, 60, 60, 50, 0},
    {130, 60, 60, 50, 0},
    {130, 60, 60, 50, 0}
};

int vrijeme = mapa[okretaji_motora][brzina_mjenjaca];
```

Slikom 5.7. prikazana je 3D mapa vremena gašenja svjećica ovisno o stupnju prijenosa i okretaja motora s unutarnjim izgaranjem.



Slika 5.7 3D mapa vremena gašenja svjećica ovisno o stupnju prijenosa i okretaja motora s unutarnjim izgaranjem

Na x-osi nalazi se stupanj prijenosa mjenjača. Na y-osi nalaze se okretaji u minuti motora s unutarnjim izgaranjem. Na z-osi nalazi se vrijeme gašenja svjećica izraženo u milisekundama.

Uočavamo da su velike razlike u vremenu gašenja prilikom prebacivanja iz prvog u drugi stupanj prijenosa te između visokih i niskih okretaja. Vrijeme gašenja je dobiveno eksperimentalno uz prethodno očekivane brojeve u rasponu od 50 do 150 mili sekundi.

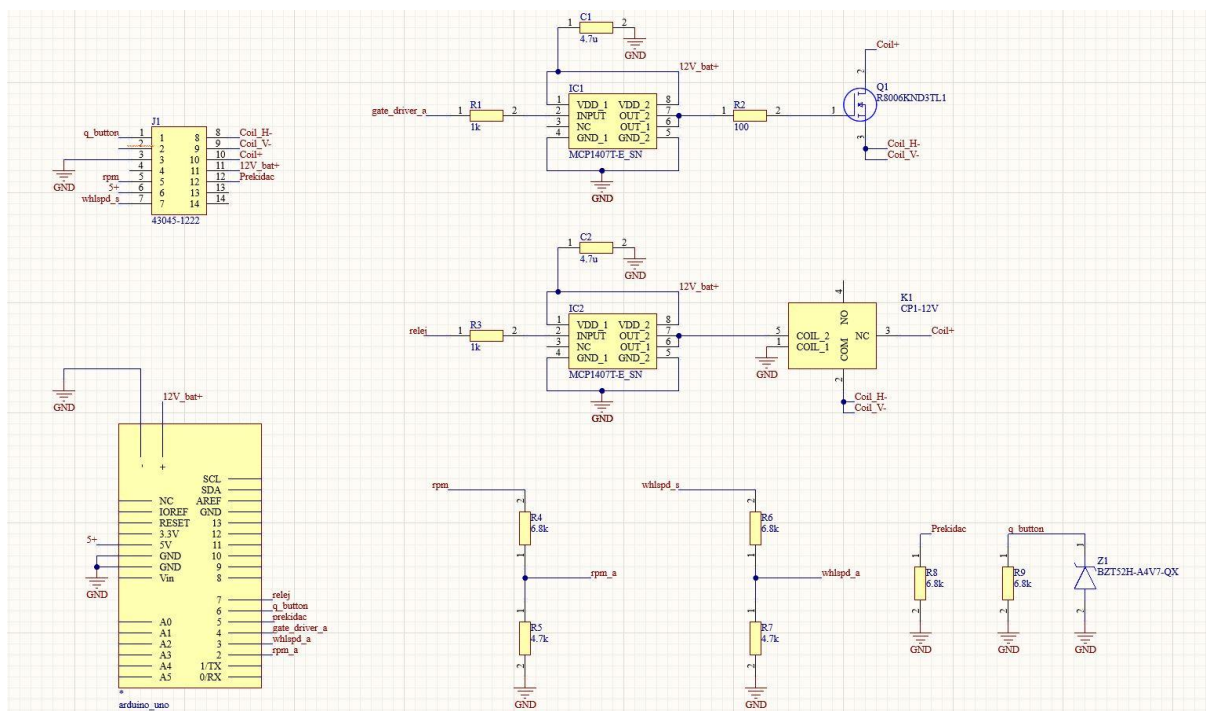
Primjer odabira vremena gašenja opisan je u nastavku. Ukoliko arduino očitava 6200 okretaja u minuti i nalazimo se u drugom stupnju prijenosa, promatrajući matricu vremena gašenja svjećica nalazimo se u trećem redu matrice i drugom stupcu te dobivamo vrijeme gašenja od 80 mili sekundi.

## 6. IZRADA TISKANE PLOČICE

Pločica je dizajnirana koristeći programski paket Altium Designer. Izrada sheme te potom 3D dizajn pločice su 2 glavna dijela procesa konstrukcije printane pločice.

### 6.1 Izrada sheme

Na sljedećoj slici nalazi se cijela shema te ćemo proći kroz svaki njen dio te ga pobjliže objasniti.

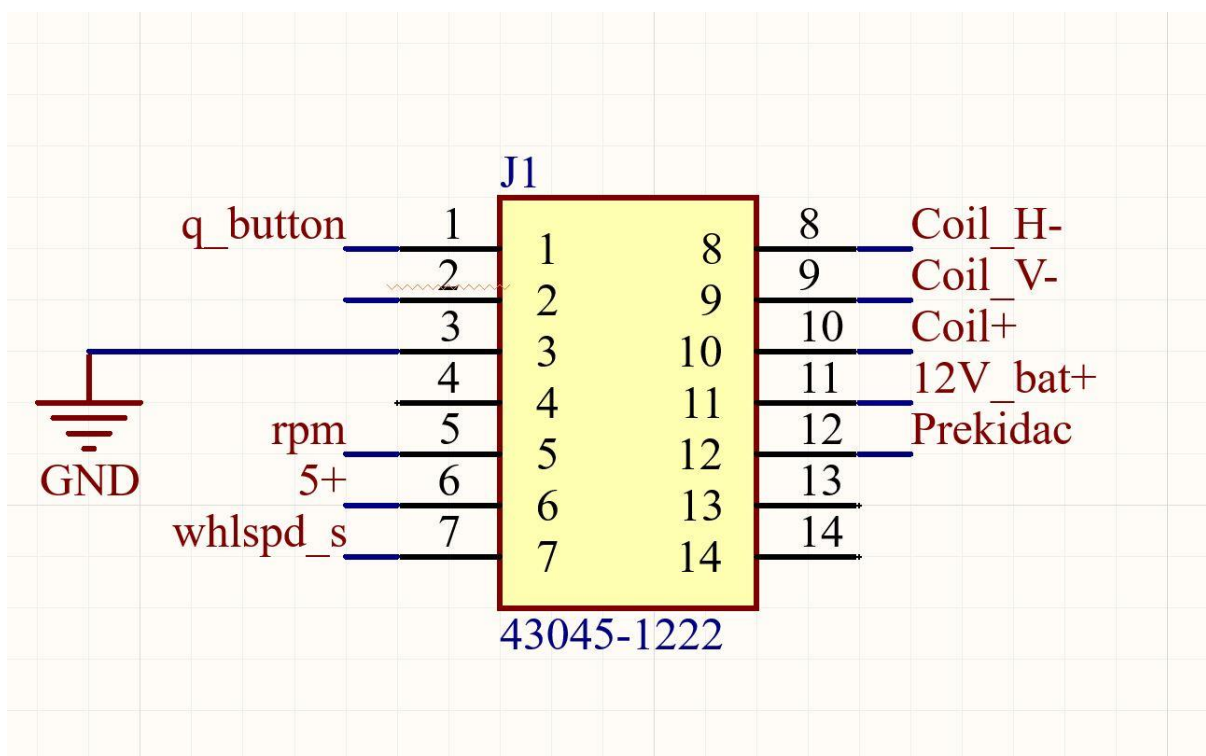


Slika 6.1 Shema sklopa

### 6.1.1 Konektor

Slijedi objašnjenje svakog ulaza/izlaza na konektoru (Slika 6.2).

1. q\_button – spaja se na piezoelektrični senzor koji se nalazi na poluzi mjenjača koju vozač pritišće lijevom nogom prilikom promjene stupnja prijenosa
3. GND – minus arduina koji se spaja na šasiju vozila
5. rpm – ulazni signal okretaja motora s unutarnjim izgaranjem
6. 5+ – izlaz 5 volti
7. whlspd\_s – ulazni signal s hall effect senzora koji očitava rotaciju stražnjeg kotača
8. Coilil\_H- – izlaz na indukcijski svitak za horizontalni cilindar
9. Coilil\_V- – izlaz na indukcijski svitak za vertikalni cilindar
10. Coil+ – ulaz za napajanje indukcijskih svitaka
11. 12V\_bat+ – ulazni napon s baterije za napajanje arduina
12. Prekidac – dodatni ulaz ako je potrebno.



Slika 6.2 Shematski prikaz konektora

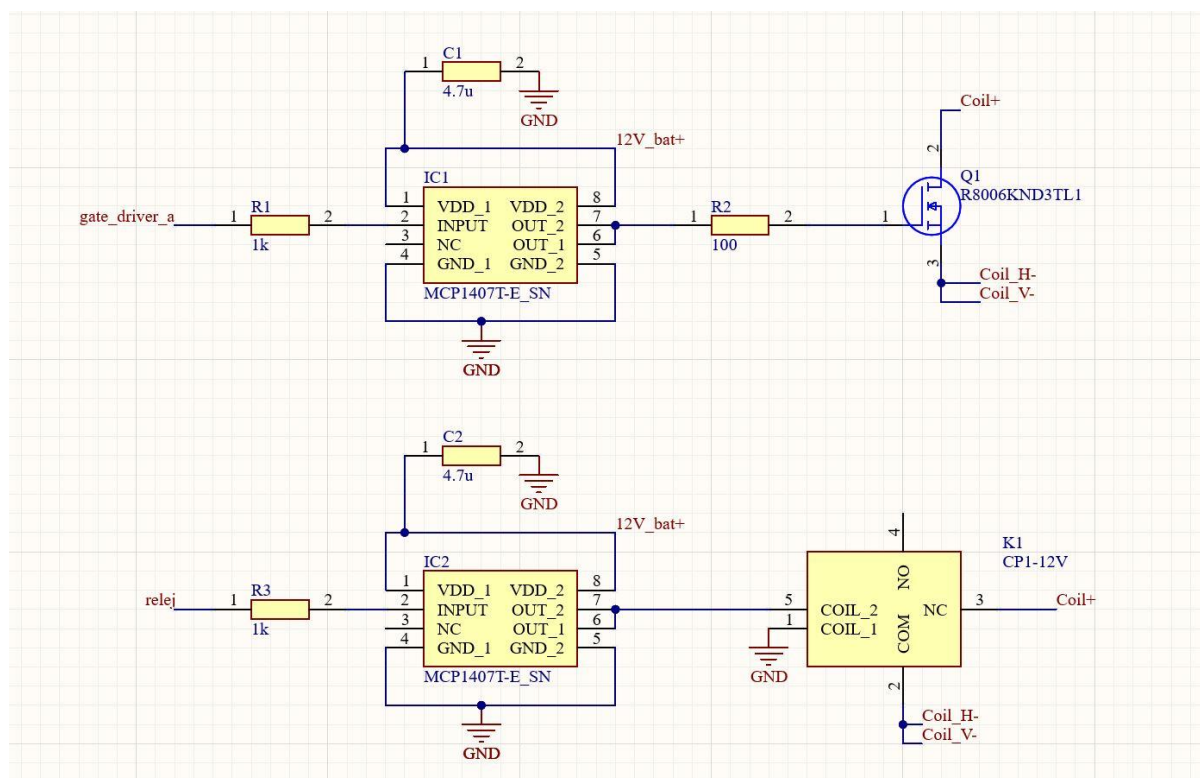
## 6.1.2 Sklop za upravljanje MOSFET-om i relejem

Slijedi objašnjenje sklopa na Slici 6.3.

Gate\_driver\_a i relej su izlazi s arduina za upravljanje relejem i MOSFET-om.

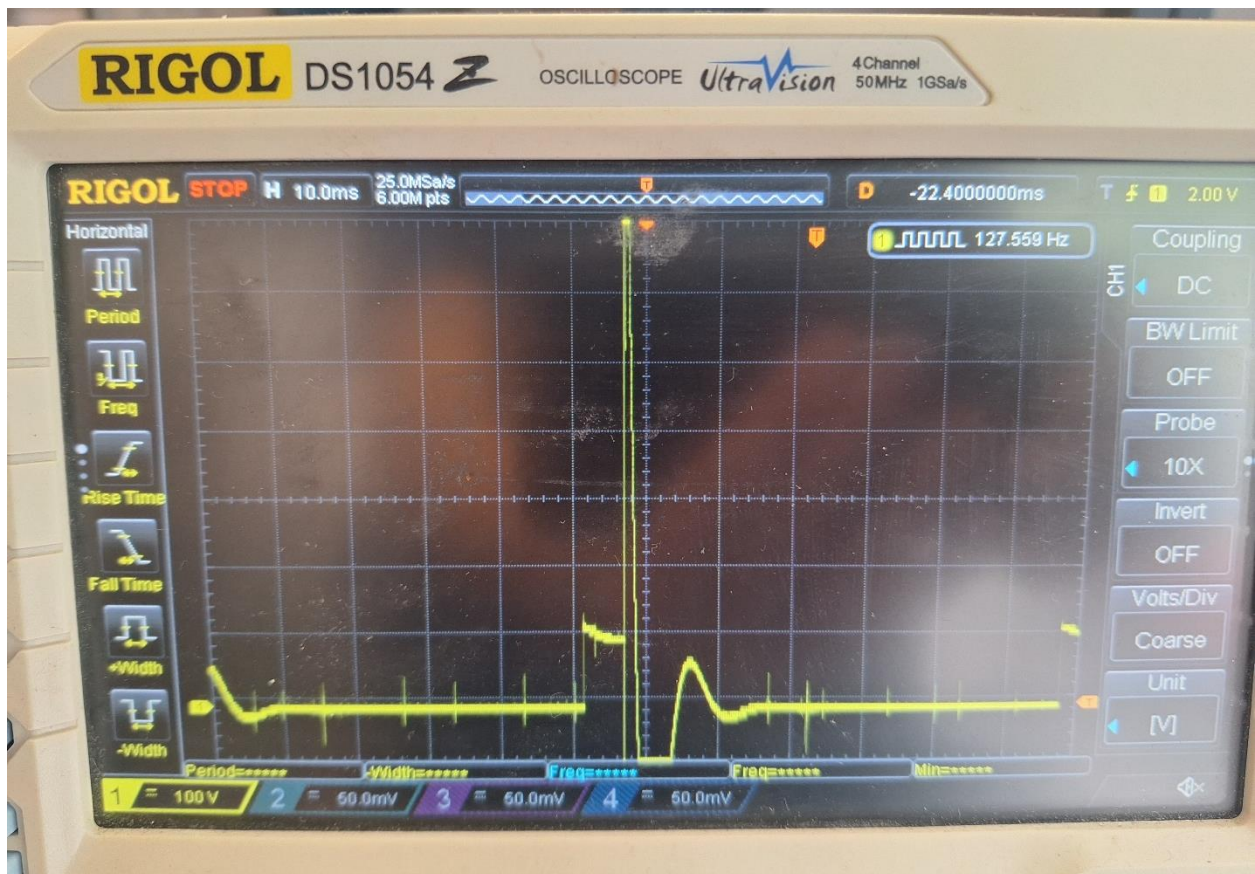
MCP1407 je integrirani krug koji služi za upravljanje MOSFET-ima. Arduino ima maksimalni izlazni napon od 5 volti što nam jako ograničava izbor MOSFET-a zbog visokonaponskih zahtjeva. S 5 volti od arduina upravljamo paljenjem i gašenjem MOSFET-a, a 12 volti dovodimo na upravljačku elektrodu (eng. *gate*) MOSFET-a. MCP1407 nije dizajniran za upravljanjem releja, ali ga se bez ikakvih problema može za to koristiti.

R8006KND3TL1 je N-kanalni MOSFET koji je primarno odabran zbog odvod-uvod (eng. *drain-source*) napona od 800 volti. To je potrebno jer se prilikom uspostavljanja električkog luka preko elektroda svječice javljaju visoki naponi koji mogu oštetiti MOSFET.



Slika 6.3 Shema sklopa za upravljanje MOSFET-om i relejem





*Slika 6.4 Valni oblik napona na indukcijskom svitku*

CP1-12V je oznaka releja. On služi kako bi premostio MOSFET prilikom paljenja motora. Gate je spojen na bateriju te kako napon padne prilikom paljenja motora starter povuče veliku struju te otpor MOSFET-a naraste. Zbog nemogućnosti namještanja duljine punjenja indukcijskog svitka energija nakupljena u njemu je nedovoljna da se električni luk stvori preko elektrode svijećice. Kod normalnog rada motora to nije problem jer je otpor MOSFET-a zanemariv.

### 6.1.2 Shema otpornog djelila, "pulldown" otpornika i zener diode

Slijedi objašnjenje sklopa na Slici 6.5.

1. rpm – ulazni signal sa motocikla za okretaje motora s unutarnjim izgaranjem
2. whlspd\_s – ulazni signal s motocikla za okretaje stražnjeg kotača
3. Prekidac – dodatni digitalni ulaz
4. q\_button – ulaz senzora poluge mjenjača za promjenu stupnja prijenosa

Digitalni ulazi rpm i whlspd\_s su pravokutni signali koji imaju vrijednosti od 0 do 12 volti. Maksimalni napon koji možemo priključiti na arduino je 5 volti što znači da moramo spustiti napon. To radimo pomoću otpornog djelila.

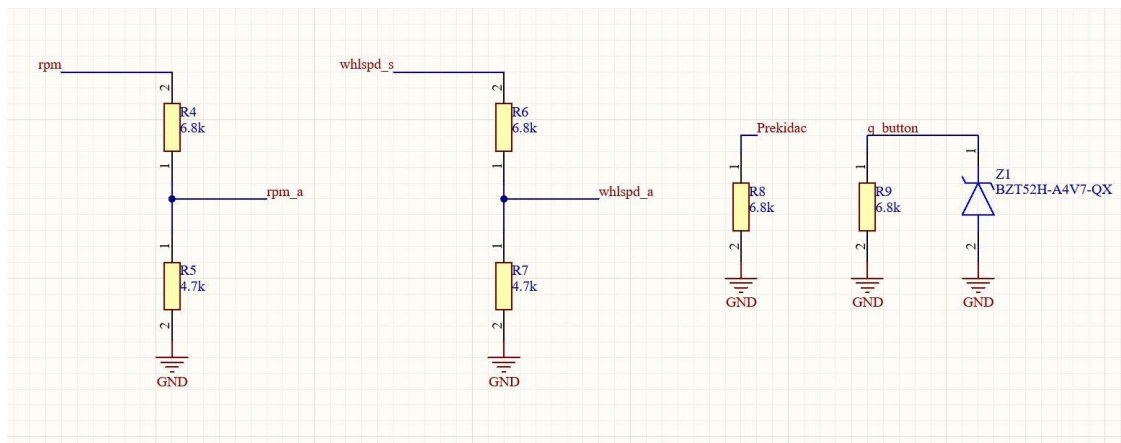
Glavni nedostatak otpornog djelila su veliki gubitci, ali kako su tu struje jako male pa su i gubitci odnosno zagrijavanje zanemarivi.

Jednadžba otpornog djelila

$$Izlazni\ napon[V] = \frac{Ulazni\ napon[V] * R4[\Omega]}{(R4[\Omega] + R5[\Omega])} \quad (6.1)$$

$$\frac{12 * 6800}{(6800 + 4700)} = 4.904\ V$$

Na digitalne ulaze Prekidac i q\_button spojeni su "pulldown" otpornike kako digitalni ulazi na arduinu ne bi ostali stanju "floating". Zener dioda služi za ograničavanje napona od piezoelektričnog senzora tlaka koji je spojen na polugu mjenjača za promjenu stupnja prijenosa.



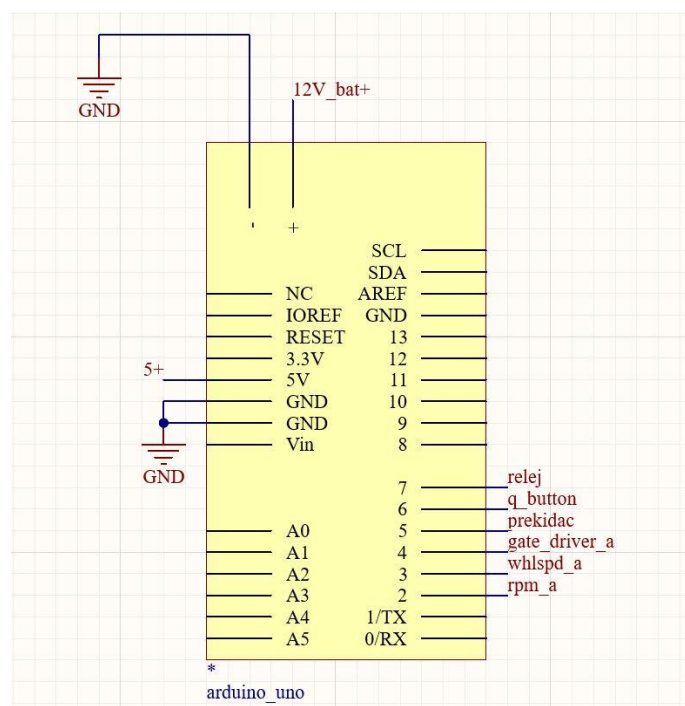
Slika 6.5 Shema otpornog dijelila, "pulldown" otpornika i zener diode

### 6.1.3 Shema arduino

Slijedi objašnjenje sklopa na Slici 6.6.

1. relej – digitalni izlaz za upravljanje relejom
2. q\_button – digitalni ulaz za čitanje poluge mjenjača za promjenu stupnja prijenosa
3. prekidac – digitalni ulaz za dodatni prekidač
4. gate\_driver\_a – digitalni izlaz za upravljanje MOSFET-om
5. whlspd\_a – digitalni ulaz za okretaje stražnjeg kotača spušten s 12 na 5 volti otpornim djelilom
6. rpm – digitalni ulaz za okretaje motora s unutarnjim izgaranjem spušten s 12 na 5 volti otpornim djelilom

Arduino platforma je odabrana zbog već prijašnjeg poznavanja sučelja te načina programiranja. Također, procesorska snaga je i više nego dovoljna za ovako jednostavne izračune. Izbor je bio između Uno i Nano mikrokontrolera. Oboje koriste isti procesor atmega328 te imaju dostatan broj digitalnih pinova no je Nano značajnije manji. Odabran je Uno zbog toga što Nano koristi oscilator, a Uno kvarcni kristal. Kvarcni kristal ima preciznije oscilacije od oscilatora, te je temperaturno stabilniji jer se sklop nalazi blizu ispuha motocikla. To je prevagnulo u odluci jer je točno mjerenje vremena značajno u ovom projektu.



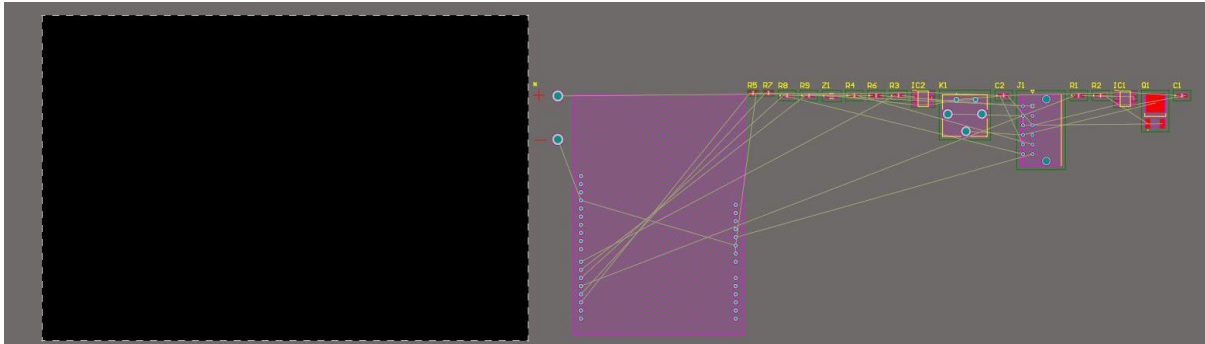
Slika 6.6 Prikaz ulaza i izlaza na arduinu

Tablica 6.1 Tablica komponenti korištenih za izradu sklopa

| Vrsta komponente | Ime                  | Količina |
|------------------|----------------------|----------|
| Kondenzator      | MCASE21GAB7475KTNA01 | 2        |
| Integrirani krug | MCP1407T-E_SN        | 2        |
| Zener dioda      | BZT52H-A4V7-QX       | 1        |
| Konektor         | 43045-1222           | 1        |
| Relej            | CP1-12V              | 1        |
| MOSFET           | R8006KND3TL1         | 1        |
| Otpornik         | ERJ-6ENF1001V        | 2        |
| Otpornik         | ERJ-6ENF1000V        | 1        |
| Otpornik         | ERJ-6ENF6801V        | 4        |
| Otpornik         | RK73H2ATTD4701F      | 2        |

## 6.2 Izrada tiskane pločice

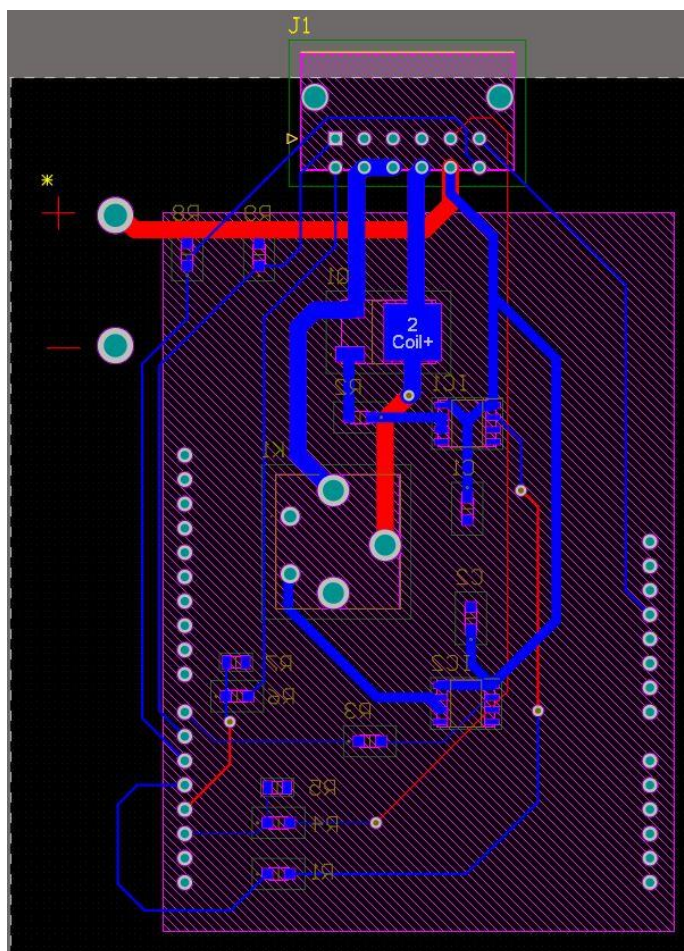
Prilikom ubacivanja komponenti u dio programa u kojem se crta sama tiskana pločica komponente su razbacane uokolo te ih je potrebno namjestiti i povezati vodovima kako je prikazano na slikama 6.7 i 6.8.



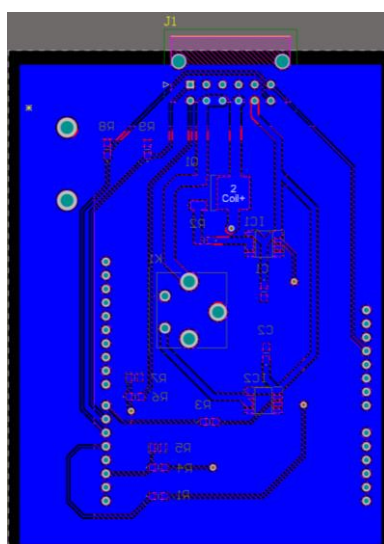
*Slika 6.7 Prikaz programa za crtanje pločice nakon same inicijalizacije programa*

Raspored komponenata mora biti takav da koristimo što manje "via" (puteva prelaska iz jednog sloja u drugi) i da su dimenzija pločice što manje kako bi se pojednostavila i pojeftinila izrada imajući na umu kakve moraju biti širina i debljina bakrenih vodova koje ovisne o strujnom opterećenju.

Crveni vodovi se nalaze s gornje strane pločice, plavi se nalaze s donje strane pločice.



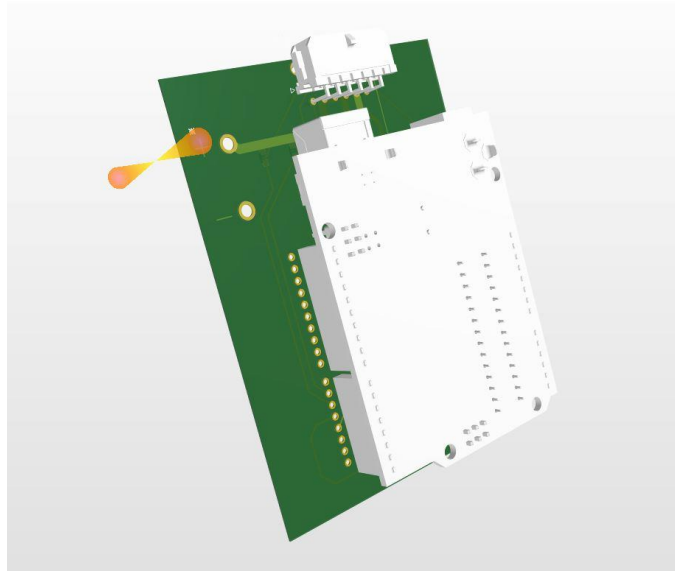
Slika 6.8 Izgled pločice poslije spajanja svih komponenti



Slika 6.9 Postavljanje poligona za spajanje ground-ova

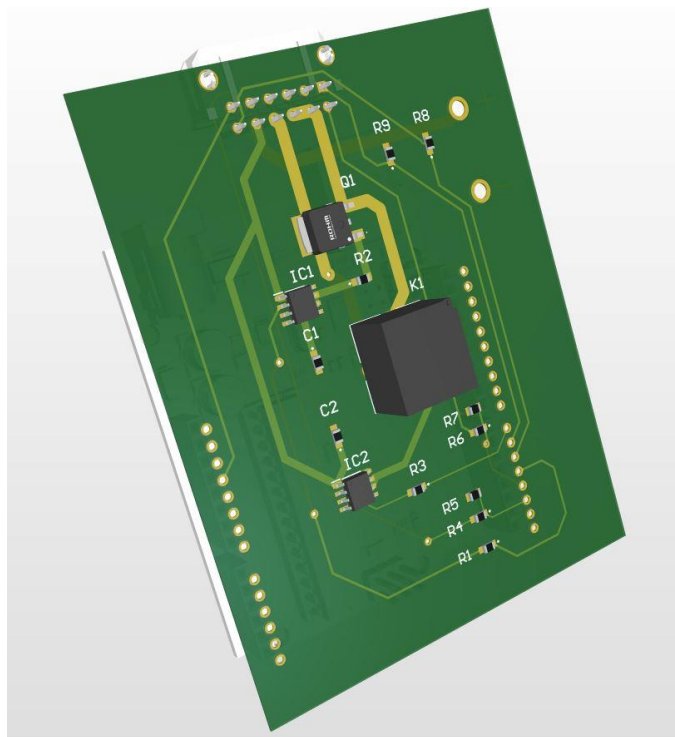
Plavi pravokutnik je komad bakra koji se postavlja preko cijele pločice te na njega se spajaju svi ground-ovi koji se dalje spajaju na šasiju motocikla. Za ground-ove ne trebaju posebni vodovi.



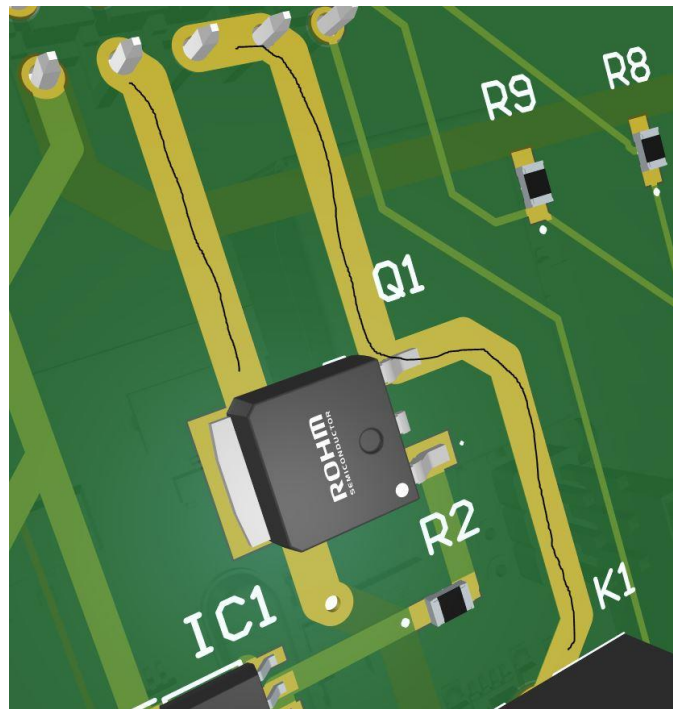


*Slika 6.10 3D izgled pločice s gornje strane*

Na slici 6.10 koja prikazuje gornju stranu pločice vidimo konektor i arduino mikrokontroler.



*Slika 6.11 3D izgled pločice s donje strane*



Slika 6.12 Prikaz MOSFET-a sa otvorenim vodovima

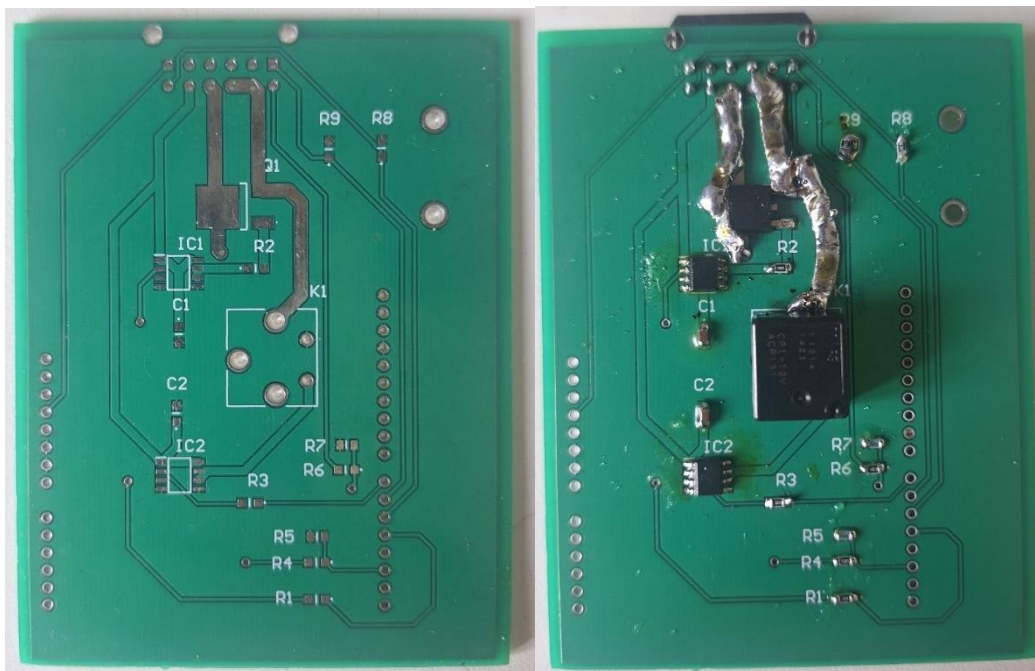
Vodovi označeni crnom crtom prilikom izrade neće biti prekriveni sa zaštitnom prevlakom nego će ostati otvoreni bakar kako bi se kasnije moglo nadolemiti bakra jer je sama debljina bakra na pločici nedovoljna za takvu struju te na takav način smanjujemo cijenu izrade.

Specifikacije tiskane pločice:

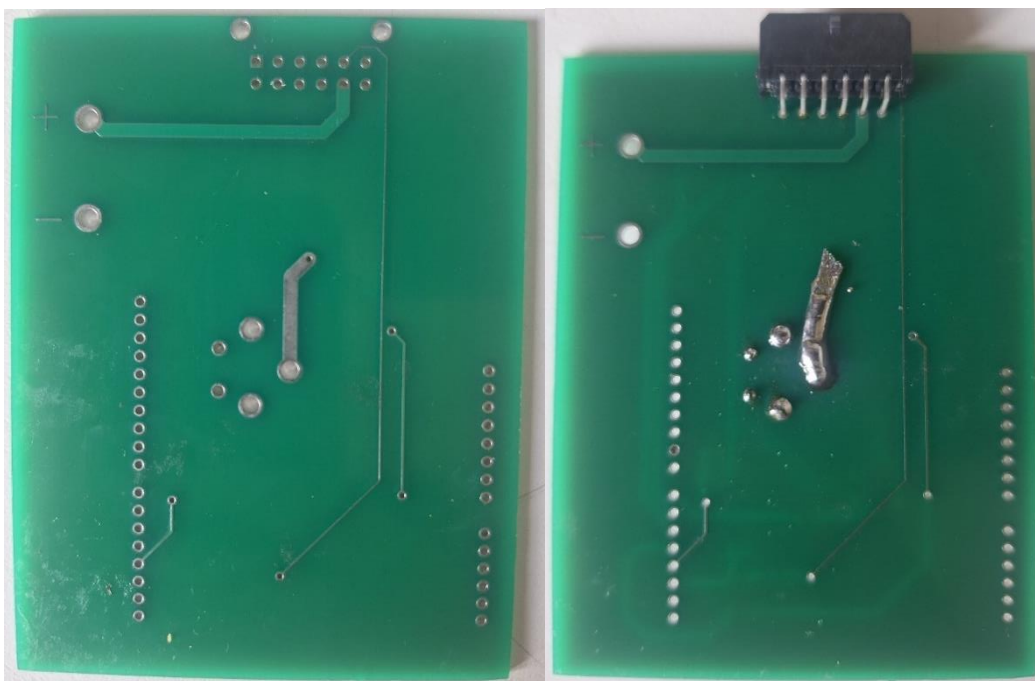
Tablica 6.2 Specifikacije tiskane pločice

|                     |                              |
|---------------------|------------------------------|
| Širina              | 71mm                         |
| Duljina             | 92mm                         |
| Materijal           | FR-4                         |
| Debljina izolatora  | 2mm                          |
| Debljina vodiča(Cu) | 70 $\mu$ m                   |
| Zaštitna prevlaka   | lemno otporan lak("lotstop") |





*Slika 6.13 Pločica sa donje strane (lijevi prije lemljenja, desno poslije lemljenja)*



*Slika 6.14 Pločica sa gornje strane (lijevi prije lemljenja, desno poslije lemljenja)*

## 7. INSTALACIJA SKLOPA NA MOTOCIKL



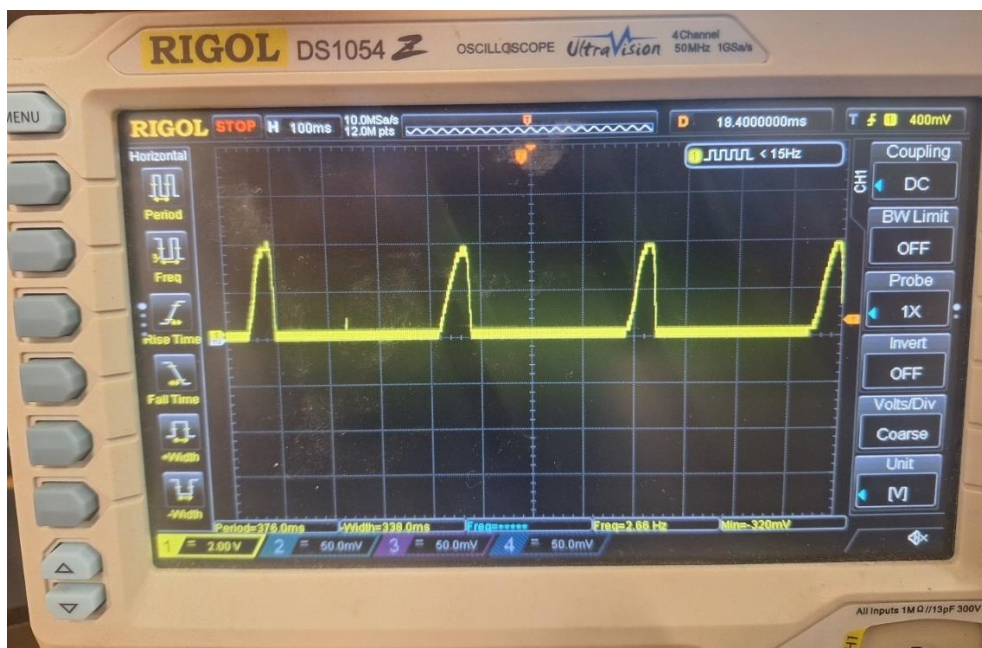
*Slika 7.1 Senzor poluge mjenjača za promjenu stupnja prijenosa*

Princip rada piezoelektričnog senzora tlaka je opisan tijekom ovog poglavlja. Prilikom primjene sile na kristal unutar senzora stvara se napon na krajevima kristala. Napon je direktno proporcionalan sili, odnosno u našem slučaju, kada vozač nogom pritisne polugu za promjenu stupnja prijenosa napon će narasti i kad prijeđe 3 volta tada će arduino očitati stanje HIGH te će pokrenuti dio koda za gašenje svjećica.

Obavezno moramo imati zener diodu kako bi ograničili napon ispod 5 volti te kako ne bi došlo do oštećenja arduinoa. Odabrali smo zener diodu koja ograničava napon na 4.7 volti.



Slika 7.2 Signal piezoelektričnog senzora tlaka



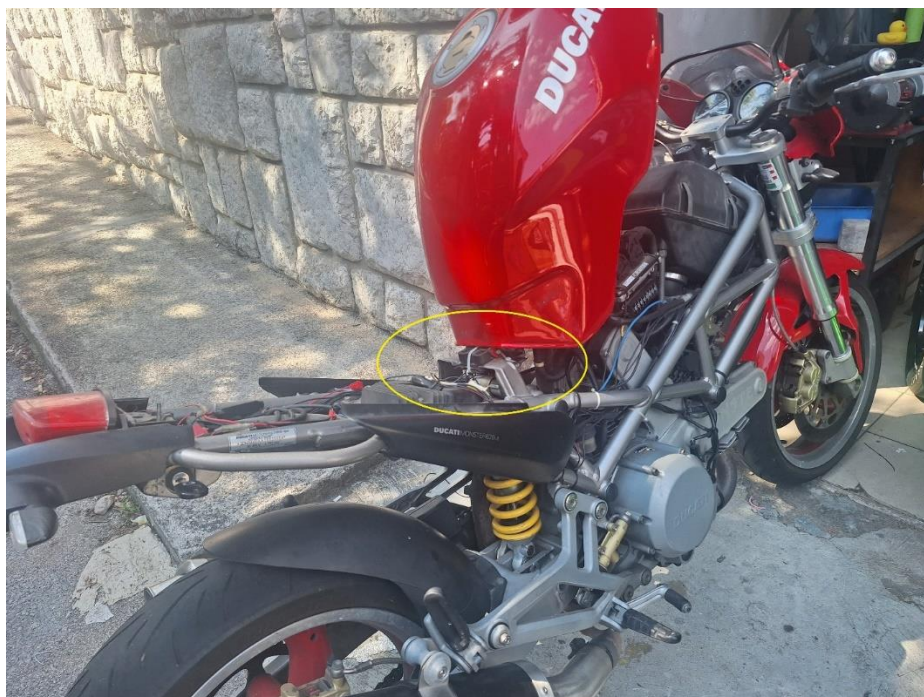
Slika 7.3 Signal piezoelektričnog senzora tlaka uz priključenu zener diodu



Sklop postavljamo ispod spremnika goriva jer je to optimalno mjesto na motociklu za njegovu ugradnju. Kao što je prikazano na slici ispod.



*Slika 7.4 Postavljen sklop*



*Slika 7.5 Slika motocikla (u žutoj elipsi nalazi se postavljeni sklop)*

## 8. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazano je dizajniranje, izrada projekta te implementacija sustava koji ubrzava promjenu stupnja prijenosa, tj. brzog mjenjača. Ovakav tip mjenjača značajno smanjuje opterećenje vozača te smanjuje ljudsku grešku koja može rezultirati oštećenjem komponenata prijenosa. Također, prednost u odnosu na mjenjače koji ne koriste ovaj sustav su brža i ugodnija promjena stupnja prijenosa čime se vozaču omogućava veća usredotočenost na vožnju. Nadalje ovakav tip mjenjača može se koristiti i pri sportskim utrkama gdje smanjuje vrijeme potrebno za prelazak jednog kruga te omogućava vozačima lakšu promjenu brzine prilikom savladavanja zavoja.

Prilikom vožnje motocikala kojima je takav sustav tvornički ugrađen uočavamo jedan nedostatak u odnosu na ovaj samostalno razvijeni sustav, a to je nemogućnost je optimiziranja vremena gašenja svjećica za visoke (6000-11000 okretaja u minuti) i niske (4000-5000 okretaja u minuti) okretaje istovremeno.

U budućoj nadogradnji sklopa potrebno bi bilo očitavati moment motora s unutarnjim izgaranjem. To možemo na jednostavno napraviti tako da očitavamo kut leptir ventila u usisu gdje senzor već postoji samo trebamo očitati signal s njega. Glavno računalo koristi taj senzor za izračun količine ubrizganog goriva te kut paljenja svjećice. Uz očitavanje senzora kuta leptir ventila, performanse sustava bile bi jednake motociklima koji dolaze s tvorničkim ugrađenim sustavom.

Za dodatno poboljšavanje brzine mijenjanja potrebno je dizajnirati u potpunosti novi mjenjač odnosno dostigli smo mehaničko ograničenje brzine promjene stupnja prijenosa.

## 9. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

U ovom radu izrađen je sklop koji ubrzava promjenu stupnja prijenosa na motociklu u svrhu ugodnije vožnje, smanjenja opterećenja vozača i poboljšanih performansi u trkaćem okruženju. U radu je prikazan teorijski uvid u ključne komponente za razumijevanje principa rada te sama izrada printane pločice u programskom paketu Altium Designer. Potom je cijeli sklop postavljen na motocikl te validirano vrijeme gašenja svjećica.

In this paper we build the assembly which speeds up gear changes on a motorbike for purpose of a smoother ride, reduction of driver workload and improved performance in racing environment. In this paper we analyzed the theory for understanding the basic principles and designing the printed circuit board in Altium Designer. Then the assembly was installed on the motorbike and the ignition cut timing was validated.

Ključne riječi: Altium Designer, brzi mjenjač, printana pločica, mjenjač motocikla

Key words: Altium Designer, quickshifter, printed circuit board, motorcycle gearbox

## Popis slika

|  |    |
|--|----|
| Slika 2.1 Razvodni dijagram četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem .....                                      | 2  |
| Slika 3.2. Mjenjač u motoru motocikla .....  | 4  |
| Slika 3.3. Kandžasta spojka.....   | 4  |
| Slika 5.1. Shematski prikaz izvođenja programa .....   | 7  |
| Slika 5.2 Prikaz signala okretaja motora s unutarnjim izgaranjem .....   | 8  |
| Slika 5.3. Prikaz izračunate frekvencije i okretaja motora s unutarnjim izgaranjem.....                              | 10 |
| Slika 5.4 Prikaz izračunate frekvencije i brzine kretanja motocikla .....  | 11 |
| Slika 5.5 Prikaz izračunatog omjera prvog stupnja prijenosa i okretaja motora s unutarnjim izgaranjem .....          | 12 |
| Slika 5.6 Prikaz izračunatog omjera drugog stupnja prijenosa i okretaja motora s unutarnjim izgaranjem .....         | 12 |
| Slika 5.7 3D mapa vremena gašenja svjećica ovisno o stupnju prijenosa i okretaja motora s unutarnjim izgaranjem..... | 13 |
| Slika 6.1 Shema sklopa .....   | 15 |
| Slika 6.2 Shematski prikaz konektora .....   | 16 |
| Slika 6.3 Shema sklopa za upravljanje MOSFET-om i relejem.....   | 17 |
| Slika 6.4 Valni oblik napona na indukcijskom svitku .....  | 18 |
| Slika 6.5 Shema otpornog dijelila, "pulldown" otpornika i zener diode .....  | 19 |
| Slika 6.6 Prikaz ulaza i izlaza na arduinu.....  | 20 |
| Slika 6.7 Prikaz programa za crtanje pločice nakon same inicijalizacije programa .....                               | 22 |
| Slika 6.8 Izgled pločice poslije spajanja svih komponenti.....   | 23 |
| Slika 6.9 Postavljanje poligona za spajanje ground-ova .....   | 23 |
| Slika 6.10 3D izgled pločice s gornje strane .....   | 24 |
| Slika 6.11 3D izgled pločice s donje strane.....   | 24 |
| Slika 6.12 Prikaz MOSFET-a sa otvorenim vodovima .....   | 25 |
| Slika 6.13 Pločica sa donje strane (lijevi prije lemljenja, desno poslije lemljenja) .....                           | 26 |
| Slika 6.14 Pločica sa gornje strane (lijevi prije lemljenja, desno poslije lemljenja).....                           | 26 |
| Slika 7.1 Senzor poluge mjenjača za promjenu stupnja prijenosa .....   | 27 |
| Slika 7.2 Signal piezoelektričnog senzora tlaka.....   | 28 |
| Slika 7.3 Signal piezoelektričnog senzora tlaka uz priključenu zener diodu.....                                      | 28 |
| Slika 7.4 Postavljen sklop .....   | 29 |
| Slika 7.5 Slika motocikla (u žutoj elipsi nalazi se postavljeni sklop) .....   | 29 |

## **Popis tablica**

|  |    |
|--|----|
| Tablica 6.1 Tablica komponenti korištenih za izradu sklopa ..... | 21 |
| Tablica 6.2 Specifikacije tiskane pločice .....                  | 25 |



## **Literatura**

- [1] Karl- Heinz Decker: "Elementi strojeva", Golden marketing-Tehnička knjiga, Zagreb 2006.
- [2] Miroslav Mikulčić: "Motori 1", Školska knjiga, Zagreb 1976.
- [3] Petar Biljanović: "Poluvodički elektronički elementi", Školska knjiga, Zagreb 1996.

## Programi korišteni pri izradi projekta

### Altium Designer

| Product  | Subscription Renew | Seats | License Info  |
|--|--------------------|-------|---|
| Altium Designer Professional <span>In Use</span> | 01/02/2025         | 1/1 ▼ | <span>On-Demand</span> · Single Site · Term-Based · C7JG-ZFBP |

### Arduino IDE - Open source