

PROJEKTOVANJE UPRAVLJAČKE ELEKTRONIKE ZA CNC MAŠINU**CONTROL BOARD DESIGN FOR CNC MACHINE**Miljan Erić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je izložen proces projektovanja štampane pločice prema tačno definisanim zahtjevima koja predstavlja unaprijeđenje CNC mašine u pogledu upravljačke elektronike. Nakon projektovanja elektronike, pločica je izrađena, izvršen je proces lemljenja komponenti i testiranje cijelog sistema.

Ključne reči: Upravljačka elektronika, drajveri za koračne motore, projektovanje elektronske pločice

Abstract – This paper presents the process of designing printed circuit boards according to precisely defined requirements, which represents the improvement of the CNC machine in terms of control electronics. After the designing electronics, the circuit board was made, the components were soldered and system was tested.

Keywords: Control electronics, step-motor drivers, designing electronic board

1. UVOD

Projektovanje štampanih pločica iz dana u dan postaje sve značajnije. Podatak koji govori u korist tome jeste da je svjetsko tržište 2014. godine premašilo vrijednost od 50 milijardi dolara, a procjenjuje se da će do 2024. dostići preko 100 milijardi dolara. Štampana ploča (engl. *Printed Circuit Board*) je pasivna električna komponenta čiji je osnovni zadatak kreiranje veza između električnih komponenti (kondenzatori, otpornici, tranzistori itd.). Zadatak ovog rada bio je projektovanje upravljačke elektronike, koja u suštini predstavlja unaprijeđenje CNC mašine. Zahtjevi za projektovanje bili su strogo definisani, i bilo je neophodno proći kroz sve faze koje čine jedan proces. Suštinski čitav proces podrazumjeva definisanje zahtjeva, odabir ključnih komponenti u sistemu i njihovo pronalaženje na tržištu, zatim crtanje električnih šema i povezivanje u jednu veliku cjelinu (hijerarhijski šematič) a potom i kreiranje rasporeda komponenti i njihovo rutiranje. Za proces rutiranja pločice, idejno je zamišljeno da to budu četiri sloja, koji će omogućiti rasterećenije rutiranje tj. povezivanje komponenti i omogućiti da dimenzije pločice budu manje što je bitno iz praktičnih razloga ali i finansijskih jer sama cijena fabrikacije pločice se formira prema dimenzijama iste. Takođe nakon što je pločica izrađena, neophodno je bilo izvršiti proces lemljenja komponenti. Iako je bilo potrebno da komponente budu SMD (engl. *Surface mount device*), čitav sistem se sastoji

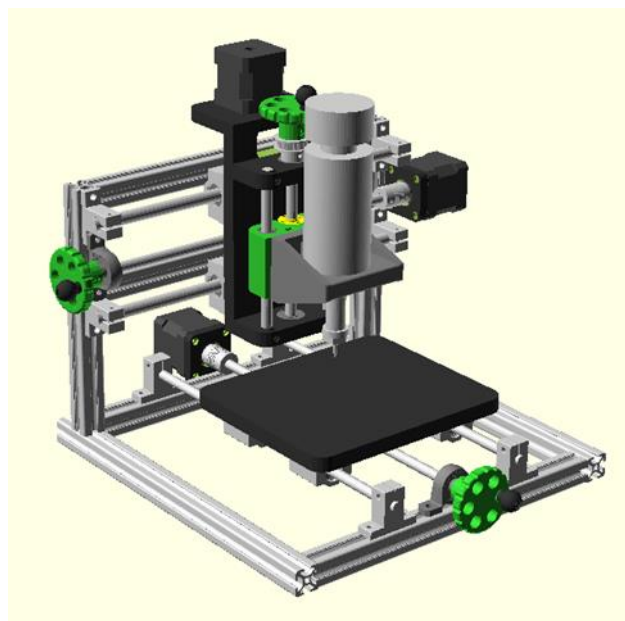
NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Jovan Bajić, vanr. prof.

iz kombinacije SMD i TH (engl. *Through hole*) komponenti zbog nemogućnosti da se na tržištu pronađu iste. Nakon završenog procesa lemljenja, pristupljeno je testiranju, odnosno primjeni pločice na već postojeći sistem CNC mašine. Na mikrokontroler je spušten softverski paket GRBL, besplatan softver namijenjen upravljanju CNC mašinama.

2. POSTOJEĆI SISTEM I ZAHTJEVI ZA MODIFIKACIJU

Realizacija same mašine počela je naravno izradom, odnosno sklapanjem mašinske konstrukcije. CNC mašina je sastavljena u dekartovom koordinatnom sistemu, što podrazumjeva kretanje alata, odnosno obradnog motora u tri ose i to X, Y i Z. Na slici 1. prikazan je izgled sklopljenog uređaja sa montiranim koračnim motorima kao i obradnim motorom.



Slika 1. Izgled kompletno sklopljene mašine

Čitava konstrukcija sastoji se iz kako plastičnih dijelova odštampanih na 3D štampaču, tako i metalnih dijelova čime se dobilo na čvrstini i pouzdanosti mašine. Okvir mašine je sastavljen iz aluminijumskih profila namjenski isječenih u odgovarajućim dimenzijama. Pomjeranje obradnog motora moguće je po dvije ose, i to duž horizontalne ose X i vertikalne ose Z. Obradni motor se ne kreće po Y osi, već imamo situaciju da se materijal koji se obrađuje kreće u odnosu na obradni motor. Kretanje po osama se vrši preko pogonskih koračnih motora i navojnog vretena koje garantuje precizan korak, dok linearna vodica ima ulogu da preuzme svo opterećenje koje bi u suprotnom bilo

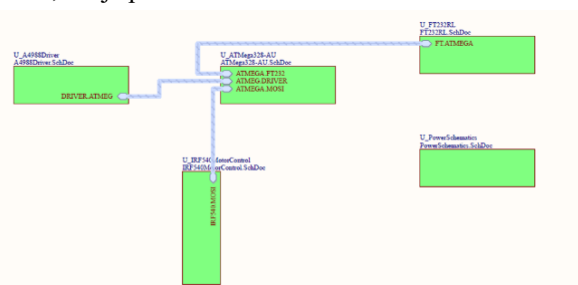
na navojnom vretenu, što nikako ne bi bilo prihvatljivo. Prije početka samog projektovanja, neophodno je bilo dobro definisati osnovne zahtjeve koje je prilikom projektovanja bilo potrebno ispuniti. Neophodno je projektovati pločicu koja mora da sadrži kontroler koji upravlja drajverima koračnih motora kao i uključivanjem odnosno isključivanjem obradnog motora (engl. *ON-OFF regulation*) ostalim potrebnim periferijama koje mogu biti naknadno dodane putem digitalnih ili analognih pinova. Potrebno je koristiti *SMD* (engl. *Surface Mount Device*) komponente u što je moguće većem procentu. Ovaj procenat definitivno je bio uslovljen zadatkom projekta ali i trenutnim stanjem na tržištu, jer nekih komponenti nije bilo na stanju. Potrebno je implementirati i neki od stabilizatora napona. Dakle bilo je potrebno odabrati neki od *LDO* stabilizatora napona u skladu sa definisanim parametrima od strane motora u pogledu nazivne struje i napona. Bitno je navesti da je bilo govora i o projektovanju prekidačkog napajanja, međutim kasnije se došlo do zaključka da za to nema neke pretjerane potrebe, a da unosi dosta složenosti u proces izrade pločice i nepotrebno povećanje dimenzija pločice.

Neophodno je koristiti *SMD* drajver za koračni motor ali prije toga treba odabrati koji će to drajver biti, koji će kasnije biti direktno zalemljen na pločicu sa svim njegovim dodatnim komponentama, dakle bez korišćenja moduskog drajvera za koračni motor. Potrebno je naći način da se ostvari „uključiti-isključiti“ regulacija motorom koji može raditi potencijalno višim naponima u zavisnosti od potrebe, čak do 50V. Kako je bilo potrebno postaviti snažni mosfet čiji prag nije mogao kontrolisati digitalni pin kontrolera, bilo je neophodno smisliti način i testirati kolo koje će upravljati istim.

Komunikacija sa računarom se ostvaruje preko *USB* kablja, i samim tim neophodno je na pločici koristiti ženski *USB-A* konektor u kombinaciji sa *FT232RL* čipom. Nakon projektovanja šematika, potrebno je izvršiti raspoređivanje komponenti (engl. *Layout*) kao i podešavanja vezana za opcije slojeva (engl. *Stackup*). Zatim je potrebno sprovesti rutiranje pločice u četiri sloja.

3. ELEKTRIČNA ŠEMA UPRAVLJAČKOG SISTEMA

U okviru ovog poglavlja biće predstavljene sve električne šeme koje čine ovaj rad. U nastavku će svaka električna šema biti predstavljena ponaosob i biće više riječi o svakoj od njih. Šeme su namjenski podijeljeni u 5 cjelina od kojih svaka čini jedan funkcijski dio [1], ali naravno u glavnom šematskom prikazu su sve one povezane u jednu cjelinu, što je prikazano na slici 2.



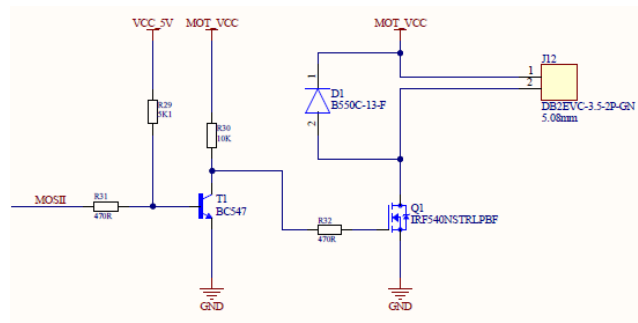
Slika 2. Glavni šematski prikaz

Sa slike se vidi da u čitavom radu postoji 5 dijelova ukupne električne šeme rada. Svaka od njih ima zadatak da obradi drugu funkcionalnost, pa tako postoji šematič koji se bavi drajverskim kolom, odnosno šematskim prikazom i svim ostalim pojedinostima vezanim za kolo A4988 [2].

Druga el. šema se tiče mikrokontrolera koji je korišten a to je kao što i sam naziv šeme govori *ATMEGA328 – AU*. Treća el. šema se tiče napajanja odnosno linearnog regulatora napona, dok četvrta ima namjenu da omogući komunikaciju sa računarom preko *FT232RL* čipa i ženskog tipa *USB-a*. Posljednja el. šema se bavi uključiti – isključiti (engl. *ON-OFF regulation*) regulacijom obradnog motora. U nastavku će biti više riječi o svakoj električnoj šemi ponaosob.

3.1. Elektronska kontrola obradnog motora

Pošto na *CNC* mašini, odnosno njenoj *Z* osi imamo obradni motor koji vrši veoma bitnu funkciju, odnosno pokreće obradni alat u skladu s namjenom, neophodno je omogućiti kontrolu, odnosno mogućnost uključivanja i isključivanja istog. Najjednostavnija varijanta podrazumjevala bi kontrolu putem jednog od digitalnih priključaka, međutim pošto naponski nivo digitalnog priključka na visokom nivou nije dovoljan da uključi snažni mosfet *IRF540N* bilo je neophodno dodati jedan stepen ispred koji će podići naponski nivo upravljanja. Na slici 3 prikazano je jedno od mogućih rješenja ovog problema.



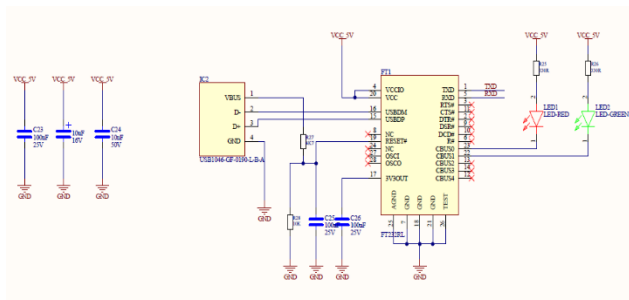
Slika 3. Električna šema za kontrolu uključivanja i isključivanja obradnog motora

Svaka komponenta na šematskom prikazu je označena svojom šematskom oznakom (engl. *Designator*), pa će se u skladu sa tim i na taj način pozivati na pojedine komponente. Klema konektor označena sa *J12*, predstavlja priključnicu na koju se vezuje obradni motor, dok dioda *D1* predstavlja zamajnu diodu koja je neophodna zbog induktivne prirode obradnog motora.

Na mjesto diode iskorišćena je šotkijeva dioda (engl. *Schottky*) *SB560*. Kolom upravlja snažni mosfet (engl. *MOSFET*) *IRF540N* čiji je drejn vezan na anodu diode i minus kraj priključnice. Vidimo da uključivanjem mosfeta upravlja digitalni priključak označen labelom *MOSII*, to je u digitalni priključak mikrokontrolera koji preko bipolarnog tranzistora upravlja istim. Kada tranzistor *BC547* vodi, mosfet je isključen odnosno isključen je obradni motor, analogno tome, kada je tranzistor isključen, tada je obradni motor u aktivnom stanju.

3.2. Komunikacija sa računarom putem *FT232RL*

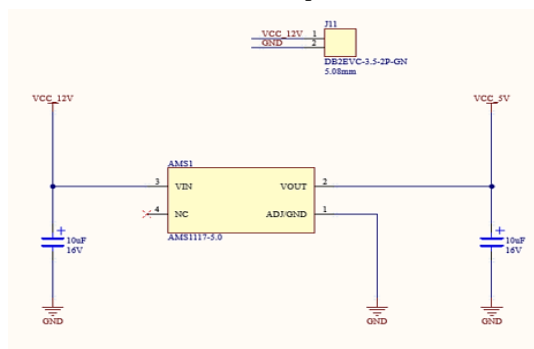
Samo upravljanje koračnim motorima vrši mikrokontroler, međutim neizostavan je korak u kojem se G – kod, odnosno instrukcije dostavljaju do kontrolera. To se vrši komunikacijom između računara i kontrolera, i za to se koristi USB (engl. *Universal serial bus*) kabl koji se kasnije uključuje u ženski USB priključak, a zatim preko FT232RL čipa [3] informacija putuje do kontrolera. Na slici 4. prikazana je električna šema zadužena za rješavanje ovog problema.



Slika 4. Električna šema FT232RL čipa

3.3. Električna šema napajanja

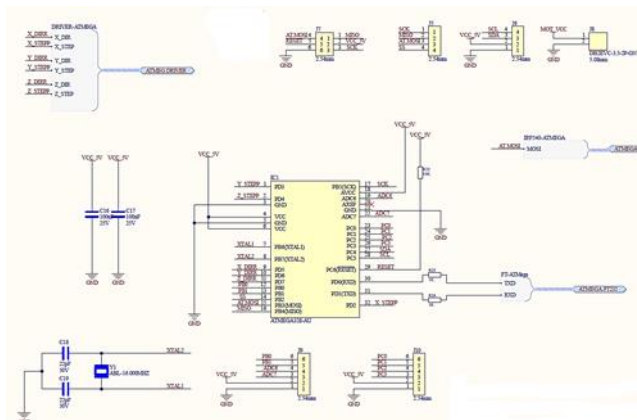
Slika 5. ilustruje rješavanje problema napajanja. Problem napajanja sveo se na upotrebu linearnog regulatora napajanja *AMS1117 5.0* koji je namjenjen za slučaj kada je potreban stabilisani izlazni napon od 5V.



Slika 5. *Električna šema linearnog regulatora*

3.4. Električna šema povezivanja kontrolera

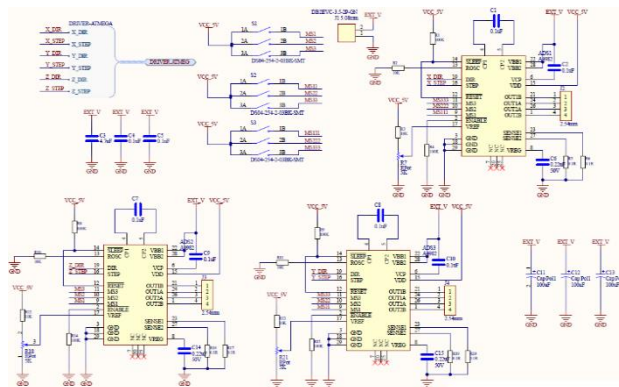
Glavni uslov koji je kontroler morao da ispuni bio je svakako da podržava softverski paket *GRBL*, i naravno da bude dostupan na tržištu odnosno lako dobavljiv u *SMD* varijanti. Na slici 6. je prikazana električna šema vezivanja kontrolera *ATMega328-AU* [4].



Slika 6. Električna šema vezivanja mikrokontrolera

3.5. Električna šema dražerskog kola A4988

Električna šema prikazana na slici 7. sastoji se iz tri drajverska kola jer CNC mašina korišćena u ovom radu ima 3 pokretne ose. Takođe potrebno je bilo izvršiti povezivanje drajverskih kola sa mikrokontrolerom.

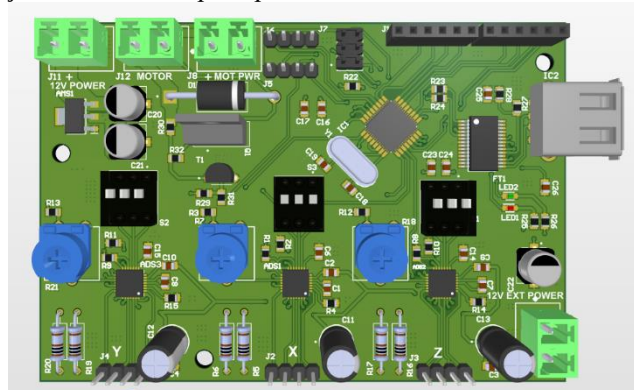


Slika 7. Električna šema vezivanja dražerskih kola

Izlazi *OUT1B*, *OUT2B*, *OUT1A*, *OUT2A* za svaki od tri koračna drajvera su izvedeni na muške ljestvice preko kojih se oni vezuju na koračne motore i na taj način vrši upravljanje.

4. PROJEKTOVANJE I IZRADA ŠTAMPANE PLOČICE

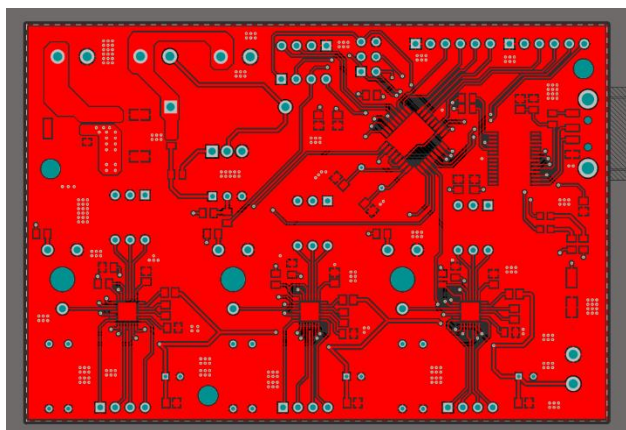
Nakon uspješno završene faze projektovanja električnih šema čitavog sistema, potrebno je bilo kreirati izgled štampane pločice, raspored komponenti ali i proces povezivanja komponenti tj. rutiranja. Na slici 8. prikazan je 3D model štampane pločice.



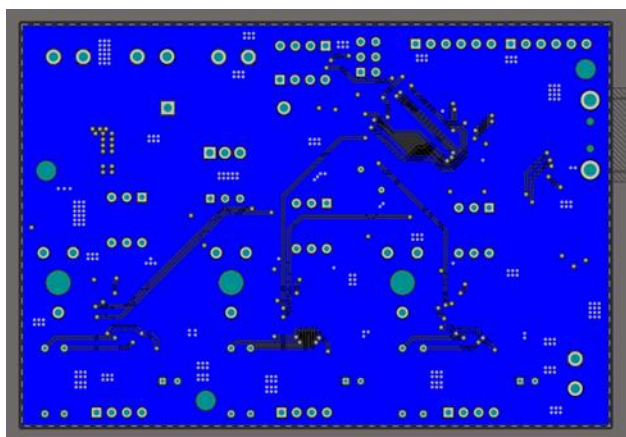
Slika 8. 3D model štampane pločice

Svakoj komponenti pridružen je njen 3D model koji je izuzetno koristan iz više razloga. Pošto se sistem sastoji iz komponenti SMD i TH tipa, veoma je praktično da se može provjeriti da li se komponente uklapaju na dobar način i kako će sama pločica izgledati u stvarnosti. Takođe ukoliko je pločica dio nekog većeg sistema, moguće je izvršiti provjeru njenog uklapanja odnosno povezivanja sa ostatkom sistema.

Pločica je izrađena u četiri sloja, gdje su dva sloja rezervisani za signalno povezivanje, dok su druga dva namijenjena za napajanje. Većina signala provedena je u gornjem sloju (engl. *Top Layer*) kako bi se donji sloj (engl. *Bottom Layer*) što više rasteretio, i na svakom od njih postoji poligon mase. Na slikama 9. i 10. prikazani su gornji i donji sloj rutirane pločice.

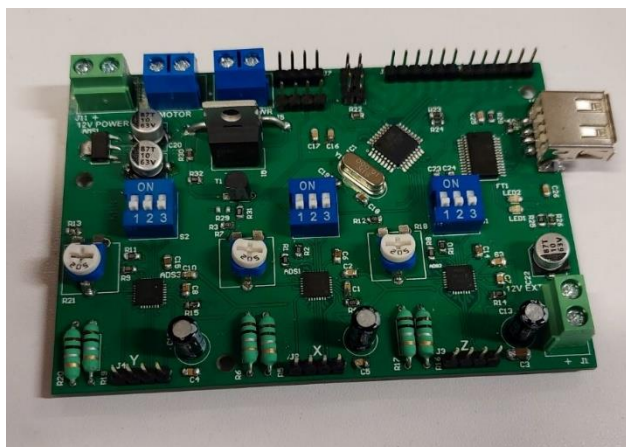


Slika 9. Gornji sloj štampane pločice



Slika 10. Donji sloj štampane pločice

Na slici 11 prikazan je finalni izgled pločice nakon završenog postupka projektovanja, fabrikacije pločice kao i postupka lemljenja komponenti na istu.



Slika 11. Finalni izgled štampane pločice

5. ZAKLJUČAK

U postavci zahtjeva ovog rada, jasno su definisani zahtjevi za razvoj odnosno projektovanje pločice. Bilo je neophodno proći kroz sve faze koje su standardne za proces projektovanja štampane pločice, počevši od odabira ključnih komponenti, zatim izrade električnih šematika a potom i rasporeda i povezivanja električnih komponenti na štampanoj ploči.

Prednost nove upravljačke pločice u odnosu na staru verziju upravljačke elektronike je očigledna i najviše se ogleda u tome što ona ima na sebi sve elemente koji su integrisani, odnosno nema module koji se uključuju naknadno, već čitava njena funkcionalnost je podržana od integrisanog sistema koji je čini.

6. LITERATURA

- [1] Modularni dizajn u *Altium Designer-u*:
<https://resources.altium.com/p/taking-a-modular-pcb-design-approach-in-altium-designer> (pristupljeno u maju 2023.)
- [2] Drajver za koračne motore – A4988:
https://www.pololu.com/file/0J450/a4988_DMOS_mi_crostepping_driver_with_translator.pdf (pristupljeno u aprilu 2023.)
- [3] FT232RL:
https://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf (pristupljeno u maju 2023.)
- [4] Mikrokontroler *ATMega328P* – AU:
https://eu.mouser.com/datasheet/2/268/ATmega48A_PA_88A_PA_168A_PA_328_P_DS_DS40002061B-3050139.pdf (pristupljeno u aprilu 2023.)

Kratka biografija:



Miljan Erić rođen je u Zvorniku 1999. godine
 Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva –
 Primjenjena elektronika odbranio je 2022.god.
 kontakt: miljan.eric3@gmail.com