

PROJEKTOVANJE UPRAVLJAČKE PLOČE ZA KONTROLU DC MOTORA**DESIGN OF MAIN BOARD FOR DC MOTOR CONTROL**Nikolina Bratić, Vladimir Rajs, *Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U ovom radu predstavljen je razvoj PCB modula koji se koristi kao kontrolni modul za upravljanje rada motora, sa komunikacionim interfejsima (Ethernet, USB 2.0, CAN Bus, I2C, UART), Stereo DAC 24-bitni AD konvertor.. Cilj ovog rada bio je da se opiše na najbolji mogući način celokupan proces projektovanja višeslojne štampane pločice od idejne šeme, realizacije (šematski dizajn) i rutiranja pločice do generisanja izlaznog fajlova za izradu samog PCB-a. Izabran je mikrokontroler iz STM32 familije, jer je razvojno okruženje intuitivno i lako za korišćenje.

Ključne reči: STM32, Ethernet, USB 2.0, CAN Bus, I2C, UART, Stereo DAC 24-bit AD konvertor

Abstract – In this paper the development of a PCB module which can be used as a control module for managing the operation of the engine, with communication interfaces (Ethernet, USB 2.0, CAN Bus, I2C, UART), Stereo DAC 24-bit AD converter. The goal of this paper was to describe in the best possible way the entire process of designing a multi-layer printed circuit board from the conceptual scheme, realization (schematic design) and routing of the circuit board to the generation of output files for the production of the PCB itself. A microcontroller from the STM32 family was chosen, because the development environment is intuitive and easy to use.

Keywords: STM32, Ethernet, USB 2.0, CAN Bus, I2C, UART, Stereo DAC 24-bit AD converter

1. UVOD

U ovom radu realizovana je višeslojna štampana pločica za kontrolu upravljanja BDC motora.

Korišten je mikrokontroler STM32F407 sa debugger-om STM32F103, a od komunikacionih interfejsa: Ethernet (brzina 2MB/s), USB 2.0, CAN Bus (brzina 1MB/s), UART i I2C.

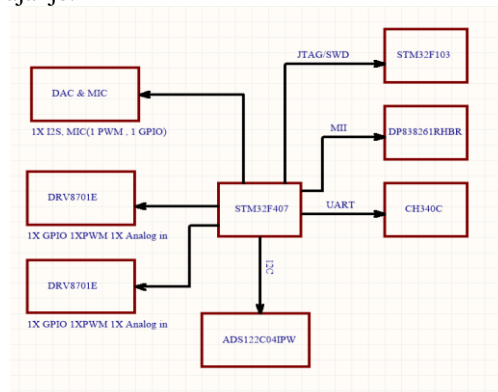
Prvo se pristupilo realizaciji šeme, zatim postavljanja komponenata za rutiranje i pravila za rutiranje. Posle rutiranja pločice urađena je provera Design rule check, i izvezeni su fajlovi za fabrikanju (poručivanje PCB).

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Rajs, vanr. prof.

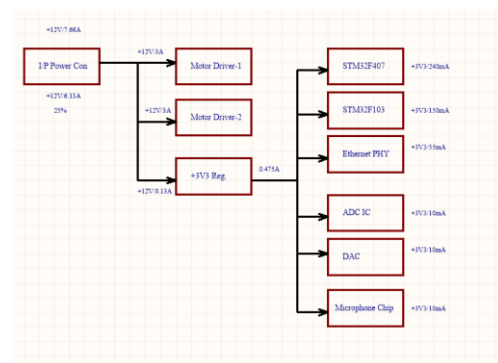
2. RAZVOJ HARDVERA

Šematski i PCB dizajn modula rađen je u programskom paketu „Altium Designer”. Blok šema modula data je na slici 1, a sastoji se od sledećih podblokova: Schematic Block, Power Budget, STM32F103 Debugger, Ethernet PHY, Motor Driver 1, UART, USB interfejs, ADC interfejs, DAC I MIC, MCU - STM32F407, Motor Driver i Napajanje.



Slika 1. Blok šema modula

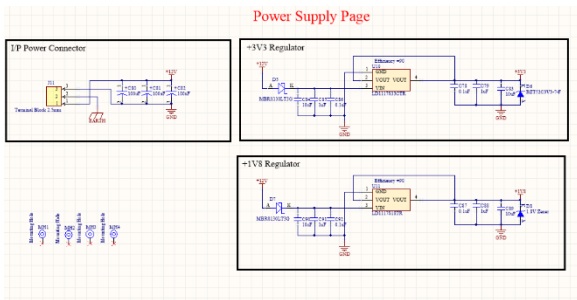
U samom projektovanju vrlo je bitno uraditi analizu budžeta za napajanje (engl. power budget), kako bismo imali podatke o strujnim i naponskim zahtevima/ograničenjima (slika 2).



Slika 2. Budžet za napajanje

2.1. Napajanje

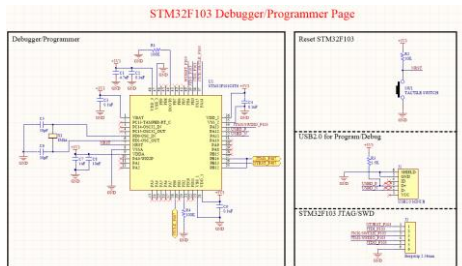
Za napajanje mikrokontrolera 3.3V korišten je linearni regulator LD1117S33CTR, ulazni napon može da bude maksimalno 15V i izlazna struja 800mA, dok je za napajanje 1.8V korišten linearni regulator LD1117S18TR sa istim karakteristikama kao i LD1117S33CTR. Električna šema napajanja prikazana je na slici 3.



Slika 3. Električna šema bloka napajanja

2.2. STM32F103 Debugger

Za programator je izabran STM32103 debager, koji ima SWD i JTAG pinove. Šematski prikaz programatora je prikazan na slici 4.

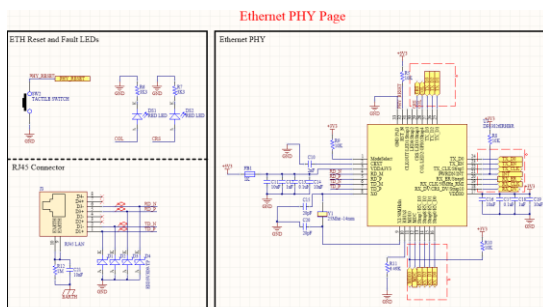


Slika 4. Električna šema programatora

2.3. Ethernet PHY

Ethernet je najrasprostranjenija mrežna tehnologija koja se koristi kod LAN-ova. Uobičajena bitska brzina kod prenosa podataka na ovoj mreži je 10 Mbps, a noviji standardi dozvoljavaju brzinu prenosa od 100 Mbps. Najčešće korišćeni standardi za Ethernet su Ethernet 2.0 i IEEE 802.3. U oba slučaja kao medijum za prenos se koristi deljiva magistrala po kojoj, u datom trenutku, samo jedan čvor može da prenosi (šalje) podatke. Podaci se prenose u formi okvira koji sadrži MAC (eng. media access control) izvorišnu i odredišnu adresu predajnog i prijemnog čvora, respektivno. Ethernet karticu čine dve sledeće logičke celine: interfejs fizičkog medijuma - prema standardu, logika ovog interfejsa odgovara PLS-u i PMA-u. Interfejs je odgovoran za prenos signala na električnom nivou, a čine ga sledeće dve celine: primopredajnik; i konvertor koda koji kodira/dekodira podatke.

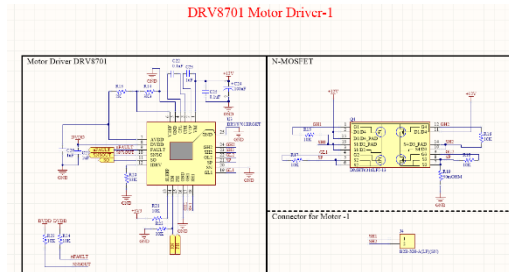
Sa ciljem da ne dođe do refleksije signala na prenosnom medijumu UTP treba da bude završen karakterističnom impedansom od 100 Ω, a koaksijalni sa 50 Ω. Izgled električne šeme Ethernet PHY dat je na slici 5.



Slika 5. Električna šema Ethernet PHY

2.4. Motor Driver 1/2

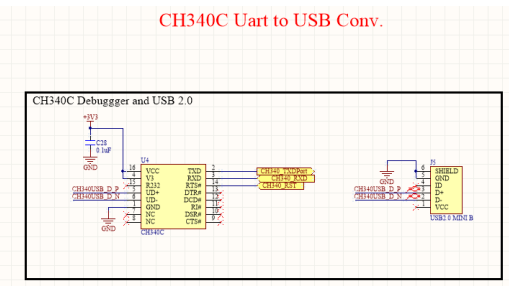
Električna šema Motor Driver data je na slici 6. DRV8701 je H most drajver sa integrisanim FET drajverom za kontrolu 4 eksterna mosfeta. Uređaj može da se napaja sa napajanjem 5.9V do 45V. Unutrašnja zaštita koja je prisutna: zaštita od niskog napona, charge pump greške, gašenje pri visokoj struji, greške pred drajvera, i zaštita od visoke temperature.



Slika 6. Električna šema Motor Driver-a

2.5. UART, USB interfejs

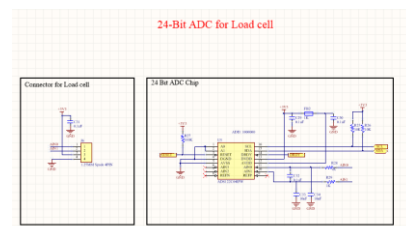
CH340 je USB konvertorski čip koji pretvara USB u serijski port. U UART režimu, CH340 obezbeđuje standardne MODEM signale, koji se koriste za proširenje serijskog porta za računare ili direktno nadogradnju sa normalnog serijskog uređaja na USB magistralu. Električna šema je prikazana na slici 7.



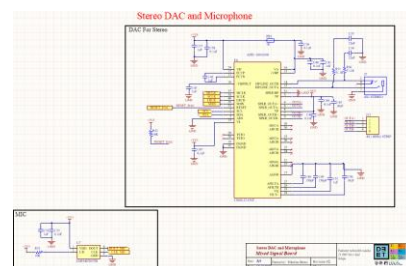
Slika 7. Električna šema UART i USB

2.6. ADC interfejs, Stereo DAC i Microphone

Električna šema ADC bloka data je na slici 8, dok je električna šema za Stereo DAC i Microphone prikazana na slici 9.



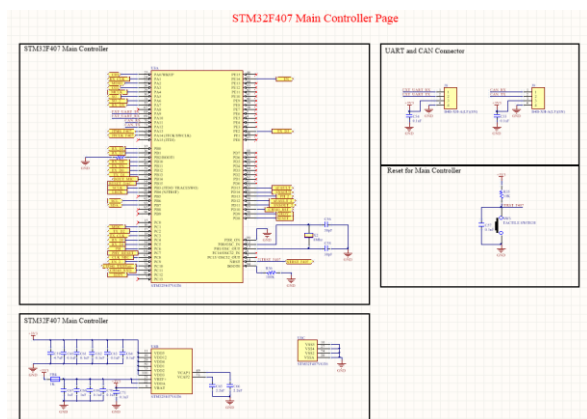
Slika 8. ADC blok



Slika 9. Električna šema Stereo DAC i Microphone

2.7. Mikrokontrolerska jedinica

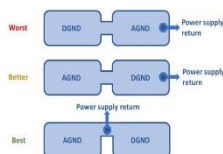
Kontroler koji ima glavnu funkciju je STM32F407VGT6 [1]. Električna šema MCU je data na slici 10.



Slika 10. Električna šema MCU

3. Pravila za rutiranje

Prilikom rutiranja štampane pločice veoma je bitno podesiti pravila u skladu sa proizvođačem. Ova pravila nisu kompletna, jer kompleksna PCB pločica može imati stotine pravila. Neka od njih su: Pločice sa uzemljenom ravni su bolje jer dozvoljavaju rutiranje signala u microstrip i stripline konfiguraciji. Takodje, značajno smanjuju impedansu uzemljenja, pa time i šum uzemljenja; Signali visoke frekvencije se trebaju rutirati na međunivoima. Na ovaj način uzemljene ravni se ponašaju kao štit, i štite od elektromagnetne radijacije uzrokovane visokim frekvencijama; Sloj signala mora uvek biti susjedan ravni; Povećavanje broja uzemljenih ravni ima veliku prednost, jer smanjuju impedansu uzemljenja pločice, kao i elektromagnetno zračenje; Napajanje-Napajanje i Uzemljenje-Uzemljenje ravni moraju biti strogo spregnute; Konfiguracije bi trebale biti simetrične. Na primer, na osmoslojnoj pločici, ako je sloj 2 ravan, sloj 7 bi isto trebao biti ravan; Slojeve sa signalima je potrebno staviti pored slojeva ravni (napajanja ili uzemljenja). Povratna struja tako može teći na susjednoj ravni, smanjujući induktansu povratne konture na minimum; Da bi se dodatno popravio šum i elektromagnetna interferencija, može se dodatno smanjiti izolacija između signalnog sloja i susjednog sloja ravni; Važna stvar koju treba imati na umu je debljina pojedinih signalnih slojeva. Kada se bira materijal, treba obratiti pažnju na njegove električne, mehaničke i termalne karakteristike; Uzemljenje-odvajanja analogne i digitalne mase (slika 11)



Slika 11. Odvajanje analogne i digitalne mase

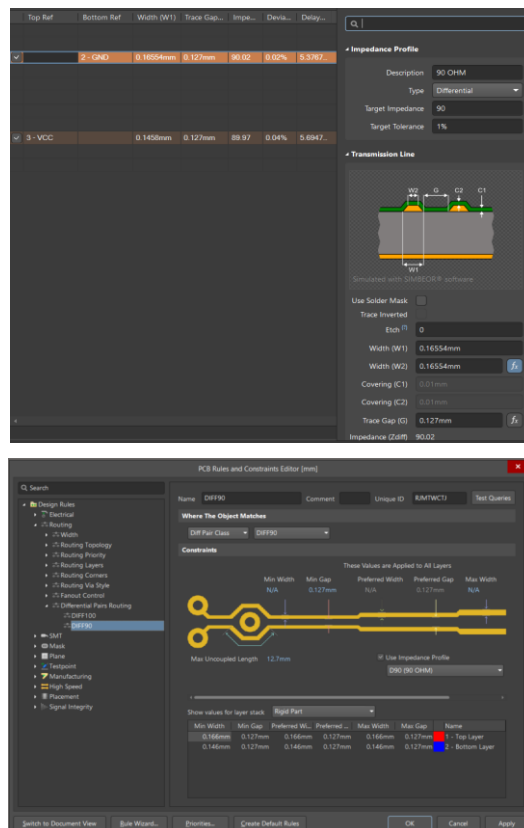
3.1. Impedansa

Impedansa se može shvatiti kao otpornost u AC režimu. Takođe se meri u omima, kao i otpornost, ali se znatno razlikuje. Omi otpornosti igraju ulogu u DC

režimu, dok omi impedanse su u AC režimu, konkretno u kolima koja imaju neku frekvenciju. Kako bi bili sigurni da se vod za signal ispravno projektovao, kao i da kvalitet signala kroz njega ne opada, impedansa se mora pažljivo kontrolisati, pošto je impedansa vodova PCB pločice inače nekontrolisana.

3.2. Važnost izjednačavanja impedansi u PCB dizajnu

Kontrola impedanse u PCB dizajnu se odnosi na izjednačavanje karakteristika materijala podloge, sa dimenzijama i pozicijom vodova, kako bi se obezbedilo da se impedansa signala nekog voda nalazi u tolerisanom opsegu. Pločice sa kontrolisanom impedansom pružaju ponovljivije visokofrekventne performanse. Ispod su navedeni argumenti za kontrolu impedanse PCB dizajna. Na visokim frekvencijama, signal na vodu pločice nije samo veza, nego se ponaša i kao komponenta. Karakteristike se mogu razlikovati čak i na istom vodu, na različitim mestima. Kada god se signal propagira dalje kroz vod, različita impedansa stvara refleksiju signala koja zavisi od razlike neizjednačenih impedansi. Veće razlike impedansi stvaraju veću refleksiju i utiču na integritet signala. Refleksija signala ofsetuje stvarni ili primarni signal, i takav signal se često pogrešno tumači od strane visokofrekventnih AD konvertora i ostalih visokofrekventnih kola, rezultujući neuspešnim dekodovanjem stvarnog signala. Primer izjednačavanja impedansi sa diferencijalnim signalima prikazan je na slici 12.



Slika 12. Postavljanje pravila za diferencijalne parove

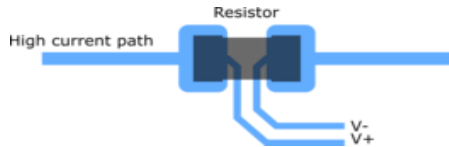
U zavisnosti od vrste signala i brzine prenosa podataka ili frekvenciji, u Tabeli 1. mogu se videti standardne vrednosti impedanse.

Standardni signal	Standardna impedansa (Ω)	Toleransa [%]
USB	90	+/- 15
HDMI	95	+/- 15
IEEE 1394	108	+/- 2
Displayport	100	+/- 20
VGA	75	+/- 5
DVI	95	+/- 15
Ethernet Cat.5	100	+/- 5

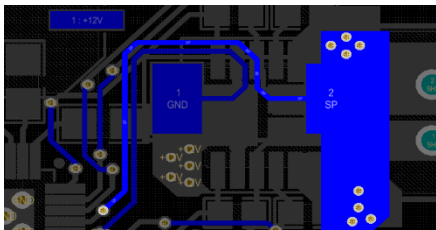
Tabela 1. Standardne vrednosti impedanse za dizajn PCB-a

3.3. Kelvinova veza - otpornik za strujni senzor

Kelvinove senzor linije bi trebale da se vežu direktno na otporničke senzor priključke. Vodovi trebaju biti simetrični, sa identičnom dužinom i debljinom (slika 13.a i slika 13.b). Bilo kakve greške vezane za otpornost vodova, kontakata i/ili temperaturnog koeficijenta su eliminisane na taj način. Kelvinova veza za otpornik sa četiri pristupa je neophodna za precizno merenje struje.



Slika 13.a) Kelvinova veza (engl. Kelvin connection) [2]



Slika 13.b) Prikaz rutiranja senzor otpornika

3.4. Stack up

Preporuka za četveroslojnu pločicu, stack-up od strane proizvođača štampanih pločica JLCPCB prikazana je na slici 14, dok je na slici 15. prikazan stack up projekta.

Layer	Material	Type	Thickness
Top Layer1	Copper	0.035 mm	0.035 mm
Prepreg	FR-4	0.200 mm	0.200 mm
Core	Copper	0.035 mm	0.035 mm
Inner Layer1	Copper	0.035 mm	0.035 mm
Prepreg	FR-4	0.200 mm	0.200 mm
Bottom Layer	Copper	0.035 mm	0.035 mm

Slika 14. Preporuka za stack-up [3]

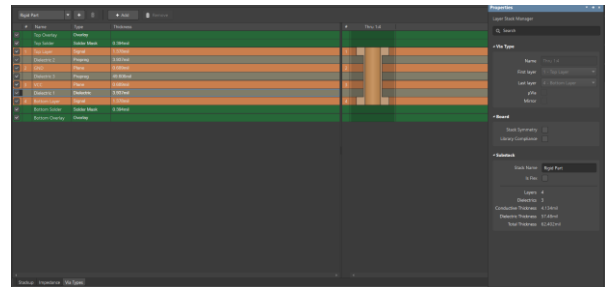
Layer Name	Type	Material	Thickness (mm)	Dielectric Material	Dielectric Constant	Pullback (mm)	Orientation
Top Overlay	Overlay	Surface Mat.	0.01	Solder Resist	3.5		Top
Top Solder	Solder Mask	Surface Mat.	0.01	Solder Resist	3.5		Top
Top Layer	Signal	Copper	0.035				
Dielectric 2	Dielectric	Prepreg	0.1	FR-4	4.1	0.500	
GND	Internal Plane	Copper	0.035				
Dielectric 1	Dielectric	Prepreg	0.1	FR-4	4.1	0.500	
VCC	Internal Plane	Copper	0.035				
Dielectric 1	Dielectric	Prepreg	0.1	FR-4	4.1	0.500	
Bottom Layer	Signal	Copper	0.035				
Bottom Solder	Solder Mask	Surface Mat.	0.01	Solder Resist	3.5		Bottom
Bottom Overlay	Overlay	Surface Mat.	0.01	Solder Resist	3.5		Bottom

Slika 15. Stack up projekta

Preporučene vrednosti za VIA od strane proizvođača date su na slici 16, na slici 17. je to realizovano u projektu.

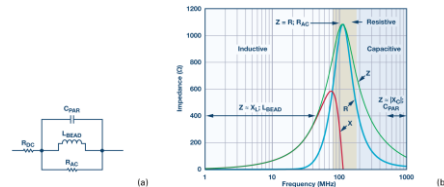
Parameter	Value	Notes
Microvia	0.2mm	For Single/Dual Layer PCB, the minimum via hole size is 0.3mm. For Multi Layer PCB, the minimum via hole size is 0.2mm.
Microvia diameter	0.4mm	For Single/Dual Layer PCB, the minimum via diameter is 0.5mm. For Multi Layer PCB, the minimum via diameter is 0.45mm (minimum 0.4mm).

Slika 16. Preporuka za via



Slika 17. Dimenzije via u projektu

3.5. Ferrite bead



Slika 18. Karakteristika ferrite bead [4]

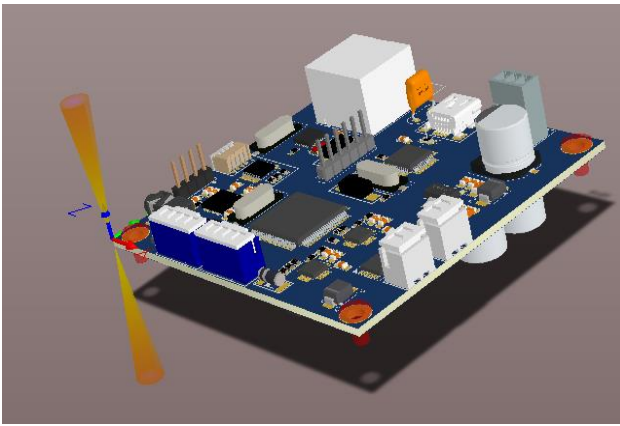
Iz razloga što su impedanse Ferrite Bead-ova induktivne, ferrite bead induktori se koriste da guše visokofrekventne signale u elektronskim komponentama (slika 18). Kada se Ferrite Bead prigušivac postavi na vod za napajanje koji napaja neki elektronski uređaj, on otklanja suvišan visokofrekventan šum koji je prisutan, ili kojeg je generisao izvor DC napajanja. Primenjivanje ferrit-a kao filtera elektromagnetne interferencije ili kao prigušivaca šuma izvora napajanja, najčešće dolazi sa pragom DC struje koji se mora ispoštovati. Struje veće od zadate vrednosti praga mogu oštetiti komponentu. Problematična stvar je da ovaj prag drastično zavisi od temperature. Kako temperatura raste, prag maksimalne struje brzo opada. Maksimalna struja takodje utiče na impedansu ferita. Kako DC struja raste, ferrite bead će se "zaštititi" i izgubiti induktansu.

Na relativno visokim strujama, saturacija može smanjiti impedansu ferrite-a i do 90%. U ovom projektu korišten je ferrite bead MPZ1608B471ATA00 (470 Ohms @ 100 MHz, 1A) kod Ethernet-a.

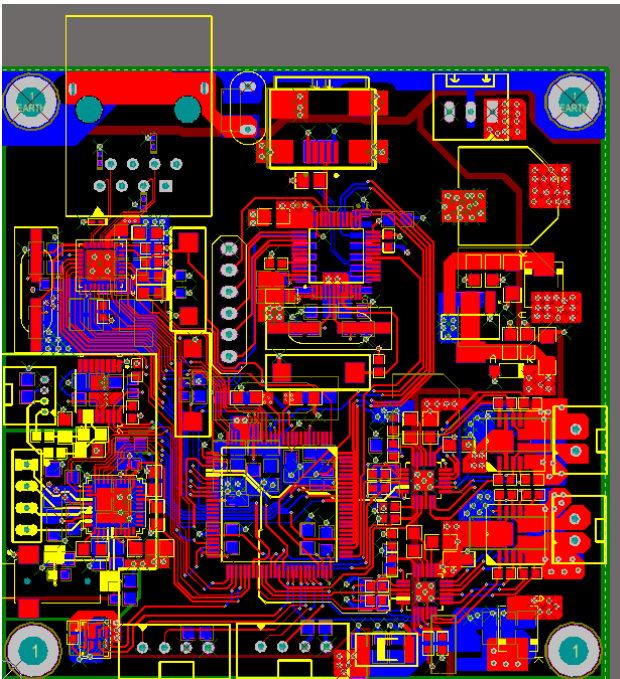
4. Štampana ploča

Štampana ploča je izrađena u četveroslojnoj tehnologiji, dimenzija 71x71 mm. Takođe su dodati bušeni otvori za ugradnju odstoynika radi lakšeg montiranja.

Izgled 3D pločice prikazan je na slici 19. dok je izgled 2D prikazan na slici 20.



Slika 19. Izgled 3D štampane ploče

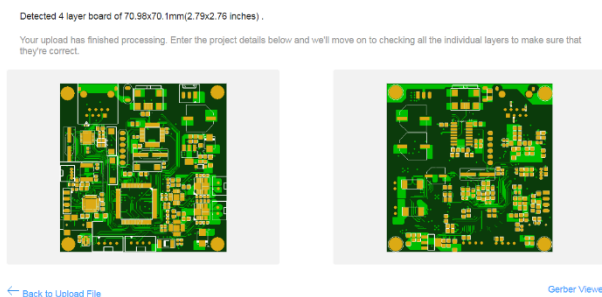


Slika 20. 2D prikaz štampane ploče

4.2. Fajlovi za fabričaciju - izlazni fajlovi

NC drill fajl sadrži informacije o bušenju. Gerber format je otvoreni ASCII vektorski format za dizajn štampanih ploča (PCB).

To je standard koji koristi softver industrije PCB-a da opiše slike štampanih ploča: slojeve bakra, maska za lemljenje, podaci o bušenju itd. Izgled Gerber fajlova je prikazan na slici 21.



Slika 21. Prikaz Gerber fajlova

Ref	Description	Quantity	UOM	Manufacturer	Part Number
1	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
2	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
3	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
4	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
5	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
6	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
7	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
8	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
9	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
10	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
11	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
12	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
13	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
14	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
15	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
16	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
17	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
18	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
19	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
20	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
21	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
22	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
23	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
24	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
25	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
26	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
27	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
28	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
29	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
30	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
31	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
32	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
33	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
34	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
35	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
36	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
37	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
38	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
39	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
40	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
41	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
42	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
43	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
44	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
45	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
46	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
47	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
48	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
49	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
50	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
51	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
52	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
53	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
54	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
55	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
56	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
57	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
58	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
59	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
60	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
61	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
62	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
63	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
64	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
65	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
66	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
67	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
68	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
69	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
70	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
71	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
72	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
73	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
74	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
75	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
76	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
77	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
78	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
79	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
80	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
81	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
82	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
83	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
84	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
85	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
86	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
87	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
88	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
89	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
90	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
91	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
92	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
93	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
94	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
95	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
96	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
97	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K
98	Capacitor	100	PC	TAIYO YUDEN	C1608X5R-1E104K
99	IC	1	PC	ST	STM32F407VGT6J
100	Resistor	100	PC	YAGEO	RC0402FR-07100K

Tabela 2. BOM – Bill of Materials

Lista komponenta koje se koriste u projektu (podaci o proizvođaču, MPN, količini, kućištu, designatoru) se izvozi kada se uradi kompletak šematik za projekat. Prikaz BOM liste je dat u tabeli 2.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu uspešno je projektovana kontrolna ploča. Data su pravila prilikom rutiranja višeslojne štampane pločice, kao i smernice za bolji stack-up. Izvezeni su fajlovi za fabričaciju, NC Drill, Gerber i BOM. Rad se može nadograditi tako da se dodaju još neke periferije (enkoderi), i da se izvuku eksterni pinovi od mikrokontrolera.

5. LITERATURA

- [1] Internet sajt, specifikacija STM32F407VGT6J STM32F407VGT6J STMicroelectronics | Integrated Circuits (ICs) | DigiKey, septembar 2022.
- [2] Internet sajt, a Kelvin Connection What is a Kelvin Connection and a Shunt Resistor? | Alp Electronics, avgust 2022.
- [3] Internet sajt, preporuka za Stackup Controlled Impedance PCB Layer Stackup- JLCPCB, septembar 2022.
- [4] Internet sajt, Ferrite beads <https://resources.altium.com/p/how-do-ferrite-beads-work-and-how-do-you-choose-right-one>, septembar 2022.

Kratka biografija:



Nikolina Bratić rođena je u Trebinju 1996. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva -Primenjena elektronika odbranila je 2019.god.



Vladimir Rajs rođen je 1982. godine u Apatinu. Diplomirao je 2007, a doktorirao 2015. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Od 2016. godine je bio zaposlen kao docent, od 2021. kao vanredni profesor na Departmanu za elektroniku, energetiku i telekomunikacije FTN-a.