

CNC MAŠINA ZA IZRADU ŠTAMPANIH PLOČICA CNC MACHINE FOR MAKING PRINTED CIRCUIT BOARDS

Miroslav Katanić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu je prikazan način implementacije CNC mašine pokretane putem koračnih motora. Za upravljanje su korišćeni Arduino Uno, prilagodna pločica i drajveri koračnih motora. Upravljanje je vršeno preko programskih paketa Altium Designer, FlatCam i Candle.

Ključne riječi: CNC mašina, drajveri za koračne motore, koračni motori, motori sa četkicama.

Abstract – This paper describes the method of implementation of a CNC machine driven by stepper motors. Arduino Uno, CNC Shield and stepper motor drivers were used for control. Software packages for control is Altium Designer, FlatCam and Candle.

Keywords: CNC machine, Stepper motor drivers, Stepper motor, motor with brushes.

1. UVOD

Štampana ploča (*engl.* Printed Circuit Board) predstavlja pasivnu električnu komponentu čiji je osnovni zadatak ostvarivanje veza između elektronskih komponenti (otpornici, kondenzatori, tranzistori itd.). Pored električne veze na štampanoj ploči koja se ostvaruje uz pomoć provodnih putanja (provodnih vodova), ostvaruju se i mehaničke veze između ploče i lemljenih komponenti uz pomoć provodnih podloga u oblicima koji su dizajnirani za prihvatanje priključaka komponente. Dakle komponente se leme na ploču kako bi se električno spojile i mehanički pričvrstile za nju.

Do same proizvodnje ploče potrebno je prvo izvršiti izradu potrebnih biblioteka sa komponentama od interesa, zatim projektovanje električne šeme, a na kraju i izrada rasporeda komponenti (*engl.* Layout). Sve prethodno navedene korake moguće je ostvariti u okviru određenog softverskog alata koji obavlja ogroman posao, neki od poznatijih alata su Altium Designer, Eagle, KiCad itd.

Standardna štampana ploča sastoji se od ploče izolacionog materijala i površ njega provodnog bakarnog sloja. Ideja jeste da nakon izrade pločice, izrađene provodne staze predstavljaju fiksirane žice i međusobno su izolovane vazduhom i materijalom izolacione podloge. Takođe, površinu štampane ploče dobro je zaštititi premazom koji štiti bakar od korozije i oksidacije i pored toga smanjuje šansu za pojavu kratkog spoja između provodnih staza ili zalutalih golih žica. Ovaj sloj se naziva lemno otporni sloj ili lemna maska.

NAPOMENA:

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

U pogledu broja slojeva ploče, u zavisnosti od složenosti ili potrebe, ploče mogu biti jednoslojne ili višeslojne. Kod višeslojnih ploča imamo da su slojevi međusobno povezani uz pomoć električnih tunela (*engl.* via). Nakon dvoslojnih došlo se do četvoroslojnih gdje se najčešće dva sloja koriste za napajanje i masu, dok se druga dva koriste za ožičavanje signala komponenti.

Razlikuju se dva tipa komponenti na osnovu načina njihovog montiranja na ploču i to komponente „kroz otvor“ (*engl.* Through Hole) i komponente površinskog montiranja (*engl.* surface mounted). Jedna ploča može koristiti i jedan i drugi tip komponenti. Komponente „kroz otvor“ se sve manje koriste, međutim kod nekih komponenti su skoro pa nezamjenjive, recimo konektori, elektrolitski kondenzatori i slično. Dok površinsku montažu koristimo mnogo više zbog toga što zauzimaju mnogo manje prostora, pouzdanije su, pri površinskoj montaži koristi se napredne brze tehnologije lemljenja itd.

Glavni zadatak ovog rada jeste izrada mašine za pravljenje štampanih pločica. U nastavku rada će biti prikazana mašinska konstrukcija (odnosno od kojih je komponenti je sastavljena mašina). Upravljanje CNC mašinom je vršeno drajverima koračnih motora koje je pokretao Arduino Uno. Zatim će biti objašnjeni programski paketi koji upravljaju mašinom, a na samom kraju će biti predstavljeni rezultati testiranja različitih vrsta glodala.

2. NAČINI IZRADJE ŠTAMPANIH PLOČICA

Izrada štampanih ploča se može realizovati ručno i mašinski. Prije same izrade pločica i jedne i druge realizacije potrebno ih je projektovati u određenom programskom paketu kao što je već u prethodnoj glavi navedeno (Altium Designer, Eagle, KiCad itd.). U tim programima potrebno je prvo izvršiti izradu biblioteka komponenti koje se koriste, zatim projektovanje šematika, raspored komponenti na samoj ploči i na kraju povezivanje komponenti određenom širinom vodova.

2.1. Ručna izrada štampanih pločica

Kao što se prema samom imenu može zaključiti, ručna vrsta izrade je prva počela da se primjenjuje i predstavlja preteču gotovo svih današnjih modela izrade pločica. Ugrubo rečeno može se reći da se svaki ručni postupak odlikuje istim postupcima pripreme koji uključuju sledeće procese. Na podesan način potrebno je prvo izvršiti isijecanje pločice prema potrebama koje su diktirane zahtjevima tog projekta. Proces sječenja pločice može se vršiti raznim alatima i tehnikama gdje se svaka odlikuje svojim karakteristikama, od kojih su glavne cijena i preciznost. Nakon što su željene dimenzije postigunte, potrebno je

pristupiti procesu čišćenja bakarne površine odnosno odstraniti sve nečistoće koje se nalaze na istoj. Nakon što je izvršena priprema pločice može se pristupiti procesu izrade ručnim putem koji mogu biti: korišćenjem flomastera ili laka za nokte, korišćenje rapidografa, transfer papira i izrada fotopostupkom [1]. Izrada fotopostupkom predstavlja najprecizniju metodu od prethodno navedenih.

2.2. Mašinska izrada štampanih pločica

Pod pojmom mašinske izrade podrazumjevamo da ključni dio pri izradi štampane ploče ima najčeće neka „CNC“ mašina. Te mašine možemo klasifikovati prema alatima i materijalima koje koriste, gdje oni mogu biti različiti počevši od glodala, burgije pa sve do naprednijih mašina koje rade sa laserima velike snage.

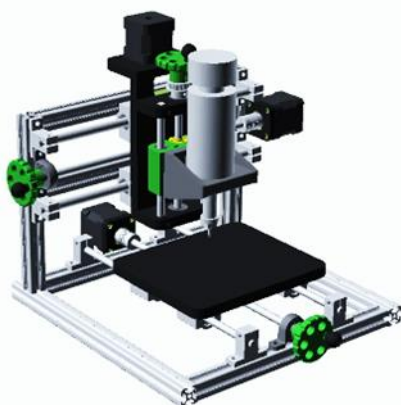
Pošto je tema ovog rada izrada CNC mašine za proizvodnju štampanih pločica u nastavku rada će prvo biti napravljen osvrt na fizički dio uređaja, elektroniku, upravljanje kao i softversko prilagođenje alata.

3. MAŠINA ZA IZRADU ŠTAMPANIH PLOČICA

Tema ovog rada jeste postupak projektovanja i sklapanja sistema čija je uloga proizvodnja štampanih pločica. Potrebno je bilo sastaviti mašinsku konstrukciju koja je upravljana putem tri motora (*engl.* Stepper Motor), dok četvrti motor upravlja alatom koji može biti različit u zavisnosti od potrebe, to može biti glodalo, bušilica i sl.

Kao što se može naslutiti, prema vrsti alata koji se koristi mogućnosti ovog sistema mogu biti procesi bušenja (kao alat koristi burgiju) ili procesi glodanja (u slučaju da je alat glodalo) ili eventualno proces sječenja. Sva tri navedena procesa predstavljaju značajan postupak u okviru procesa proizvodnje štampane pločice.

Čitav sistem se ugrubo rečeno sastoji iz mašinske konstrukcije sastavljene iz kvadratnih aluminijumskih profila, tri navojna vretena za tri različite ose i nosač motora proizveden 3D štampačem. Montirana su tri pogonska motora za tri radne ose i dodatno obradni motor kao što je prikazano na slici 1. Na kraju postoji upravljački sistem koji pogoni odnosno upravlja motorima.



Slika 1. Izgled CNC mašine

Dakle, cilj je bio isprojektovati sistem koji zadovoljava sve potrebe vezane za osnovne mašinske postupke pri procesu proizvodnje štampane ploče koji podrazumjevaju sječenje, glodanje i bušenje.

4. UPRAVLJANJE CNC MAŠINOM

Za upravljanje CNC mašinom koristi se upravljačka jedinica čiji je zadatak da komande od strane korisnika prosljedi uređaju. Da bi se te komande prosljedile potrebno je koristiti određene programe kao što su Altium Designer, FlatCAM, Candle i drugi. O programima će biti detaljnije rečeno u nastavku. Osnovni uređaji preko kojih se vrši upravljanje su MCU (*engl.* Microcontroller) Arduino Uno i prilagodna pločica za koračne motore. Arduino Uno predstavlja razvojno okruženje namijenjeno učenju kao i projektima manje složenih zadataka. Pokazalo se da je za potrebe ovog zadatka bio sasvim dovoljan da se ispune svi zahtjevi.

Veoma bitnu ulogu u okviru upravljanja i napajanje koračnih motora ima prilagodna pločica koja je priključena na Arduino Uno preko priključaka za komunikaciju koji su izvedeni u ženske ljestvice, što je prikazano na slici 2.



Slika 2. Prilagodna pločica za koračne motore [2]

Kao što se primjećuje sa slike, ova ploča je dizajnirana za upotrebu sa Arduino Uno razvojnim okruženjem, pa samim tim dimenzije tačno odgovaraju i moguće je uklopiti priključke direktno [2].

Na prilagodnu pločicu moguće je priključiti do četiri drajvera za koračne motore, dok su za potrebu ovog rada bila potrebna tri.

5. PROGRAMI ZA POKRETANJE CNC MAŠINE

Kako bi se uspješno sproveo proces upravljanja CNC mašinom neophodno je koristiti se određenim softverskim paketima. Paketi, odnosno alati koji se koriste u ovom radu su Altium Designer, FlatCam i Candle.

Uloga programskog paketa Altium Designer je kreiranje šematika i rasporeda komponenti. Kada se sve što je potrebno generiše onda se izvozi greber format.

Programski paket FlatCam ima ulogu da učita greber format i generiše g-code. G-code predstavlja niz instrukcija prema kojima se pokreću motori CNC mašine [3]. Programski paket Candle ima ulogu slanja instrukcija motorima CNC mašine putem g-code-a koji je generisano pomoću prethodno objašnjenog programskog paketa FlatCAM.

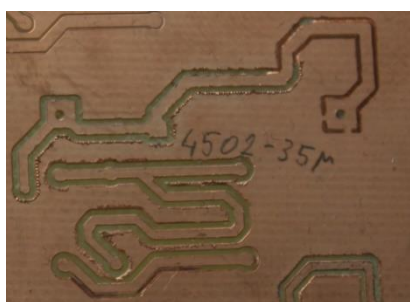
Candle program je besplatan za korišćenje, pa je iz tog razloga veoma rasprostranjen. Grafički prikazuje g-code i osnovne funkcije za pokretanje istog [4]. Candle koristi GRBL kod čiji se program pokreće preko Arduino platforme.

6. REZULTATI TESTIRANJA

Poglavlje koje slijedi posvećeno je procesu praktičnog testiranja funkcionalnosti kao i analizi dobijenih rezultata. Testiranja su vršena na različitim postavkama, odnosno za različite ulazne parametre poput napona napajanja obradnog motora, promjena dubine prodiranja alata, kao i vrstu alata.

Na slici 3 je prikazan rad sa glodalom V tipa ugaonog raspona od 45° i širine 0.2mm. Dubina skidanja bakarnog sloja je $35\mu\text{m}$. Brzina na kojoj je rađeno je 30000 obrtaja u minuti što predstavlja maksimalnu brzinu ovog motora. Kao što može da se vidi sa slike ovaj način nije uspješno izveden.

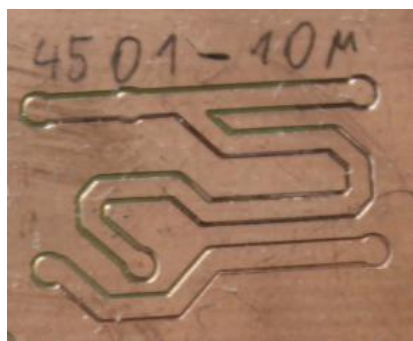
Vodovi koji treba da su izolovani jedan od drugog su u kratkom spoju. Ivice vodova su oštećene. Sloj skidanja bakra u odnosu na Z osu nije konstantan. Zbog ofseta obradnog alata po Z osi, u procesu glodanja je dolazilo do zaglavljivanja glodala.



Slika 3. Korišćenje prvog motora sa glodalom V tipa ugaonog raspona od 45° i širine 0.2mm, dubina glodanja je $35\mu\text{m}$

Na slici 4 je prikazan rad sa glodalom V tipa ugaonog raspona od 45° i širine 0.1mm. Skidanje bakarnog sloja je vršeno na $10\mu\text{m}$.

Brzina obradnog alata kojim je rađeno je 3000 obrtaja u minuti (engl. rpm) koji se napaja naponom od 12 V. Sa slike se može zaključiti da dubina na kojoj je vršeno skidanje bakarne površine nije dovoljna jer vodovi nisu dovoljno izolovani. Ivice vodova nisu oštećene.



Slika 4. Korišćenje drugog motora sa glodalom V tipa ugaonog raspona od 45° i širine 0.1mm, dubina glodanja je $10\mu\text{m}$

Na slici 5 je korišćeno isto glodalo sa istom brzinom obrtanja obradnog alata kao na slici 4, samo je povećana dubina glodanja na $20\mu\text{m}$. Sa slike može da se zaključi da su u ovom slučaju uspješno izolovani vodovi. Dubina prodiranja je dovoljna, nije preduboka. Ivice nisu oštećene.



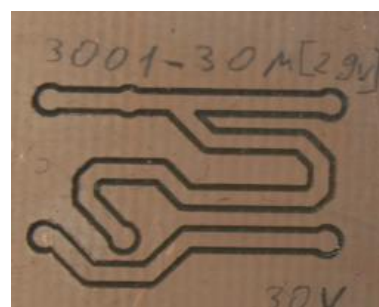
Slika 5. Korišćenje drugog motora sa glodalom V tipa ugaonog raspona od 45° i širine 0.1mm, dubina glodanja je $20\mu\text{m}$

Na slici 6 je prikazan rad sa glodalom V tipa ugaonog raspona od 30° i širine 0.1mm. Dubina skidanja bakarnog sloja je $30\mu\text{m}$. Brzina obradnog alata kojim je rađeno je 3000 obrtaja u minuti (engl. rpm) naponom od 12V. Vodovi nisu dovoljno izolovani što može da se vidi sa slike. Ivice nisu oštećene.



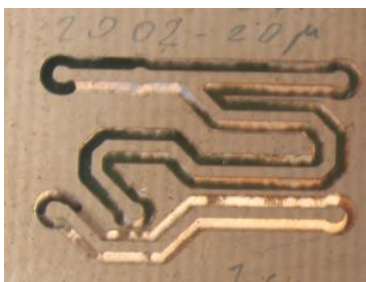
Slika 6. Korišćenje drugog motora sa glodalom V tipa ugaonog raspona od 30° i širine 0.1mm, dubina glodanja je $30\mu\text{m}$, dok je brzina 3000 obrtaja u minuti

Na slici 7 je prikazan rad sa istim glodalom kao na slici 6. Dubina glodanja je takođe ostala ista. Promjenjena je brzina obrtanja obradnog alata na oko 7500 obrtaja u minuti (engl. rpm) pri naponu napajanja od 29V. Sa ove slike može da se zaključi da je pri ovim parametrima zadovoljavajuće izvršeno izolovanje vodova. Ivice nisu oštećene.



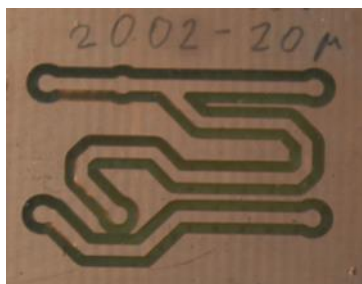
Slika 7. Korišćenje drugog motora sa glodalom V tipa ugaonog raspona od 30° i širine 0.1mm, dubina glodanja je $30\mu\text{m}$, dok je brzina 7500 obrtaja u minuti

Na slici 8 je prikazan rad sa glodalom V tipa ugaonog raspona 20° i širine 0.2mm. Dubina skidanja bakarnog sloja je $20\mu\text{m}$. Brzina obradnog alata kojim je rađeno je 3000 obrtaja u minuti (engl. rpm) naponom od 12V. Vod nije dovoljno izolovan. Nije dovoljna dubina prodiranja bakarnog sloja. Ivice nisu oštećene.



Slika 8. Korišćenje drugog motora sa glodalom V tipa ugaonog raspona od 20° i širine 0.2mm , dubina glodanja je $20\mu\text{m}$, dok je brzina 3000 obrtaja u minuti

Na slici 9 je prikazan rad sa istim glodalom kao u prethodnoj slici. Dubina skidanja bakarnog sloja je takođe ostala ista, ali je u ovom slučaju povećana brzina obrtanja obradnog alata sa 3000 na 7500 obrtaja u minuti (engl. rpm) gdje je napon napajanja povećan na 30V . Kao što se može vidjeti sa slike vodovi su korektno izolovani tako da nemaju električne veze sa spoljašnjom površinom bakra i ostalim vodovima. Ivice nisu oštećene.



Slika 9. Korišćenje drugog motora sa glodalom V tipa ugaonog raspona od 20° i širine 0.2mm , dubina glodanja je $20\mu\text{m}$, dok je brzina 7500 obrtaja u minuti

Na slici 10 je prikazan rad spiralnog glodala ugaonog raspona od 30° i širine 0.1mm . Dubina prodiranja bakarnog sloja podešena je na $40\mu\text{m}$. Brzina pokretanja obradnog alata je podešena na 7500 obrtaja u minuti pri naponu napajanja od 30V . Vodovi su međusobno izolovani što može da se vidi sa slike. Sa slike se još može zaključiti da su ivice veoma oštećene.



Slika 10. Korišćenje drugog motora sa spiralnim glodalom ugaonog raspona od 30° i širine 0.1mm , dubina glodanja je $40\mu\text{m}$, dok je brzina 7500 obrtaja u minuti

7. ZAKLJUČAK

Prvobitni cilj koji je postavljen u ovom radu podrazumjeva je izradu CNC mašine koja će biti u stanju da sprovede sve neophodne mašinske procese pri izradi štampane pločice.

Pored toga potrebno je bilo riješiti problem kontrole odnosno upravljanja, a naravno finalno i sprovesti proces testiranja čime bi se kompletirao ovaj rad.

Izrađena CNC mašina u stanju je da obavlja postupke glodanja, bušenja kao i sječenja, što su zapravo ključni procesi prilikom postupka izrade štampane pločice.

Kada se pogleda čitav sistem, treba imati na umu da je za relativno mali budžet proizvedena mašina koja je u stanju da prođe kroz sve osnovne mašinske procese u postupku proizvodnje štampane ploče.

8. LITERATURA

- [1] Uputstvo za izradu štampanih pločica: <http://arhiva.elitemadzone.org/t23768-Uputstvo-za-izradu-stampanih-plocica> (pristupljeno u septembru 2022.)
- [2] Prilagodna pločica: <https://osoyoo.com/2017/04/07/arduino-uno-cnc-shield-v3-0-a4988/> (pristupljeno u novembru 2022.)
- [3] Programski pakete *FlatCam*: <https://www.mischianti.org/2019/02/22/design-and-mill-pcb-easy-and-cheap-part-3/> (pristupljeno u januaru 2023.)
- [4] Programski paket *Candle*: <https://cncphilosophy.com/candle-grbl-software-tutorial/> (pristupljeno u januaru 2023.)

Kratka biografija:



Miroslav Katanić rođen je u Derventi 1998. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Primenjena elektronika odbranio je 2021.god.
kontakt: miroslavkatanic@uns.ac.rs