

UNIVERSITETI I PRISHTINËS “HASAN PRISHTINA”

FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE

DEPARTAMENTI MEKATRONIKË



PUNIM DIPLOME

NJË METODË ALTERNATIVE PËR MODELIMIN DHE KONTROLLIMIN E STEPPER MOTORËVE HIBRID

Studenti:

BSc. Fatjon BEQA

Mentori:

Prof.Ass.Dr. Xhevahir BAJRAMI

Prishtinë, 2021

UNIVERSITETI I PRISHTINËS “HASAN PRISHTINA”

FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE

DEPARTAMENTI MEKATRONIKË



PUNIM DIPLOME

**Tema: NJË METODË ALTERNATIVE PËR MODELIMIN DHE
KONTROLLIMIN E STEPPER MOTORËVE HIBRID**

Studenti:

BSc. Fatjon BEQA

Mentori:

Prof.Ass.Dr. Xhevahir BAJRAMI

Prishtinë, 2021

PËRMBAJTJA

LISTA E FIGURAVE.....	6
LISTA E TABELAVE.....	11
LISTA E SHKURTESAVE.....	12
ABSTRAKTI.....	13
1. HYRJE.....	14
2. STEPPER MOTORËT	16
2.1 Informata të përgjithshme në lidhje stepper motorët	16
2.2 Përparësitë, mangësitë dhe përdorimet e stepper motorëve	17
2.3 Parimi i punës së stepper motorëve.....	18
2.4 Metodat dhe mekanizmat për ngasjen e step motorëve.....	25
2.4.1 Ngasja me gjysmë-hapa	26
2.4.2 Ngasja me mikro-hapa (microstepping).....	27
2.4.3 Mekanizmat për ngasjen e step motorëve.....	27
2.5 Përshkrimi i thjeshtë matematikorë i ngasjes me mikrohapa.....	28
3. ZHVILLIMI I PLLAKËS ELEKTRONIKE (PCB).....	31
3.1 Informata të përgjithshme në lidhje me pllakat elektronike.....	31
3.2 Zhvillimi i pllakës elektronike	33
3.2.1 Skema fillestare e PCB-së.....	33
3.2.2 Lidhja elektrike e komponentëve në PCB	35
3.2.3 Transferimi i dizajnit dhe zhvillimi i pllakës	38
3.3 Zhvillimi i pllakës profesionale.....	46
3.3.1 Skema e PCB-së finale.....	46
3.3.2 Layout-i i PCB-së finale	48
4. PJESA MEKANIKE.....	54
4.1 Modeli matematikor i motorit	54
4.1.1 Modeli matematikor elektrik i SM.....	54
4.1.2 Modeli matematikor mekanik i SM	56
4.2 Çmontimi dhe analizimi i pjesëve të brendshme të SM.....	57
4.3 Modelimi 3D i step motorit në softuer	62
4.3.1 Bashkimi i pjesës mekanike me atë elektrike	64
4.4 Dizajnimi i shtëpizës industriale	65

5.	PËRZGJEDHJA E KOMPONETËVE	69
5.1	Mikrokontrolleri	69
5.2	Ngasësi i SM (Driver-i).....	70
5.3	Senzori magnetik (enkoderi)	71
5.4	Konektori i tipit USB C.....	72
6.	SIMULIMET	74
6.1	Simulimet elektrike	74
6.1.1	Llogaritja e gjerësisë së vijave	74
6.1.2	Shpërndarja e rrymave nëpër pllakë	75
6.1.3	Simulimet e temperaturës	76
6.2	Simulimet termike	78
6.2.1	Simulimet e temperaturës për shtëpizë	81
6.3	Krahasimet me datasheet.....	84
7.	PROGRAMIMI DHE METODAT E RREGULLIMIT	85
7.1	Teknikat e rregullimit.....	85
7.1.1	Skena funksionale e përgjithësuar	85
7.1.2	Ngasja me shpejtësi këndore konstante	86
7.1.3	Teknika e rregullimit të pozitës	89
7.1.4	Ngasja me moment konstant.....	90
7.1.5	Mënyra e rregullimit tek 3D printerët	91
7.1.6	Mënyra e rregullimit të CNC makinat	93
7.1.7	Teknikat e rregullimit brenda driver-it	94
7.2	Konfigurimi dhe programimi i mikrokontrollerit.....	95
7.2.1	Gjuhët programuese	95
7.2.2	Konfigurimi i pinave.....	96
7.3	Zhvillimi i ndërfaqes për komandim dhe konfigurim të SM	97
8.	TESTIMET	101
8.1	Testimi i shpejtësisë së mikrokontrollerit	101
8.2	Testimet termike.....	105
8.2.1	Temperaturat e matura në step motor	106
8.2.2	Temperaturat e matura në driver-a.....	109
8.2.3	Krahasimet mes driverit të zhvilluar dhe TMC2226 të gatshëm	111

8.2.4	Grafi i efikasitetit të driver-it	112
8.3	Testimet akustike.....	113
9.	PËRMBLEDHJA, REZULTATET DHE KONKLuzionET	117
9.1	Përmbledhja e punimit	117
9.2	Rezultatet dhe konkluzionet	118
10.	SHTOJCA.....	119
10.1	Softuerët e shfrytëzuar	119
10.1.1	Softuerët për dizajnimin e pllakave elektronike	119
10.1.2	Softueri i shfrytëzuar për pjesën mekanike.....	120
10.1.3	Softuerët e shfrytëzuar për programim	120
10.1.4	Softuerët e shfrytëzuar për simulime	120
10.1.5	Softuerët e shfrytëzuar për realizmin, editimin dhe renderimin e figurave	121
10.1.6	Softuerët e tjerë	121
10.2	Disa detaje tjera teknike	122
	LITERATURA	123
	DEKLARATA ETIKE.....	125

LISTA E FIGURAVE

Fig. 2.1: Stepper motori	18
Fig. 2.2: Pamja e statorit dhe rotorit	18
Fig. 2.3: Renditja e dhëmbëve të statorit dhe rotorit.	19
Fig. 2.4: Rotori.....	19
Fig. 2.5: Pjesët e rotorit.....	19
Fig. 2.6: Polet e dhëmbëve të statorit	20
Fig. 2.7: Simboli i step motorit bipolar.....	20
Fig. 2.8: Furnizimi i grupeve A (majtas) dhe B (djathtas) të statorit me rryme	20
Fig. 2.9: Hapi I.....	21
Fig. 2.10: Hapi II	22
Fig. 2.11: Hapi III	23
Fig. 2.12: Hapi IV	23
Fig. 2.13: Ndërrimi i poleve magnetike gjatë rrotullimit të rotorit.....	24
Fig. 2.14: Renditja e dhëmbëve të rotorit me stator	24
Fig. 2.15: Ngasja me hapa te plote	25
Fig. 2.16: Shembulli i ngasjes me gjysmë-hapa	26
Fig. 2.17: Ngasja me gjysmë-hapa	26
Fig. 2.18: Ngasja me mikro-hapa	27
Fig. 2.19: Llojet e ndryshme të ngasësve	28
Fig. 2.20: Dallimi mes sinusoidës ideale dhe asaj të shkallëzuar	29
Fig. 2.21: Valëzimet e padëshiruar	29
Fig. 2.22: Rryma e fazave me 4 mikrohapa/hap.....	30
Fig. 2.23: Rryma e fazave me 64 mikrohapa/hap.....	30
Fig. 2.24: Cikli i plotë elektrik (1/4 mikrohapa).....	30
Fig. 3.1: PCB njëstresore	31
Fig. 3.2: PCB dyshtresore.....	31
Fig. 3.3: Shembulli i një PCB-je shumë-shtresore	32
Fig. 3.4: Realizimi i lidhjeve të komponentëve në PCB.....	35
Fig. 3.5: Pamje gjatë dizajnit të pllakës për anën e poshtme dhe të sipërme	36
Fig. 3.6: Pamja finale e shtresës së sipërme të pllakës	36
Fig. 3.7: Pamja finale e shtresës së poshtme të pllakës	37

Fig. 3.8: 3D modeli i pllakës fillestare me komponente.....	37
Fig. 3.9: Dizajni i pllakës për printim.....	38
Fig. 3.10: Dizajni i printuar i pllakës në fletë speciale	38
Fig. 3.11: Pllaka e papërpunuar	39
Fig. 3.12: Polirimi i pllakës	39
Fig. 3.13: Pamje nga pllaka e poliruar	40
Fig. 3.14: Pllaka e gatshme për transferim	40
Fig. 3.15: Pllaka me dizajnin e transferuar në të	41
Fig. 3.16: Vrimat për drejtim.....	41
Fig. 3.17: Drejtimi i fletës për anën e poshtme të pllakës	42
Fig. 3.18: Dizajni i transferuar në shtresën e poshtme të pllakës	42
Fig. 3.19: Pllaka e zhytur në tretësirë acidike.....	43
Fig. 3.20: Largimi i bakrit dhe formimi i CuCl_2	43
Fig. 3.21: Pamja nga poshtë e pllakës pas reaksionit	44
Fig. 3.22: Pamja nga sipër e pllakës pas reaksionit	44
Fig. 3.23: Pamja e vrimave të shpuara në pllakë	44
Fig. 3.24: Pllaka e përfunduar me komponente në të.	45
Fig. 3.25: Komponentët kryesore të pllakës.	45
Fig. 3.26: Driveri i SM me komponentët rrethore	46
Fig. 3.27: Definimi i parametrave elektrik të PCB-së	48
Fig. 3.28: Definimi i parametrave fizik të PCB-së	48
Fig. 3.29: Vendosja e komponentëve në pllakë.....	49
Fig. 3.30: Gjatë procesit të lidhjes së komponentëve (layout-it).....	49
Fig. 3.31: Shtresa e sipërme (Top).....	50
Fig. 3.32: Shtresa e brendshme I (Inner1)	50
Fig. 3.33: Shtresa e brendshme II (Inner2).....	51
Fig. 3.34: Shtresa e poshtme (Bottom).....	51
Fig. 3.35: Pamja e pllakës së përfunduar (pa komponente).....	52
Fig. 3.36: Pamja e pllakës së përfunduar (me komponente).....	52
Fig. 3.37: Pamja 3D e pllakës finale.....	53
Fig. 4.1: Qarku elektrik ekuivalent i fazës së SM.....	54
Fig. 4.2: Qarku ekuivalent i fazës së motorit për frekuenca të larta.....	55

Fig. 4.3: Forcat e aplikuara në aks të motorit	56
Fig. 4.4: Krahasimi mes SM NEMA17 (sipër) dhe NEMA23 (poshtë)	57
Fig. 4.5: Largimi i bulonave nga SM.....	58
Fig. 4.6: Largimi i shtëpizës së sipërme të SM.....	58
Fig. 4.7: Komponentët përbërëse të step motorit.....	59
Fig. 4.8: Rotori i SM, dhëmbët e tij dhe polet e magnetëve permanent	59
Fig. 4.9: Pjesa e pasme e SM, renditja e dhëmbëve	60
Fig. 4.10: Statori i step motorit.....	60
Fig. 4.11: Fletëzat e trupit të statorit.....	61
Fig. 4.12: Pamje gjatë dizajnit të 3D modelit të SM	62
Fig. 4.13: Pjesët e modeluara të SM.....	63
Fig. 4.14: Montimi i PCB-së në SM me distancera.....	64
Fig. 4.15: Pamja e PCB-së së bashkuar me step motor.	64
Fig. 4.16: Projektionet e shtëpizës së dizajnuar	66
Fig. 4.17: Prerja tërthore I, analizimi i kontaktëve	66
Fig. 4.18: Prerja tërthore II, analiza e shtrëngimit.....	67
Fig. 4.19: Pamja e produktit final. Shtëpiza e montuar në SM.....	67
Fig. 4.20: Zbërthimi i pjesëve të produktit final.....	68
Fig. 5.1: Specifikat e konektorit të tipit C	72
Fig. 6.1: Llogaritja e parametrave elektrik.	74
Fig. 6.2: Shpërndarja e rrymave në shtresën e poshtme të PCB-së	75
Fig. 6.3: Dendësia e rrymave në A/mm^2	76
Fig. 6.4: Nxehtësia në shtresën e parë (majtas) dhe shtresën dytë (djathtas)	77
Fig. 6.5: Nxehtësia në shtresën e tretë (majtas) dhe shtresën e katërt (djathtas)	77
Fig. 6.6: Shkalla e sigurisë.....	78
Fig. 6.7: Shpërndarja e nxehtësisë në shtresën e sipërme dhe të poshtme të PCB-së	79
Fig. 6.8: Ftohësi (heatsink-u) i aluminit	79
Fig. 6.9: Prerja tërthore I, shpërndarja e temperaturës	80
Fig. 6.10: Prerja tërthore I, rrymat e ajrit.....	81
Fig. 6.11: Simulimi i temperaturës së shtëpizës, prerja tërthore	82
Fig. 6.12: Vetitë fizike të ftohësit (majtas) dhe shtëpizës (djathtas)	83
Fig. 6.13: Pamje nga simulimi i temperaturës së shtëpizës në softuer	84

Fig. 6.14: Specifikimet termike të driverit.....	84
Fig. 7.1: Skema funksionale e përgjithësuar e sistemit	85
Fig. 7.2: Bllok-diagrami i ngasjes me shpejtësi konstante	86
Fig. 7.3: Diagramet kohore të enkoderit.....	87
Fig. 7.4: Bllok-diagrami i rregullimit të pozitës	89
Fig. 7.5: Bllok-diagrami i ngasjes me moment konstant.....	90
Fig. 7.6: Bllok-diagrami rregullues i aplikimit në 3D printerë.....	91
Fig. 7.7: Bllok-diagrami rregullues i aplikimit në CNC makina.	93
Fig. 7.8: Bllok-diagrami i përgjithësuar për driver-in TMC2226.....	94
Fig. 7.9: Bllok-diagrami i aplikimit bazik për TMC2226	95
Fig. 7.10: Konfigurimi i pinave të mikrokontrollerit.....	96
Fig. 7.11: Konfigurimi i frekuencave punuese	97
Fig. 7.12: Vendosja e komunikimit kompjuter – kontrollor	98
Fig. 7.13: Konfigurimi i parametrave të SM	98
Fig. 7.14: Zgjedhja e mikrohapave	99
Fig. 7.15: Dritarja e tretë, komandimi i SM	100
Fig. 7.16: Ndryshimi i P.I.D. parametrave	100
Fig. 8.1: Matja e frekuencës (Gjuha C++).....	102
Fig. 8.2: Matja e frekuencës (Gjuha C)	103
Fig. 8.3: Matja e frekuencës (Arduino)	104
Fig. 8.4: Matja e frekuencës (Assembler).....	104
Fig. 8.5: Imazhet termike të motorit Y (A4988).....	106
Fig. 8.6: Imazhet termike të motorit Y (TMC2226).....	106
Fig. 8.7: Grafi krahasues i temperaturave të motorit	108
Fig. 8.8: Grafi linear i temperaturave të motorit.....	108
Fig. 8.9: Imazhet termike të A4988	109
Fig. 8.10: Imazhet termike të TMC2226	109
Fig. 8.11: Grafi i temperaturave të driver-ëve	110
Fig. 8.12: Driver-i i gatshëm TMC2226.....	111
Fig. 8.13: Grafi krahasues i driver-ëve TMC2226	112
Fig. 8.14: Grafi i efikasitetit të motorit.....	112
Fig. 8.15: Raporti i decibel-metrit për driver-in TMC2226.....	114

Fig. 8.16: Raporti i decibel-metrit për driver-in A4988	114
Fig. 8.17: Krahasimi i zhurmave në shkallën logaritmike.....	116
Fig. 10.1: Logo e programit EasyEDA.....	119
Fig. 10.2: Logo e kompanisë Cadence.....	119
Fig. 10.3: Logot e Capture CIS, PCB Editor dhe Padstack Editor	119
Fig. 10.4: Logo e programit Fusion 360	120
Fig. 10.5: Logo e softuerëve të programimit	120
Fig. 10.6: Logo e softuerëve të përdorur për simulime	120
Fig. 10.7: Logo e softuerëve të përdorur për figura.....	121
Fig. 10.8: Logot e softuerëve tjerë.....	121
Fig. 10.9: Kahet e magnetizimit	122

LISTA E TABELAVE

Tabela 5.1: Krahasimet mes STM32F103C8T6 dhe ATMEGA328P	69
Tabela 6.1: Temperaturat maksimale për secilën shtresë të pllakës	76
Tabela 8.1: Matjet e realizuara me osciloskop.....	105
Tabela 8.2: Temperaturat e matura në step motor (°C).....	107
Tabela 8.3: Temperaturat e matura në driver (°C).....	110
Tabela 8.4: Temperaturat e matura në motor (°C).....	111
Tabela 8.5: Matjet akustike (dB).....	114

LISTA E SHKURTESAVE

ADC	Analog to Digital Convertor
CDC	Communication Device Class
CNC	Computer Numerical Control
COM	Communication (Port)
CRC	Cyclic Redundancy Check
DAC	Digital to Analog Convertor
DIR	Direction
EN	Enable
FR4	Lloj shtrese izolatore për pllaka elektronike
GUI	Graphical User Interface
HAL	Hardware Abstraction Level
ISR	Interrupt Service Routine
MCU	Microcontroller Unit
NC	Normally Closed
NO	Normally Opened
PC	Personal Computer
PCB	Printed Circuit Board
PID	Proportional Integral Derivative (Controller)
PWM	Pulse Width Modulation
RMS	Root Mean Square
SM	Stepper Motor
SMD	Surface Mount Device
SPI	Serial Peripheral Interface
SVG	Scalable Vector Graphics
TH	Through-Hole
TM	Trade Mark
TMC	Shkurtesë për TMC2226
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
USB	Universal Serial Bus

ABSTRAKTI

Sistemet me qark të hapur të kontrollit supozojnë se dalja i përgjigjet gjithmonë hyrjes dhe punojnë bazuar mbi këtë parim. Në botën reale, duke mos qenë gjithmonë çdo gjë perfekte ndodhë që distrubancat e jashtme ta prishin këtë harmoni. Problemin e ngjashëm e shqyrton edhe ky punim.

Humbja e hapave të stepper motorëve parimi i punës të së cilëve është i bazuar mbi qarkun e hapur të kontrollit, rezulton negativisht në daljen e sistemit. Në makina të cilat kërkojnë precizitet dhe sinkronizim të lartë siç janë CNC-të dhe 3D printerët, humbja e hapave do të rezultojë me pasoja të paevitueshme për pjesën e nganjëherë edhe për vetë makinën.

Përmes këtij punimi është zhvilluar një metodë alternative e cila mundëson kontrollimin e stepper motorëve pa pasur humbje të hapave pavarësisht nga distrubancat e jashtme.

Sistemi i zhvilluar përmirëson pllakën elektronike, algoritmet dhe metodat e kontrollit si dhe përmirëson pjesën mekanike.

Këto përmirësime, përveç saktësisë së garantuar, gjithashtu bëjnë që sistemi final të jetë më efikas, rrisin momentin punues të motorit, ulin nivelin e zhurmave të gjeneruara, bëjnë që temperaturat operuese të jenë më të ulëta si në motor ashtu edhe në ngasës si dhe në përgjithësi ofrojnë një mënyrë më të thjeshtë për komandimin e stepper motorëve.

Nga rezultatet e testeve të realizuara është arritur në konkluzion se metoda alternative për kontrollimin e stepper motorëve e hulumtuar dhe e zhvilluar gjatë këtij punimi ka përmirësime të dukshme krahasuar me zgjidhjet komerciale.

1. HYRJE

Motorët me hapa apo siç njihen ndryshe me emrin stepper motorët apo edhe step motorët janë “zemra” punuese e shumicës së sistemeve automatike.

Arsyeja që i ka bërë këta motor jashtëzakonisht të përhapur është fakti se këta motor në shumicën e rasteve mund të përdoren në sisteme me qark të hapur të kontrollit (Open loop control). Pra, nuk nevojitet as enkoder, as ndonjë metodë tjetër e lidhjes kthyesë (feedback-ut) për të kryer një lëvizje të caktuar.

Këta motor kanë dimensione të vogla, moment punues të mirë, si dhe çmim jo shumë të lart krahasuar me zgjidhjet e tjera. E gjitha kjo ka kontribuar në popullaritetin e tyre në sistemet automatike e sidomos në përdorimin e tyre në CNC makina dhe në 3D printerë.

Pasi që kanë gjithë këto përparësi dhe anë pozitive mund të shtrohet pyetja pse është i nevojshëm hulumtimi dhe zhvillimi i një metodë alternative për kontrollimin e tyre?

Së pari, përkundër përparësive të cilët i ofrojnë, këta motorë kanë edhe një numër të madh mangësish.

Stepper motorët kanë efikasitet të ulët. Kjo vjen nga fakti se motori tërheq rryma të mëdha pavarësisht nga ngarkesa e aplikuar në bosht. Gjithashtu kjo shkakton edhe rritjen e temperaturave punuese të vetë motorit. Momenti punues i tyre bie shumë shpejt me ngritjen e shpejtësisë së tyre të punës. Kanë rezolucion të vogël zakonisht 1:200 (1.8°) në ngarkesë maksimale. Rezolucioni i tyre mund të rritet por kjo direkt zvogëlon momentin e tyre punues.

Një problem tjetër me këtë lloj të motorëve është mos ekzistimi i një mekanizmi për kompensimin e hapave të humbur.

Nëse gjatë punës së këtyre motorëve për ndonjë arsyeje momenti punues në bosht të motorit rritet më shumë sesa momenti nominal i motorit atëherë do të kemi humbje të hapave.

Në 3D printer dhe CNC makina, humbja e hapave nënkupton humbjen e detalit gjatë prodhimit të tij.

Këta motor gjithashtu rezonojnë në shpejtësi të ulëta duke shkaktuar zhurma dhe oscilime në të gjithë makinën.

Fakti se këta motor kanë një performancë të konsiderueshme dhe kërkojnë shumë pak mirëmbajtje, në një mënyrë apo një tjetër ka ndikuar negativisht në hulumtimin e mëtejshme të këtyre motorëve.

Andaj, si qëllim studimi përgjatë këtij punimi do jetë përmirësimi i problemeve të ndryshme të cilat shfaqen me metodat aktuale të kontrollit.

Metoda e kontrollimit të stepper motorëve është shumë e rëndësishme ngase shumica e problemeve të lartcekura nuk vijnë nga ana mekanike e step motorit por nga vetë metoda e kontrollimit të tyre.

Punimi do të ndahet në disa kapituj të ndryshëm varësisht nga fusha e studimit.

Së pari do të fillohet me informatat e përgjithshme në lidhje me step motorët, nga këtu do të vazhdohet me metodat ekzistuese të ngasjes së tyre duke i dhënë një fokus të veçantë ngasjes me mikrohapa ngase është me interes të lartë për këtë punim.

Pastaj punimi do të ndahet në tri pjesë varësisht nga funksionaliteti.

Pjesa e parë ka të bëjë me elektronikën ku gjatë kësaj pjese do të hulumtohet, dizajnohet dhe zhvillohet një pllakë elektronike e cila do të jetë përgjegjëse për kontrollimin e step motorit.

Pjesa e dytë ka të bëjë me mekanikën. Këto do analizohen pjesët fizike të step motorëve dhe ndërlidhjet mes tyre. Do të jepen ekuacionet matematikore që përshkruajnë këta motor dhe pastaj do të realizohet një 3D model virtual i step motorit. Këtu gjithashtu do të dizajnohen edhe pjesët përkatëse që mundësojnë lidhjen e pllakës elektronike me step motorin.

Në pjesën e tretë do të shfaqen diagramet rregulluese të cilat do shfrytëzohen gjatë zhvillimit të programit dhe algoritmeve të cilët pllaka elektronike i përdor për kontrollimin e pjesës mekanike.

Ndërlidhja e pjesës mekanike me elektronikën dhe programimin bën që produkti final të jetë me natyrë mekatronike.

Pas realizimit të këtyre pjesëve do të vazhdohet me simulime dhe pastaj me testime reale duke paraqitur e grafikuar matjet e realizuara gjatë testimeve.

Së fundmi do të jepet një konkluzion në lidhje me rezultatet finale të hulumtimit dhe të zhvillimit të metodës alternative të kontrollit.

2. STEPPER MOTORËT

2.1 Informata të përgjithshme në lidhje stepper motorët

Një stepper (step) motor ashtu siç edhe sugjeron emri është një motor i cili punon me hapa. Stepper motorët janë motor elektrik DC pa brusha të cilët një rrotullim të plotë e ndajnë në numër të barabartë të inkrementëve apo thënë më ndryshe, hapave.

Stepper motori eksitohet nga një seri e tensioneve apo rrymave të cilat aplikohen në të dhe kjo shkakton një ndryshim të gjendjes së motorit. Secili ndryshim i gjendjes “prodhon” një inkrement (pozitë) të re dhe në secilën pozitë, stepper motori “fiksohet”. [2]

Tre grupet më kryesore të stepper motorëve janë stepper motorët me:

- Reluktancë të ndryshueshme (R.N)
- Magnet permanentë (P.M)
- Hibrid (kombinim i R.N dhe P.M)

Stepper motorët me reluktancë të ndryshueshme (RN) janë zakonisht tre-fazësh dhe madhësia e hapit tek këta motor është e rendit të 15° prandaj përdoren në aplikime ku kërkohet lëvizja në distanca të mëdha si dhe ku kërkohet përshpejtim i mire i motorit.

Stepper motorët me magnet permanent (PM) në rastin e përgjithshëm kanë më shumë moment sesa motorët me R.N. por kanë edhe inercinë më të madhe si pasojë e magnetit permanent i cili montohet radialisht në rotorin e motorit.

Stepper motorët hibrid¹ janë kombinim i këtyre dyve. Tek stepper motorët hibrid rotorin është i magnetizuar aksialisht me magnet permanent ndërsa statori është i elektromagnetizuar sikurse tek motorët me reluktancë të ndryshueshme. Të dy, statori dhe rotorin janë të dhëmbëzuar ashtu që ta ulin madhësinë e hapave dhe kjo bën që këta motorë të arrijn saktësi deri në 1.8° . Për shkak të saktësisë së mirë, këta motor përdoren në aplikime ku kërkohet kontroll preciz i pozitës. Përgjatë këtij punimi, e tërë puna do të fokusohet në stepper motorët hibrid andaj si të tillë do të quhen vetëm stepper motor.

¹ Hibrid – përzierje, kombinim

2.2 Përparësitë, mangësitë dhe përdorimet e stepper motorëve

Përparësitë:

- Stepper motorët mund të përdoren si pajisje me qark te hapur të kontrollit (open-loop).
- Stepper motorët janë bidireksional - punojnë në të dy drejtimet/kahet.
- SM mund të mbahen stacionarë (të fiksuar) me një moment të konsiderueshëm.
- SM ofrojnë nxitim të madh.
- SM mund të përdoren në sisteme ku kërkohet kontroll i shpejtësisë apo edhe i pozitës.
- SM nuk kanë devijim nga pozita e tyre (drift) kur janë stacionarë.
- Tek këta motorë nuk ka gabim akumulues që shtohet vazhdimisht prandaj mund të përdoren për kontroll të pozitës.
- Simpliciteti i konstruktimit dhe mirëmbajtje e vogël.

Mangësitë:

- Stepper motorët kanë efikasitet (efikasitet) të ulët.
- Madhësia e hapave (inkrementëve) është fikse.
- Secili hap ka tejkalim të pozitës (overshoot).
- Ngarkesat e mëdha incerciale shkaktojnë probleme me hapa. Humbje të hapave.
- Shpejtësia fillestare dhe ajo e fundme janë shumë më të ulëta sesa norma maksimale e shpejtësisë.
- Kontrolli i mirë i këtyre motorëve kërkon qarqe komplekse elektronike.
- Shpejtësi maksimale të ulët rrotullimeve për minutë.
- Temperatura të lartë punuese nën ngarkesa të mëdha.
- Rezonojnë në shpejtësi të ulëta punuese.

Përdorimet:

Stepper motorët kanë një gamë vërtetë të gjerë të aplikimeve. Që nga aplikimet industriale të automatizimit e deri tek lentet e kamerave dhe teleskopët. Nga printerët e thjeshtë deri tek ata 3D dhe CNC makinat. Po ashtu nga stabilizuesit (gimbal) e deri tek hard-disqet për ruajtjen e të dhënave. Në të gjitha këto por edhe shumë aplikimet të tjera që nuk u cekën, stepper motorët gjejnë përdorim.

2.3 Parimi i punës së stepper motorëve

Për ta kuptuar më mirë se si punon një step motor, duhet të kemi parasysh mënyrën se si ai është i ndërtuar. Në figurat vijuese janë paraqitur pamja e jashtme si dhe pamja nga pas e step motorit ku mund të shihet rotori i vendosur brenda statorit si dhe dhëmbëzimet e tyre. Detajet e tjera me specifike rreth konstruktit të stepper motorëve janë paraqitur në seksionin 4.2.

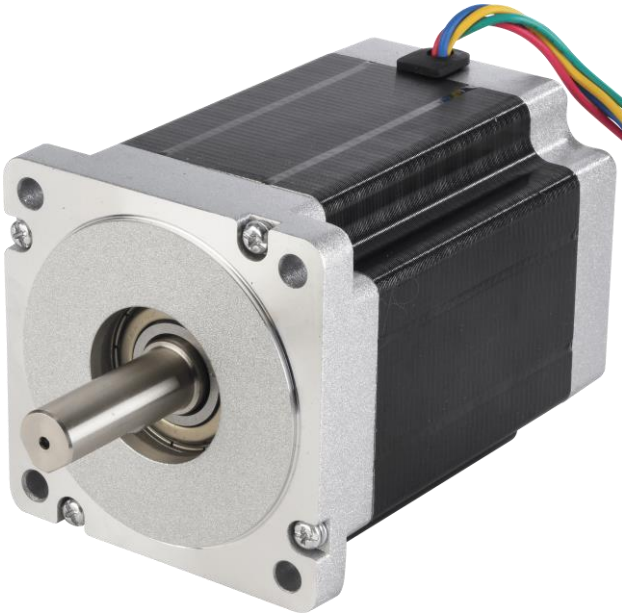


Fig. 2.1: Stepper motori

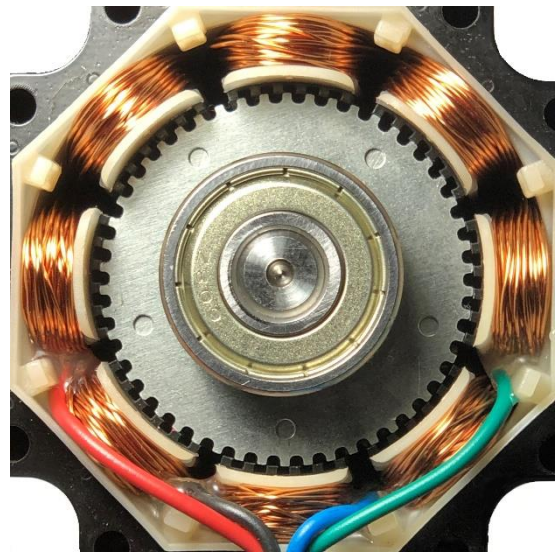


Fig. 2.2: Pamja e statorit dhe rotorit

Nëse analizojmë më në detaje figurën 2.2 mund të shohim se rotori është në formë të cilindrit të dhëmbëzuar dhe gjithsej ka 50 dhëmb. Sa i përket statorit, ai është i ndarë në 8 grupe me nga 6 dhëmb. Totali i dhëmbëve të statorit është 48, dy më pak sesa rotori. Ky dizajn i tillë i numrit të dhëmbëve është i qëllimshëm. Secili grup është një bobinë e pëstjellë mbi 6 dhëmb të statorit. Grupet e bobinave janë të ndara në katër çifte dhe secili çift është i pozicionuar sipas një rregulli.

- Grupi i parë (A, A') është i pozicionuar ashtu që dhëmbët e statorit dhe të rotorit janë të *renditur plotësisht*.
- Grupi i dytë (B, B'): Dhëmbët e statorit janë *gjysmë të renditur* me dhëmbët e rotorit.
- Grupi i tretë (C, C'): Dhëmbët e statorit dhe të rotorit janë *tërësisht të parenditur*.
- Grupi i katërt (D, D'): Dhëmbët e statorit janë *gjysmë të renditur* me dhëmbët e rotorit.

Ajo që u tha më sipër është e ilustruar në figurën vijuese ku rotori është në mes dhe i paraqitur me ngjyrë të hirit ndërsa grupet e statorit janë të shënuara me shkronja përkatëse dhe janë të ndara me ngjyra përkatëse sipas çiftëve. Në figurë gjithashtu mund të dallohet se çiftet janë të larguara (shfazuara) mes vete për 180° .

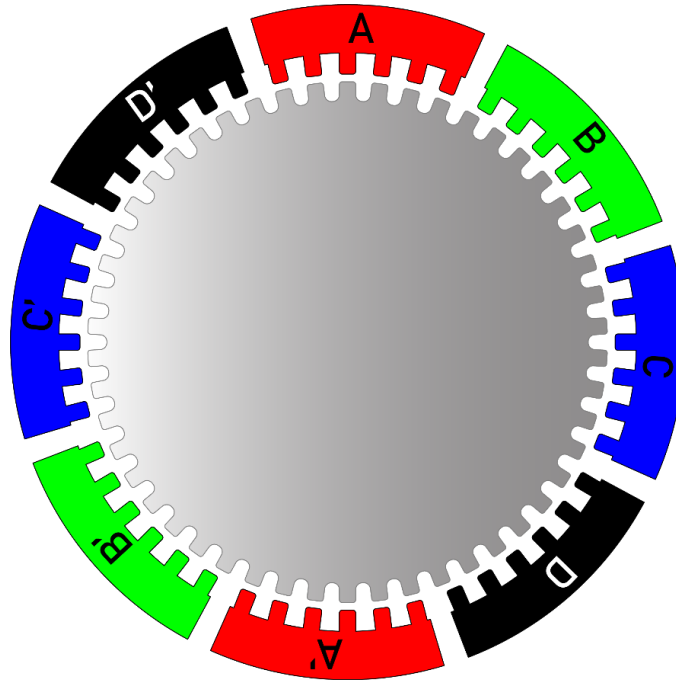


Fig. 2.3: Renditja e dhëmbëve të statorit dhe rotorit.

Rotori më i thjesht është i ndërtuar nga dy palë kapakë çeliku të dhëmbëzuar në mesin e të cilëve vendoset një magnet permanent.

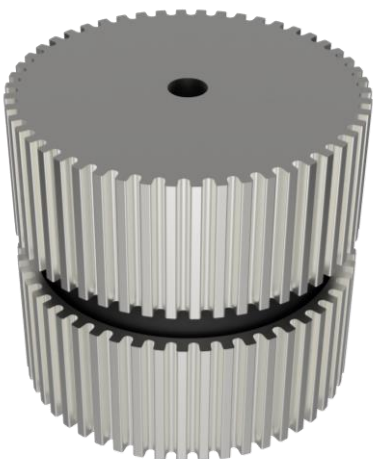


Fig. 2.4: Rotori

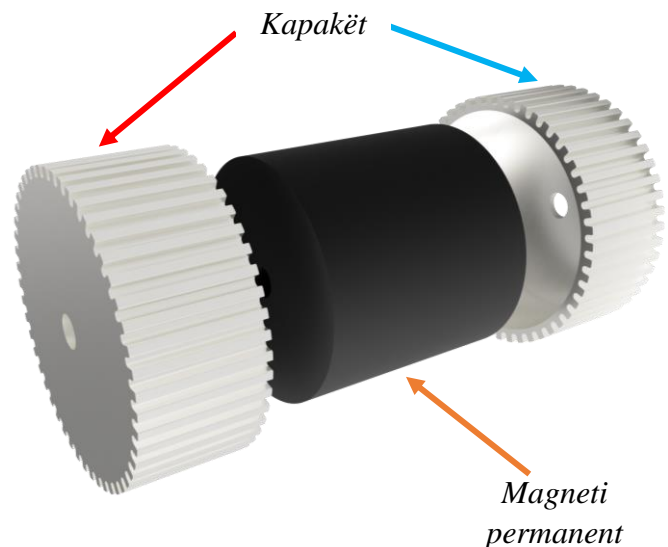


Fig. 2.5: Pjesët e rotorit

Magneti magnetizon kapakët ashtu që njëra anë bëhet pol Verior ndërsa ana tjetër pol Jugor.

Dhëmbët e dy kapakëve janë shfazuar njëri me tjetrin ashtu që nëse shikojmë nga lartë mund të shohim se dhëmbët e rotorit alternojnë në pole magnetike N, S, N, S, ...

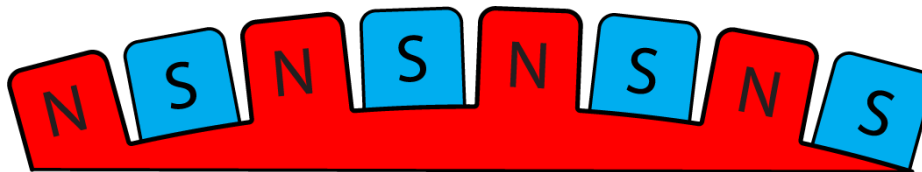


Fig. 2.6: Polet e dhëmbëve të statorit

Bobinat janë të lidhura mes vete në dy grupe me nga katër pështjella ashtu që në dalje, në total kemi katër përçues. Kjo mund të shihet edhe nga vetë simboli i step motorit.

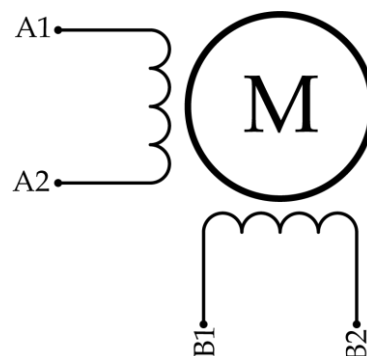


Fig. 2.7: Simboli i step motorit bipolar

Nëse skajet A1, A2 të përçueseve të step motorit lidhen në tension, në brendi të statorit do të formohen katër elektromagnet me pole alternuese N, S, N, S. Secili pol i formuar është i larguar nga tjetri për 90°. Procedura e ngjashme ndodhë edhe kur skajet B1, B2 të përçueseve lidhen në tension. Kjo është ilustruar në figurën vijuese.

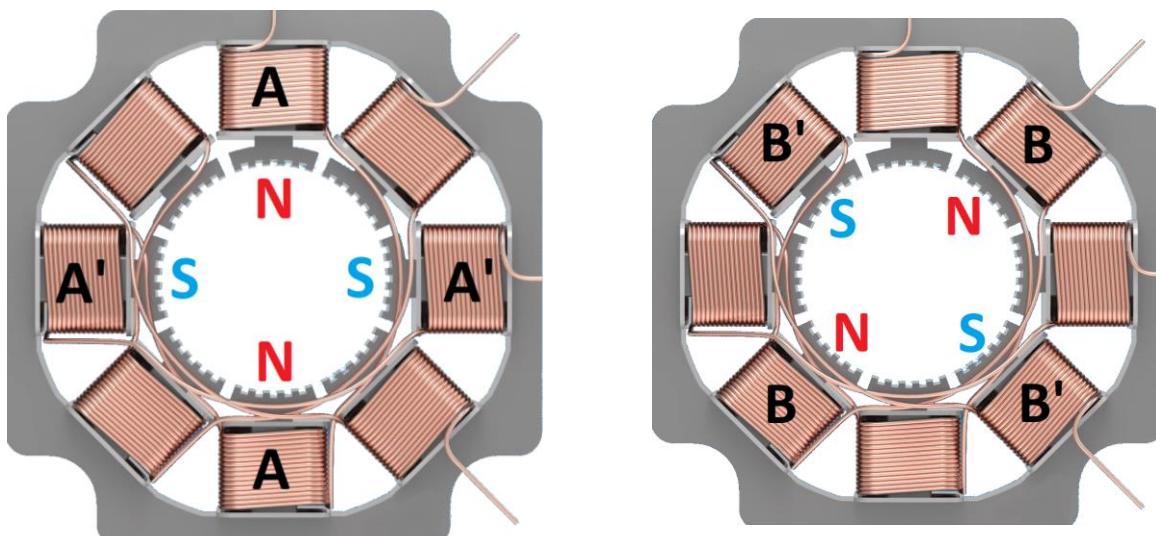


Fig. 2.8: Furnizimi i grupeve A (majtas) dhe B (djathtas) të statorit me rryme

Nëse ndërrohet kahja e rrymës, atëherë ndërron edhe renditja e poleve.

Në mënyrë që një dhëmb i rotorit të zhvendoset nga pozita e tij aktuale deri tek pozita e dhëmbit tjetër, janë katër hapa që duhet ndjekur.

Hapi I:

Kyçim fazën A të step motorit në furnizim ashtu që A1 (nga fig. 2.7) kyçet në tensionin pozitiv ndërsa A2 në tension negativ. Kjo bën që të krijohen dy palë elektromagnet të kundërt në stator të shfazuar mes vete për 90° dhe të cilët drejtojnë rotorin ashtu që poli magnetik verior (N) i formuar në 0 dhe 180° tërheq polin jugor (S) të magnetit permanent të rotorit dhe anasjelltas, poli magnetik S i statorit tërheq polin magnetik N të rotorit. Përpos tërheqjes së poleve të kundërta, polet e njëjta refuzohen mes vete dhe kështu rotorin fiksohet në atë pozitë deri sa të ndërrojmë tensionin e furnizimit. Hapin e parë në figurën vijuese do e shënojmë përmes rotorit me vijë të zezë dhe pastaj hapat e tjerë do të ndjekim në raport me këtë hap. Në figurë po ashtu janë paraqitur edhe polet të cilat formohen në stator. Polet e statorit të cilat nuk kanë ngjyrë i takojnë fazës e cila nuk është e kyçur në tension andaj nuk ka as pole magnetike të formuara në skaje. E gjithë kjo është e paraqitur në figurën vijuese.

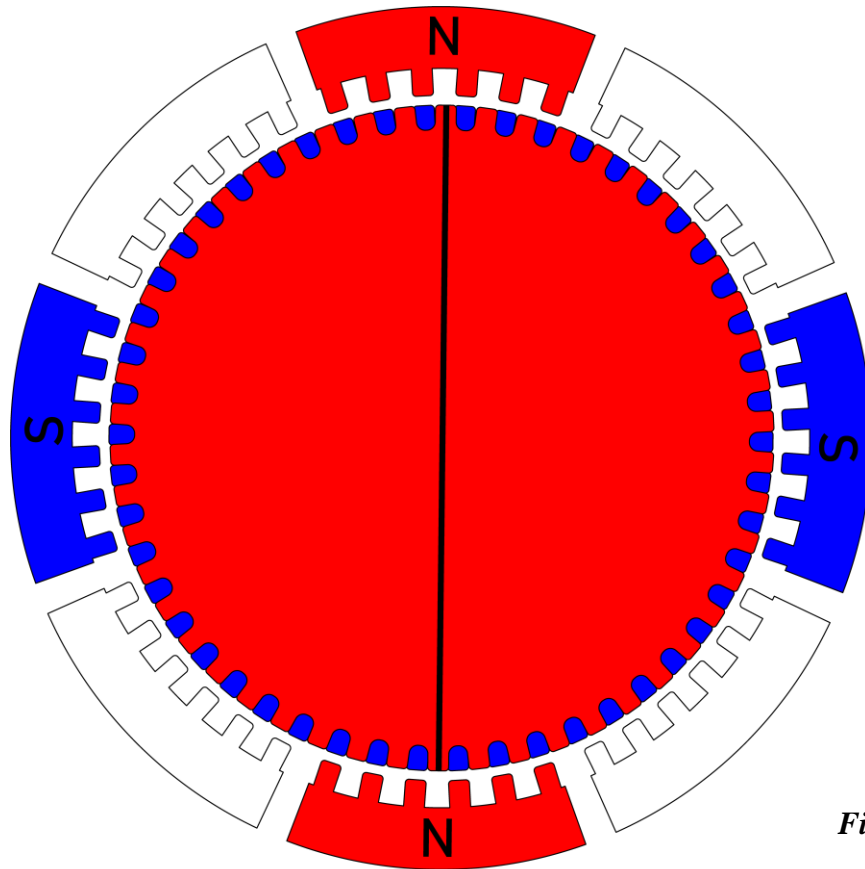


Fig. 2.9: Hapi I

Hapi II:

Kyçim fazën B të step motorit në furnizim ashtu që B1 (nga fig. 2.7) kyçet në tensionin pozitiv ndërsa B2 në tension negativ. Kjo bën që në stator të formohen polet magnetike veriore (N) në 45 dhe 225° ndërsa polet jugore (S) në 135 dhe 315°. Si shkas i formimit të këtyre poleve, rotori rrotullohet për një distancë të vogël derisa të renditet me vija e reja magnetike të formuara. Pozita e kaluar është shënuar me vijë të zezë, ndërsa pozita e re me ngjyrë të verdhë. Të gjitha këto janë paraqitur në figurën e mëposhtme.

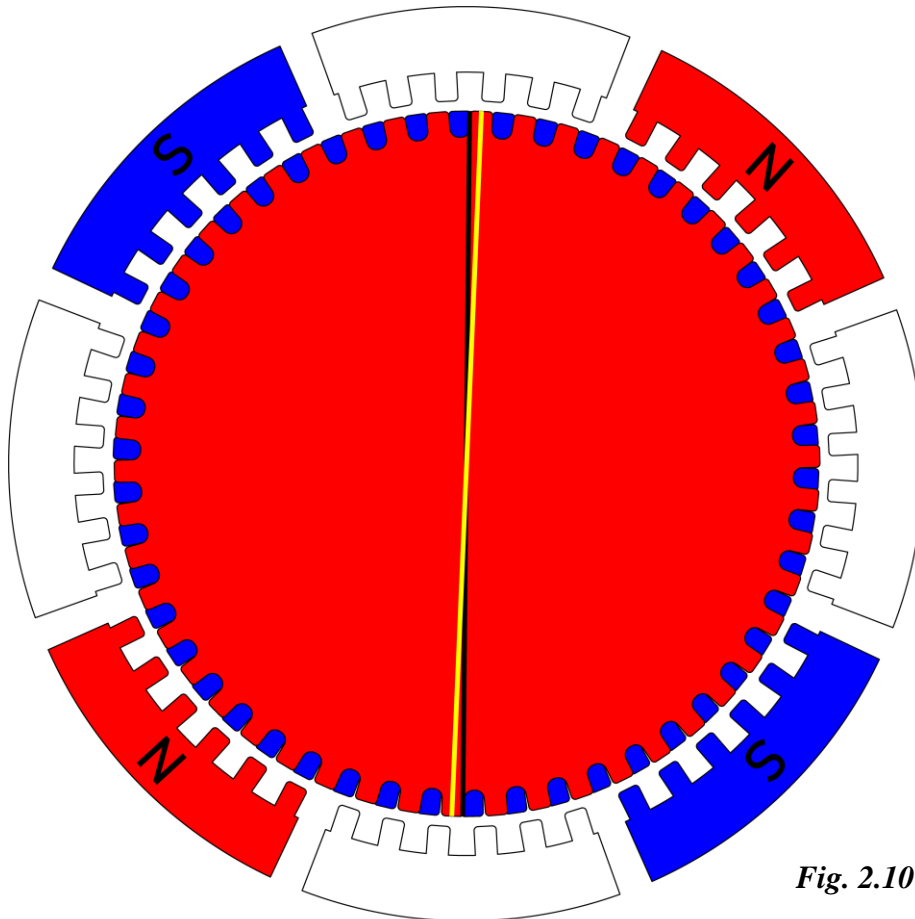


Fig. 2.10: Hapi II

Hapi III:

Ky është i ngjashëm me *Hapin I*, vetëm se në këta hap ndërrojmë kahun e tensionit ashtu që A1 kyçet në tension negativ ndërsa A2 në tension pozitiv. Ky ndërrim i kahut të tensionit implikon ndërrimin e poleve magnetike të formuara në stator. Me ndërrimin e poleve të statorit, rotori duhet përsëri të rrotullohet për një kënd të caktuar që të renditet me vijat e reja magnetike të formuara.

Hapi IV:

Ky hap është i ngjashëm me *Hapin II*, vetëm se edhe këtu ndërrojmë kahun e tensionit ashtu që B1 tashmë kyçet në tension negativ ndërsa B2 në tension pozitiv. Edhe ky ndërrim i poleve shkakton rrotullimin e rotorit për një kënd të caktuar.

Hapat III dhe IV janë paraqitur në figurat pasuese:

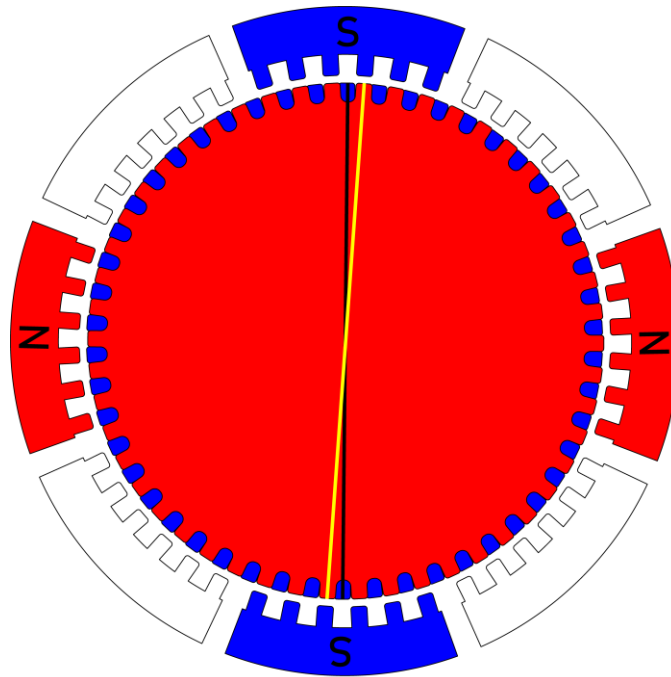


Fig. 2.11: Hapi III

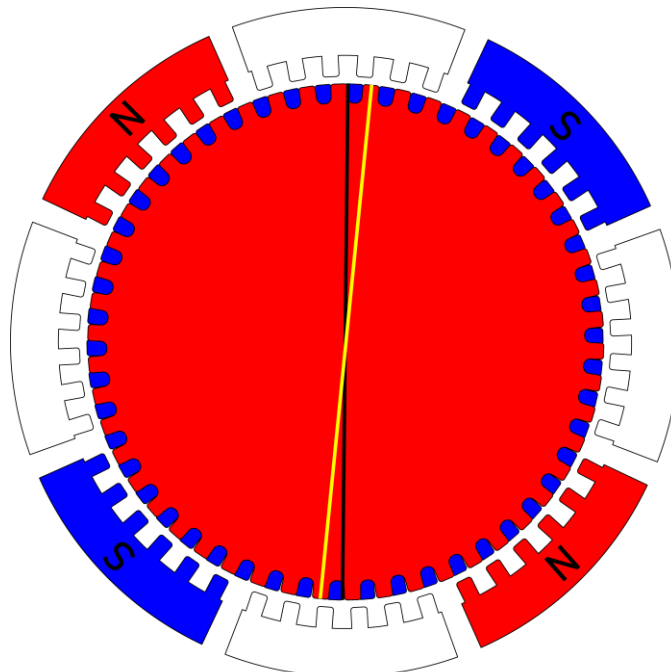


Fig. 2.12: Hapi IV

Të katër hapat e mësipërm të paraqitur njëri pas tjetrit janë dhënë në vijim.

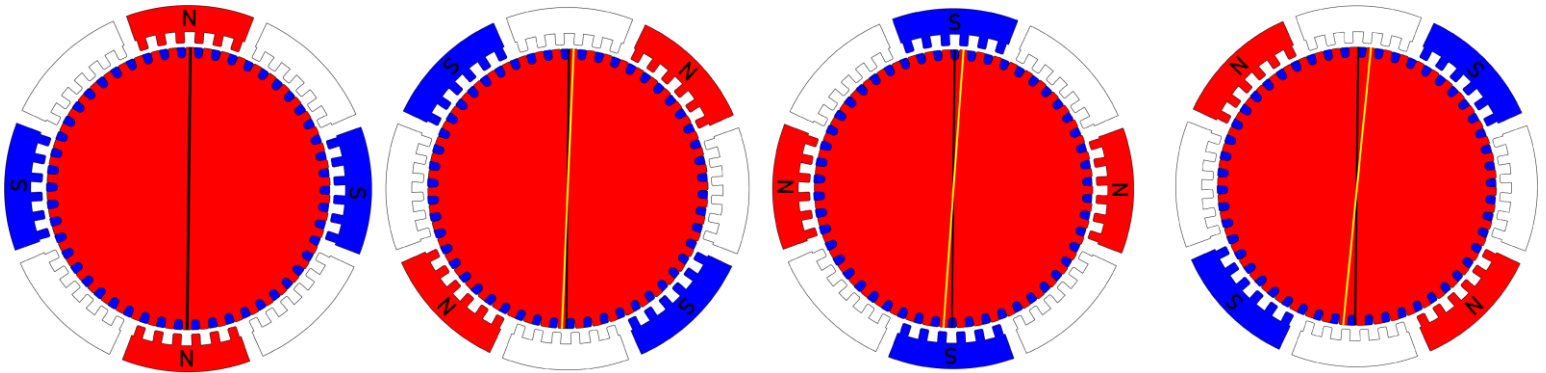


Fig. 2.13: Ndërrimi i poleve magnetike gjatë rrotullimit të rotorit

Për ta analizuar më në detaje se si renditen (drejtohen) dhëmbët e rotorit me ata të statorit nën veprimin e fushës magnetike, shohim figurën vijuese dhe vërejmë se poli jugor (S) i statorit tërhiqet me polin verior (N) të rotorit por njëkohësisht edhe shtyn (refuzon) polin jugor të rotorit (i cili ndodhet në kapakun tjetër të rotorit. Fig. 2.4, 2.5 dhe 2.6). Kjo vazhdon deri sa këto dy forca të ekuilibrohen dhe rotorin të orientohet plotësisht me fushën e re magnetike.

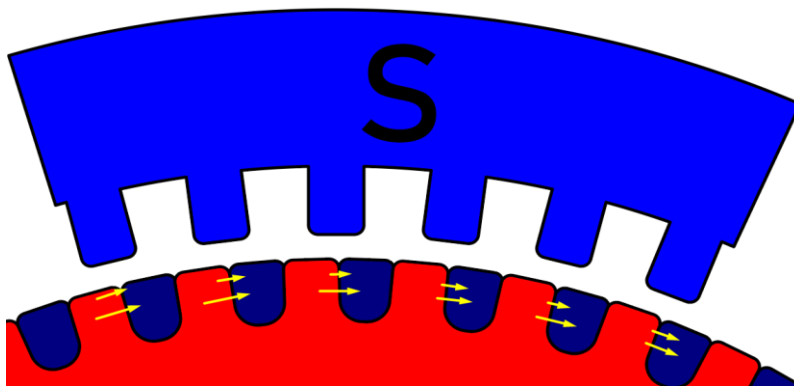


Fig. 2.14: Renditja e dhëmbëve të rotorit me stator

Nga kjo që pamë më sipër mund të kalkulojmë numrin e hapave të nevojshëm për një rrotullim të plotë të boshtit të rotorit. Duke ditur se kemi në total 50 dhëmb në rotor dhe se duhen 4 hapa për ta zhvendosur një dhëmb nga një pozitë në tjetrën, atëherë kemi:

$$50 \text{ (dhëmb)} * 4 \left(\frac{\text{hapa}}{\text{dhëmb}} \right) = 200 \text{ hapa}$$

Nga këtu kuptojmë se duhen 200 hapa ashtu që boshti i motorit ta kryej një rrotullim të plotë.

Pjesa më e madhe e step motorëve janë të dizajnuar bazuar në këtë konfiguracion të hapave. Pasi dimë sa hapa na duhen për një rrotullim të plotë, atëherë mund të llogarisim madhësinë e hapit.

$$\frac{360 \frac{\circ}{\text{rrotullim}}}{200 \frac{\text{hapa}}{\text{rrotullim}}} = 1.8 \text{ }^\circ/\text{hap}$$

Nga ekuacioni i mësipërm shohim se madhësia e një hapi (inkrementi) apo thënë ndryshe, rezolucioni i motorit është **1.8°**.

Për aplikime ku nuk kërkohet kontroll shumë i saktë i pozitës, këta motor mund të përdoren si të tillë ndërsa tek aplikimet ku kërkohet precizitet më i lartë (shembull tek makinat e kontrollit numerik) ky rezolucion nuk është i mjaftueshëm. Por ekziston një metodë për rritjen direkte të rezolucionit të këtyre motorëve pa ndërhyrje mekanike. Ngasja me mikro-hapa.

2.4 Metodat dhe mekanizmat për ngasjen e step motorëve

Parimisht eksitojnë tri metoda bazë për ngasjen e step motorëve:

- Ngasja me hapa të plotë
- Ngasja me gjysmë-hapa dhe
- Ngasja me mikro-hapa (microstepping)

Metoda e ngasjes e diskutuar më sipër është ajo e ngasjes me hapa të plotë ku vetëm njëra fazë e motorit aktivizohet në një moment të caktuar kohor. Kjo metodë rezulton në rezolucion 1.8°. Në figurën vijuese është paraqitur kjo metodë e ngasjes por me model të thjeshtuar të step motorit.

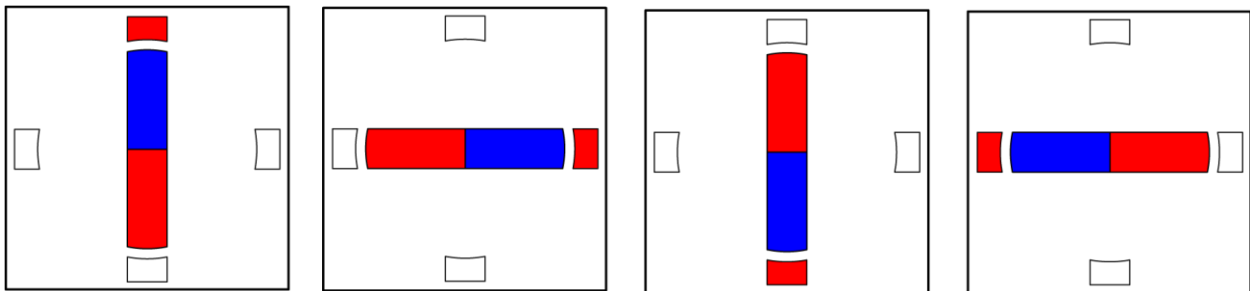
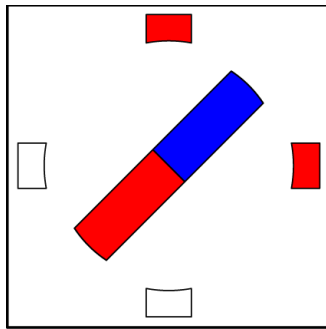


Fig. 2.15: Ngasja me hapa të plote

Nga figura shohim se nevojiten vetëm katër hapa për kryerjen e një lëvizje të plotë. Në mënyrë që ta përmirësojmë këtë rezolucion mund të aktivizojmë të dy fazat e ndryshme njëherësh!

2.4.1 Ngasja me gjysmë-hapa



Nëse kyçim në të njëjtin tension të dy fazat e ndryshme në të njëjtën kohë atëherë magneti (që simbolizon rotorin) do të pozicionet në mes të poleve të statorit duke dyfishuar saktësinë totale të motorit.

Fig. 2.16: Shembulli i ngasjes me gjysmë-hapa

Në vazhdim është ilustruar lëvizja e plotë e rotorit gjatë ngasjes me gjysmë-hapa.

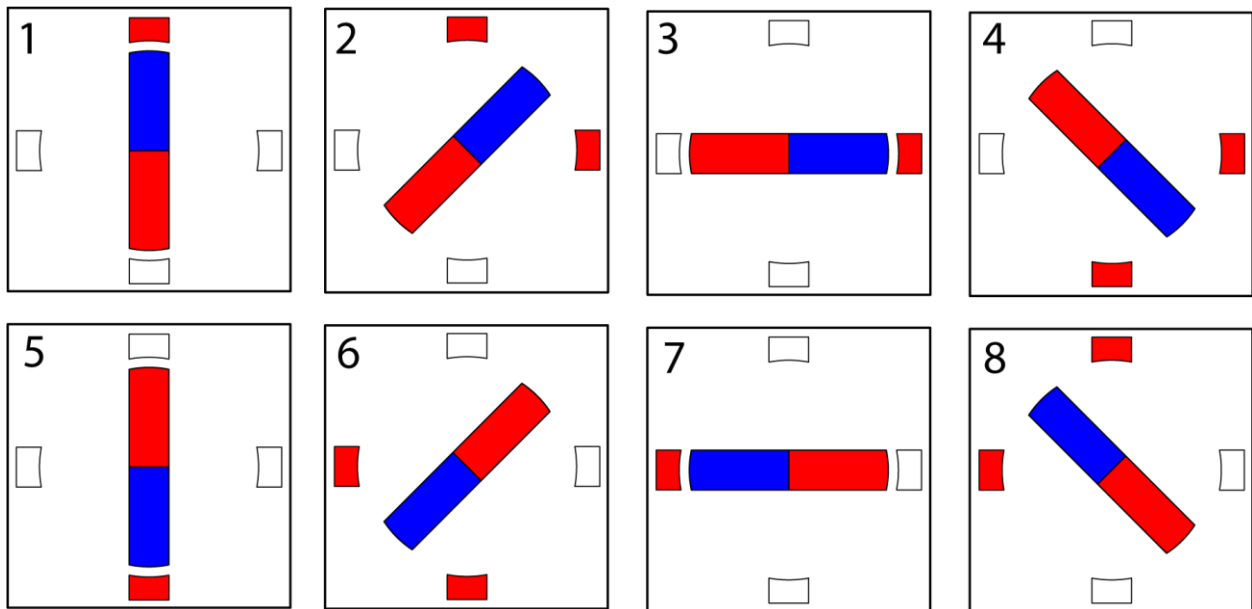


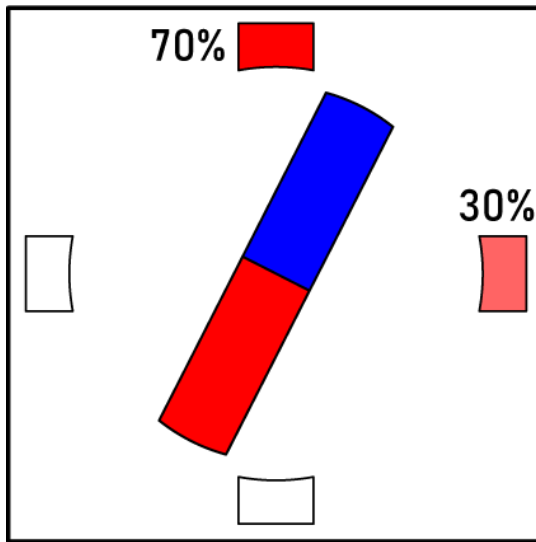
Fig. 2.17: Ngasja me gjysmë-hapa

Edhe kjo është një paraqitje shumë e thjeshtuar e ngasjes me gjysmë-hapa. Për aplikime reale edhe ana tjetër e poleve të statorit (që është lënë me ngjyrë të bardhë) do të magnetizohet ashtu që motori të ketë moment më të madh punues. Krahasuar me ngasjen me hapa të plotë, menjëherë kemi dyfishim të numrit të hapave andaj do kemi edhe rezolucion dhe saktësi dy herë më të mirë.

Tek step motorët standard me 200 hapa, saktësia (rezolucioni) do të rritet nga 1.8 në 0.9°, pra nga 200 hapa për rrotullim, tani do të nevojiten 400 hapa.

2.4.2 Ngasja me mikro-hapa (microstepping)

Ngasja me mikro-hapa është më komplekse ngase kjo kërkon qarqe speciale të cilat mundësojnë kontrollimin e rrymës e cila i dërgohet secilës fazë të step motorit. Kjo mundëson që teorikisht rotorin të mund të pozicionohet kudo në mes të dy poleve të statorit.



Nëse supozojmë se 70% e rrymës totale dërgohet tek njëra fazë e statorit dhe 30% tek faza tjetër, duke linearizuar dhe supozuar model ideal të motorit, atëherë mund të llogarisim këndin në të cilin orientohet rotorin. Pra, $90^\circ * 70\% = 63^\circ$. Nga pozita horizontale (0°), rotorin rrotullohet për 63° në drejtim të kundërt të akreve të orës. Kjo e vendos rotorin në 27° (ndaj 70%-shit), pozitë kjo e paarrtshme me metodat e tjera të ngasjes!

Fig. 2.18: Ngasja me mikro-hapa

2.4.3 Mekanizmat për ngasjen e step motorëve

Qarku i cili përdoret për ngasjen e step motorëve me mikro-hapa (por edhe me hapa të plotë dhe gjysmë-hapa) njihet thjesht si *ngasës* (Eng. *driver*). Driver-at kanë kufizime në ndarjet që mund të bëjnë një hap të plotë! Nëse me 1/1 shënojmë ngasjen me hapa të plotë, 1/2 ngasjen me gjysmë-hapa atëherë shumica e driver-ëve (jo-industrial) arrijnë lehtësisht ndarjen e hapave të plotë në 1/16 dhe 1/32-tën. Por ekzistojnë edhe driver të cilët arrijnë mikro-hapa 1/64, 1/128 si dhe 1/256.

Në rastin e aplikimeve ku supozojmë se kërkohet super kontroll i pozitës dhe zgjedhim mikrohapat e shkallës 1/256 atëherë nga kjo kuptojmë se çdo hap i plotë do të ndahet në 256 mikrohapa. Nëse kalkulojmë numrin e mikrohapave në një rrotullim të plotë atëherë kemi: $200 * 256 = 51200$ mikrohapa. Tani 360° ndarë në 51200 mikrohapa jep rezolucion prej $0.00703125 \sim \mathbf{0.007^\circ}$.

Duhet theksuar se nuk është gjithçka vetëm pozitive tek ngasja me mikrohapa. Një ngasje e tillë zvogëlon momentin punues të step motorit. Gjithashtu sa më i madh numri i ndarjeve (mikrohapave) kërkohen më shumë resurse kompjutacionale, thënë më thjeshtë, kërkohet një mikrokontroller apo një procesor më i fuqishëm.

Në fotografinë e mëposhtme janë paraqitur disa lloje të ndryshme të driver-ëve të SM. Nga e majta në të djathtë, TMC2226, A4988, TMC5041, ST330. (Jo në raport/madhësi aktuale).

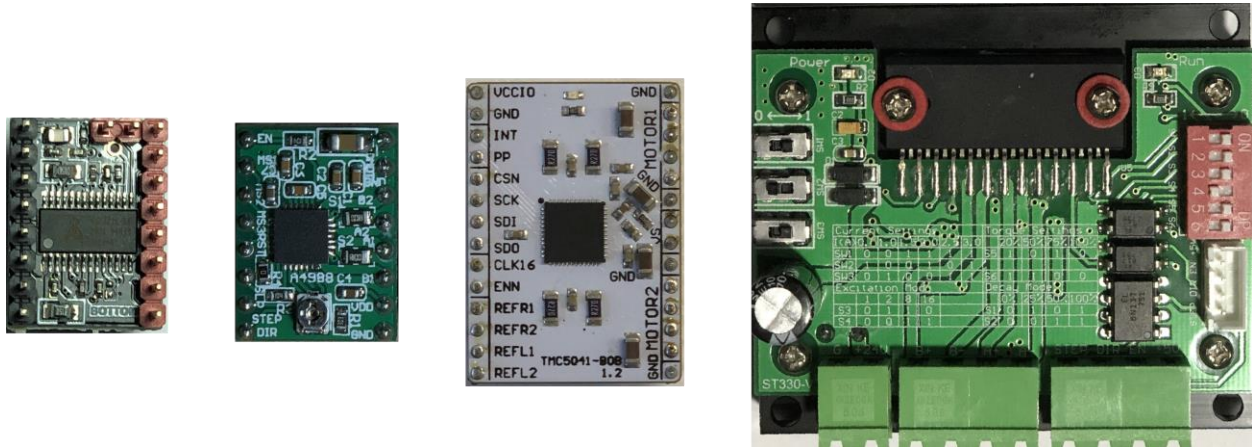


Fig. 2.19: Llojet e ndryshme të ngasësve

2.5 Përshkrimi i thjeshtë matematikorë i ngasjes me mikrohapa [3]

Një metodë e zakonshme për kontrollimin e këndit të step motorëve është duke aplikuar një rrymë në formë të valëve sinusoidale në të dy fazat e SM. Në mënyrë që rotori të rrotullohet fazat duhet të jenë të shfazuara mes vete për 90° . Nëse me i_A dhe i_B shënojmë rrymat në fazat A dhe B respektivisht të SM atëherë ekuacionet e rrymave të fazave do të jenë:

$$\begin{cases} i_A = I * \cos \theta_e \\ i_B = I * \sin \theta_e \end{cases}$$

ku I është rryma për fazë ndërsa θ_e është pozicioni (këndi) elektrik. Aplikimi i rrymave në të dy fazat e motorit krijon një moment fazor i cili është proporcional me shumën e vektorëve të dy rrymave. Kompletimi i një periode (cikli) elektrik shkakton lëvizjen e motorit për katër hapa dhe kjo është lidhja me pozicionit elektrik dhe mekanik. Konstanta e momentit rezultues për fazë është

$$\begin{cases} M_A = K_m * i_A = K_m * I * \cos \theta_e \\ M_B = K_m * i_B = K_m * I * \sin \theta_e \end{cases}$$

K_m – është konstanta e momentit të motorit. Duke i mbledhur ekuacionet e mësipërme (si vektor) gjejmë se momenti total rezultues në bosht të motorit është:

$$M = \sqrt{M_A^2 + M_B^2} = K_m * I$$

Menjëherë duhet cekur se ky është rast ideal dhe se bazuar në këtë ekuacion teorikisht mund të arrihet rezolucioni i pafund me çdo SM. Kjo ngase valët e kemi supozuar sinusoidale të pastra të cilat përdallim nga valët reale të cilat janë “sinusoidale të shkallëzuara” nuk shkaktojnë oscilime. Në praktikë qarqet ngasëse të SM (driver-at) nuk mund të gjenerojnë valë sinusoidale të pastra por këtë e bëjnë me anë të shkallëzimeve. Në figurën pasuese është paraqitur dallimi i qartë mes sinusoidës së pastër (vija me ngjyrë të kuqe) dhe asaj reale të shkallëzuar (vija me ngjyrë të zezë).

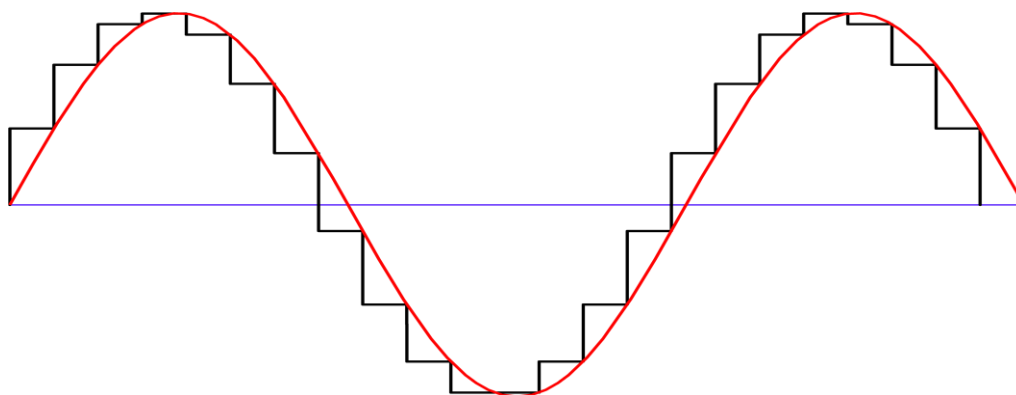


Fig. 2.20: Dallimi mes sinusoidës ideale dhe asaj të shkallëzuar

Çdo kalim prej shkallës-në-shkallë të “sinusoidës” të paraqitur me ngjyrë të zezë është i asocuar me valëzime (ripples) të cilat shkaktojnë vibrime të motorit, oscilime dhe zhurma. Ilustrimi i mëposhtëm është paraqitur për ti kuptuar më mirë këto valëzime të padëshiruara.

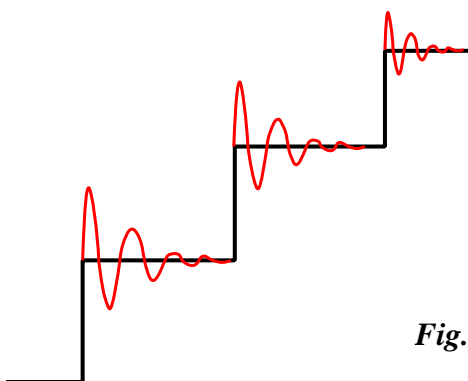


Fig. 2.21: Valëzimet e padëshiruara

Sa më shumë që kemi ndarje, aq më i vogël bëhet kalimi prej njëres shkallës të valës në tjetrën dhe aq më shumë i afrohem një sinusoidë ideale. Pra, me rritjen e ndarjeve (me numër më të madh të mikrohapave) këto valëzime të padëshiruara (ripples) zvogëlohen.

Në vazhdim është paraqitur një cikël i plotë (elektrik) me 4 mikrohapa/hap. Po ashtu janë paraqitur edhe matjet nga osciloskopi të rrymave të fazave për dy raste të ndryshme me ndarje 1/4 dhe 1/64.

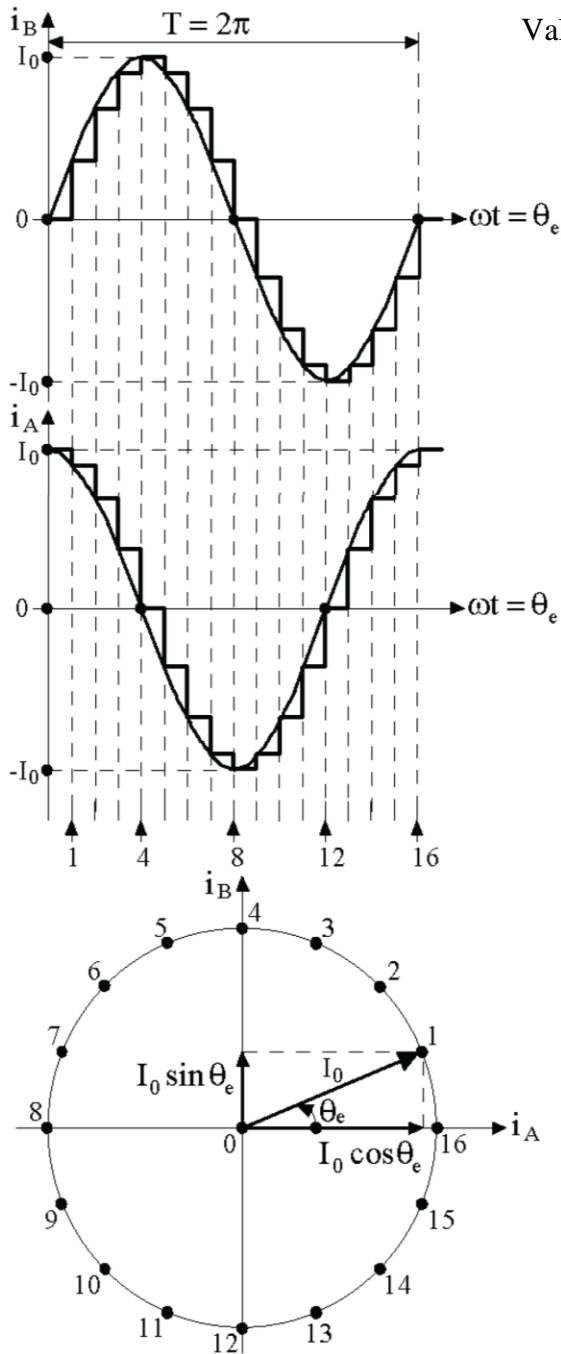


Fig. 2.24: Cikli i plotë elektrik (1/4 mikrohapa) [3]

Nga dy figurat në të djathtë (Fig. 2.22 dhe 2.23) shohim konkretisht se si me rritjen e numrit të mikrohapave, valëzimet zvogëlohen dhe se si rryma ngasëse merr gjithnjë e më shumë formën e sinusoidës. Nga figura në të majtë (Fig. 2.24) shihet se si shuma e vektorëve të rrymave përcakton këndin e rotorit.

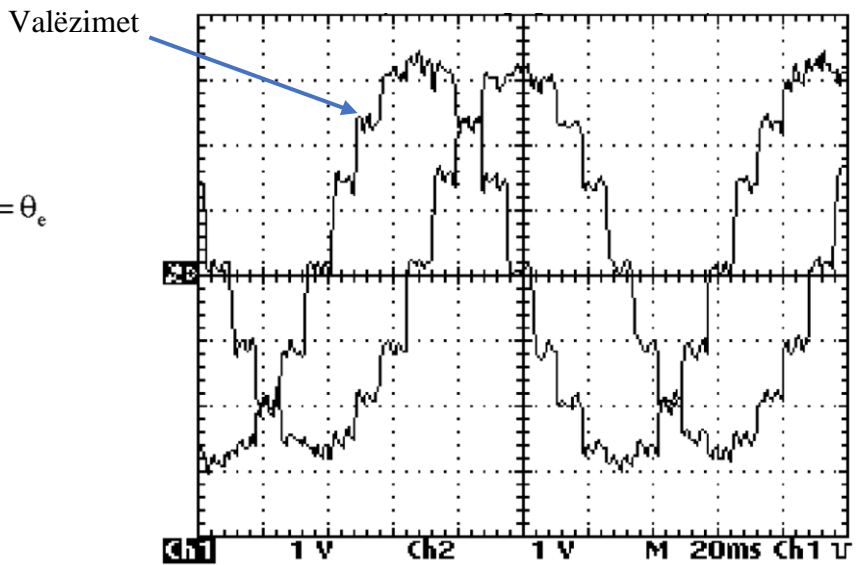


Fig. 2.22: Rryma e fazave me 4 mikrohapa/hap [3]

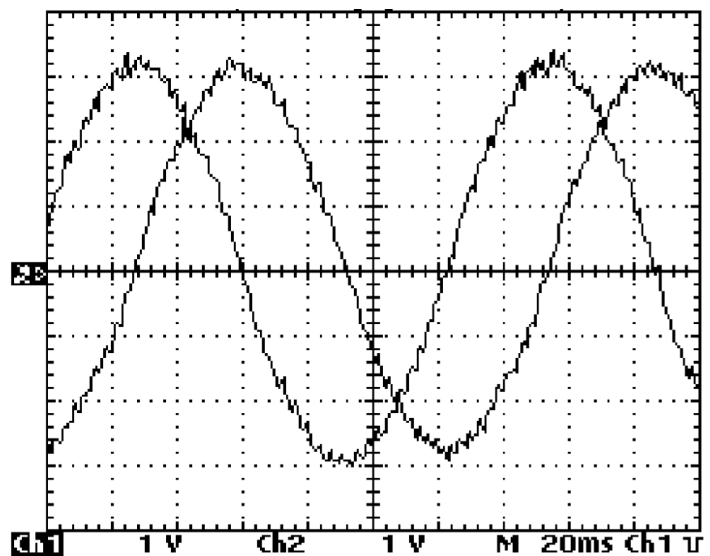


Fig. 2.23: Rryma e fazave me 64 mikrohapa/hap [3]

3. ZHVILLIMI I PLLAKËS ELEKTRONIKE (PCB)

3.1 Informata të përgjithshme në lidhje me pllakat elektronike

PCB (Printed Circuit Board) është pllaka në të cilën gjenden të gjitha komponentët elektronike si kondensatorët, rezistorët, diodat, transistorët, mikrokontrollerët... si dhe të gjitha ndërlidhjet elektrike mes tyre.

PCB-të mund të jenë një-shtresore, dy-shtresore si dhe shumë-shtresore. Me shtresë nënkuptojmë rrafshin (planin) e përçuesit (zakonisht bakrit) me trashësi në rendin e pak mikrometrave dhe e cila është e shtrirë njëtrajtësisht mbi një dielektrik me trashësi më të madhe.

PCB-jat një-shtresore (single-layer) kanë vetëm një shtresë të përçuesit të mbivendosur në një dielektrik (zakonisht FR4). Sa u përket PCB-jave dy-shtresore, ato kanë një shtresë dielektriku mu në mes të dy shtresave të përçuesit. Duke ndjekur këtë strukturë, ngjashëm konstruktohen edhe PCB-jat shumë-shtresore. Pra në mes të çdo dy shtresave përçuese vendosët një shtresë dielektriku e cila i ndan ato elektrikisht si dhe ofron mbështetje mekanike.

Në figurat në vijim janë paraqitur prerjet tërthore të PCB-jave një dhe dy shtresore.

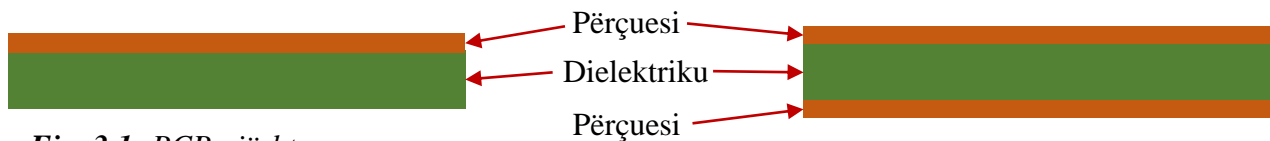


Fig. 3.1: PCB një-shtresore

Fig. 3.2: PCB dy-shtresore

Trashësia e shtresës përçuese është rritur dukshëm me qëllim të sqarimit më të lehtë.

Në përmasa reale, shtresa përçuese është për qindra herë më e hollë sesa dielektriku. Zakonisht trashësia e përçuesit për shtresat e jashtme është 35 μ m (ose 70 μ m për 2oz) ndërsa për shtresat e brendshme, trashësia e shtresës përçuesit është vetëm 17 μ m. Trashësia totale e PCB-së varion prej 0.4 – 2.0mm, por edhe specifika të tjera ekzistojnë jashtë këtyre që u cekën.

Sa u përket PCB-jave shumë-shtresore, një sqarim i thjeshtë për to mund të jepet ngjashëm me dy rastet e kaluara, por në praktikë PCB-jat shumë-shtresore janë tejet më komplekse për kah konstruktimi dhe prodhimi i tyre.

Një shembull i një PCB-je katër-shtresore është paraqitur në vijim:

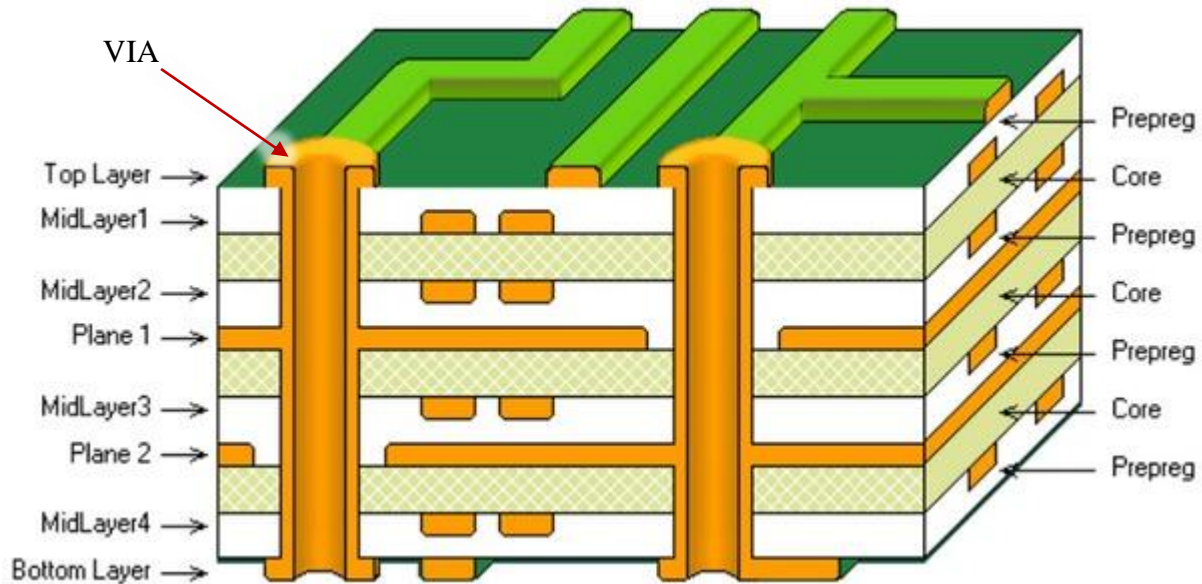


Fig. 3.3: Shembulli i një PCB-je shumë-shtresore

Nga figura mund të dallojmë se kemi edhe një material të quajtur *Prepreg* të cilin nuk e kemi cekur më parë! Prepreg qëndron për pre-impregnated dhe është një material i cili i lidh shtesat e ndryshme të pllakës mes vete.

Gjatë prodhimit të pllakave elektronike, fillimisht bëhet përpunimi i shtresave të brendshme e pastaj vazhdohet me shtresat e jashtme. Në mënyrë që të gjitha shtresat të lidhen mes vete, ato vendosen mbi njëra tjetrën dhe në mes tyre vendoset materiali prepreg (që është një lloj rrëshire ngjitesë) pastaj me anë të presionit dhe temperaturave të larta, shtresat ngjiten mes vete.

Ajo që mungon tani është edhe ndërlidhja elektrike e shtresave. Kjo realizohet përmes të ashtu quajturave *VIA*-s.

VIA paraqet një vrimë e cila shpohet në pllaka elektronike dhe e cila lidh mes vete dy e më shumë shtresa të përçuesit. Pas shpimit, *VIA* mbushet me metal ashtu që të bëhet përçuese. Nga figura e mësipërme mund të shihet se si një *via* lidh elektrikisht shtresat e ndryshme të një pllake.

3.2 Zhvillimi i pllakës elektronike

Njëri ndër proceset që ka qenë më sfiduesi dhe që ka konsumuar një pjesë të konsiderueshme të kohës përgjatë këtij punimi ishte zhvillimi fizik i pllakës elektronike.

PCB-jat gjenden pothuajse në të gjitha produktet elektronike, duke filluar nga produktet e thjeshta me pllaka njëstresore e gjerë tek produktet më komplekse elektronike si pllakat amë të kompjuterëve dhe pajisjeve mobile të komunikimit.

Meqenëse pjesa harduerike e këtij punimi përmban një numër të konsiderueshëm të komponentëve elektronike, atëherë dizajnimi dhe zhvillimi i një pllake elektronike ishte një hap i pashmangshëm.

Përgjatë punimit janë dizajnuar dy PCB. E para është zhvilluar me një program më të thjeshtë dhe qëllimi i saj ishte zhvillimi në ambiente shtëpiake me mjete të cilat mund të gjenden lokalisht. Zhvillimi lokal i PCB-së ka mundësuar testime dhe validime shumë më të shpejta.

Sa i përket pllakës së dytë, zhvillimi i saj është bërë në një softuer industrial i cili gjithashtu përdoret edhe nga disa kompani automobilistike. [Kapitulli 10.1.1]

Realizimi i PCB-së në softuerin e dytë është bërë me qëllim të krijimit të një pllake e cila është e realizuar me standarde të industrisë dhe e cila mund të komercializohet si produkt në të ardhmen.

Përdorimi i një softueri industrial ka hapur mundësitë për të bërë një numër simulimesh dhe testimesh pa pasur nevojë që fillimisht të prodhohet pllaka fare! Gjithashtu ka mundësuar edhe eksportimin e 3D modelit të të gjithë pllakës së bashku me komponentët përcjellëse.

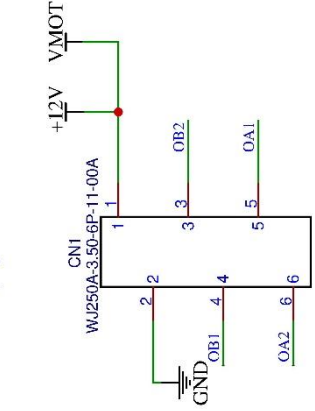
Posedimi i 3D modelit të pllakës me komponentët përcjellëse i hapë rrugë dizajnit dhe prodhimit të pjesëve mekanike që janë të nevojshme për funksionimin e këtij punimi.

3.2.1 Skema fillestare e PCB-së

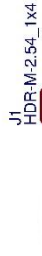
Në faqen vijuese është paraqitur skema elektrike e pllakës së parë me të gjitha lidhjet përkatëse.

Stepper phases connection + Input power

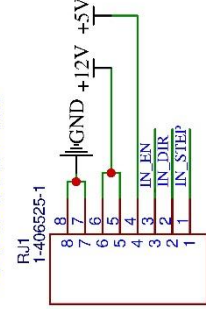
Spring loaded terminal block



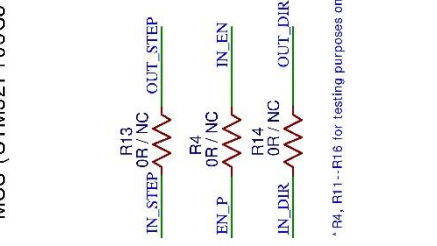
External header for STEP/DIR interface



RJ45 female connector

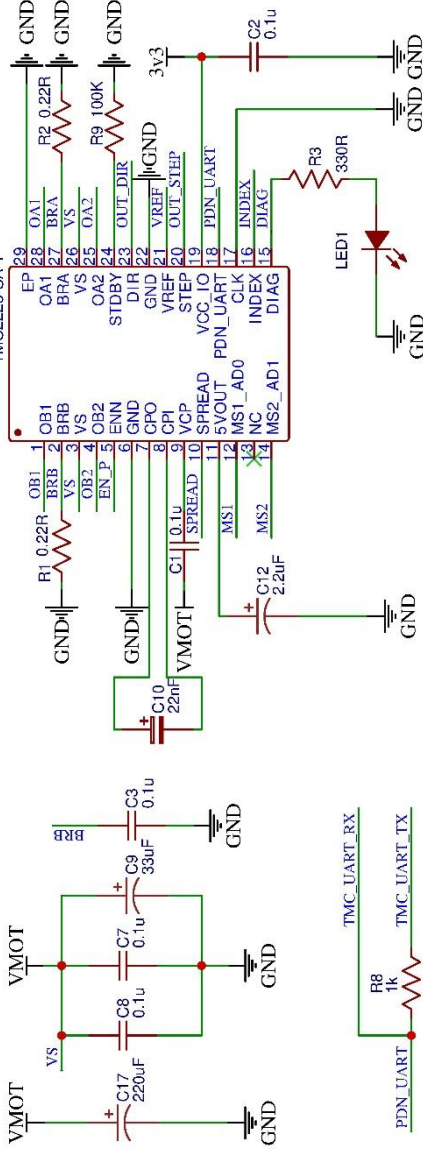


MCU (STM32F103C8T6)

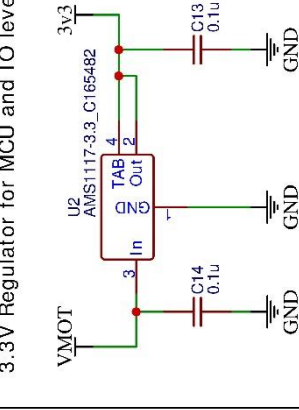


*R4, R11--R16 for testing purposes only!

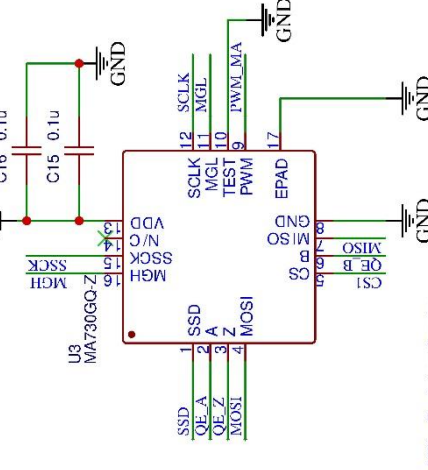
Motor Driver (TMC2226)



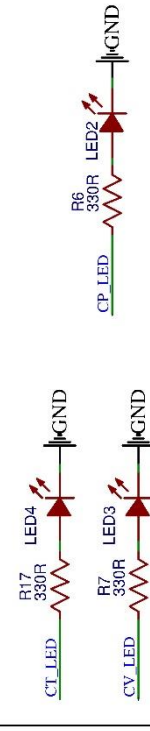
3.3V Regulator for MCU and IO levels



Magnetic Sensor -- Encoder



*OE = Quadrature Encoder



TITLE: Hybrid Stepper Driver Mk.I

REV: 1.0



Company: FB

Date: 2020-09-01

Drawn By: Fatjon Beqa

Sheet: 1 / 1

3.2.2 Lidhja elektrike e komponentëve në PCB

Pas realizimit të skemës dhe lidhjes elektrike të të gjitha komponentëve në skemë, radhën e ka layout-i. Layout paraqet vendosjen e komponentëve në pozita të caktuara në pllakë si dhe lidhjen fizike mes tyre e cila më vonë do të transferohet në PCB-në aktuale.

Hapi i parë për të bërë një layout është dhënia e informatave bazike programit lidhur me dimensionet e pllakës dhe numrin e shtresave të nevojshme. Pastaj radhën e ka vendosja e komponentëve në pozita adekuate ku asnjëra komponentë nuk duhet të ndërhyje fizikisht në tjetrën. Gjithashtu në këtë fazë bëhet edhe hapja e vrimave për montim në stepper motor. Në vijim është dhënë një figurë në të cilën mund të shihen komponentët të paraqitura me vija të verdha, linjat (traces) me vija të kuqe për shtresën e epërme ndërsa me ngjyra të kaltër për shtresën e poshtme si dhe me ngjyrë të hirit, vrimat. Sa u përket vijave të lehta me ngjyrë të kaltër të cilat mund të shihen në figurë, ato paraqesin lidhjet të cilat janë realizuar në skemë mëparë dhe tani shërbejnë tregues se si komponentët lidhen mes vete. (Këto vija quhen *ratlines* apo edhe *ratnets*).

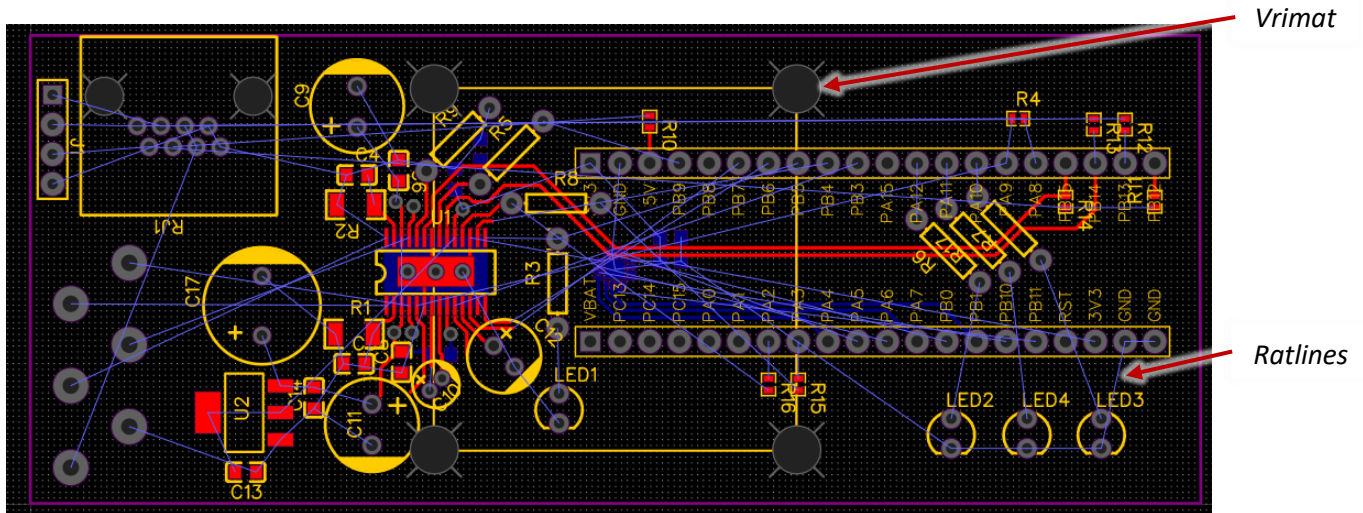


Fig. 3.4: Realizimi i lidhjeve të komponentëve në PCB

Hapja e vrimave për montim mbi stepper motor ka qenë prioritet ngase mu në mes të tyre vendoset sensor magnetik. Pozita e sensorit magnetik është kyçe ngase ky sensorë duhet të montohet direkt mbi boshtin e stepper motorit ashtu që çdo lëvizje e boshtit të identifikohet dhe të shënohet nga sensor.

Në vijim janë paraqitur disa figura të tjera gjatë fazës së dizajnit të pllakës.

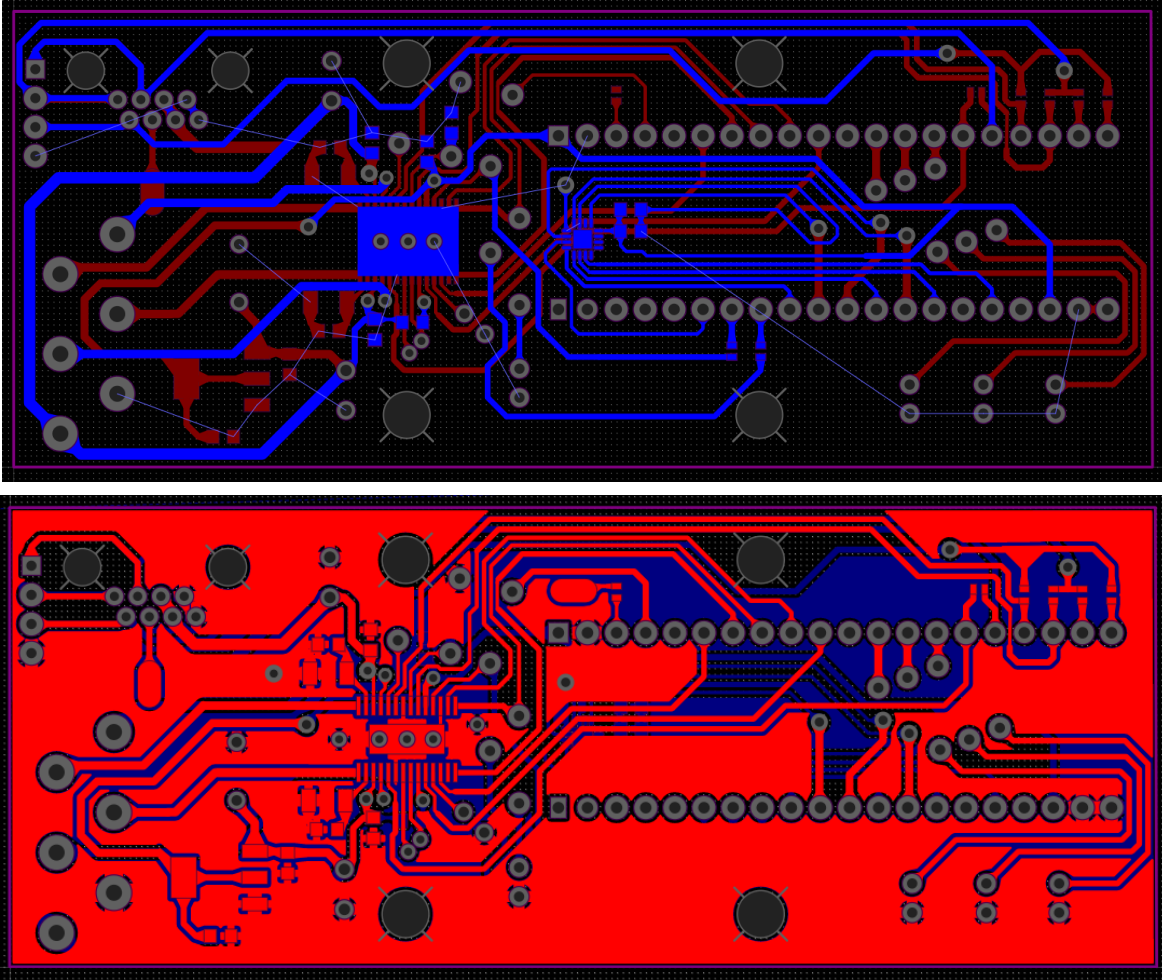


Fig. 3.5: Pamje gjatë dizajnit të pllakës për anën e poshtme dhe të sipërme

Pas përfundimit të të gjitha lidhjeve, pllakat duken si në vijim:

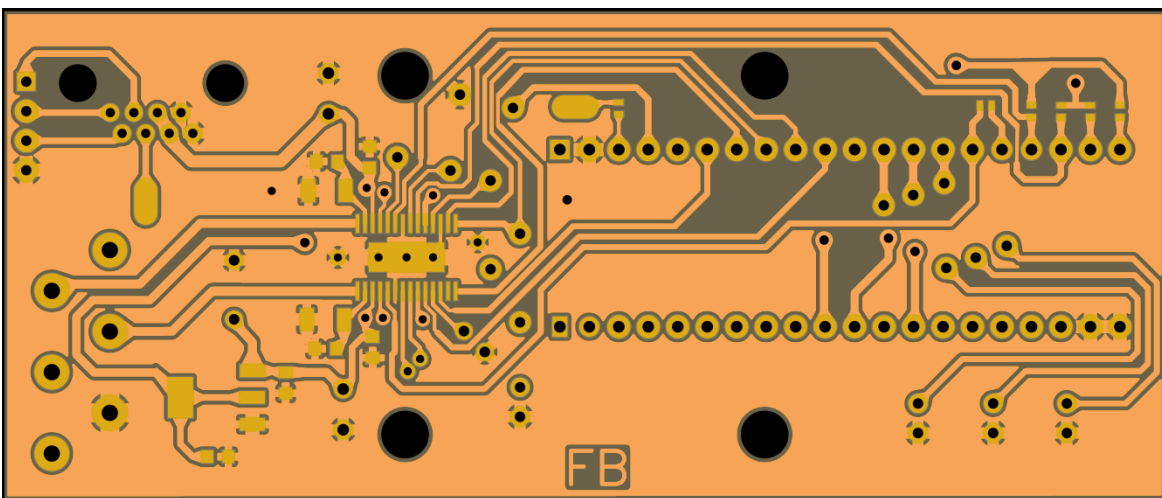


Fig. 3.6: Pamja finale e shtresës së sipërme të pllakës

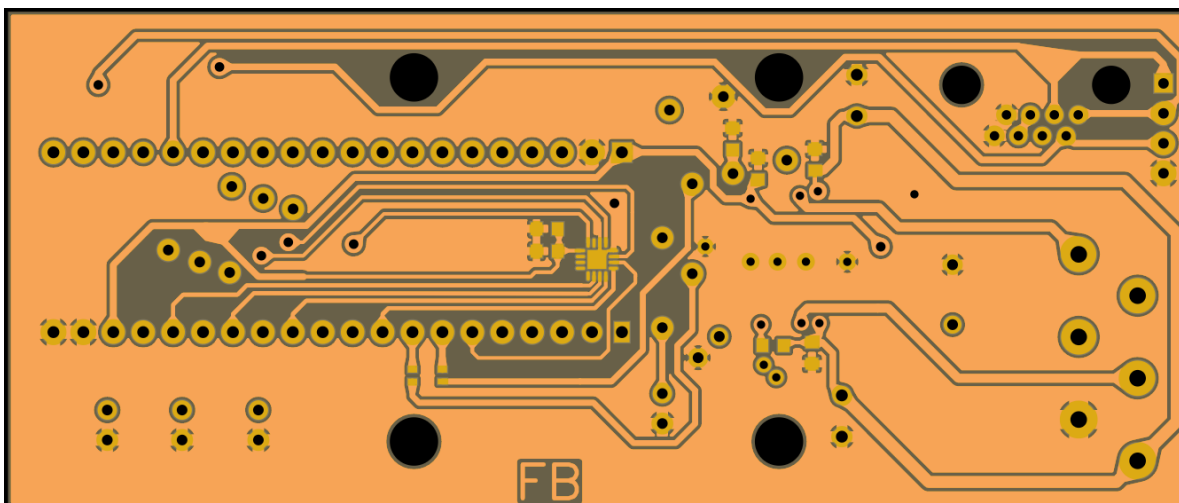


Fig. 3.7: Pamja finale e shtresës së poshtme të pllakës

Në vazhdim është paraqitur një pamje e thjeshtë 3D e pllakës fillestare. Nga figura mund të shohim se mungojnë 3D modelet e disa nga komponentëve. Kjo për këtë fazë është e panevojshme por mjafton si një reference për tu bazuar gjatë montimit të komponentëve në pllakë.

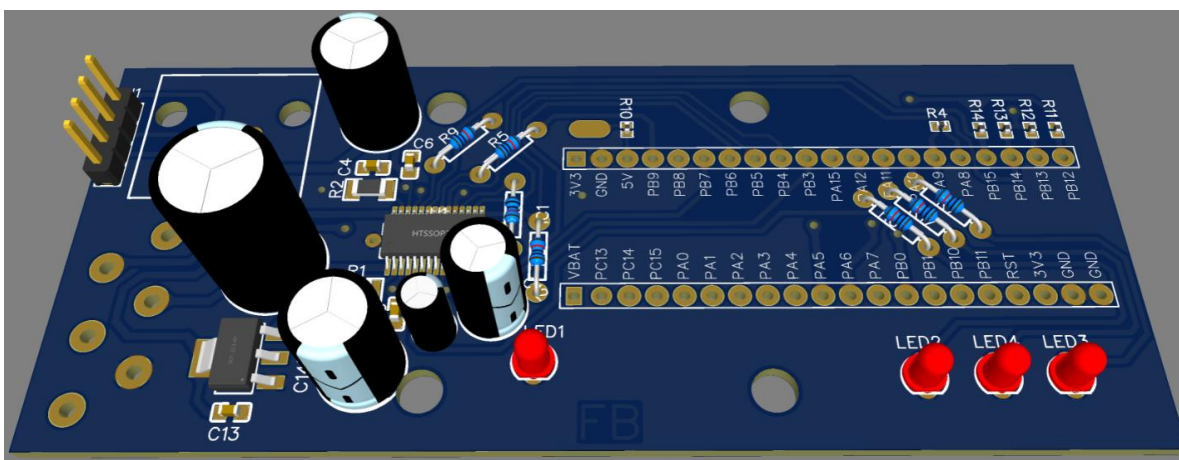


Fig. 3.8: 3D modeli i pllakës fillestare me komponente

Nga figura mund të shohim se një numër i madh i komponentëve janë të llojit TH (Through-Hole). TH komponentët janë ato për të cilat është i nevojshëm shpimi i vrimave në mënyrë që të vendosen në pllakë. Përdorimi i tyre është imponuar nga mungesa e komponentëve SMD. SMD paraqesin komponentët elektronike që montohen në pllakë dhe për të cilat nuk është i nevojshëm shpimi i vrimave. Për pllakat me dimensione të vogla ku kërkohet dendësi e lartë e komponentëve, SMD komponentët janë zgjidhja e vetme. Në figurën e mësipërme mund të shihen disa komponente SMD si C4, C6, C13, R2, R4, R11 e disa të tjera.

3.2.3 Transferimi i dizajnit dhe zhvillimi i pllakës

Deri me tani e tëra çfarë kemi pasur ka qenë vetëm dizajn virtual dhe asgjë fizike! Në këtë kapitull kjo do të ndërrojë ngase do të paraqitet procedura e transferimit nga dizajni në pllakë.

Hapi i parë i kësaj procedure është eksportimi i dizajnit në rezolucion të lartë dhe importimi i tij në programe të përshtatshme për punë me vektorë, SVG (Scalable Vector Graphics). Këtu dizajnet e njëjta janë replikuar disa herë dhe janë eksportuar si PDF për printim. Në figurat vijuese janë paraqitur dizajni për printim (majtë) si dhe ai i printuar (djathtë).

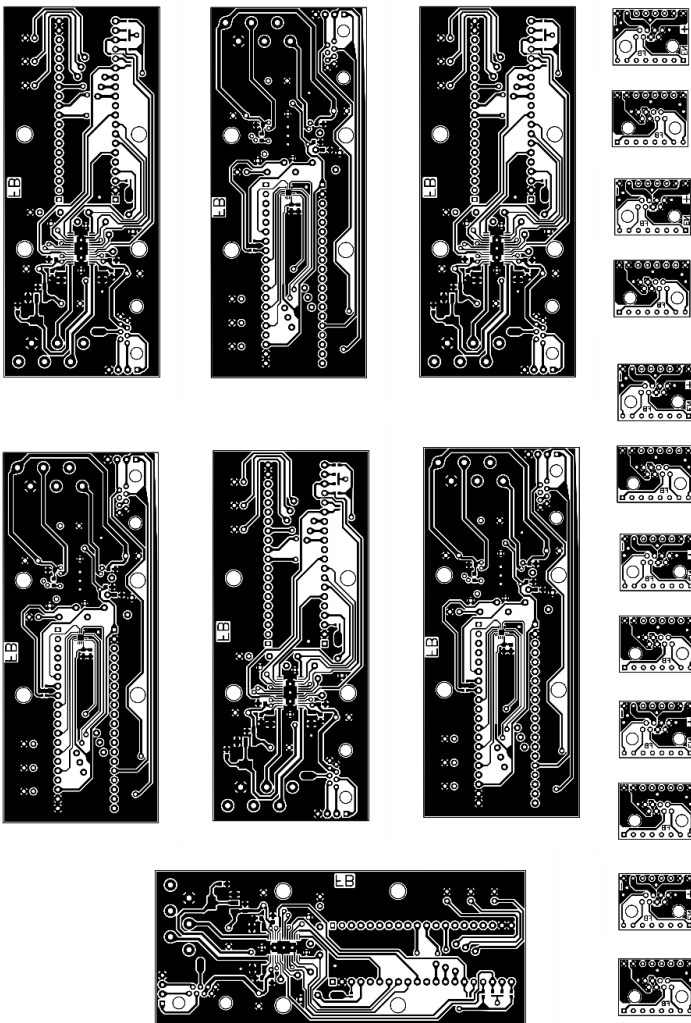


Fig. 3.9: Dizajni i pllakës për printim

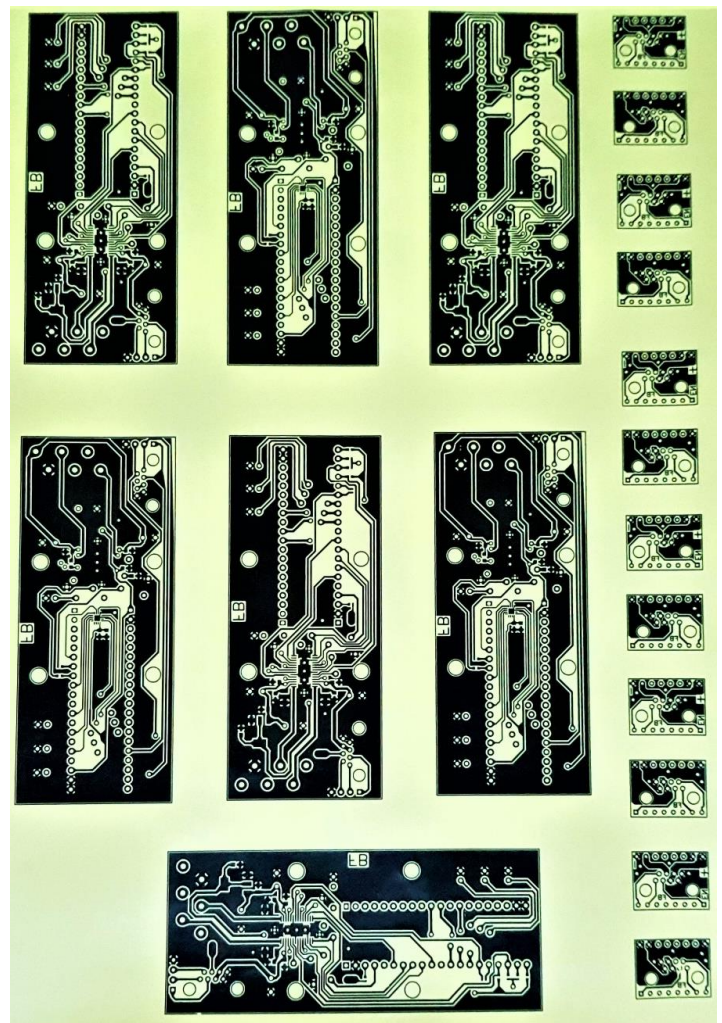


Fig. 3.10: Dizajni i printuar i pllakës në fletë

Arsyeja e replikimit të dizajnit vije nga kompleksiteti i transferimit nga fleta në pllakë, proces ky i cili shpeshherë duhet të përsëritet derisa të kemi një transferim të suksesshëm të tonerit. Në figurë mund të shihet edhe një dizajn tjetër i një pllake më të vogël. Edhe kjo është e nevojshme për këtë punim. Dizajni është printuar i pasqyruar, kjo ngase gjatë transferimit dizajni rrotullohet për 180°. Gjithashtu fleta në të cilën është printuar dizajni mund të shihet me ngjyrë të verdhë! Kjo ngase është fletë speciale e cila përdoret enkas për këtë qëllim.

Në vazhdim janë paraqitur disa fotografi të bëra gjatë procesit të zhvillimit të pllakës.

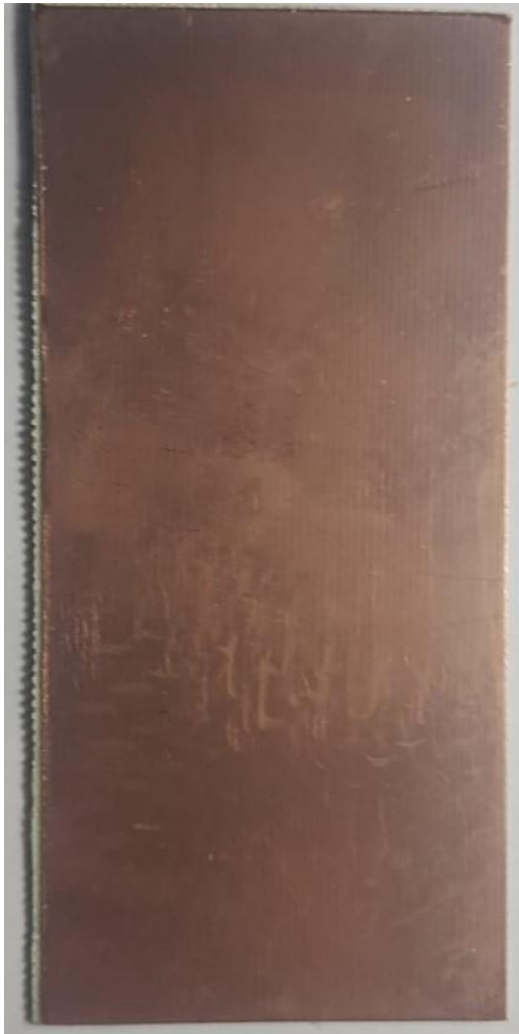


Fig. 3.11: Pllaka e papërpunuar



Fig. 3.12: Polirimi i pllakës

Në figurën në të majtë mund të shohim pllakën e papërpunuar dhe nga aty dallojmë se sipërfaqja e përçuesit është e mbuluar me papastërti, yndyra dhe me shtresë oksidi të Bakrit (CuO).

Këta faktorë ndikojnë negativisht gjatë transferimit andaj pastrimi i pllakës është hap i pashmangshëm. Mënyra e zgjedhur e pastrimit ishte duke poliruar pllakën me letra grrithëse të shpeshtësisë (vrazhdësisë) 1500, 2000 dhe 3000. Në fund të këtij hapi fitohet një sipërfaqe aq e lëmuar saqë mund të shfrytëzohet edhe si pasqyrë!

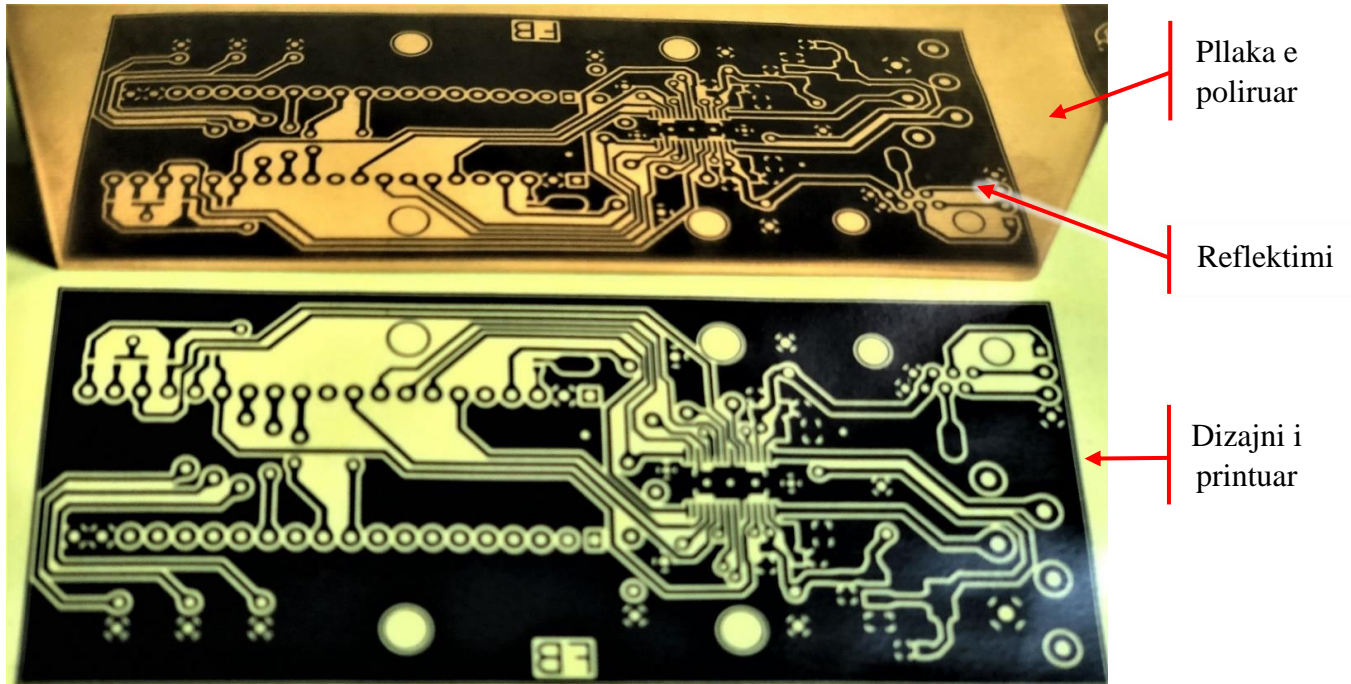


Fig. 3.13: Pamje nga pllaka e poliruar

Pas pastrimit të pllakës, dizajni që është printuar më parë tani prehet (pritet?) në dimensione sa të pllakës dhe vendoset mbi pllakë.



Fig. 3.14: Pllaka e gatshme për transferim

Tani fleta duhet të nxehtet p.sh. me hekur për hekurosje rreth 1 minutë në temperaturë mesatare dhe duke ushtruar presion mbi të. Ky proces bën që ngjyra e tonerit të “shkrihet” nga letra dhe të kalojë në pllakën që është direkt nën të (Kjo teknikë njihet me emrin *Heat toner transfer*). Pas kësaj, pllaka lihet të ftohet dhe largohet me shumë kujdes letra ashtu që mos të dëmtohen linjat.

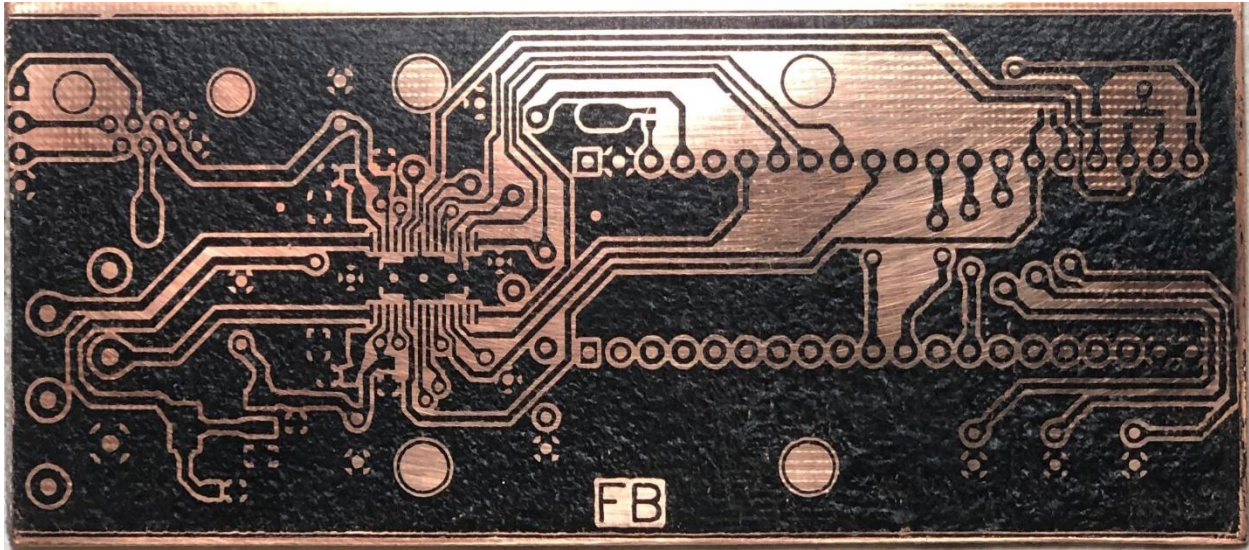


Fig. 3.15: Pllaka me dizajnin e transferuar në të

Në këtë etapë verifikohet shkalla e transferimit. Nëse mungojnë shumë linja, apo janë të ndërprera atëherë i gjithë procesi që nga pastrimi i PCB-së duhet të përsëritet. Nëse linjat janë të shkëputura por vetëm në distanca të shkurta atëherë ato mund të korrigjohen me marker permanent!

Në hapin e radhës bëhet shpimi i disa vrimave të cilat do të shfrytëzohen për të renditur (drejtuar) dizajnin në anën e poshtme. Pas shpimit, bëhet polirimi edhe i kësaj shtrese të pllakës.



Fig. 3.16:
Vrimat për
drejtim



Fig. 3.17: Drejtimi i fletës për anën e poshtme të pllakës

Në vrimat e shpuara vendosen disa tela të fortë (p.sh. këmbët e rezistorëve) për ta drejtuar fletën. Pastaj fleta nxehet, transferohet toneri, largohet fleta, pra përsëriten hapat e njëjta si më parë.

Procedura e drejtimit të fletës së dytë në shtresën e poshtme është shumë kryesore ngase edhe devijimet më të vogla shfaqin probleme për vrimat dhe VIA-t të cilat duhet të shpohen.

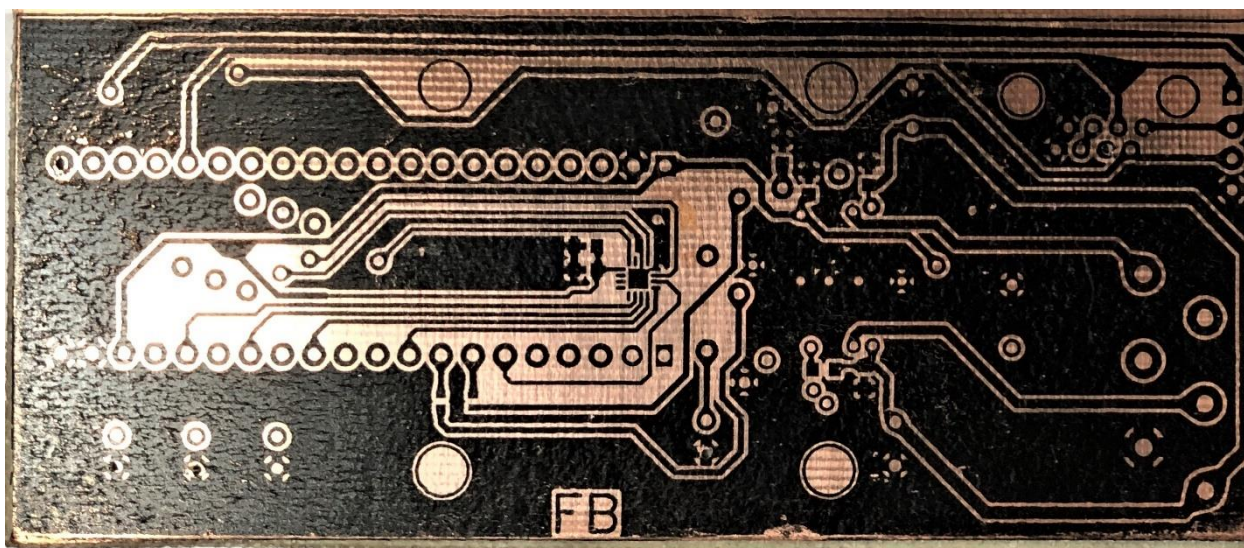


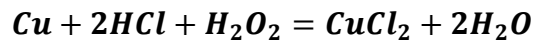
Fig. 3.18: Dizajni i transferuar në shtresën e poshtme të pllakës

Edhe këtu imperfeksionet e vogla gjatë transferimit mbulohen me marker permanent.

Pas një transferimi të suksesshëm të të dy anëve, radhën e ka largimi i bakrit të pambuluar. Për ta realizuar këtë na duhen disa njohuri bazike nga fusha e Kimisë!

Në mënyrë që ta largojmë bakrin e panevojshëm, pllaka zhytet në një tretësirë acidike. Gjatë këtij procesi, bakri i cili është i ekspozuar ndaj acidit tretët në të duke lënë pas vetëm linjat të cilat janë të mbuluara nga ngjyra e tonerit (ngjyra e zezë e cila mund të shihet në figurën 3.15 dhe 3.18).

Tretësi i cili është më i përdoruri për këtë punë është $FeCl_3$ (Kloruri i hekurit (III)) por për shkak të vështirësisë për gjetjen e tij është përdorur një tretës alternativ i cili është formuluar duke kombinuar Acidin Klorhidrik – HCl (18%) me Peroksidin e Hidrogjenit – H_2O_2 (3%) në raport vëllimor 1 me 2 (1:2). Pasi pllaka të zhytet në këtë tretësirë, reaksioni që pason është:



Gjatë këtij reaksioni bakri i ekspozuar tretët (gërryhet) dhe kalon në Klorur të Bakrit ($CuCl_2$) i cili reaksionit i jep ngjyrë të gjelbër. Këtë mund ta dallojmë në fotografitë e mëposhtme.



45 minuta

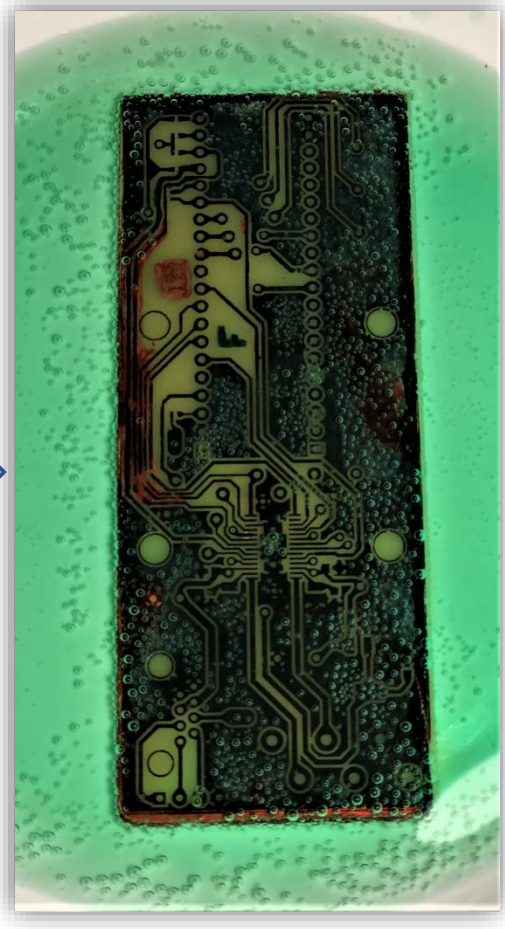


Fig. 3.19: Pllaka e zhytur në tretësirë acidike

Fig. 3.20: Largimi i bakrit dhe formimi i $CuCl_2$

Pas përfundimit të reaksionit, largohet pllaka nga tretësira dhe pastrohet me ujë të bollshëm ashtu që të neutralizohet çfarëdo reaksioni i mëtejshëm. Në këtë fazë largohet gjithashtu edhe ngjyra e tonerit dhe shpohen vrimat e nevojshme për komponentët elektronike si dhe për VIAs.

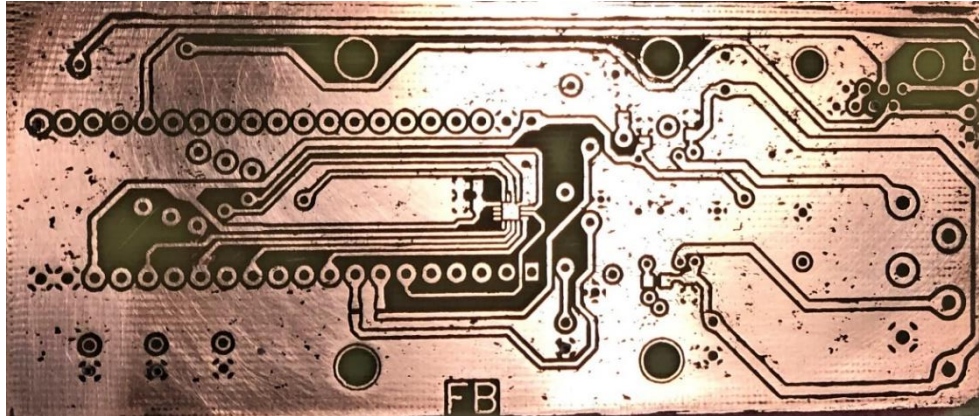


Fig. 3.21: Pamja nga poshtë e pllakës pas reaksionit

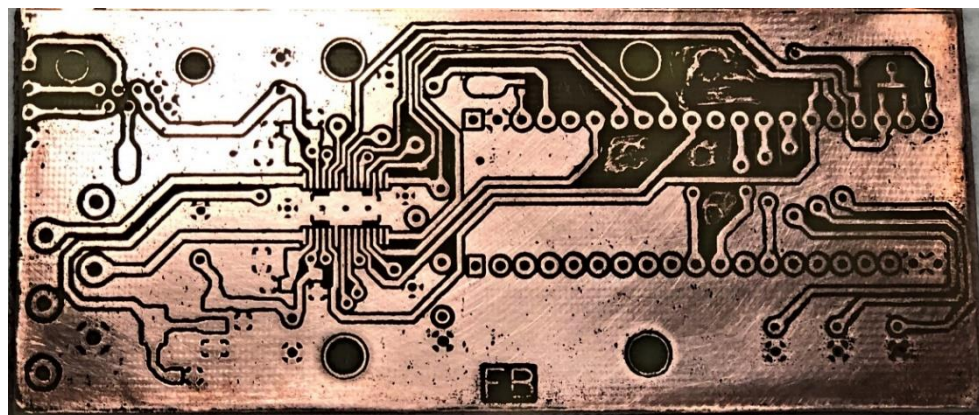


Fig. 3.22: Pamja nga sipër e pllakës pas reaksionit

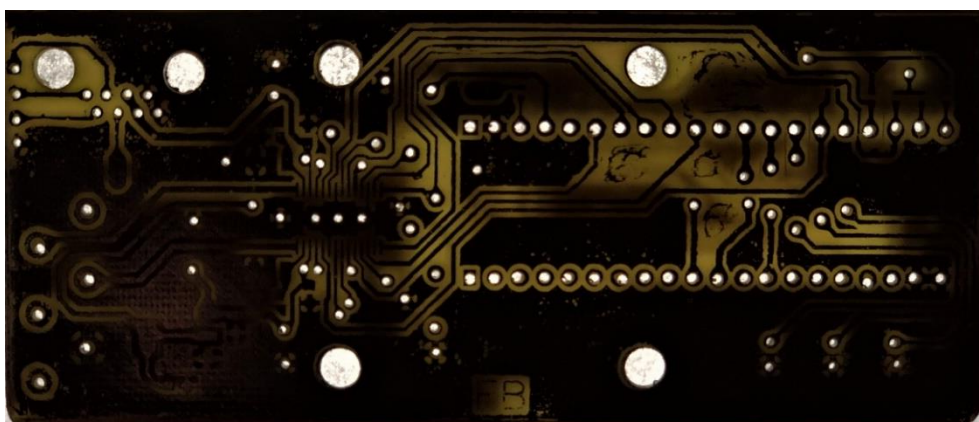


Fig. 3.23: Pamja e vrimave të shpuara në pllakë

Së fundmi piken të gjitha komponentët si dhe në secilën VIA vendoset nga një përçues i cili piket nga të dy anët ashtu që ta mbyll qarkun në të dy shtresat.

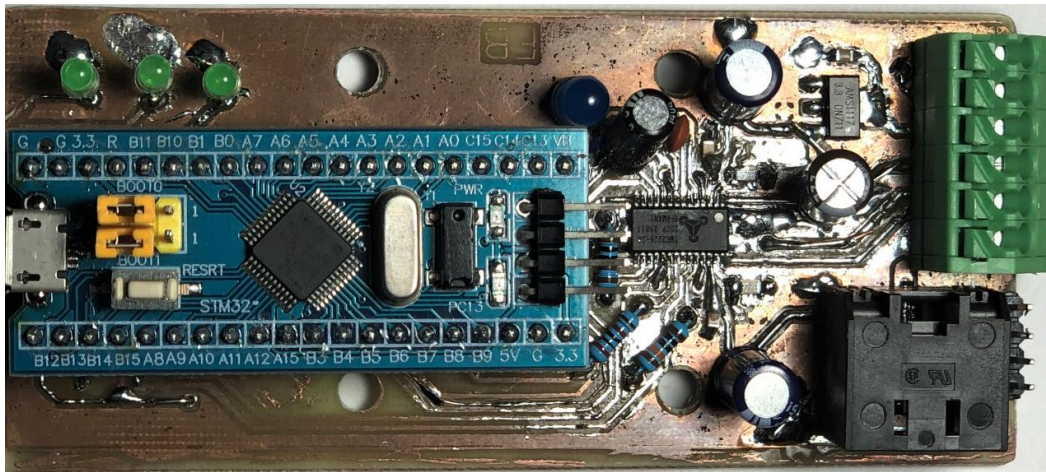


Fig. 3.24: Pllaka e përfunduar me komponente në të.

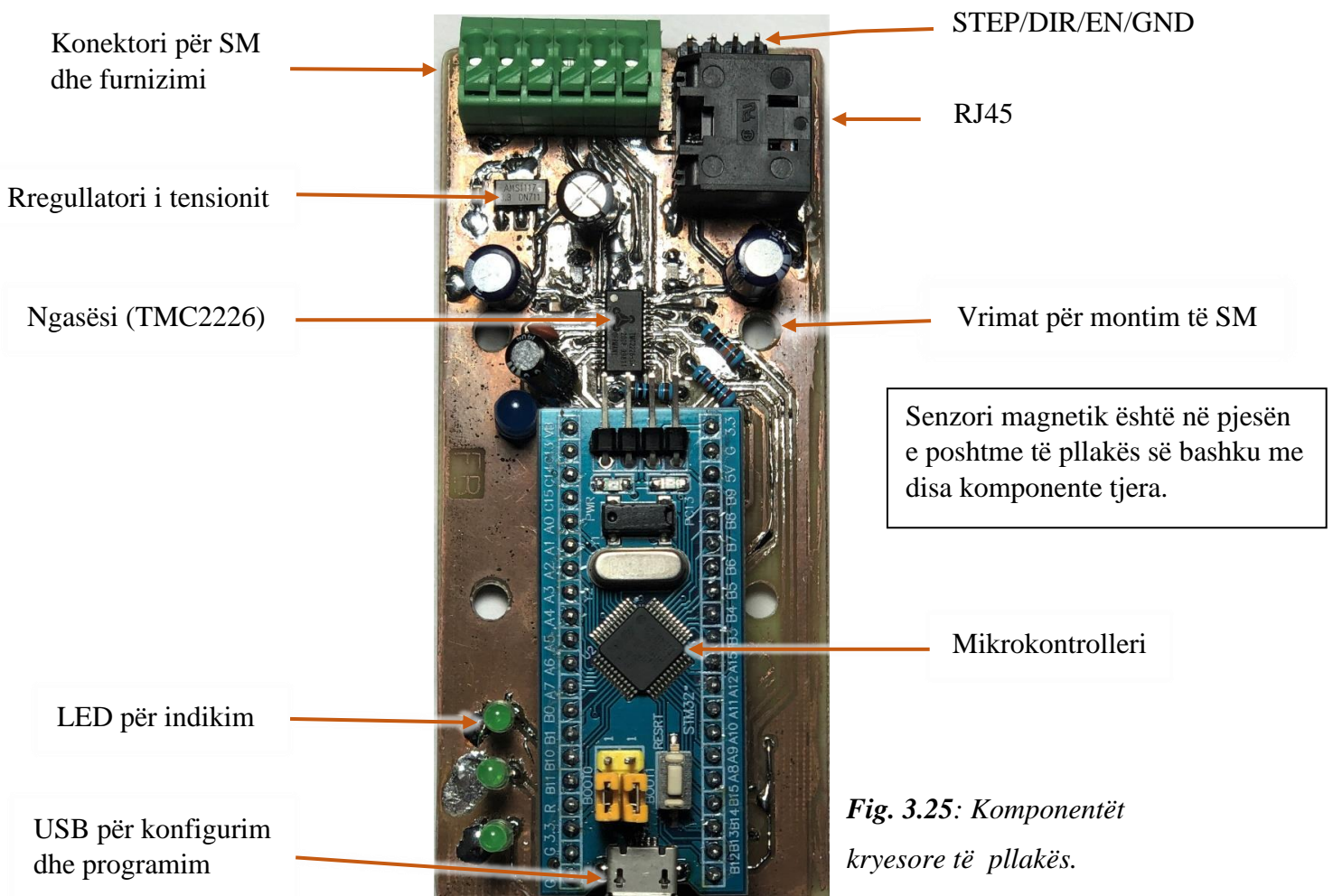


Fig. 3.25: Komponentët kryesore të pllakës.

Meqenëse pllaka kryesore është e përbërë nga shumë komponente të ndryshme të cilat kryejnë punë specifike, për qëllime të testimeve më të shpejta është parë e arsyeshme që gjithashtu të zhvillohet një pllakë e cila përmban vetëm ngasësin (driver-in) dhe komponentët e tij rrethanore.

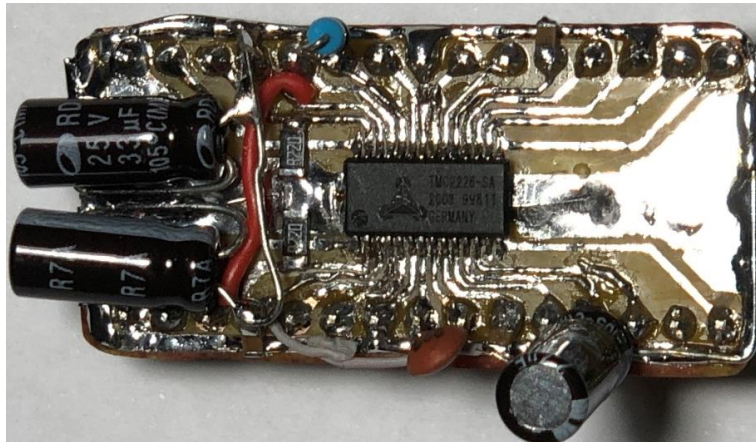


Fig. 3.26: Driveri i SM me komponentët rrethanore

Fillimisht është zhvilluar kjo pllakë dhe rezultatet praktike të fituara nga kjo janë aplikuar për dizajnimin e dy pllakave të tjera.

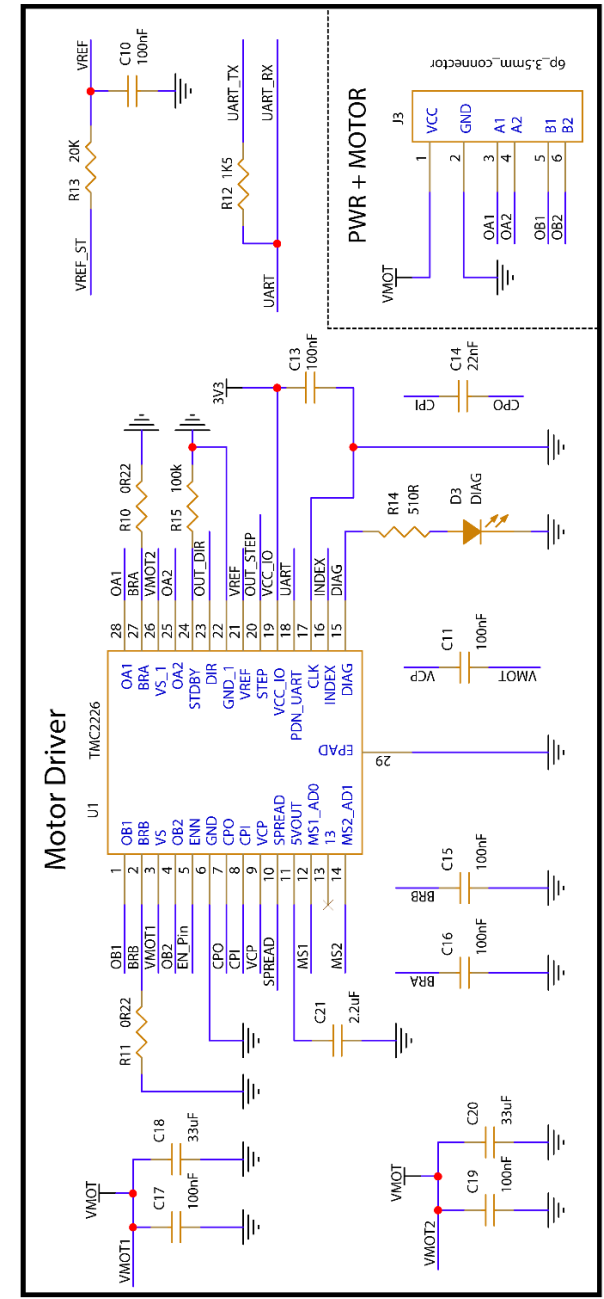
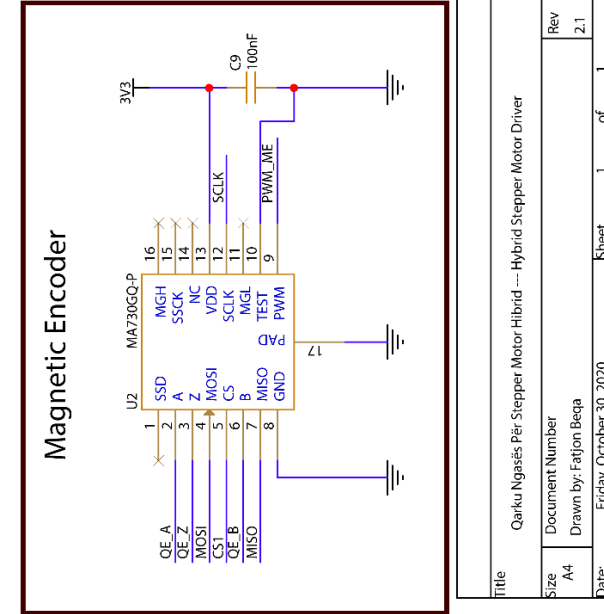
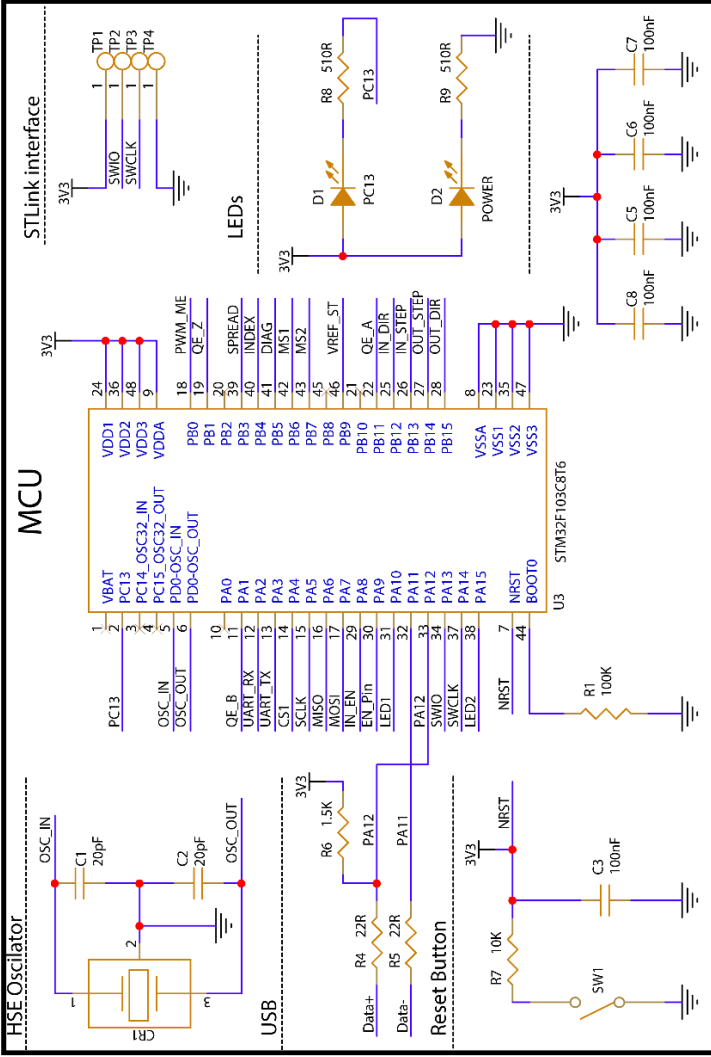
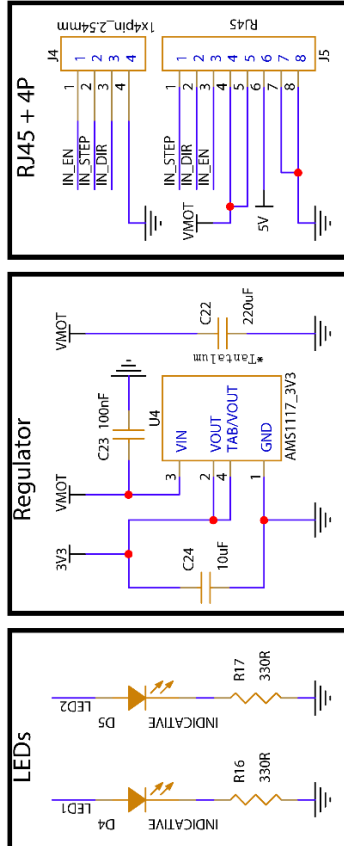
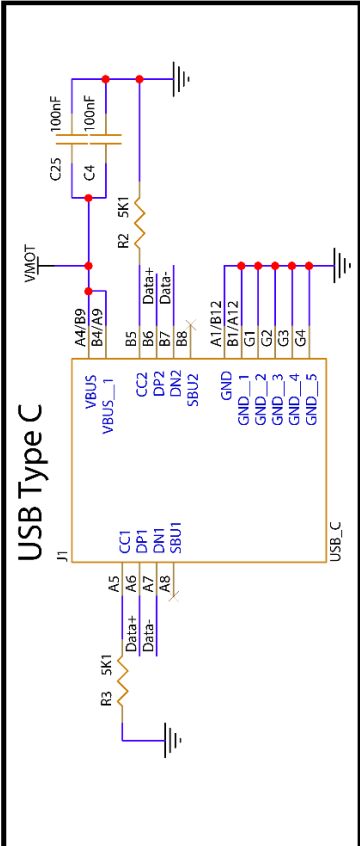
3.3 Zhvillimi i pllakës profesionale

Në versionin e mësipërm të pllakës e cila është zhvilluar fizikisht (praktikisht) gjatë punimit ishte më i arsyeshëm përdorimi i komponentëve më të mëdha për pikjen më të lehtë të tyre, si dhe përdorimi i pllakave zhvillimore në vend të vetëm mikrokontrollerit kishte kuptim. Por, për qëllime industriale (komerciale) një zgjidhje e tillë nuk është e arsyeshme sepse ndër të tjera, dimensionet finale të pllakës janë shumë të mëdha për çfarëdo aplikimi praktik.

Skema e re e dizajnuar përmban vetëm komponentët e nevojshme si dhe komponentët TH janë zëvendësuar me komponentët SMD për të zënë më pak hapësirë.

3.3.1 Skema e PCB-së finale

Skema e pllakës finale është e paraqitur në faqen pasuese.



Title		Qarku Ngasés Pér Stepper Motor Hybrid --- Hybrid Stepper Motor Driver	
Size	A4	Document Number	
Date:		Friday, October 30, 2020	Sheet 1 of 1
Rev	2.1		

3.3.2 Layout-i i PCB-së finale

Edhe këtu procedura për layout është thuajse e ngjashme me atë që është diskutuar më parë. Por për shkak se softueri i përdorur është më profesional, fillimisht kërkohet të deklarohen disa parametra në lidhje me PCB-në, si p.sh: Numri i shtresave, trashësia e tyre, lloji i materialeve, konduktiviteti (përqeshmëria) si dhe konstanta dielektrike e materialeve të zgjedhura.

Objects		Types		Thickness	Physical		Embedded	Signal Integrity		
#	Name	Layer	Layer Function	Value mm	Layer ID	Material	Embedded Status	Conductivity mho/cm	Dielectric Constant	SI Ignore
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
		Surface							1	
1	TOP	Conductor	Conductor	0.035	1	Copper	Not embedded	596000	1	<input type="checkbox"/>
		Dielectric	Dielectric Prepreg	0.2		Fr-4		0	4.5	<input type="checkbox"/>
2	LAYER_1	Conductor	Conductor	0.0175	2	Copper	Not embedded	596000	1	<input type="checkbox"/>
		Dielectric	Dielectric Core	1.1		Fr-4		0	4.5	<input type="checkbox"/>
3	LAYER_2	Conductor	Conductor	0.0175	3	Copper	Not embedded	596000	1	<input type="checkbox"/>
		Dielectric	Dielectric Prepreg	0.2		Fr-4		0	4.5	<input type="checkbox"/>
4	BOTTOM	Conductor	Conductor	0.035	4	Copper	Not embedded	596000	1	<input type="checkbox"/>
		Surface							1	

Fig. 3.27: Definimi i parametrave elektrik të PCB-së

Radhën e ka definimi i kufizimeve fizike si gjerësia minimale e vijave (traces), distanca mes tyre, diametri i VIA-jave, e disa parametra të tjera të cilët kryesisht merren nga prodhuesit e pllakave.

1. Physical\Physical Constraint Set\All Layers\All Layers													
Objects		Referenced Physical CSet	Line Width		Neck		Vias	BB Via Stagger		Allow			
Type	S		Min	Max	Min Width	Max Length		Min	Max	Pad-Pad Connect	Etch	Ts	
			mm	mm	mm	mm		mm	mm				
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Dsn		◀ HSMD	DEFAULT	0.1400	0.0000	0.1350	0.0000	0306_VIA:02045_VIA:04075_VIA	0.1350	0.0000	ALL_ALLOWED	TRUE	ANYWHERE
PCS		◀ DEFAULT		0.1400	0.0000	0.1350	0.0000	0306_VIA:02045_VIA:04075_VIA	0.1350	0.0000	ALL_ALLOWED	TRUE	ANYWHERE
LTyp		◀ Conductor		0.1400	0.0000	0.1350	0.0000		0.1350	0.0000	ALL_ALLOWED	TRUE	ANYWHERE
Lyr	1	TOP		0.1400	0.0000	0.1350	0.0000		0.1350	0.0000	ALL_ALLOWED	TRUE	ANYWHERE
Lyr	2	LAYER_1		0.1400	0.0000	0.1350	0.0000		0.1350	0.0000	ALL_ALLOWED	TRUE	ANYWHERE
Lyr	3	LAYER_2		0.1400	0.0000	0.1350	0.0000		0.1350	0.0000	ALL_ALLOWED	TRUE	ANYWHERE
Lyr	4	BOTTOM		0.1400	0.0000	0.1350	0.0000		0.1350	0.0000	ALL_ALLOWED	TRUE	ANYWHERE

Fig. 3.28: Definimi i parametrave fizik të PCB-së

Softueri ofron kostumizim dhe kontroll të plotë pothuajse mbi të gjithë parametrat por këtu u shfaqën vetëm disa prej tyre. Hapi i radhës është përcaktimi i kufijve të jashtëm të PCB-së apo thënë ndryshe përcaktimi i dimensioneve të pllakës si dhe hapja e vrimave për montim në SM.

Kufijtë e pllakës janë zgjedhur ashtu që të përputhen plotësisht me dimensionin e jashtëm të shtëpizës së pasme të stepper motorit të modelit *NEMA17*.

Pas caktimit të dimensioneve fillon vendosja e komponentëve në pllakë. Çaku është që komponentët që kërkojnë pozita specifike (si p.sh. sensori magnetik që duhet vendosur direkt mbi boshtin e SM) vendosen të parat dhe pastaj pozicionohen komponentët e tjera sipas disa rregullave dhe gjithmonë duke synuar që linjat (ratlines) sa më pak të ndërhyjnë në njëra tjetrën.

Kufi i jashtëm i PCB-së

Vrimat për montim 4xM4

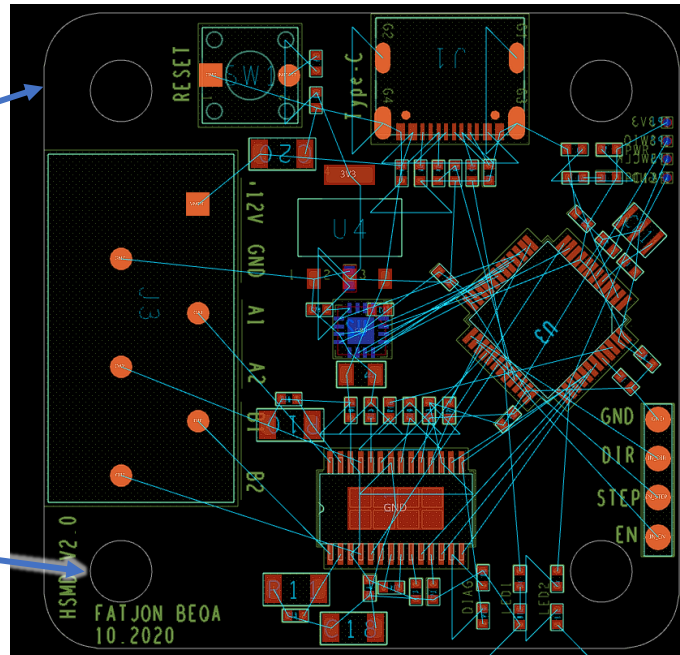


Fig. 3.29: Vendosja e komponentëve në pllakë

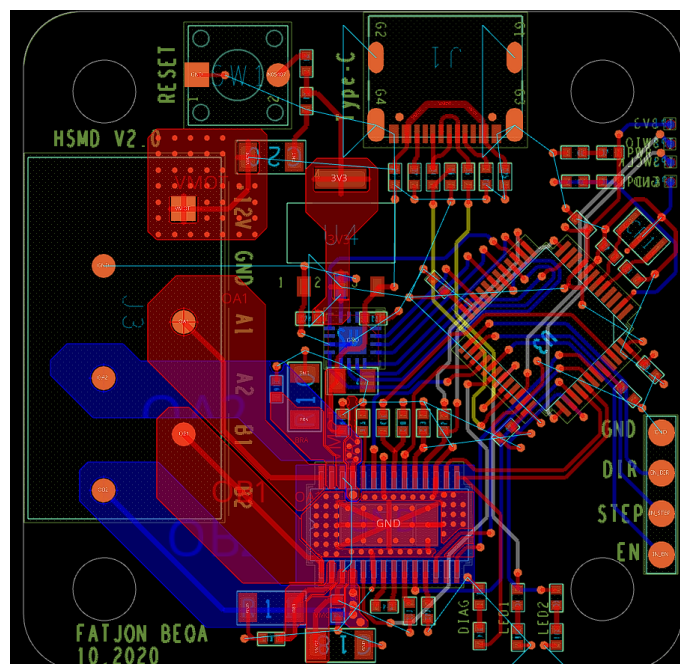


Fig. 3.30: Gjatë procesit të lidhjes së komponentëve (layout-it)

Në vazhdim janë paraqitur krah për krah se si duken shtresat pas përfundimit të layoutit. Në anën e majtë është paraqitur pamja gjatë dizajnit ndërsa në të djathtë, pamja se si duket e përpunuar.

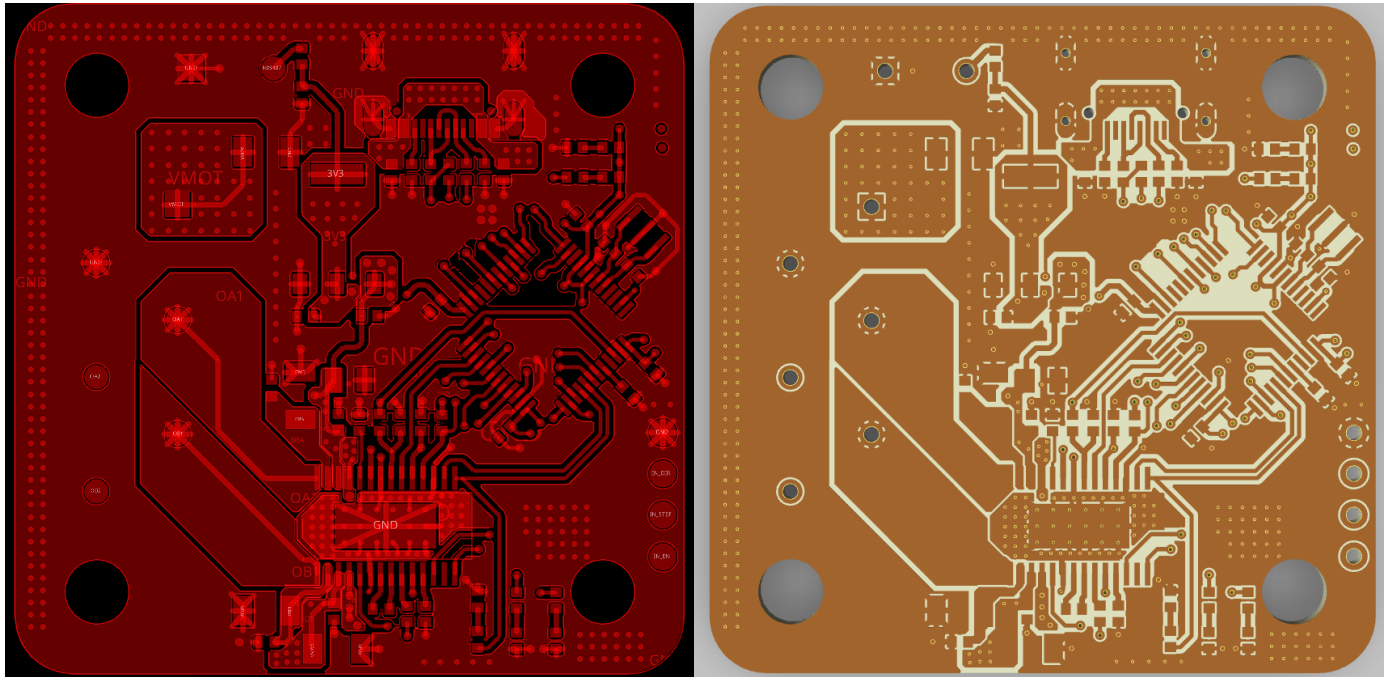


Fig. 3.31: Shtresa e sipërme (Top)

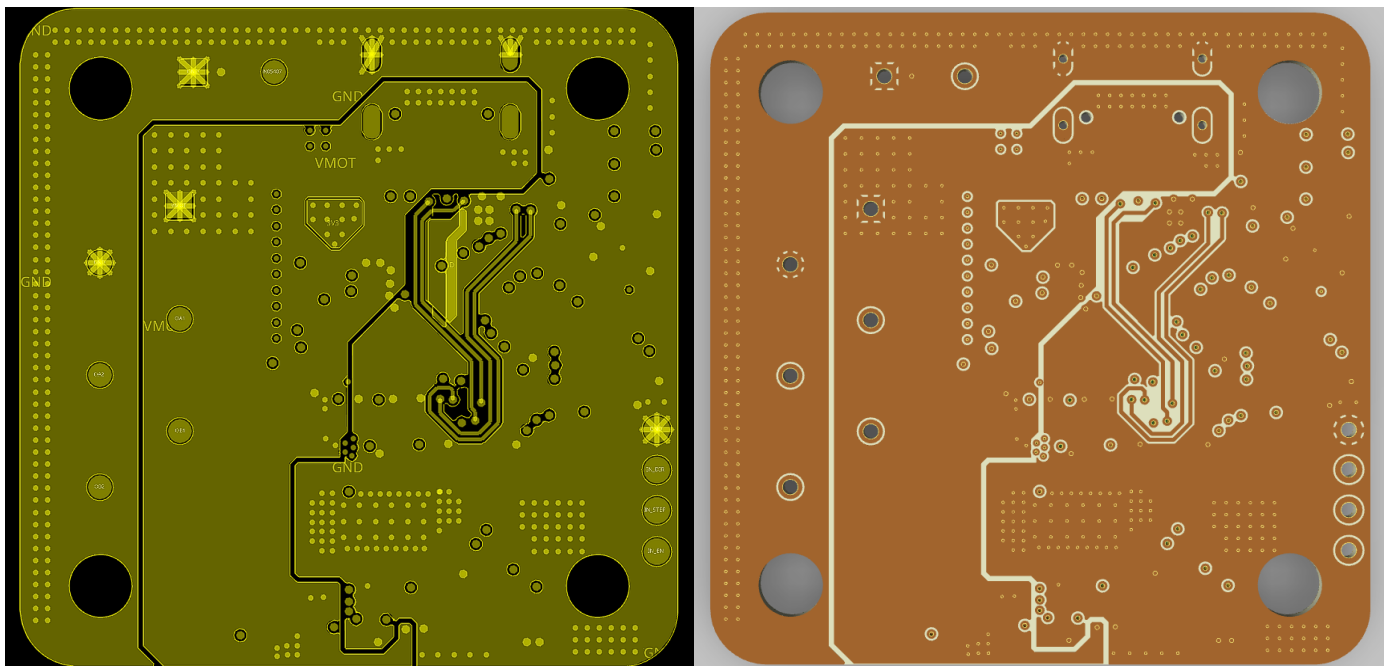


Fig. 3.32: Shtresa e brendshme I (Inner1)

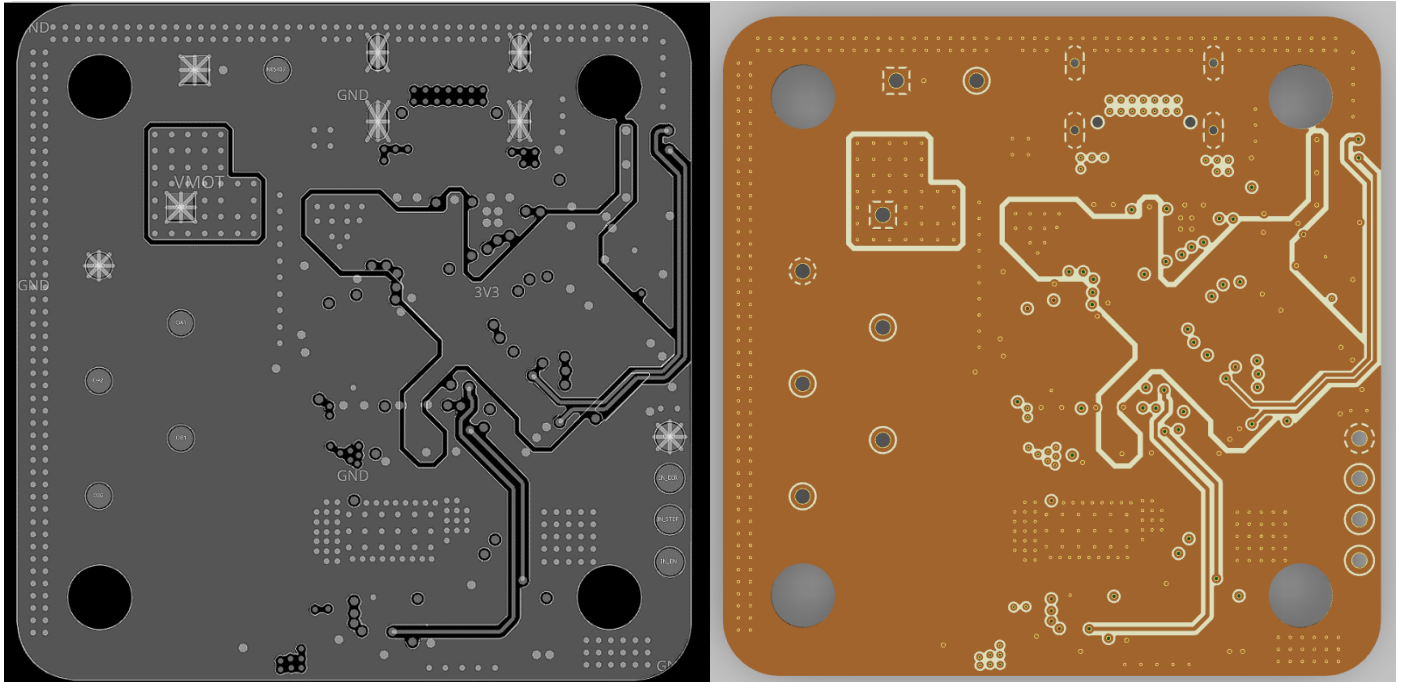


Fig. 3.33: Shtresa e brendshme II (Inner2)

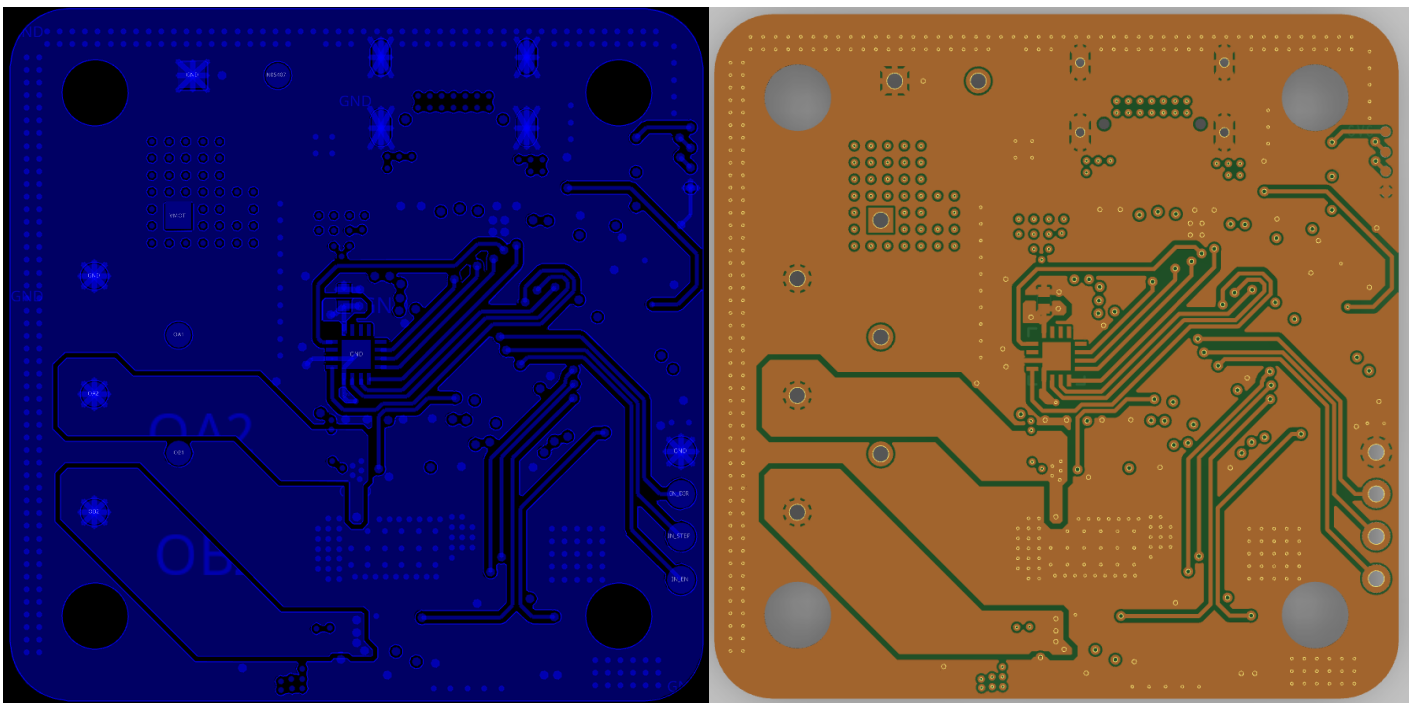


Fig. 3.34: Shtresa e poshtme (Bottom)

Informacionet si emri i komponentëve, emërtimi i pinave, versioni i pllakës, të gjitha këto vendosen ne shtresën e quajtur silkscreen. Në vazhdim janë paraqitur të dy anët e pllakës së përfunduar. Pamja nga lart (shtresa e sipërme) majtas ndërsa shtresa e poshtme, djathtas.

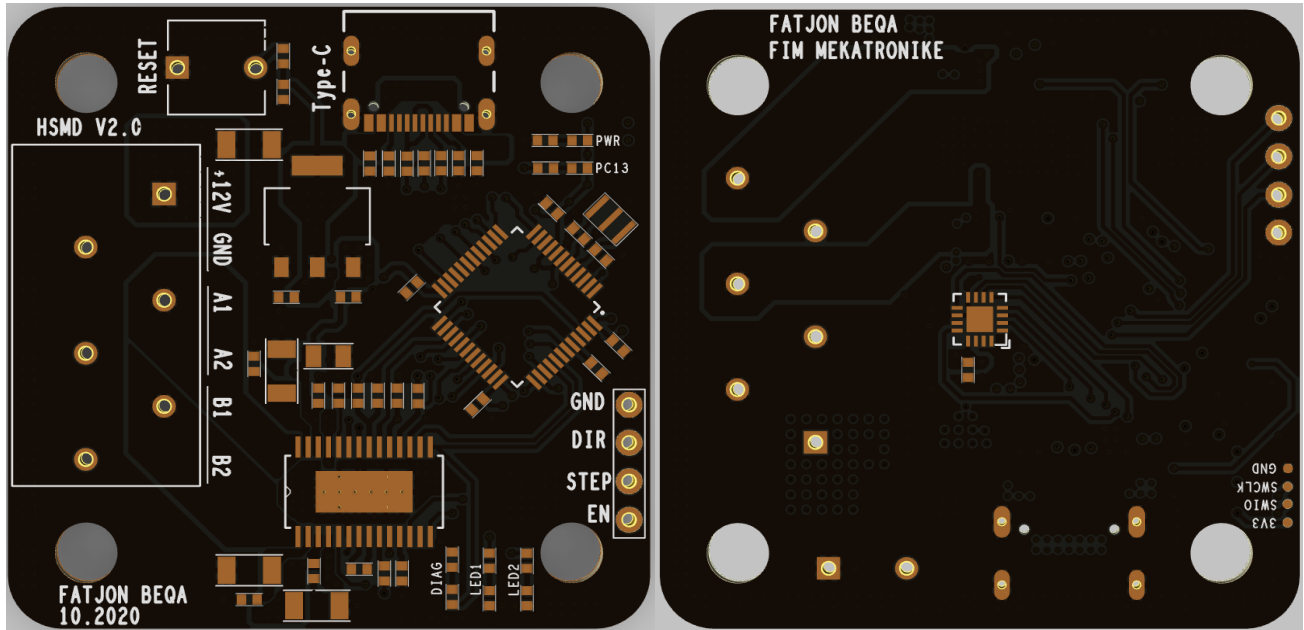


Fig. 3.35: Pamja e pllakës së përfunduar (pa komponente)

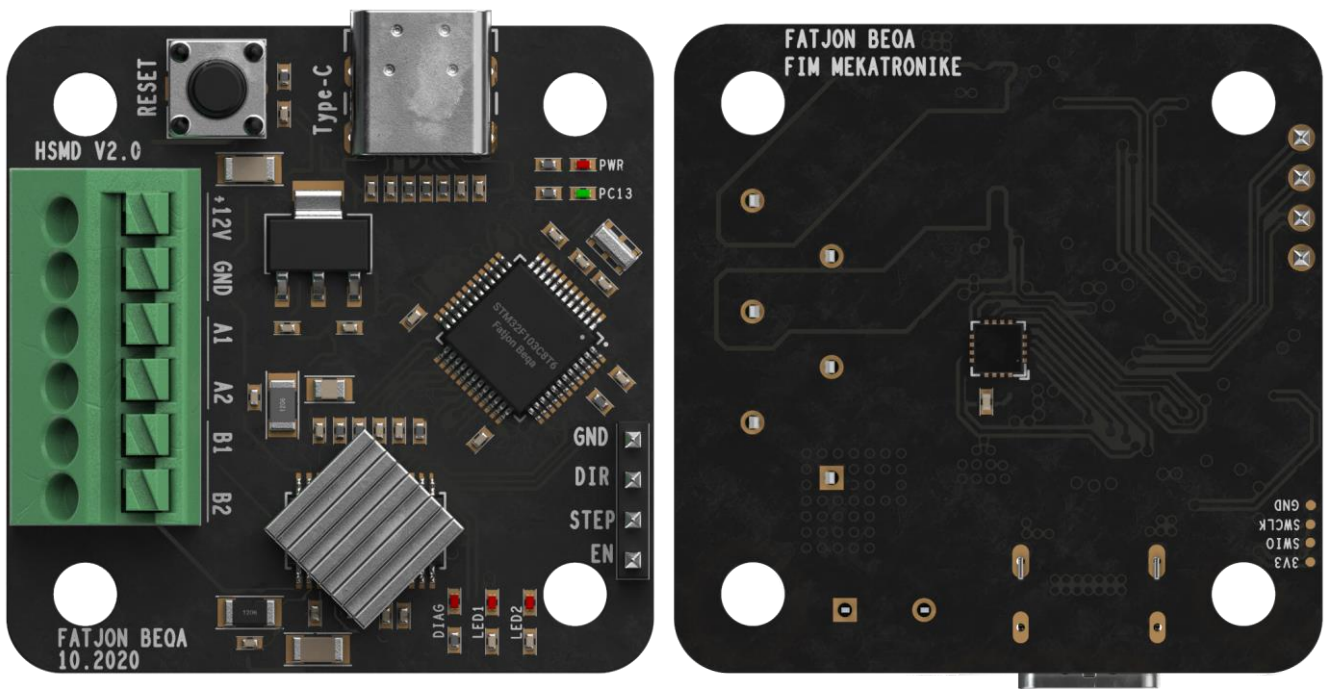


Fig. 3.36: Pamja e pllakës së përfunduar (me komponente)

Nëse shikojmë nga një perspektivë tjetër, pllaka finale duket si në vijim. Gjithashtu janë emëruar edhe disa nga komponentët kryesorë të pllakës.

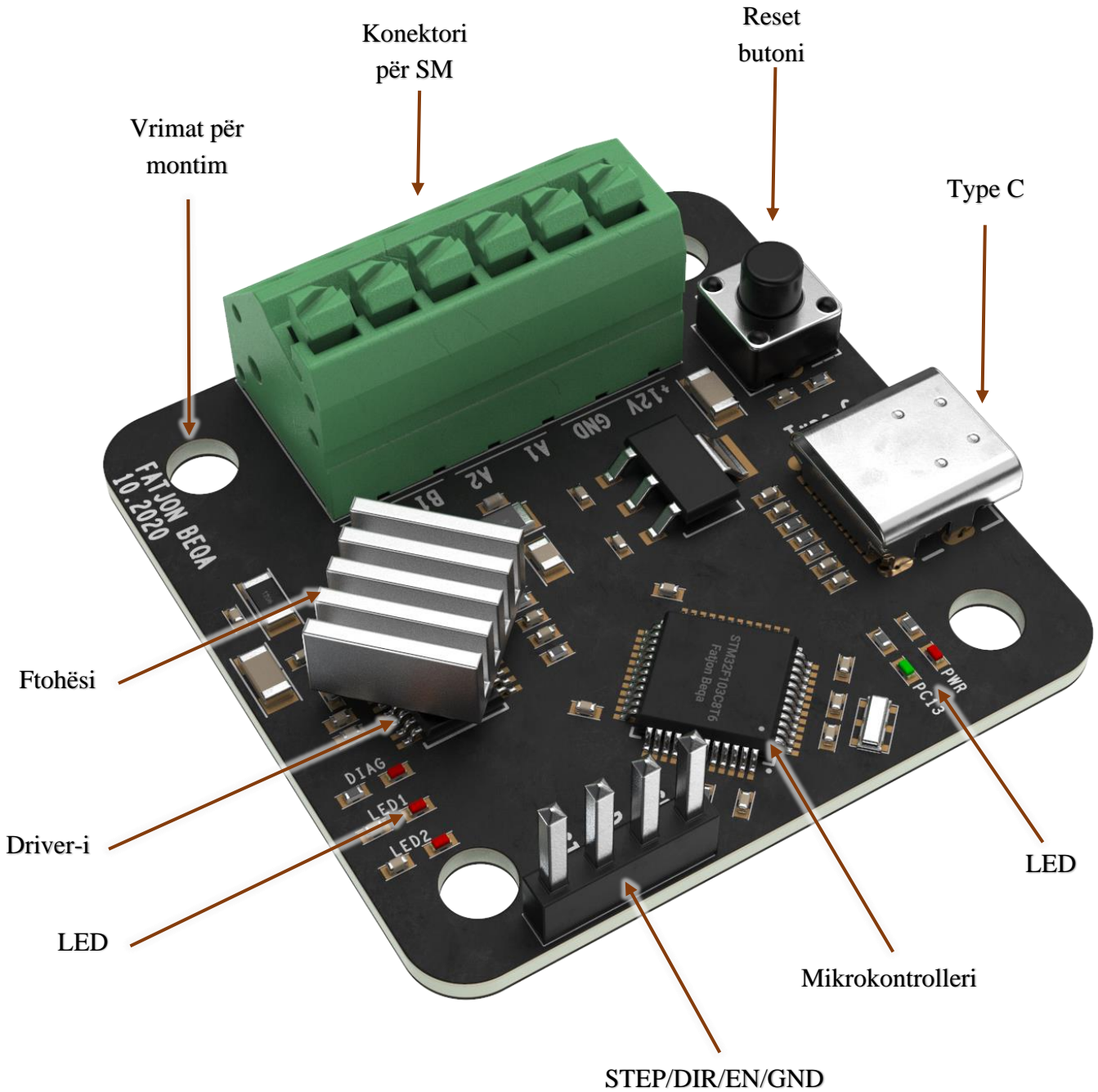


Fig. 3.37: Pamja 3D e pllakës finale

4. PJESA MEKANIKE

Në këtë kapitull do të shqyrtohen aspektet e këtij punimi që kanë të bëjnë me anën mekanike.

Do të fillohet me një model matematikor të step motorëve, pastaj do të vazhdohet me zbrëthimin (çmontimin) e SM dhe analizimin e pjesëve internele të tij, më pas, pjesët e çmontuara do të matën dhe do të përdorën për të krijuar një 3D model virtual. 3D modeli i eksportuar i PCB-së do të bashkohet me 3D modelin e SM dhe do të dizajnohet një adapter përkatës për lidhjen e tyre mes vete. Së fundmi do të dizajnohet një shtëpizë (enclosure) industriale e cila mbulon PCB-në dhe montohet në step motor.

4.1 Modeli matematikor i motorit

Meqenëse step motori është pajisje mekatronike në atë se është i ndërtuar nga një strukturë mekanike e dizajnuar me kujdes dhe se në të inkorporon pshtjellat (bobinat) e statorit të cilat kërkojnë një qark kompleks elektronik për ngasjen e tyre, edhe vetë modeli matematikor i step motorit mund të ndahet në dy sub-modele: Në atë elektrik dhe mekanik. Këto kanë konstanta të ndryshme kohore. Modeli elektrik ka dinamikë më të shpejtë. [1]

4.1.1 Modeli matematikor elektrik i SM [1]

Bazuar në [1] secila nga dy fazat elektrike të SM (për frekuenca dhe rryma relativisht të ulëta) mund të modelohen si qarqe ekuivalente RL duke ia shtuar edhe forcën elektromotore rivepruese (back emf). Qarku ekuivalent do të duket si në vijim.

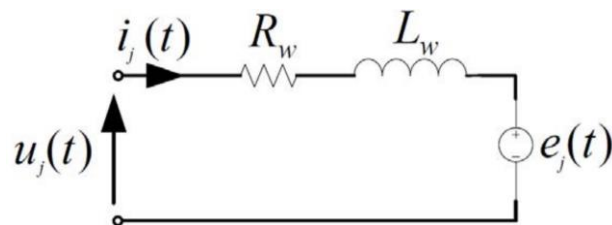


Fig. 4.1: Qarku elektrik ekuivalent i fazës së SM [1]

Ekuacioni i cili përshkruan këtë qark është:

$$L_w \frac{di_j(t)}{dt} = -R_w i_j(t) - e_j(t) + u_j(t) \quad \text{për } j = A, B \quad (2.1)$$

ku R_w është rezistenca e fazës (pshtjellës), L_w induktanca e fazës, i_j rryma e fazës, u_j tensioni dhe e_j paraqet back emf-in dhe varësisht prej fazës, përshkruhet me dy ekuacione:

$$e_A(t) = -K_m \omega_m \sin p\theta_m$$

$$e_B(t) = K_m \omega_m \cos p\theta_m$$

ku K_m është konstanta e motorit, p numri i çifteve të poleve, ω_m shpejtësia këndore e rotorit dhe θ_m këndi (mekanik) i motorit.

Duke aplikuar transformimin e Laplace-it në ekuacion (2.1), gjejmë:

$$I_j(s) = \frac{1}{Z_{mot}} (U_j(s) - E_j(s)) \quad \text{për } j = A, B$$

dhe

$$Z_{mot}(s) = L_w s + R_w$$

është impedanca elektrike e motorit.

Modeli elektrik i motorit për frekuenca të larta

Modeli i qarkut ekuivalent RL të paraqitur mësipër nuk është adekuat për PWM frekuenca të larta kjo ngase komponentët ferromagnetike të motorit kanë humbje të cilat janë funksion direkt i frekuencës. [1]

Në frekuenca të larta bërthama e motorit (statori, komponenta ferromagnetike) ka humbje të ngjashme me ato të transformatorit. Këto humbje modelohen si humbje rezistive paralel me një impedancë ekuivalente. Humbjet manifestohen në formë të nxehtësisë.

Qarku ekuivalent RL duke i modeluar edhe humbjet, duket si në vijim:

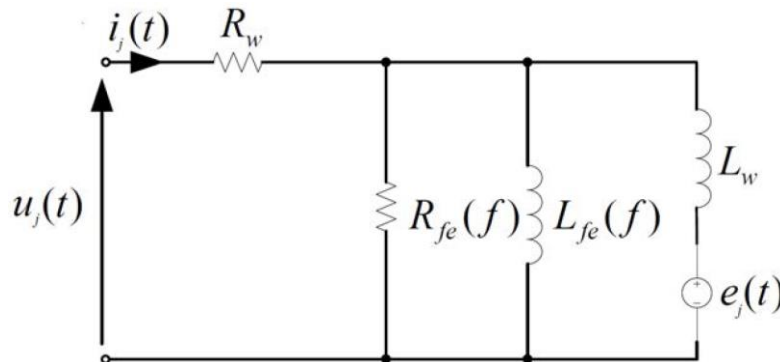


Fig. 4.2: Qarku ekuivalent i fazës së motorit për frekuenca të larta [1]

$R_{fe}(f)$ paraqet humbjet rezistive, $L_{fe}(f)$ induktancën e bërthamës (Fe – Hekuri) dhe f paraqet frekuencën e qarkut. Pra shihet qartë se këto dy të fundit janë funksion direkt i frekuencës.

Tani, ekuacioni i impedancës së fazës duke i marrë parasysh këto humbje, është:

$$Z_{mot}^{FL} = \frac{R_w + sL_e}{1 + s\tau_p}$$

ku FL – Frekuenca të Larta dhe L_e paraqet induktancën ekuivalente të L_w dhe L_{fe} në paralel:

$$L_e = \frac{L_{fe}L_w}{L_{fe} + L_w}$$

dhe

$$\tau_p = \frac{R_{fe}}{L_e} \quad \text{nga [8]}$$

4.1.2 Modeli matematikor mekanik i SM [1]

Pjesa mekanike e motorit modelohet si një trup i ngurtë i cili është subjekt i momenteve të ndryshme të treguara në figurën pasuese:

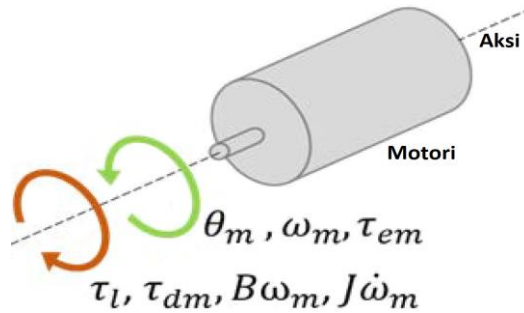


Fig. 4.3: Forcat e aplikuara në aks të motorit [1]

Ekuacioni që përshkruan modelin mekanik të paraqitur në Fig. 4.3 është:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = \tau_{em} - B\omega_m - \tau_{dm} - \tau_l$$

ku

$$\tau_{em} = K_m(-i_{motA} \sin p\theta_m + i_{motB} \cos p\theta_m)$$

është momenti elektromagnetik i motorit, J momenti i inercisë, B koeficienti i fërkimit,

$$\tau_{dm} = T_{dm} \sin(2p\theta_m + \phi)$$

τ_{dm} është momenti detent, T_{dm} amplituda e momentit detent, ϕ shfazimi dhe τ_l momenti i ngarkesës së jashtme.

Detent – Një mjet mekanik apo magnetik për ti rezistuar apo për ta bllokuar rrotullimin e një rrote, boshti apo aksi.

Tek SM, edhe kur nuk ka rrymë që rrjedh në stator, forca magnetike e magnetëve permanent të rotorit shkakton një moment të vogël bllokues (rezistues) në bosht. Ky njihet si moment detent.

4.2 Çmontimi dhe analizimi i pjesëve të brendshme të SM

Fillimisht duhet theksuar se modeli i SM që është analizuar në fotografitë e mëposhtme është i llojit NEMA23 ndërsa 3D modeli dhe dimensionet e PCB-së finale janë bazuar mbi modelin NEMA17 të SM. Kjo për shkak se NEMA23 është dukshëm më i madh dhe më lehtë mund të dallohen detajet konstruktive në fotografitë e mëposhtme krahasuar me modelin NEMA17.

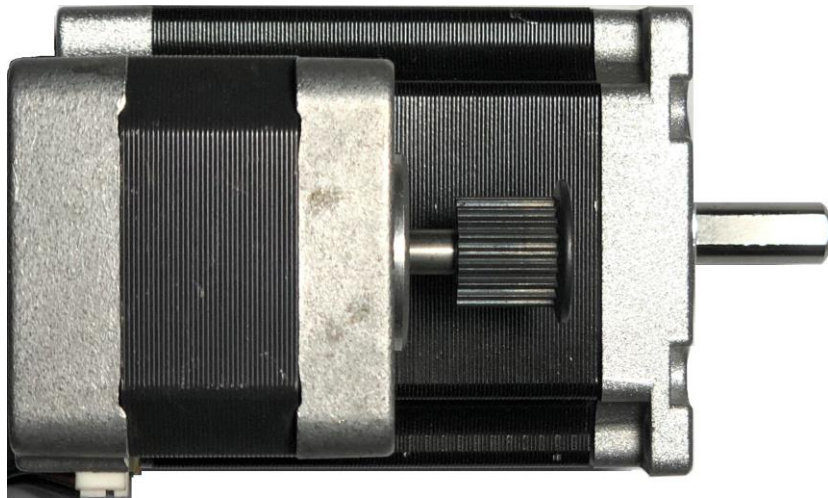


Fig. 4.4: Krahasimi mes SM NEMA17 (sipër) dhe NEMA23 (poshtë)

Dimensionet e motorit (gjatësia dhe gjerësia) janë të koduara në emrin e motorit. P.sh. numri 17 tek NEMA17 nënkupton gjatësi dhe gjerësi 1.7” (~43 mm). Ngjashëm me këtë, numri 23 tek modeli NEMA23 nënkupton gjatësi dhe gjerësi 2.3” (~ 58.5 mm).

Sa i përket lartësisë së motorit, ajo varet direkt nga momenti i motorit të zgjedhur. Sa më i madh momenti i kërkuar, aq më e madhe lartësia finale e motorit.

Për hapjen e motorit mjafton të largohen katër bulon të cilët gjenden në pjesën e përparme të SM.

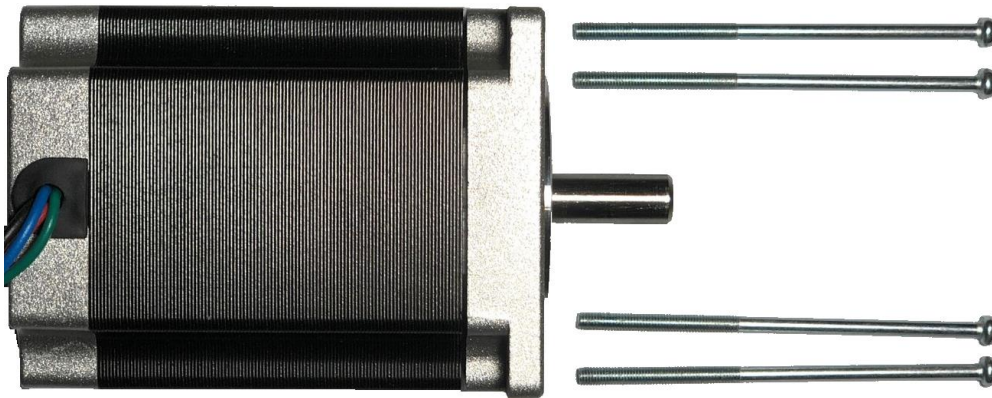


Fig. 4.5: Largimi i bulonave nga SM

Me largimin e bulonave, shtëpiza e sipërme e SM mund të largohet nga vendi dhe mund të shohim statorin, pshtjellat si dhe vet rotorin.

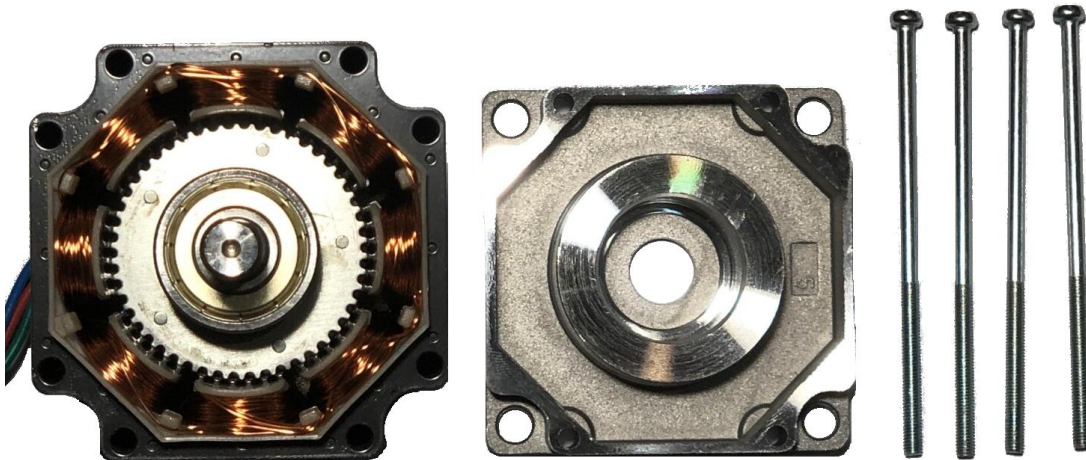


Fig. 4.6: Largimi i shtëpizës së sipërme të SM

Pas këtij hapi mund ta zbërthejmë plotësisht SM duke larguar fillimisht rotorin, pastaj vazhdohet me shtëpizën e pasme dhe në fund mbetet vetëm statori. Të gjitha pjesët e SM mund të shihen në figurën Fig. 4.7.

Në figurën 4.8 është paraqitur vetëm rotorin. Nga figura mund të dallojmë shfazimin e dhëmbëve të rotorit. Arsyeja e këtij shfazimi është cekur në kapitullin [2.3](#).

Rotori i paraqitur në figurë 4.8, në total ka katër yllëza të dhëmbëzuara me pole alternuese N, S, N, S.

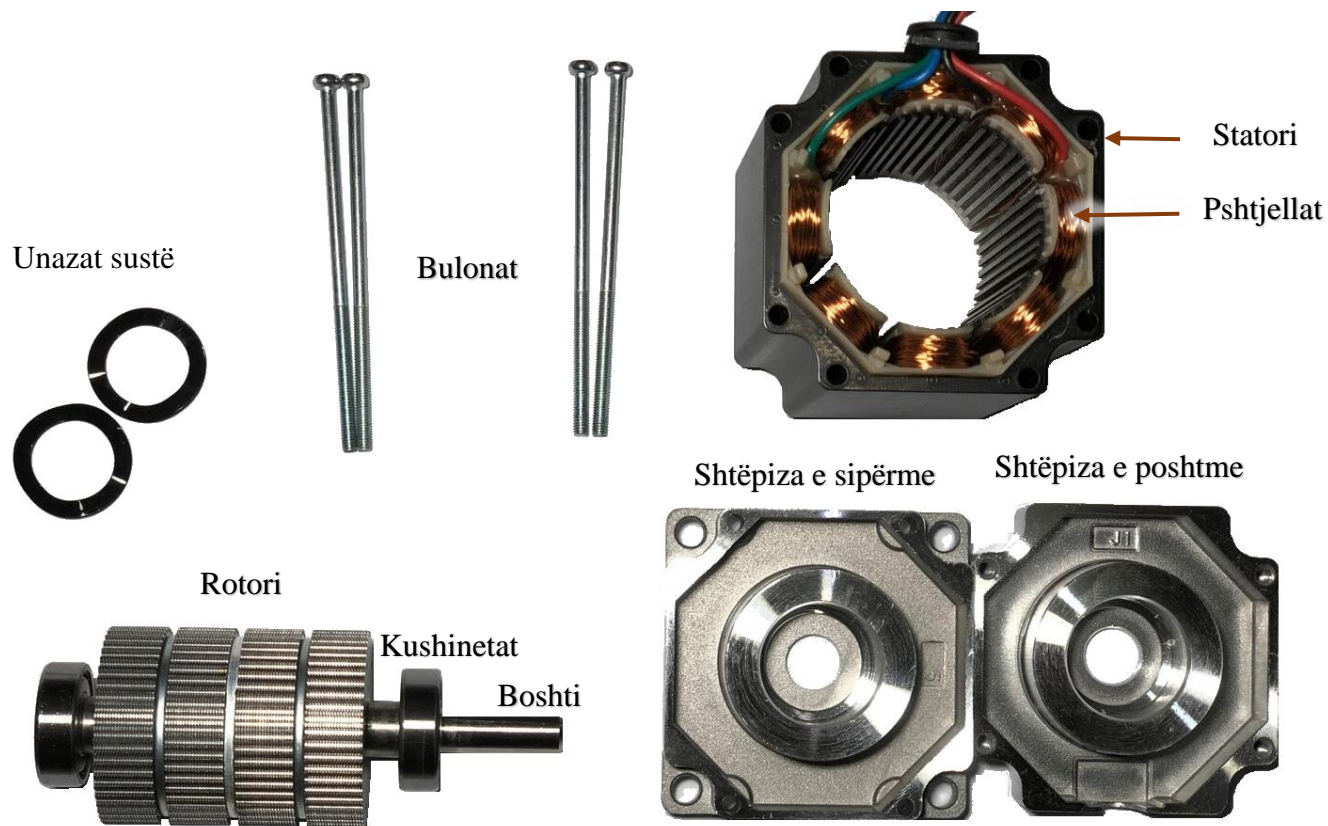


Fig. 4.7: Komponentët përbërëse të step motorit

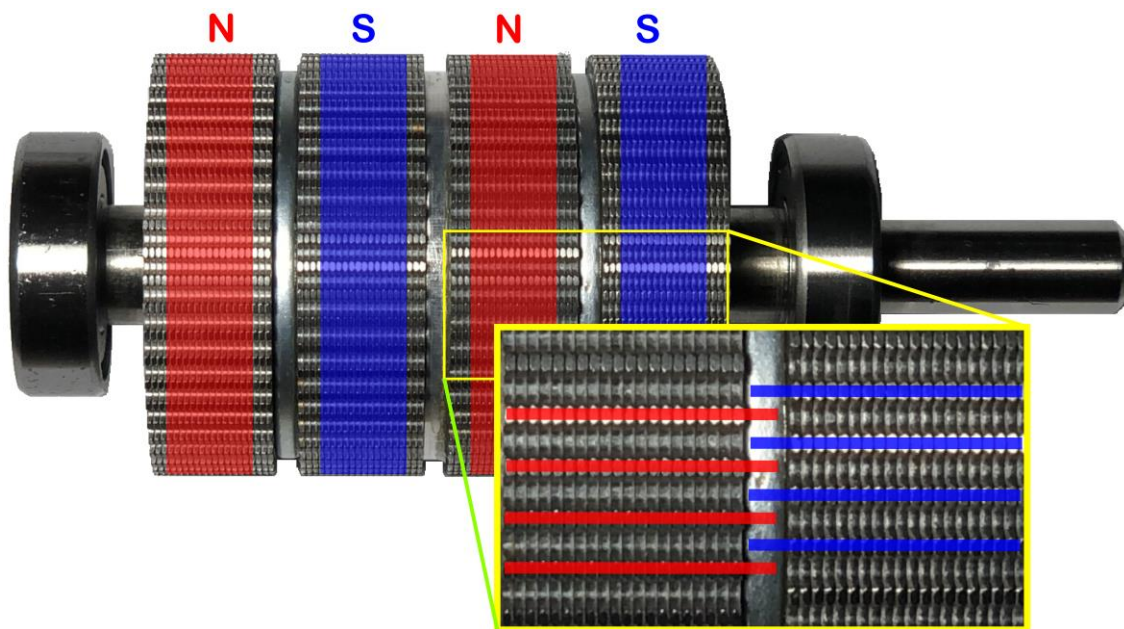


Fig. 4.8: Rotori i SM, dhëmbët e tij dhe polet e magneteve permanent

Renditja e dhëmbëve të statorit dhe të rotorit që është sqaruar në kapitullin 2.3 tani mund të shihet tek aplikimi real në SM. (Vërejtje: Nëse dhëmbët nuk duken se përputhen sipas përshkrimi të dhënë në 2.3 kjo është ngase kushineta e poshtme e SM është jashtë vendit dhe magnetët janë të lirë ta tërheqin rotorin nga njëra anë ashtu që të krijojë përshtypjen për mos renditje perfekte!)

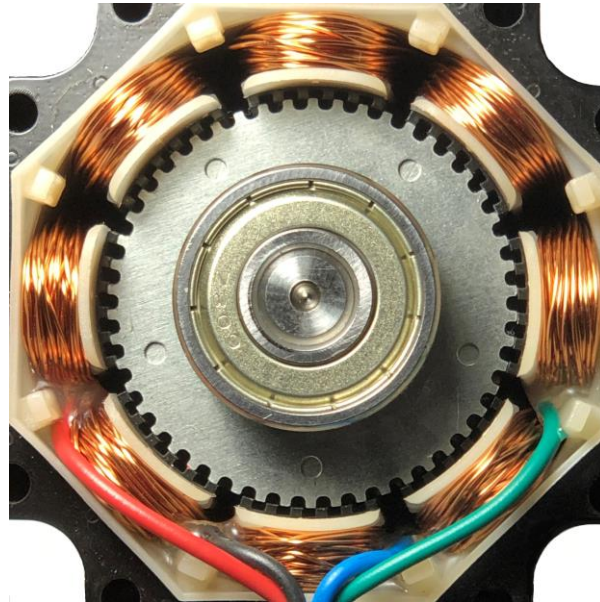


Fig. 4.9: Pjesa e pasme e SM, renditja e dhëmbëve

Në figurën e radhës është paraqitur vetëm statori i SM (NEMA17). Nga figura mund të dallohen tetë grupet me bobina dhe me nga gjashtë dhëmb secila. [Kapitulli 2.3]

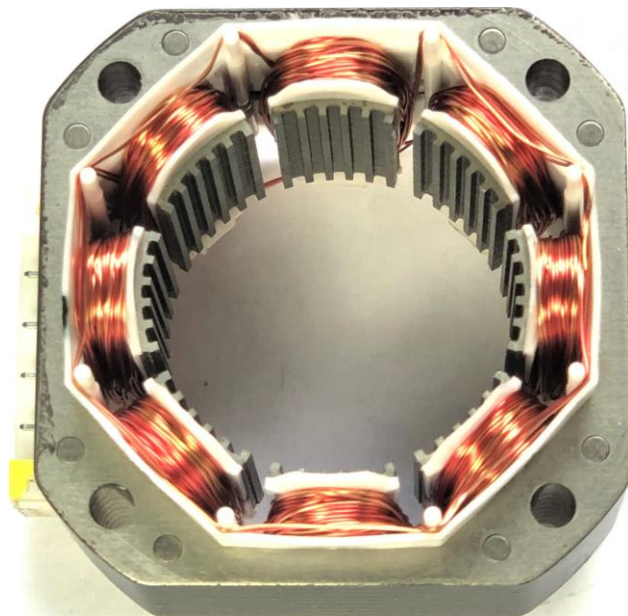


Fig. 4.10: Statori i step motorit

Nëse analizohet nga afër trupi i SM (Fig. 4.11) shihet se ai është i ndarë në shumë vija (vertikale).

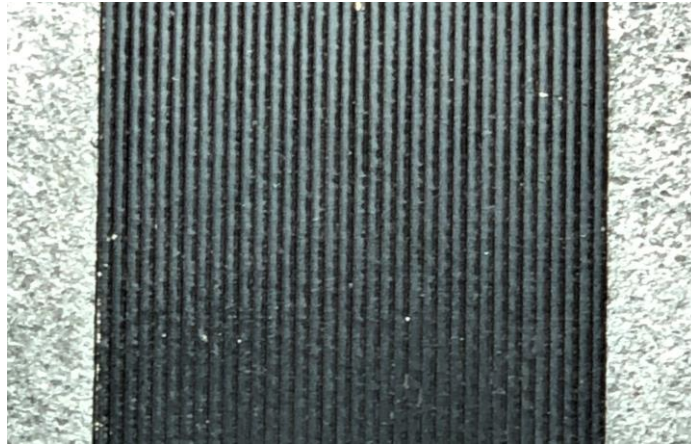


Fig. 4.11: Fletëzat e trupit të statorit

Secila nga këto vija paraqet një fletëz (pllakë te hollë) metalike e cila është e mbuluar (e lyer) me një izolator ashtu që të ndërpritet kontakti elektrik mes fletëzave. Të gjitha këto fletëza janë të ngjitura së bashku duke formuar trupin e statorit. Arsyeja e përdorimit të këtyre fletëzave të izoluara në vend të vetëm një trupi të ngurtë është evitimi i rrymave të Edit (Eddy currents).

Nëse i referohemi [5], shohim se ligji i Faradejit (Faraday) thotë:

“Forca elektromotore e induktuar në konturin e mbyllur është e barabartë me shpejtësinë e ndryshimit të fluksit nëpër sipërfaqen që e kufizon konturi në shqyrtim” dhe jepet me ekuacionin:

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = \oint E dl$$

Poashtu, bazuar përsëri në [5], shohim ligjin e Lenc-it i cili thotë:

“Nëse fluksi magnetik, i cili e përfshin konturin, ndërron për ndonjë arsye, atëherë në konturë do të paraqiten efekte të cilat i kundërshtojnë ndërrimit të fluksit”. Me fjalë të tjera mund të themi: *“Rryma elektrike e induktuar në një konturë përçues e ka atë kahe me të cilën i kundërvihet shkakut të paraqitjes së saj”*.

Nëse analizojmë ligjet e cekura më sipër, shohim se bazuar në ligjin e Faradej-it, magneti i cili gjendet në rotor gjatë rrotullimit të tij do të indukojë një rrymë në stator. Bazuar tani në ligjin e Lencit, del se kjo rrymë e induktuar tani i kundërvihet rrotullimit të rotorit. Në mënyrë që këto rryma të minimizohen, përdoret teknika e njëjtë sikurse tek transformatorët.

Në vend të një trupi (bërthame) të vetme ferromagnetike, ku këto rryma mund të rrjedhin në gjithë trupin e motorit, përdorën shumë fletëza të holla të izoluar nga njëra tjetra. Kjo bën që në secilën prej tyre të induktohen rrymë të vogla, por meqë fletëzat janë të izoluar nga njëra tjetra, këto rryma nuk kanë nga të rrjedhim dhe “mbyten” nga vetë rezistenca e materialit ferromagnetik (zakonisht hekurit).

$$I = \frac{e}{R}$$

I – rryma e induktuar, e – ndryshimi i potencialit dhe R , rezistenca. Sa më e madhe rezistenca, aq më të vogla rrymat e induktuara.

Përveç tjerash, një ndarje e tillë përmirëson edhe histerezën magnetike, efikasitetin e motorit, motori nxehet më pak, pra në përgjithësi përmirëson performancën e step motorëve.

4.3 Modelimi 3D i step motorit në softuer

Matjet e bëra gjatë kapitullit të mësipërm janë transferuar në softuer për modelim 3D dhe është formuar modeli virtual i SM NEMA17. Një pamje gjatë dizajnit është paraqitur në vijim.

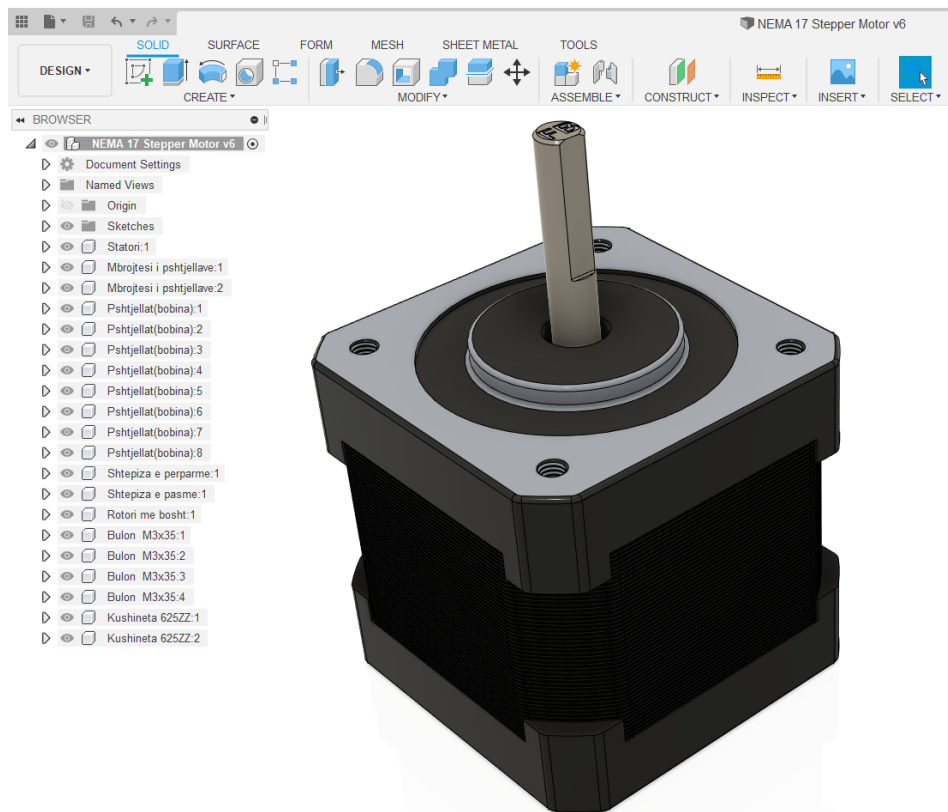


Fig. 4.12: Pamje gjatë dizajnit të 3D modelit të SM

Një pamje e të gjitha pjesëve të modeluara, të renderuara dhe të anotuara mund të shihet në figurën vijuese.

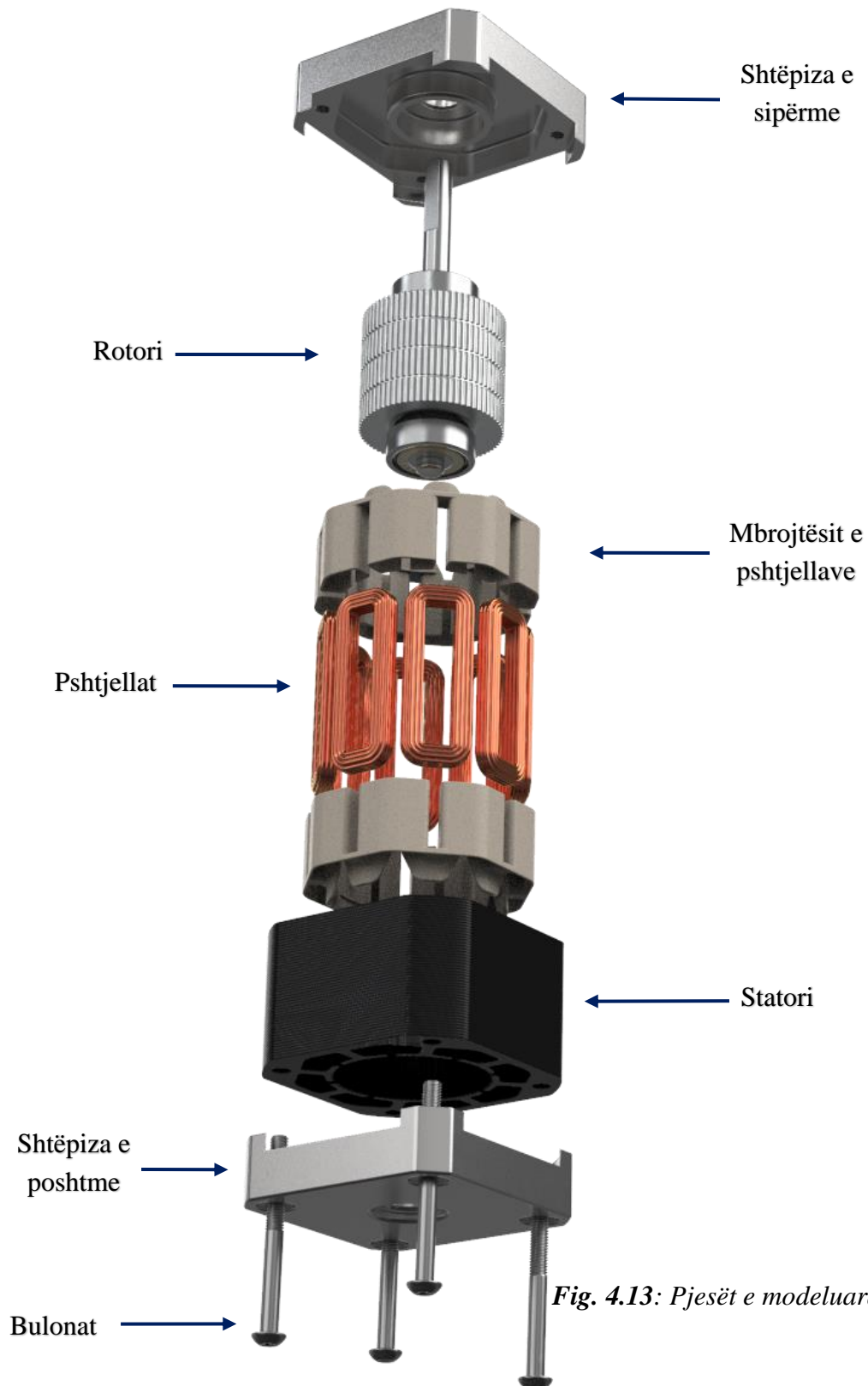


Fig. 4.13: Pjesët e modeluara të SM

4.3.1 Bashkimi i pjesës mekanike me atë elektrike

Pasi që kemi modelin 3D të step motorit, po ashtu edhe atë të pllakës (PCBsë) i cili është eksportuar nga softueri përkatës, tani bashkimi i tyre do të jetë i lehtë ngase PCB-ja ka hapjet (vrimat) në të njëjtën pozitë sikurse SM. Mjafton që ti largojmë bulonat e vetë SM, pastaj vendosim nga një distancer (unazë) plastike në mes të SM dhe pllakës (Fig. 4.14) ashtu që ta mbajmë distancën e rekomanduar magnet—senzore, së fundmi, zëvendësojmë bulonat e vet me bulona më të gjatë.

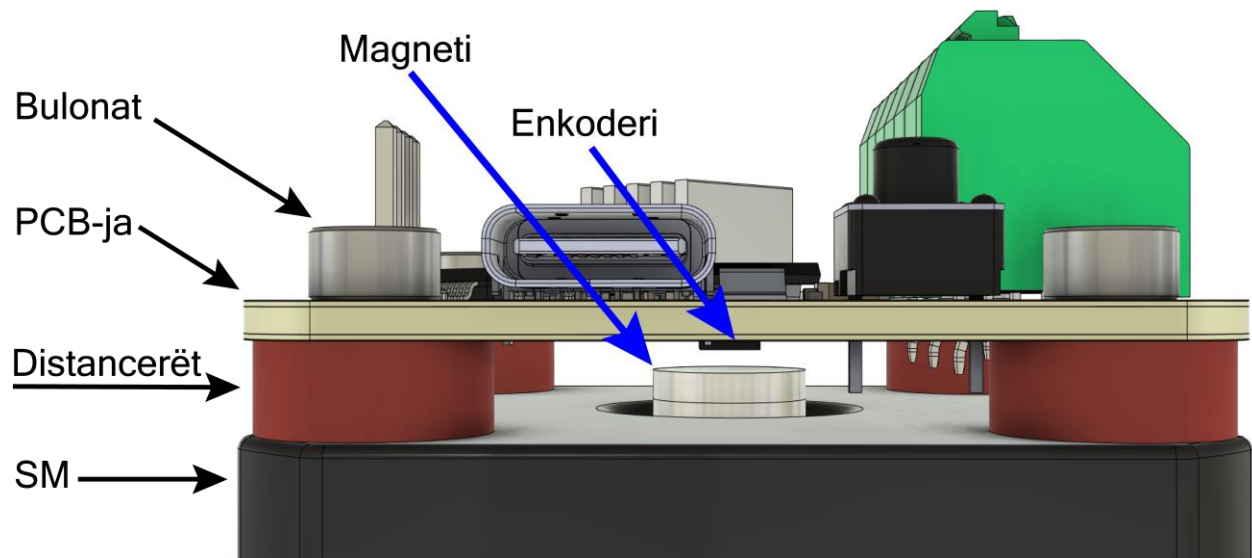


Fig. 4.14: Montimi i PCB-së në SM me distancera

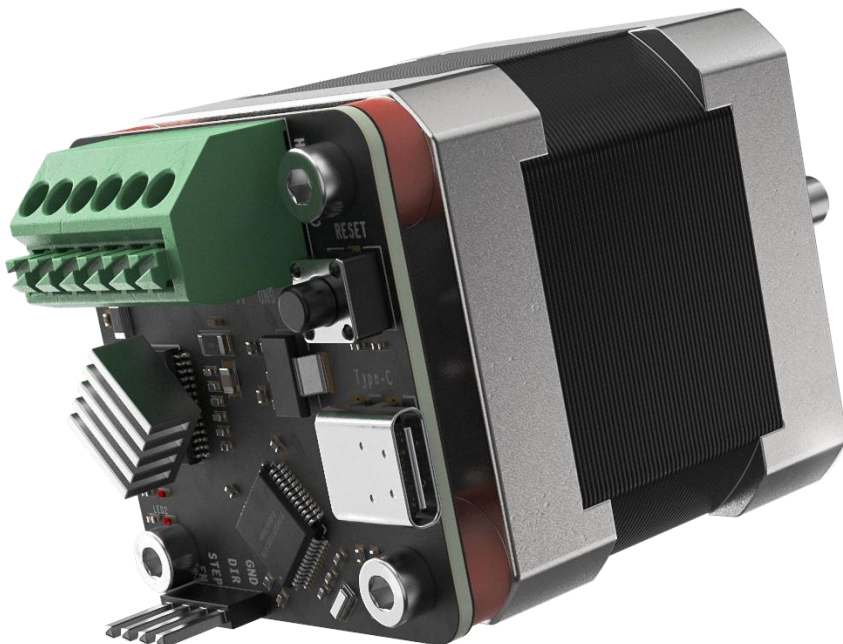


Fig. 4.15: Pamja e PCB-së së bashkuar me step motor.

4.4 Dizajnimi i shtëpizës industriale

Versioni i mësipërm i montimit të PCB-së mbi SM është shumë i thjeshtë, mjafton vendosja e katër distancerëve për të mbajtur distancën e rekomanduar magnet – enkoder si dhe në të njëjtën kohë, këta distancues ofrojnë mbështetje mekanike të PCB-së. Sa i përket anës elektrike (kabllimit) mjafton vendosja e katër përçueseve të cilët dalin nga SM, direkt në konektorin e PCB-së.

Një zgjidhje e tillë është shumë e lehtë dhe e shpejtë dhe mund të shfrytëzohet për aplikime si tek 3D printerët, pra kryesisht në kushte mjedisore më të kontrolluara si shtëpiake dhe laboratorike.

Ndërsa, nëse synohet industria, pjesët e ekspozuara të PCB-së duhet mbuluar ashtu që kushtet mjedisore, si: lagështia, pluhuri, ashklat si metalike ashtu edhe jo-metalike (nga procesori i gdhendjes), lëngjet e ndryshme (nga procesi i ftohjes), të gjitha këto të mbahen jashtë PCB-së.

Një faktor tjetër është edhe ftohja. Në versionin e mësipërm është përdorur një ftohës pasiv alumini (heatsink) me dimensione $9 \times 9 \times 5 \text{ mm}$, edhe pse është llogaritur se ky është i mjaftueshëm për ftohjen e driverit (shih kapitullin 6.2), për aplikime industriale kërkohet një ftohje ende më e mirë.

Me gjithë këto probleme në mënd, është dizajnuar një shtëpizë (enclosure) e cila mund të përpunohet me procesin e gdhendjes nga një bllok alumini (milling) apo edhe me procesin e derdhjes në kallëp nën presion (die-casting).

Në mënyrë që dizajni final të jetë sa më kompakt (të ketë lartësi sa më të vogël), disa komponentë nuk duhet pikur fare në PCB. Meqenëse jemi duke i shqyrtuar aplikimet industriale, konektori për stepper dhe furnizim mund të largohet dhe të piken kabllot e SM direkt në PCB. Butoni për resetim dhe pinat për STEP/DIR mund gjithashtu të largohen ngase resetimi nuk do të jetë i nevojshëm tek versioni industrial dhe komunikimi me pllakë realizohet nëpërmjet konektorit të tipit C.

Largimi i këtyre komponentëve mundëson dizajnimin e një shtëpize më të thjeshtë dhe kompakte, lartësia e të cilës (mbi SM) është **vetëm 15mm!**

Kjo lartësi e vogël e bën produktin final kompatibil me shumë sisteme ekzistuese, por edhe e bën një zgjedhje të përshtatshme për produktet e reja të cilat kërkojnë step/servo motor dhe që janë të limituar në dimensionet e përgjithshme të makinës.

Në figurën në vazhdim janë paraqitur projektet e shtëpizës së dizajnuar dhe të renderuar.

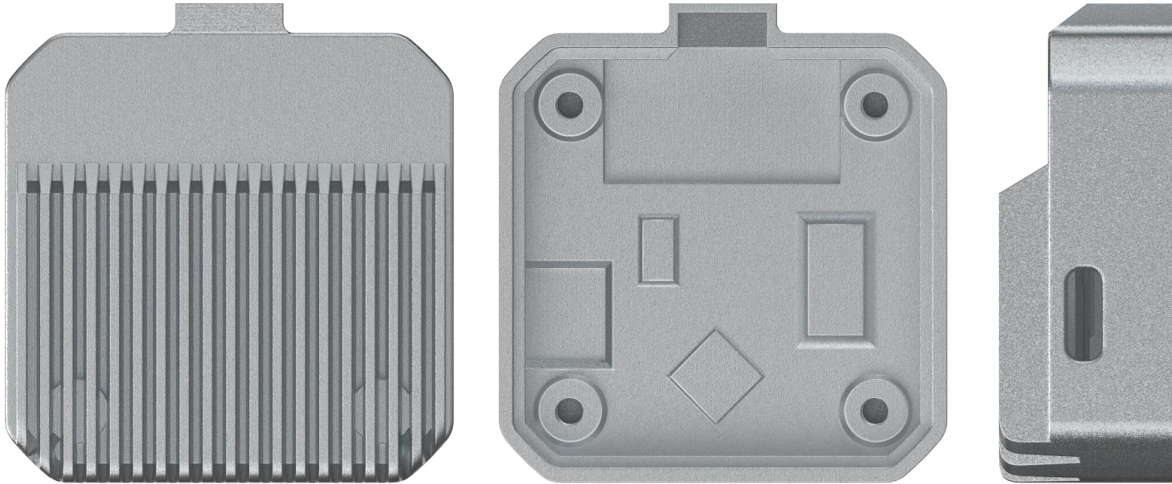


Fig. 4.16: Projektionet e shtëpizës së dizajnuar

Nëse analizojmë një prerje tërthore të shtëpizës së montuar mbi SM në mesin e të cilëve gjendet PCB-ja, mund të dallojmë se tek komponentët të cilat disponojnë nxehtësi, si driveri dhe rregullatori i tensionit, shtëpiza është e zgjatur ashtu që të bëjë kontakt fizik direkt me këto komponente. Për tu siguruar për transferim më të mirë të nxehtësisë, është e rekomandueshme të përdoret pastë termike (ngjashëm me aplikim e pastës mes procesorëve dhe ftohësve të tyre). Ndërsa, te komponentët e tjera, shtëpiza është larguar për të evituar kontaktet fizike të cilat mund të shkaktojnë lidhje të shkurtë.

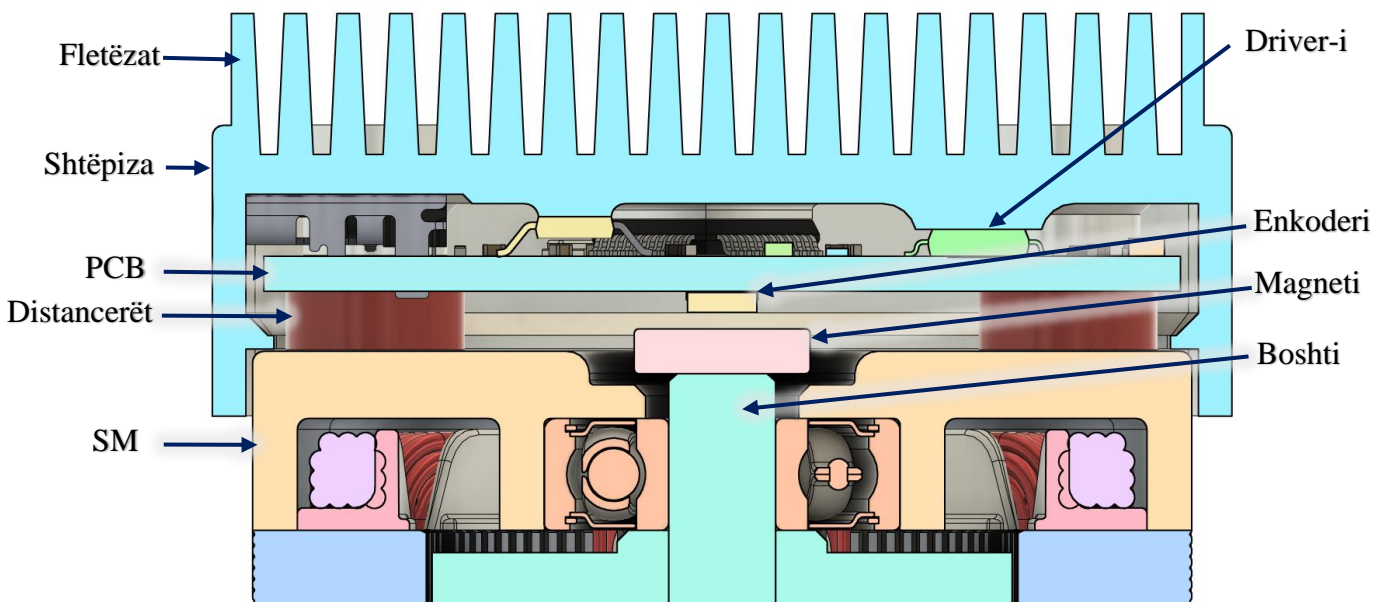


Fig. 4.17: Prerja tërthore I, analizimi i kontaktëve

Meqenëse ftohja është pasive sepse bazohet vetëm në konveksionin e ajrit për ftohje, sa më shumë sipërfaqe kontaktuese me ajrin, aq më e mirë ftohja. Kjo është arsyeja pse dizajni i shtëpizës është i ndarë në fletëza (fins). Shih kapitullin 6.2.1 ku është simuluar performanca e shtëpizës si ftohës.

Sa i përket mënyrës së shtrëngimit, filetat janë hapur në shtëpizë ashtu që bulonat vendosen nga pjesa e përparme e motorit, kalojnë nëpër hapjen në motor, nëpërmjet distancuesëve, PCB-së dhe së fundmi shtrëngohen në ato fileta. Kjo mund të shihet në prejen tërthore të paraqitur më poshtë.

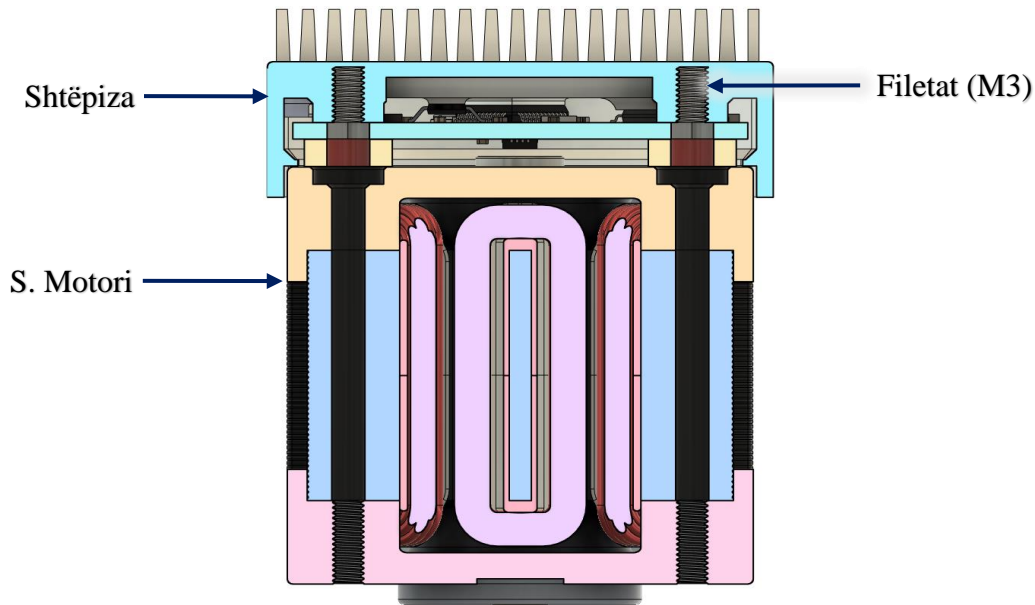


Fig. 4.18: Prerja tërthore II, analiza e shtrëngimit

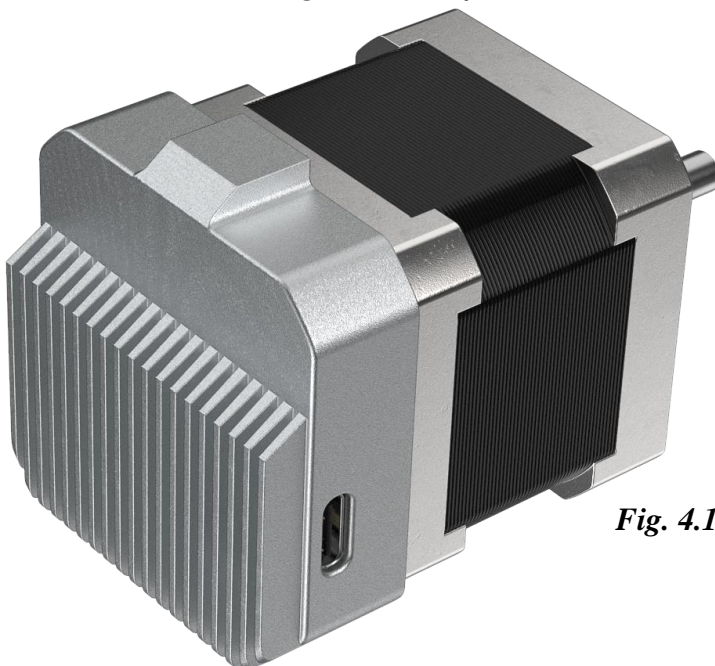


Fig. 4.19: Pamja e produktit final. Shtëpiza e montuar në SM

Në figurën e mësipërme (Fig. 4.19) është paraqitur pamja e shtëpizës së montuar mbi SM. Kjo pamje njëherësh paraqet edhe vetë pamjen e produktit final!

Ndërsa, në figurën vijuese, komponentët janë zbërthyer për tu parë vendi dhe mënyra e montimit si dhe janë shënuar emrat e tyre përkatës.

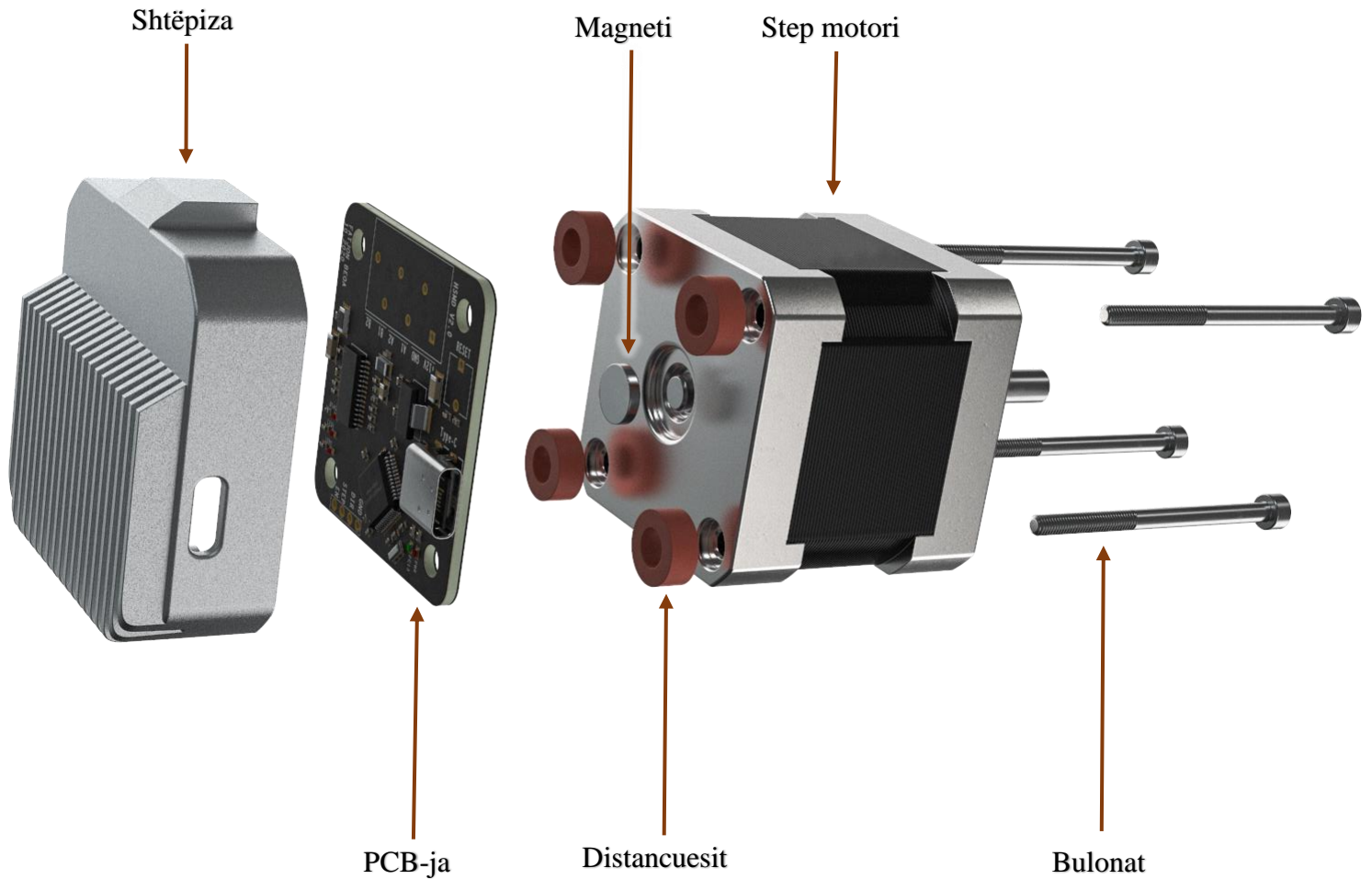


Fig. 4.20: Zbërthimi i pjesëve të produktit final.

5. PËRZGJEDHJA E KOMPONETËVE

Në këtë kapitull do të shqyrtohen shkurtimisht komponentët e përzgjedhura dhe do të sqarohet arsyeja e përdorimit të tyre. Këtu janë cekur vetëm komponentët kryesore.

5.1 Mikrokontrolleri

Po e fillojmë këtë kapitull me pjesën “e mençur” të gjithë sistemit, me mikrokontrollerin. Mikrokontrolleri i shfrytëzuar për këtë punim është *STM32F103C8T6*. Arsyeja e përdorimit të këtij mikrokontrolleri do të bëhet e qartë gjatë krahasimeve të tij me mikrokontrollerin e gjithënjohur, Arduino. Më saktë, do të krahasohet me *ATMEGA328P* e cila përbën “trurin” e pllakave zhvillimore si: Arduino Uno, Nano, Pro Mini, dhe LilyPad. Disa nga krahasimet mes tyre, të cilat janë kyçe për këtë punim, janë paraqitur në tabelën vijuese:

Tabela 5.1: Krahasimet mes STM32F103C8T6 dhe ATMEGA328P

	<i>STM32F103C8T6</i>	<i>ATMEGA328P</i>
<i>Frekuenca e punës</i>	72 MHz (max)	8 – 16 MHz
<i>Arkitektura</i>	32 bit	8 bit
<i>Memoria (Flash)</i>	64 KB (128 KB) ²	32 KB
<i>SRAM</i>	20 KB	2 KB
<i>Input/Output (IO) pina</i>	32 pina	23 pina
<i>Frekuenca e PWM / PWM pina/ rezolucioni i PWM</i>	281 kHz (stabil), 36 MHz (max) ³ / 15 pina / 16 bit	63 kHz ⁴ / 6 pina / 8 bit
<i>ADC rezolucioni / ADC pina / ndjeshmëria minimale në mV</i>	12 bit / 10 pina / 0.8 mV @ 3.3V	10 bit / 8 pina / 3.2mV @ 3.3V 4.9 mV @ 5V ⁵
<i>External interrupt pina</i>	15	2
<i>Përkrahja direkte për USB</i>	Po	Jo

Vetëm nga tabela e mësipërme nënkuptohet se *STM32F103C8T6* është “superior” ndaj *ATMEGA328P* dhe kjo e specifikon arsyen kryesore të përzgjedhjes së këtij mikrokontrolleri.

² Versioni i përdorur në këtë punim është 64 KB, por ekziston edhe versioni i njëjtë me memorie 128KB.

³ PWM frekuenca mund të arrij 36MHz por duhet zvogëluar rezolucioni i PWM-së si dhe matjet me osciloskop tregojnë që sinjali nuk është shumë stabil.

⁴ Vlera prej 63kHz është arritur eksperimentalisht, vlera më të mëdha mund të arrihen por me ulje të mëtejme të rezolucionit

⁵ ATMEGA328P vjen në dy versione të cilat punojnë në tensione të ndryshme, 3.3 dhe 5V.

Specifikat e paraqitura në tabelë janë ato të cilat i interesojnë më shumë këtij punimit. Shumica e tyre janë nga dokumenti i specifikave të dhënë nga prodhuesit e këtyre mikrokontrollerëve [11] dhe [13], ndërsa një pjesë e vogël nga testimet aktuale. STM32 ka edhe më shumë karakteristika tjera, por ato nuk janë cekur këtu ngase nuk shfrytëzohen në këtë punim.

Nëse i referohemi kapitullit 8.1 mund të shohim testimet reale në shpejtësi ndërmjet tyre.

Një veçori tjetër e këtij mikrokontrolleri është përkrahja direkte për USB 2.0. Kjo mundëson programimin, komunikimin, konfigurimin dhe kontrollimin direkt nga kompjuteri, Raspberry Pi apo edhe pajisjet e tjera që përkrahin standardin USB 2.0. Në kapitullim 7.3 mund të shihet një shembull i një GUI të zhvilluar në C# për konfigurimin dhe kontrollimin e këtyre motorëve nga kompjuteri nëpërmjet USB-së.

5.2 Ngasësi i SM (Driver-i)

Pas shumë kërkimesh dhe analizimesh paraprake, si ngasës për këtë punim është zgjedhur driveri **TMC2226** nga kompania Gjermane, TRINAMIC. Arsyet pse, janë listuar në vijim.

TMC2226 është driver për SM bipolar (me dy faza) i cili është i aftë të furnizojë deri në 2.8A për fazë (piku), ndërsa 2A RMS. Rangu i tensionit punues është prej 4.75 – 29V. TMC2226 vjen me disa teknologji të patentuara të cilat i inheriton edhe ky punim, si: *MicroPlyerTM*, *StealthChop2TM*, *SpreadCycleTM*, *StallGuard4TM*, *CoolStepTM*. Gjithashtu ky driver ofron edhe interface STEP/DIR me mikrohapa 8, 16, 32, dhe 64 por me interpolim deri në 256 mikrohapa, si dhe UART interface.

MicroPlyerTM është teknologji e inkorporuar në TMC2226 e cila bën interpolimin e mikrohapave 8, 16, 32 apo 64 në 256 mikrohapa/hap! E mira e kësaj është se nuk kemi nevojë ti shpenzojmë të gjitha resurset procesuese të MCU vetëm për gjenerimin e hapave, mjafton ti gjenerojmë p.sh. 32 mikrohapa/hap dhe pastaj driveri internalisht bën interpolimin e tyre në valë pothuajse sinusoidale.

StealthChop2TM është chopper⁶ algoritëm i cili mundëson lëvizjen e motorit pa zhurmë, qëndrimin e motorit në mod bllokimi pa zhurmë, si dhe ofron përshejtime dhe frenime më të shpejta.

SpreadCycleTM është algoritëm për kontrollimin e rrymës cikël-pas-cikli gjatë lëvizjes së motorit.

⁶ Chopper – prerës, copëtues, ndarës. P.sh. ndan një hap të madh në hapa më të vegjël.

StallGuard4™ monitoron vazhdimisht ngarkesën në motor dhe në rast bllokimi (ngecje) apo të mbingarkimit të motorit, lajmëron kontrollerin. Po ashtu mund të përdoret për homing⁷ të CNC makinat pa pasur nevojë të përdoren ndërprerës limitues për sinjalizim të pozitës së skajshme.

CoolStep™ shfrytëzon matjet e *StallGuard4™* ashtu që të adaptoj dhe të gjej rrymën më optimale që motori të punojë me efikasitetin më të mirë dhe mos të nxehët. Gjithashtu rrymë më e vogël nënkupton edhe zhurma më të vogla të motorit.

UART interface mundëson komunikim bidireksional kontrolleri – driver ashtu që nga kontrolleri mund të iu qasemi parametrave dhe regjistrave të driverit qoftë për ti lexuar apo edhe për ti ndërruar ata. Ky interface përdor vetëm një linjë për transmetim dhe pranim sikurse tek RS485. Të dhënat sigurohen me CRC dhe kjo e bën immune ndaj interferencave elektromagnetike.

Karakteristikat e plota të këtij driveri vazhdojnë shumë më shumë nga ato që janë cekur këtu. Çdo informatë e cekur mësipër është nxjerr nga specifikimi i prodhuesit (datasheet) për këtë driver dhe mund të gjendet në [12].

5.3 Senzori magnetik (enkoderi)

Nga zgjedhjet e shumta dhe llojet e ndryshme të enkoderëve është zgjedhur që lloji i enkoderit të jetë magnetik ngase këtu boshti nuk bën kontakt fizik me sensorin dhe kjo e eliminon fërkimet që janë prezente tek enkoderët e tjerë. Një pikë tjetër i atribuohet lehtësisë së montimit të magnetit në SM. Mjafton që magneti të vendoset në pjesën e pasme të boshtit të SM dhe aj ngjitet vetvetiu!

Sa i përket llojit të zgjedhur të sensorit magnetik, ai është *MagAlpha MA730*. Ky sensor është zgjedhur kryesisht për shkak të rezolucionit të tij 14 bitësh! Një rezolucion i tillë ofron ndjeshmëri teorike minimale prej 0.022° ($0^\circ 1' 19''$). Enkoderi është absolut, në atë se nuk i duhet një pozitive fillestare për ta gjetur zhvendosjen por gjithmonë ka nga një vlerë fikse për çdo kënd. Komunikimi me këtë sensor realizohet përmes SPI dhe kjo ofron shpejtësi të mëdha të leximit të vlerave. Përveç komunikimit me SPI dhe enkoderit absolut, ky sensor ofron gjithashtu edhe enkoder inkremental 12 bitësh me dalje ABZ si dhe një pin për dalje 14 bitëshe të vlerave si PWM. Dy metodat e para për leximin e këndeve nga ky sensor janë shfrytëzuar në këtë punim.

⁷ Homing – procesi i lëvizjes së akseve të makinës në pozitën fillestare (zero).

Marrja dhe përpunimi i shpejtë i të dhënave i mundëson këtij sensor të masë saktë këndet në boshtet të cilat rrotullohen me shpejtësi këndore prej $0 - 60,000$ rrotullime për minutë (rpm). Shpejtësia e freskimit të dhënave nga ky sensor arrinë vlerën 1100 kHz derisa mesatarja e zhurmave (RMS) është 0.004° . E gjitha kjo vjen në një sensor me dimensione fizike $3 \times 3 \times 1 \text{ mm}$.

Këto specifika janë marr nga dokumenti i prodhuesit për këtë sensorë. [14]

5.4 Konektori i tipit USB C

Konektori i cili është zgjedhur për komunikim është USB tipi C. Arsyeja qëndron në atë se përveç komunikimit me mikrokontroller, USB C përkrah edhe dërgimin e rrymave të mëdha nëpër këtë konektor! Kjo mundëson që *e njëjta kablllo të përdoret për komunikim si dhe për furnizim*.

Specifikat e plota të këtij konektori mund të shihen në figurën vijuese e cila është marr nga faqja e prodhuesit. [17]

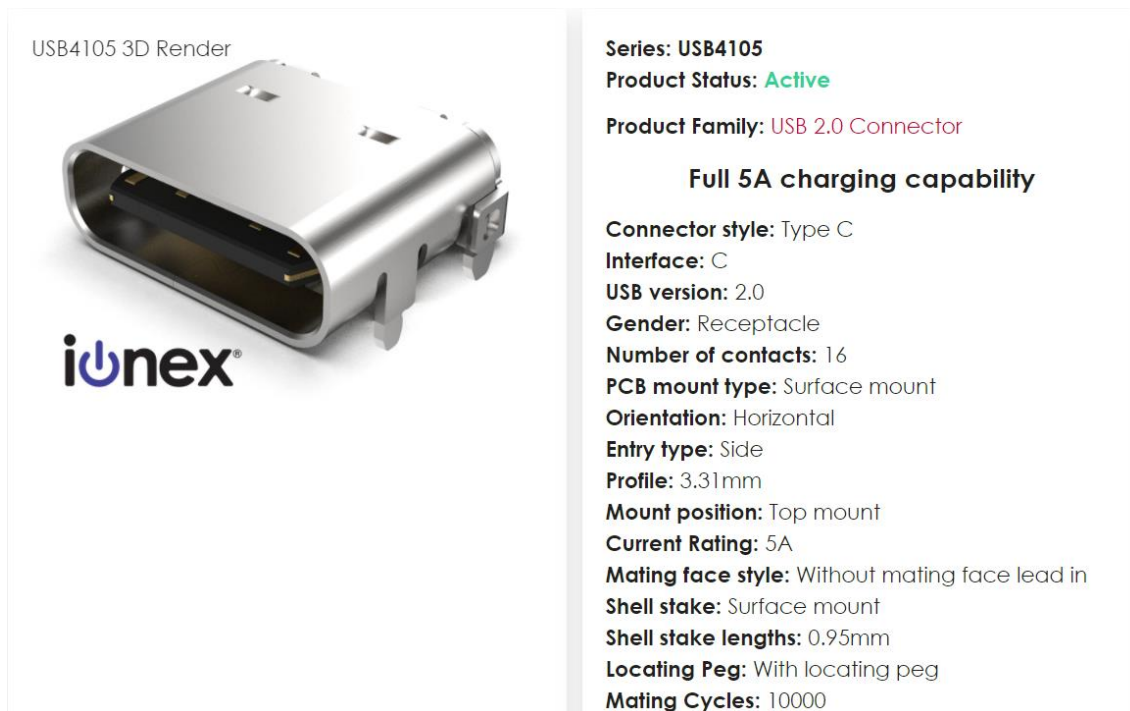


Fig. 5.1: Specifikat e konektorit të tipit C [17]

Ky konektor nuk është standard me 24 pina dhe nuk përkrah shpejtësi të larta të transmetimit të të dhënave, por kjo është pikërisht arsyeja pse është zgjedhur. Duke pas parasysh faktin se mikrokontrolleri përkrah vetëm USB 2.0 dhe se të dhënat që transmetohen mes PC dhe MCU janë në rendin e disa bajtëve, atëherë shpejtësia e plotë e ofruar nga tipi C i USBsë nuk utilizohet fare.

Prandaj është zgjedhur një lloj i konektorit të tipit C që linjat e të dhënave për shpejtësi të lartë (High speed data lines) i shfrytëzon për transmetimin e rrymave më të mëdha dhe që njëkohësisht ofron mbështetje për USB 2.0.

Nga figura e mësipërme 5.1, specifika më e rëndësishme është rryma maksimale që e përballon ky konektor dhe sipas prodhuesit ajo është **5A**! Një rrymë e tillë, nëse operojmë në tension 12V, mundëson që PCB-ja dhe driver-i të furnizohen me **60W** fuqi elektike! $12V * 5A = 60W$.

Ndërsa, nëse shfrytëzohet tensioni maksimal i lejuar prej 20V (DC) atëherë ky konektor mund të shfrytëzohet për furnizim deri në 100W.

Edhe pse një fuqi e tillë mund të arrihet, për qëllime të këtij punimi nuk është e nevojshme që sistemi të shtyhet deri në limitet e tij. Përderisa jemi duke punuar me SM të modelit NEMA17, furnizimi me tension prej 12V dhe rrymë prej 3A do të jetë mase i mjaftueshëm për çdo situatë.

Sidoqoftë, meqenëse kemi një driver të fuqishëm, i njëjti qark mund të përdoret edhe për kontrollimin e step motorëve të modelit NEMA23. Në këtë rast do të nevojitet fuqi më e madhe por edhe kjo është plotësisht e mbulueshme nga ky model i konektorit.

6. SIMULIMET

Në këtë kapitull do të paraqiten simulimet të cilat janë realizuar me qëllim të validimit të pjesëve të ndryshme të këtij punim. Fillimisht do të paraqiten simulimet elektrike si shpërndarja e rrymës nëpër pllakë, dendësia e rrymave, llogaritja e gjerësisë së linjave si dhe simulimet për temperaturë. Pastaj do të vazhdohet me simulimet termike të realizuara në tjetër softuer (Shih kapitullin 10.1.4). Këtu fillimisht do të simulohet aftësia e ftohësit (heatsink-ut) për disipimin e nxehtësisë dhe së fundmi do të simulohet aftësia ftohëse e vetë shtëpizës.

6.1 Simulimet elektrike

6.1.1 Llogaritja e gjerësisë së vijave

Para fillimit të procesit të shtrirjes së vijave (traces) në PCB, fillimisht janë llogaritur vlerat minimale të gjerësisë së vijave dhe pastaj këto janë shfrytëzuar si kushtëzime në softuerin adekuat.

The screenshot shows the PCB Calculator software interface. On the left, there are input fields for parameters: Current (3 A), Temperature rise (10 deg C), Conductor length (100 mm), and Resistivity (1.72e-8 Ohm-meter). On the right, there are two sections for trace calculations: External layer traces and Internal layer traces. Each section displays calculated values for Trace width, Trace thickness, Cross-section area, Resistance, Voltage drop, and Power loss. Blue arrows point from the input fields to their respective values in the results sections. Labels on the right side of the image identify the external traces as 'Shtresat e jashtme' and the internal traces as 'Shtresat e brendshme'.

Parameter	Value	Unit
Current	3	A
Temperature rise	10	deg C
Conductor length	100	mm
Resistivity	1.72e-8	Ohm-meter
External Trace Width	1.36703	mm
External Trace Thickness	0.035	mm
External Cross-section Area	0.0478461	mm x mm
External Resistance	0.0359486	Ω
External Voltage Drop	0.107846	Volt
External Power Loss	0.323537	Watt
Internal Trace Width	7.1125	mm
Internal Trace Thickness	0.0175	mm
Internal Cross-section Area	0.124469	mm x mm
Internal Resistance	0.0138187	Ω
Internal Voltage Drop	0.0414562	Volt
Internal Power Loss	0.124369	Watt

Fig. 6.1: Llogaritja e parametrave elektrik.

Duhet sqaruar se është llogaritur vetëm gjerësia e linjave të cilat bartin rrymë dhe jo e atyre për sinjale. Llogaritja bëhet duhet i treguar softuerit rrymën e cila kalon nëpër atë linjë (në A), gjatësinë e linjës si dhe sa është diferenca e lejuar e temperaturës. Temperatura rritet nëpër përçues për shkak të rezistencës interne të tij. Pas dhënies së këtyre informatave, softueri gjeneron dy vlera, gjerësinë për shtresat e jashtme të pllakës, si dhe për shtresat e brendshme. Dallimi në gjerësi shfaqet nga dallimi në lartësi (trashësi) të shtresave të jashtme dhe të brendshme të bakrit në PCB. Siç është cekur në kapitullin 3.1 shtresat e jashtme të PCB-së janë zakonisht dy herë më të larta (trasha) sesa shtresat e brendshme.

Këto vlera të gjeneruara, janë vlerat minimale të gjerësisë të cilat janë të nevojshme për përçimin e rrymës së specifikuar. Në dizajn final këto vlera janë rritur edhe më shumë (tej-dimensionuar).

6.1.2 Shpërndarja e rrymave nëpër pllakë

Për këto simulime, duhet definuar: Burimet e rrymës, shpenzuesit, numri i shtresave, trashësia e shtresave përçuese, trashësia e dielektrikeve, konstanta dielektrike, përçueshmëria, komponentët aktive, komponentët pasive, fuqia e shpenzueseve si dhe disa parametra të tjerë të nevojshëm për simulim. Një simulim i tillë është paraqitur në vazhdim.

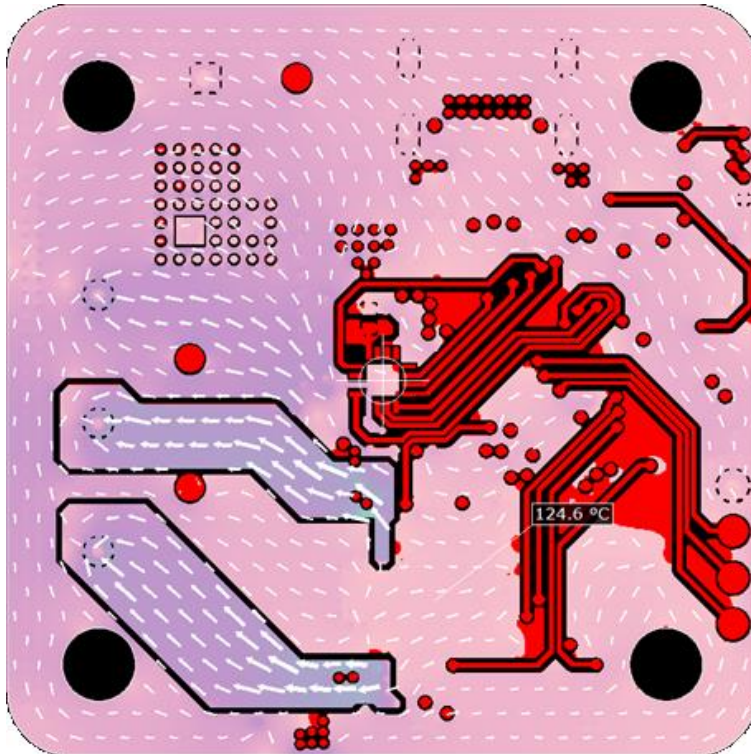


Fig. 6.2: Shpërndarja e rrymave në shtresën e poshtme të PCB-së

Nga figura 6.2 mund të shihet se si shpërndahen rrymat në shtresën e poshtme të pllakës.

Përmes këtyre simulimeve mund ti gjejmë dhe ti eliminojmë problemet me shpërndarjen e rrymave qysh në fazën e dizajnit. Një shembull i kësaj është paraqitur në vijim ku shihet një dendësi shumë e madhe e rrymës apo thënë më ndryshe, linja është më e ngushtë sesa duhet për përçimin e rrymës së specifikuar. Pas këtij simulimi, linjat janë zgjeruar dhe është përsëritur simulimi.

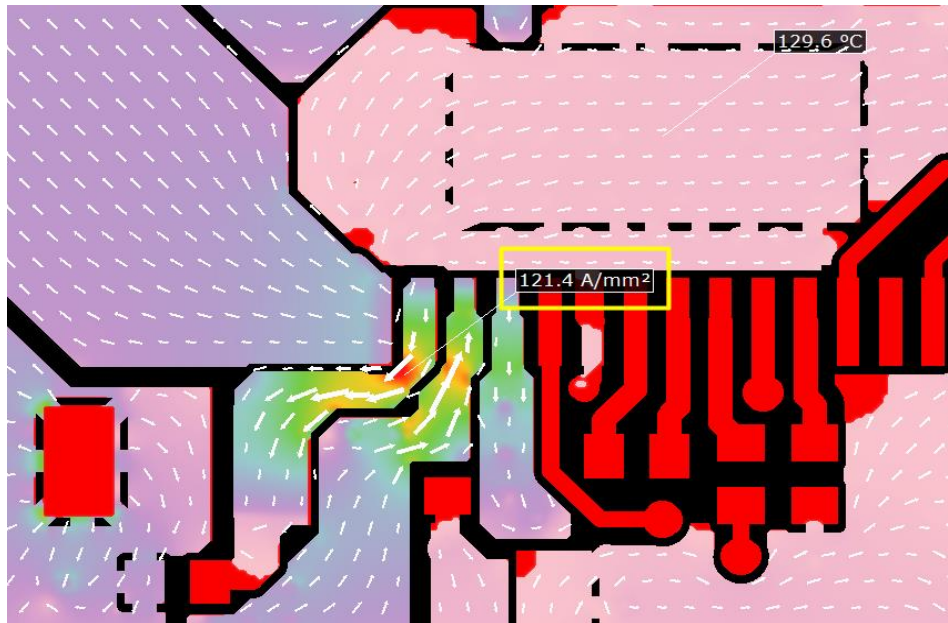


Fig. 6.3: Dendësia e rrymave në A/mm²

6.1.3 Simulimet e temperaturës

Pasi janë specifikuar parametrat e cekur në 6.1.2, softueri [10.1.4] gjithashtu ofron mundësinë për realizimin e simulimeve termike, por duhet shtuar edhe disa parametra tjerë, si: Rezistenca termike e pllakës, rezistenca termike në nyjën lidhëse mes pllakës dhe driver-it, si dhe disa parametra të tjerë të cilët janë marr të gatshëm nga prodhuesit e PCB-ve dhe prodhuesi i driver-it.

Vlerat maksimale të temperaturës për secilën shtresë të pllakës janë paraqitur në tabelën vijuese:

Tabela 6.1: Temperaturat maksimale për secilën shtresë të pllakës

Shtresa I (shtresa e sipërme)	129.6 °C
Shtresa II (shtresa e brendshme 1)	128.3 °C
Shtresa III (shtresa e brendshme 2)	125.1 °C
Shtresa IV (shtresa e poshtme)	124.6 °C

Shpërndarja e nxehtësisë nëpër pllakë, për secilën prej shtresave, është paraqitur në vijim.

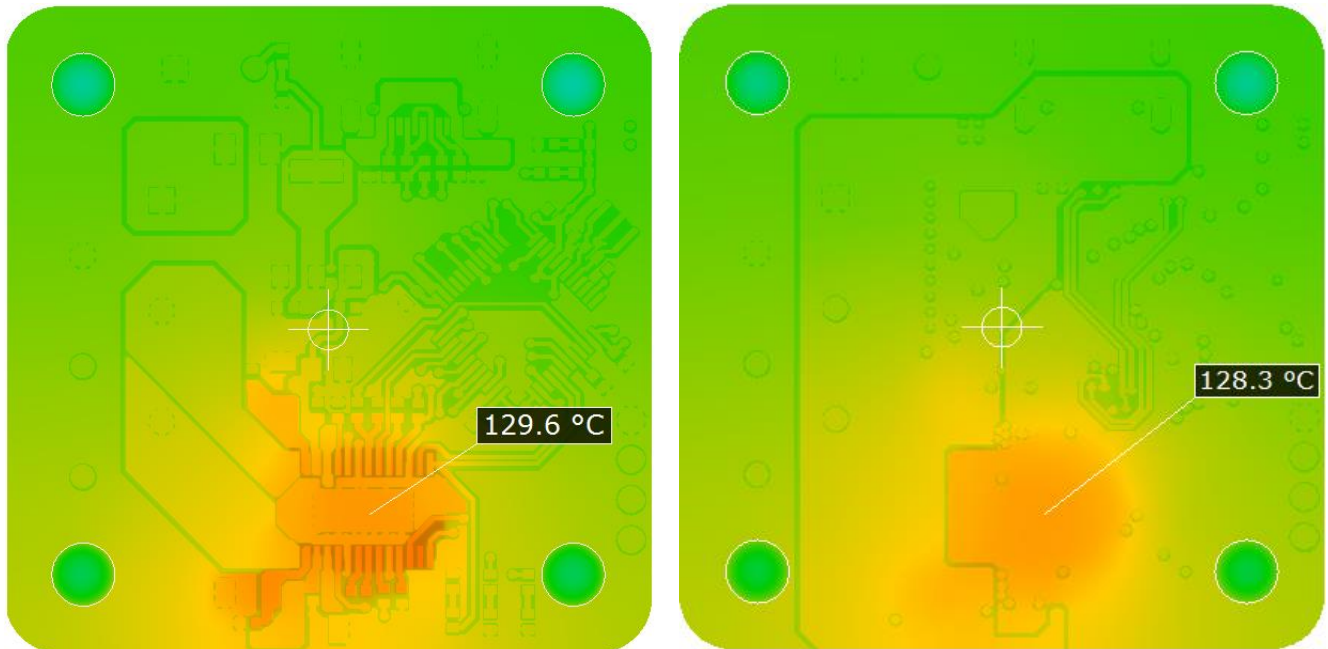


Fig. 6.4: Nxehtësia në shtresën e parë (majtas) dhe shtresën dytë (djathtas)

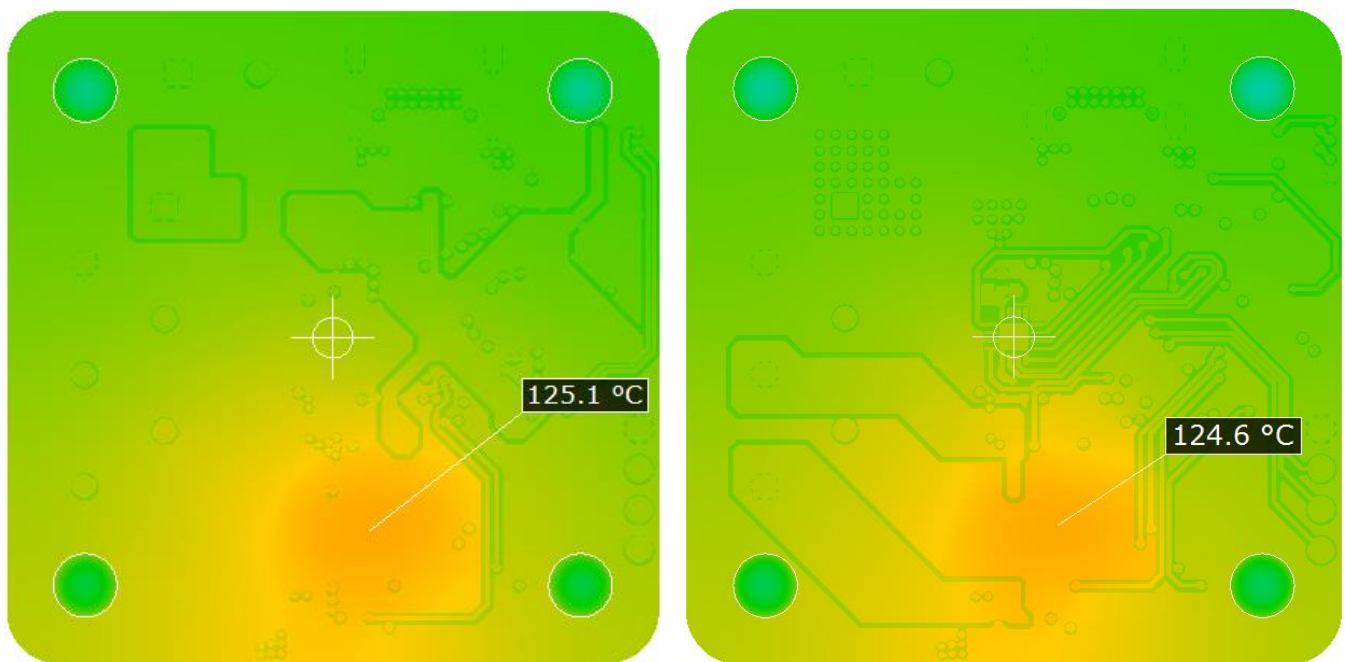


Fig. 6.5: Nxehtësia në shtresën e tretë (majtas) dhe shtresën e katërt (djathtas)

6.2 Simulimet termike

Këto simulime dallojnë nga ato të mësipërmet ngase janë realizuar në softuer tjetër (*Fusion 360*). Komponentët elektrike pasive janë larguar nga simulimi sepse kontributi i tyre në nxehtësinë totale të pllakës është i neglizhueshëm. Nga komponentët e mbetura, dy janë aktive, driver-i dhe rregullatori i tensionit. Kjo ngase këto të fundit lirojnë nxehtësi gjatë punës së tyre. Pastaj kemi dy rezistorë nëpër të cilët rrjedhin rryma të mëdha dhe së fundmi kemi mikrokontrollerin. Ky i fundit ka temperaturën operuese maksimale më të ulët sesa gjithë komponentët e tjera, 85 °C, prandaj është shtuar në simulim ashtu që të llogarisim shkallën e riskut. Për të pasur një shkallë sigurie të shtuar, në simulim, si temperaturë kritike për MCU është vendosur temperatura prej 75 °C.

Për të vazhduar me simulimin, janë specifikuar edhe parametrat e tjerë si: Lloji i materialeve, fuqia termike (W), drejtimi i vektorit të gravitetit, ftohësi (heatsink-u), madhësia e rrjetëzimit (mesh) dhe temperatura e ambientit. Lloji i materialeve është specifikuar për secilën komponentë veçmas. Edhe brenda komponentës së njëjte janë specifikuar lloje të ndryshme të materialeve, kjo ngase “këmbët” e komponentëve janë nga metali ndërsa trupi kryesor i tyre, kryesisht nga një lloj plastike (epoxy). Tek PCB-ja, shtresat përçuese janë specifikuar si Bakër ndërsa shtresat izolatore si FR4.

Pas konfigurimit të parametrave, simulimi është dërguar në cloud për kalkulim dhe pas një kohe të gjatë, janë kthyer rezultatet. Për shkak të kompleksitetit, simulimi lokal nuk ka qenë i mundur!

Në figurën vijuese është paraqitur simulimi i shkallës së sigurisë për operimin e mikrokontrollerit.

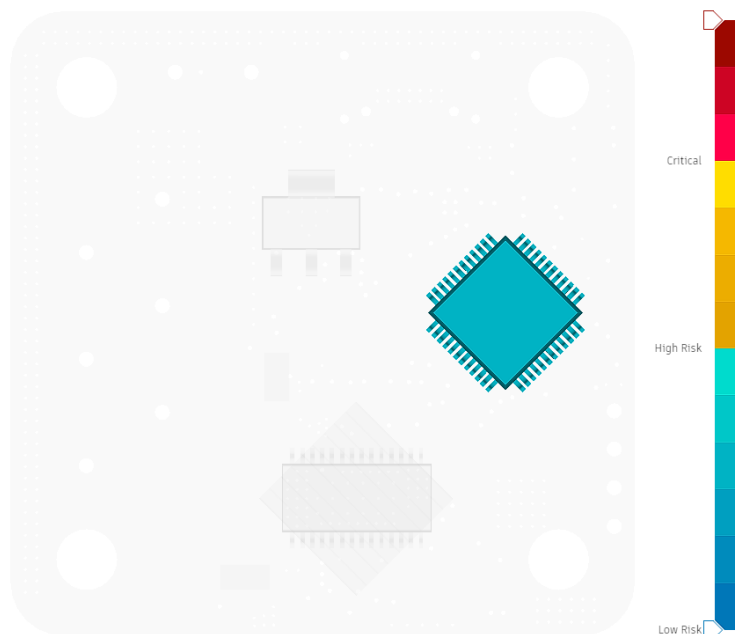


Fig. 6.6: Shkalla e sigurisë

Nga figura 6.6 është e qartë se kemi vlerë minimale të riskut. Temperatura maksimale e cila mbërrihet tek mikrokontrolleri është vetëm 47.4 °C. Kjo siguron temperaturë optimale punuese për mikrokontrollerin.

Në vazhdim janë paraqitur simulimet e temperaturave të cilat mbërrihen në pllakë nëse kjo e fundit ngasë SM vazhdimisht në ngarkesë maksimale. Në të majtë, pamja nga lartë e pllakës, ndërsa në të djathtë, pamja nga poshtë. Temperatura më e lartë arrihet në driver dhe ka vlerën prej 127°C.

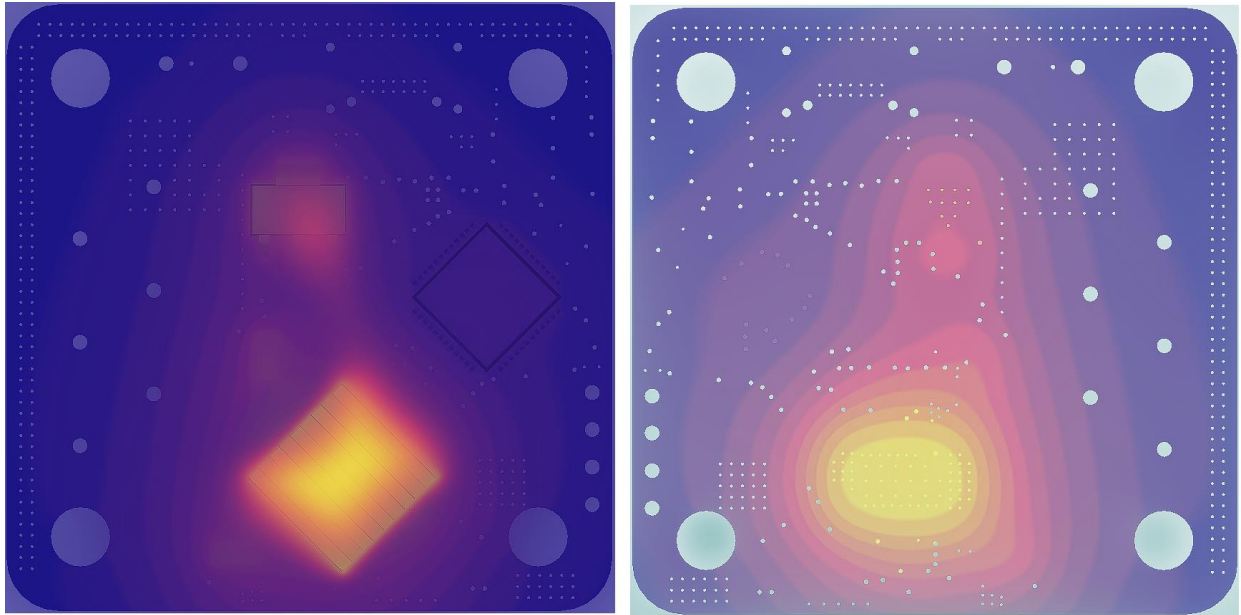


Fig. 6.7: Shpërndarja e nxehtësisë në shtresën e sipërme dhe të poshtme të PCB-së

Simulimet janë realizuar me ftohës mbi driver. Ftohësi i shfrytëzuar për këto simulime ka dimensionet 9x9x5 mm dhe një ftohës i tillë shfrytëzohet nga shumica e prodhueseve të 3D printerëve për ftohjen e driver-ëve. Pamja e zmadhuar e tij është paraqitur në vijim.



Fig. 6.8: Ftohësi (heatsink-u) i aluminit

Nëse analizojmë një prerje tërthore të ftohësit dhe driver-it të simuluar nën ngarkesë, mund të shohim shpërndarjen e temperaturës nëpër ftohës, driver dhe pllakë. Në të djathtë është paraqitur legjenda me ngjyra e cila tregon shkallën e temperaturës për secilën ngjyrë.

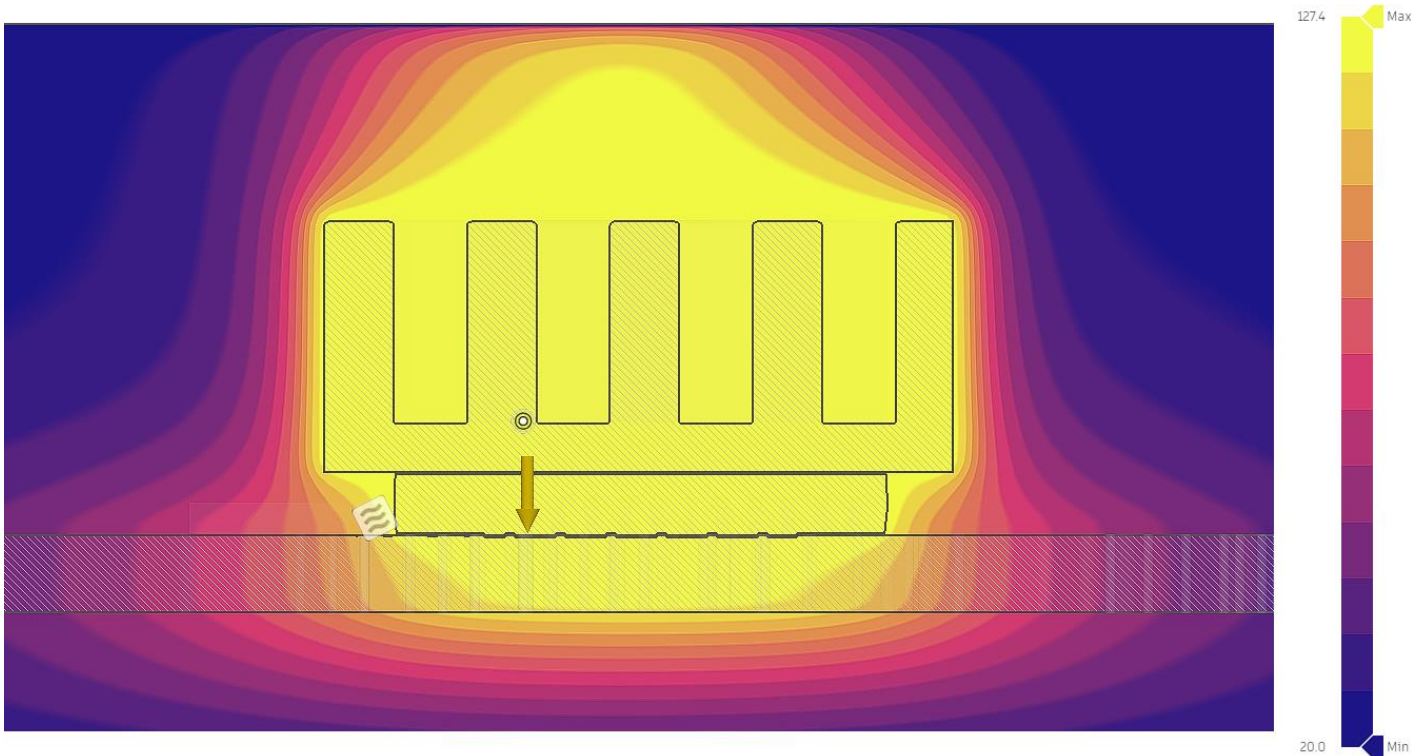


Fig. 6.9: Prerja tërthore I, shpërndarja e temperaturës

Nga figura dhe legjenda shohim se temperatura maksimale e arritur në driver dhe ftohës është 127°C. Shigjeta poshtë tregon kahen e vektorit të gravitetit dhe kjo është e nevojshme për simulim ngase ftohësi liron nxehtësinë në ambient kryesisht vetëm me anë të konveksionit.

Në fakt, driver-i liron nxehtësinë e tij tek ftohësi përmes konduksionit pastaj ftohësi pjesën më të madhe të nxehtësisë e liron në ambient nëpërmjet procesit të konveksionit dhe vetëm një përqindje të vogël nëpërmjet radiacionit. Gjithashtu edhe vetë PCB-ja merr pjesë në procesin e këmbimit të nxehtësisë me ambientin. Për këtë simulim, temperatura e ambientit është përcaktuar 20°C.

Procesi i konveksionit mund të shihet në figurën e mësipërme ku ajri mbi ftohës është pothuajse në të njëjtën temperaturë me ftohësin dhe duke u ngritur lartë. Ndërsa, në figurën e radhës (Fig. 6.10), përkrah simulimit të temperaturës është paraqitur simulimi i lëvizjes së ajrit përreth ftohësit dhe driver-it.

Legjenda lartë tregon temperaturën ndërsa ajo poshtë tregon shpejtësinë e lëvizjes së ajrit në m/s.

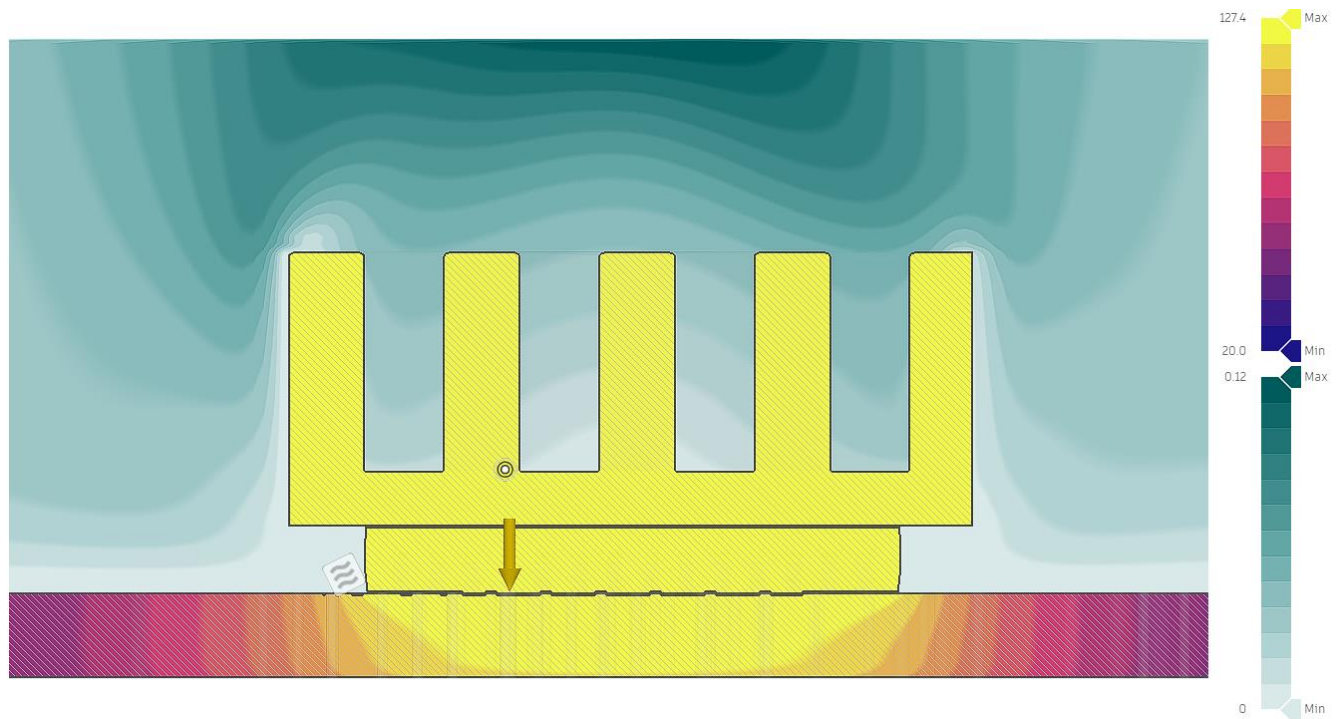


Fig. 6.10: Prerja tërthore I, rrymat e ajrit

Nga figura dallojmë se sa më të errëta zonat, shpejtësia e lëvizjes së ajrit (konveksioni) është më i pikasur. Vlera maksimale e arritur është 0.12 m/s (12 cm/s).

6.2.1 Simulimet e temperaturës për shtëpizë

Edhe tek ky simulim janë ngarkesat e njëjta termike sikurse tek simulimi i mësipërm. Dallimi këtu është se ne vend të ftohësit i cili vendoset mbi driver dhe i cili ka sipërfaqe të vogël kontaktuese me ajrin, tani për ftohje shfrytëzohet e tërë shtëpiza e cila e mbulon PCB-në. Përparësi tjetër e kësaj është mënyra e shtrëngimit. Gjersa ftohësi paraprak mbështetet në një shtresë speciale për ngjitje në driver dhe për transmetimin e nxehtësisë, tek ky version shtrëngimi bëhet përmes bulonave dhe si medium transmetues i nxehtësisë mes driverit dhe shtëpizës përdoret pasta termike ngjashëm me atë të procesorëve. Kjo siguron transmetim shumë më të mirë të nxehtësisë nga driver-i tek shtëpiza (konduksion më të mirë).

Përsëri, për shkak të kompleksitetit të kalkulimeve, për simulim është përdorur një version i thjeshtuar i modelit fizik. Pra PCB-ja është larguar tërësisht dhe janë simuluar vetëm driver-i dhe rregullatori i tensionit të shtrënguar për shtëpize.

Në figurën e mëposhtme është paraqitur prerja tërthore e shtëpizës së simuluar së bashku me driver-in dhe rregullatorin e tensionit.

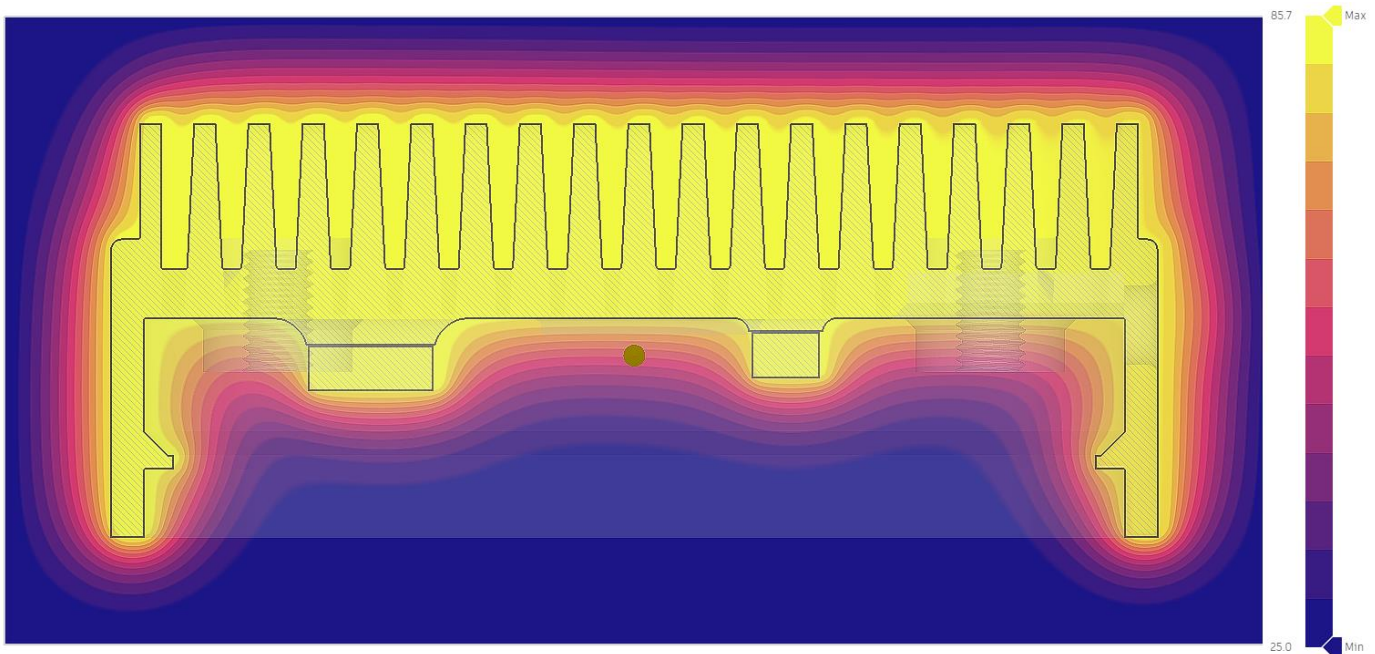


Fig. 6.11: Simulimi i temperaturës së shtëpizës, prerja tërthore

Nga figura, dy gjëra mund të dallohen menjëherë, temperatura maksimale dhe shpërndarja e nxehtësisë nëpër shtëpizë. Tani, temperatura maksimale arrin vlerën e vetëm 85°C, kjo është për 42°C më e ulët sesa temperatura e simulimit të kaluar! Duhet cekur se në aplikim real, një temperaturë e tillë nuk arrihet. Në këto simulime, sistemi shtyhet deri në limit dhe simulohet vazhdimisht pa ndërprerë në ngarkesë maksimale për të përcaktuar shkallën më të lartë të temperaturës. Në aplikime reale, driver-i vetëm për intervale të shkurta kohore punon në fuqi maksimale dhe shumicën e kohës punon në fuqi më të ulët sesa maksimumi i tij. Kjo rezulton në temperaturë operuese reale më të ulët sesa ajo e simuluar. Sa i përket shpërndarjes së nxehtësisë, meqë shtëpiza është nga Alumini dhe ky i fundit është përçues shumë i mirë i nxehtësisë, nga figura mund të vërehet se si e tërë shtëpiza është pothuajse në të njëjtën temperaturë. Kjo ndihmon edhe më tej procesin e lirimit të nxehtësisë në ambient nga i gjithë trupi i shtëpizës.

Mes simulimit të kaluar me ftohës komercial dhe shtëpizës industriale të dizajnuar për këtë punim është edhe një dallim tjetër në performancën e tyre termike i cili nuk është marr parasysh gjatë simulimeve. Ky dallim ka të bëjë kapaciteti termik specifik.

Nëse supozojmë se nuk kemi transferim të nxehtësisë nga ftohësit në ambient, dhe nëse me E shënojmë nxehtësinë e absorbuar nga ftohësit prej driverit, me m masën e ftohësve, c kapacitetin specifik termik, dhe ΔT ndryshimin e temperaturës, atëherë:

$$E = m * c * \Delta T$$

Nga softueri për modelim, nxjerrim masën e ftohësit komercial si dhe atë të shtëpizës.

● PROPERTIES		● PROPERTIES	
Bodies (1)		Bodies (1)	
Area	594.094 mm ²	Area	1.588E+04 mm ²
Density	0.003 g / mm ³	Density	0.003 g / mm ³
Mass	0.704 g	Mass	32.516 g
Volume	260.807 mm ³	Volume	1.204E+04 mm ³
Physical Material	Aluminum 6061 T6 0 ...	Physical Material	Aluminum
Appearance	Aluminum - Satin	Appearance	Aluminum - Cast

Fig. 6.12: Vetitë fizike të ftohësit (majtas) dhe shtëpizës (djathtas)

Nga figura shohim se ftohësi ka masën prej $m_1 = 0.704 \text{ g}$ ndërsa shtëpiza $m_2 = 32.516 \text{ g}$. Tani:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{m_2 * c * \Delta T}{m_1 * c * \Delta T} = \frac{m_2}{m_1} = 46.1875$$

Për kapacitet specifik të njëjtte, ndryshim të njëjtte të temperaturës, në bazë të ekuacionit të mësipërm, shtëpiza absorbon **46 herë** më shumë energji (në formë të nxehtësisë) sesa ftohësi i zakonshëm. Thënë më ndryshe, për çdo ndryshim të temperaturës, p.sh. prej 30 në 31°C, shtëpiza pranon 46 herë më shumë nxehtësi sesa ftohësi paraprak. Situata e njëjtte përsëritet edhe për ndryshimet e tjera të temperaturës, p.sh. prej 31 në 32°C, prej 32 në 33°C e kështu më radhë për çfarëdo ΔT .

Nga këto kalkulime konkludojmë se shtëpiza e dizajnuar ofron performancë shumë herë më të mirë sesa zgjedhjet komerciale⁸.

Një pamje tjetër gjatë simulimit të shtëpizës është paraqitur në vazhdim.

⁸ Me “zgjedhje komerciale” i referohemi ftohësve të zakonshëm të aluminit të cilët përdoren nga pjesa dërrmuese e prodhuesve të 3D printerëve për ftohjen e driver-ëve të SM.

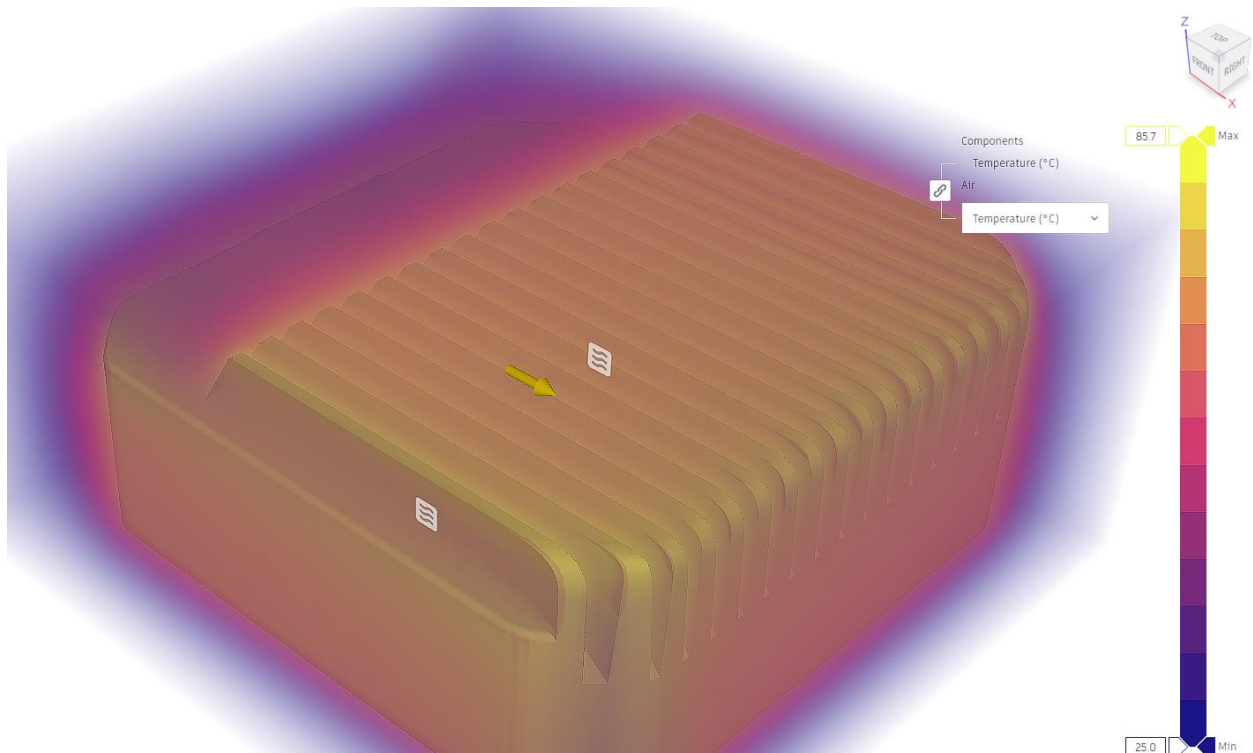


Fig. 6.13: Pamje nga simulimi i temperaturës së shtëpizës në softuer

6.3 Krahasimet me datasheet

Së fundmi, simulimet termike të realizuara në 6.1.3 dhe 6.2.1 janë krahasuar me specifikat e prodhuesit për driver. Figura në vazhdim është nga prodhuesi (Trinamic) [12] ku specifikohet se temperatura e driver-it qëndron nën 125°C (për temperaturë të ambientit 25°C).

A thermal resistance of 26K/W for a typical board means, that the package is capable of continuously dissipating 3.8W at an ambient temperature of 25°C with the die temperature staying below 125°C . Note, that a thermally optimized layout is required.

Fig. 6.14: Specifikimet termike të driverit

Në simulimin 6.1.3, temperatura finale maksimale ka rezultuar të jetë $t_1 = 129^{\circ}\text{C}$, në simulimin 6.2.1, $t_2 = 127^{\circ}\text{C}$, ndërsa nga prodhuesi, temperatura aktuale është përreth $t_A = 125^{\circ}\text{C}$. Nga këtu vërtetohet se simulimet janë në rangun e njëjtte me testimet reale të driver-it.

7. PROGRAMIMI DHE METODAT E RREGULLIMIT

Përgjatë këtij kapitulli do të elaborohen metodat e ndryshme të rregullimit që janë shfrytëzuar gjatë programimit të mikrokontrollerit. Do të tregohen teknikat e ndryshme të rregullimit varësisht nga modi i punës, gjuhët e përdorura programuese, konfigurimi i pinave, dhe së fundmi, do të shfaqet një ndërfaqe (GUI) e zhvilluar për thjeshtimin e procesit të konfigurimit dhe komandimit të SM.

7.1 Teknikat e rregullimit

Ekzistojnë disa teknika të ndryshme të rregullimit të cilat janë përdorur gjatë këtij punimi. Fillimisht do të paraqitet skema funksionale e përgjithësuar e sistemit, pastaj do të vazhdohet me teknikat e rregullimit për:

- Shpejtësi konstante
- Rregullim të pozitës
- Moment konstant
- Rregullimi tek 3D printerët, dhe
- CNC makinat

Gjithashtu do të shfaqen diagramet për rregullimin që ndodh brenda driver-it

7.1.1 Skena funksionale e përgjithësuar

Skema e paraqitur në vijim përshkruan funksionalitetin e lartë të sistemit të realizuar përgjatë këtij punimi. Këtu mund të shihet se si funksionet e ndryshme komunikojnë (lidhen) mes vete. Marrë shembull, kompjuteri komunikon me mikrokontrollerin përmes USB-së, komunikimi është i dyanshëm (duplex) andaj edhe është paraqitur si i tillë.

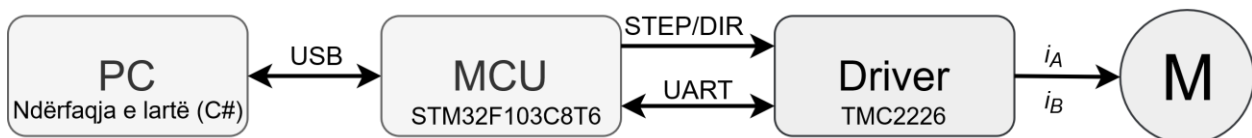


Fig. 7.1: Skema funksionale e përgjithësuar e sistemit

7.1.2 Ngasja me shpejtësi këndore konstante

Njëra nga metodat e kontrollit të step motorëve të cilën e ofron ky punim është edhe ngasja me shpejtësi këndore konstante. Bllok diagrami i kësaj metode është paraqitur në vazhdim.

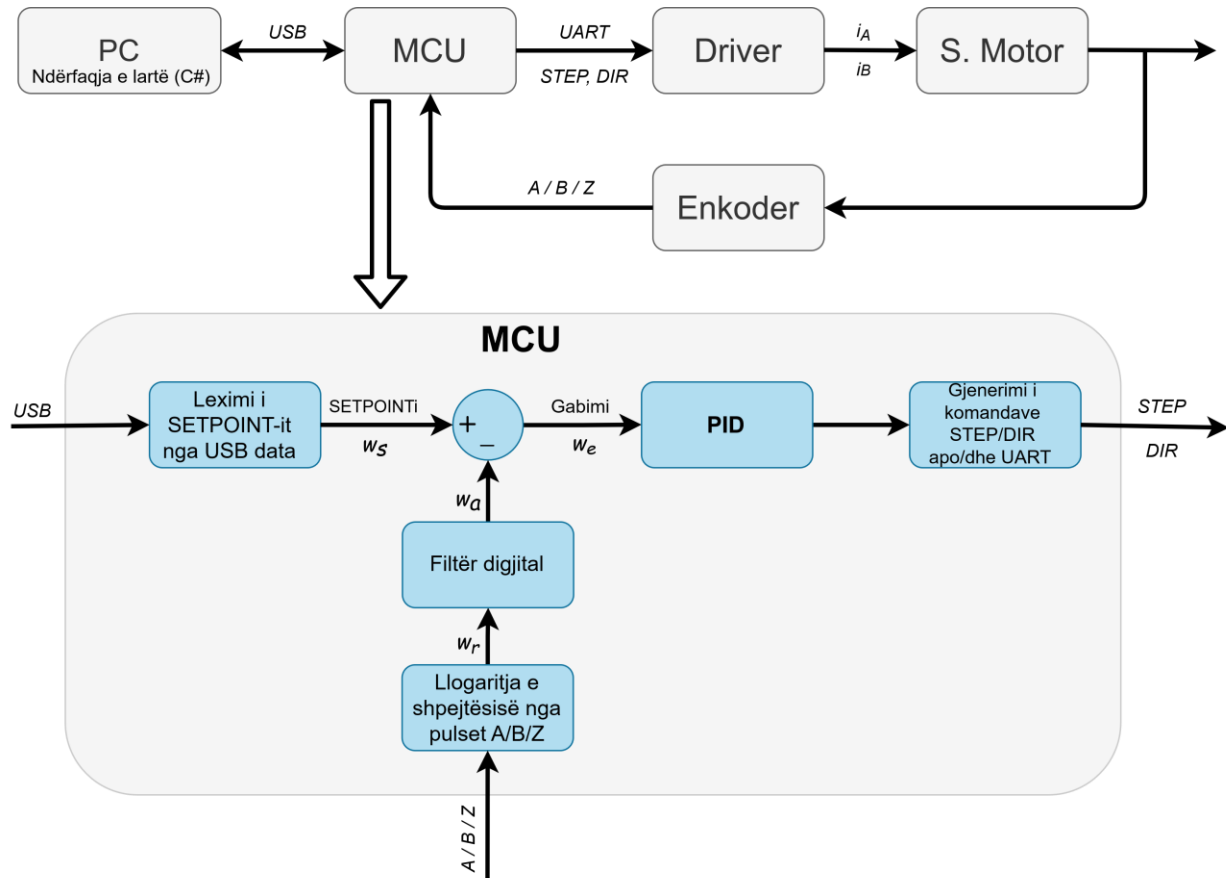


Fig. 7.2: Bllok-diagrami i ngasjes me shpejtësi konstante

Një metodë e tillë e ngasjes ka aplikime të shumta në industri. Lidhja kthyese (feedback-u) siguron që shpejtësia e përcaktuar të ruhet vazhdimisht edhe nëse kemi disturbanca nga jashtë sistemit.

Në pjesën e sipërme të bllok-diagramit është paraqitur mënyra e përgjithësuar e operimit të sistemit. Kontrolleri merr komandat për cakun e shpejtësisë nga kompjuteri, Raspberry Pi apo nga ndonjë tjetër USB host, pas përpunimit, sinjalet dalëse ia përcjell driver-it, driver-i pastaj ngasë step motorin ku siç shihet në figurën 4.17, në boshtin e SM është i ngjitur një magnet dhe direkt mbi të është enkoderi magnetik i cili çdo ndryshim të këndit të SM e kthen prapë tek kontrolleri duke mbyllur kështu qarkun e kontrollit (closed loop).

Sa i përket pjesës së poshtme të bllok-diagramit, këtu janë paraqitur funksionet të cilat ekzekuton përbrenda mikrokontrollerit. Mënyra e rregullimi e përshkruar në bllok-diagram është:

Fillimisht ekstrahet informata për cakun (setpoint-in) e shpejtësisë ω_s nga USB-ja, pastaj, kjo informata i kalohet njëjs shumë, ku në të cilën, në të njëjtën kohë, vie informata për shpejtësinë aktuale ω_a të boshtit të SM. Këtu llogarisim devijimin (gabimin) ω_e nga shpejtësia e dëshiruar (setpoint-i) dhe këtë ia përcjellim PID rregullatorit. Sinjalin tashmë të rregulluar e përcjellim tek funksioni i cili gjeneron sinjalet në formatin e kuptueshëm nga driver-i. Së fundmi, me sinjalet e pranuar, driver-i e ngasë step motorin.

Duke u thelluar në detajet teknike, për këtë aplikim nga enkoderi nuk lexohen vlerat e këndit absolut por lexohet ndryshimet e pulseve A/B/Z të cilat gjenerohen gjatë rrotullimit të boshtit të SM. Në këtë mod pune, rezolucioni i enkoderit është 12 bit por edhe ky rezolucion ofron ndjeshmëri mjaft të mirë për përcaktimin e shpejtësisë. $360^\circ/2^{12} = 0.088^\circ$. Ky mod është përdorur ngase mundëson llogaritjen e shpejtësisë me kalkulime me të thjeshta. Kalkulimet e thjeshta përfundohen më shpejtë dhe kjo ndikon pozitivisht në rritjen e frekuencës së rregullimit.

Pulset A/B/Z janë thjeshtë diagrame kohore. Pulset A dhe B janë të shfazuara mes vete për çerek-pulsi (përgjatë periodës) dhe varësisht se cili sinjal pranohet më herët, A apo B, përcaktojmë kahen e rrotullimit të SM. Pulsi Z, sinjalizon vetëm një herë për cikël, apo thënë më ndryshe, për çdo rrotullim të plotë. Një shembull i këtyre diagrameve është paraqitur në vazhdim.

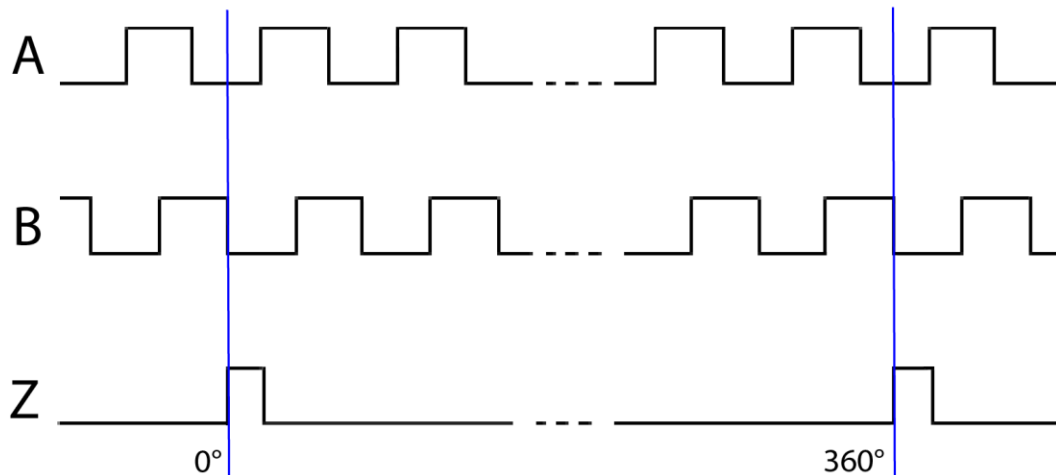


Fig. 7.3: Diagramet kohore të enkoderit

Senzori i zgjedhur magnetik MA730 [Kapitulli 5.3], emulon enkoderin inkremental (optik) 12 bitësh.

Për matjen e shpejtësisë duhet caktuar një interval mostrues (T_m), dhe përgjatë këtij intervali numërohen pulset e pranuar (n). Duke ditur numrin total të pulseve të nevojshme për një rrotullim (N), shpejtësinë këndore (ω) e llogarisim përmes ekuacionit:

$$\omega = n * \frac{2\pi}{NT_m}$$

Për shpejtësi të ulëta, kjo teknikë është shumë e përshtatshme për llogaritjen e shpejtësisë. Ndërsa, sa më të mëdha shpejtësitë këndore, numri i pulseve të pranuar për interval kohor (T_m) rrihet vazhdimisht deri në pikën kur kontrolleri të gjitha resurset procesuese duhet ti shfrytëzoj vetëm për numërimin e pulseve! Për evitim e këtij problemi është përcaktuar një prag i shpejtësisë (ω_{th}), pas kalimit të së cilës, MCU nga pulset A/B, kalon në leximin e pulseve Z. Kjo redukton dukshëm punën e kontrollit.

Duke marrë shembull shpejtësinë $\omega = 50 \text{ s}^{-1}$, numri i pulseve A/B që pranohen për këtë shpejtësi është $50 * 4096 = 204800 \frac{\text{pulse}}{\text{s}}$. Ndërsa, duke shfrytëzuar sinjalin Z, numri i pulseve të pranuar është vetëm 50. Përderisa një metodë e tillë redukton punën e MCU-së, kjo gjithashtu vjen me anën negative të saj, reduktimin e rezolucionit. Sidoqoftë, këto shpejtësi të larta këndore rrallëherë arrihen gjatë punës së SM, prandaj, shumicën e kohës, shpejtësia llogaritet nga pulset A/B.

Pas llogaritjes së shpejtësisë, ajo kalohet nëpër filtër digjital, largohen zhurmat, normalizohet sinjali dhe pastaj i kalohet njëzës shumë. Tek nyja shumë, vlera aktuale e shpejtësie ω_a i zbritet shpejtësisë cak ω_s dhe kështu llogaritet devijimi nga shpejtësia e dëshiruar. $\omega_e = \omega_s - \omega_a$.

Kjo shpejtësi (ω_e) pastaj dërgohet tek PID rregullatori (parametrat e të cilit mund ti ndryshojmë përmes ndërfaqes në C# [7.3]). Pas rregullimit, sinjali kalon tek funksioni i cili gjeneron komandat për driver. Driver-in mund ta komandojnë nëpërmjet dy mënyrave, përmes UART-it dhe përmes pulseve STEP/DIR. Komunikimi me UART është më i thjeshtë sepse mjafton dërgimi i komandës për shpejtësinë e dëshiruar dhe driver-i vetvetiu gjeneron pulset STEP/DIR. Por, kjo metodë nuk ofron përshpejtime të motorit (funksion pjerrët, ramp), prandaj, kur kemi të bëjmë më shpejtësi të mëdha, përdoren pulset STEP/DIR. Do të thotë, për kontrollimin e shpejtësisë përdoret një përafrim i kombinuar i UART-it dhe pulseve STEP/DIR.

7.1.3 Teknika e rregullimit të pozitës

Kjo metodë e rregullimit mund të gjej aplikimet e saj në industri në ato proceset ku kërkohet komandimi i saktë i këndit të boshtit të motorit. Gjithashtu, në integrim me një sistem mekanik, mund të shfrytëzohet për lëvizje të sakta lineare. Bllok-diagrami rregullues i kësaj teknike është paraqitur në vazhdim.

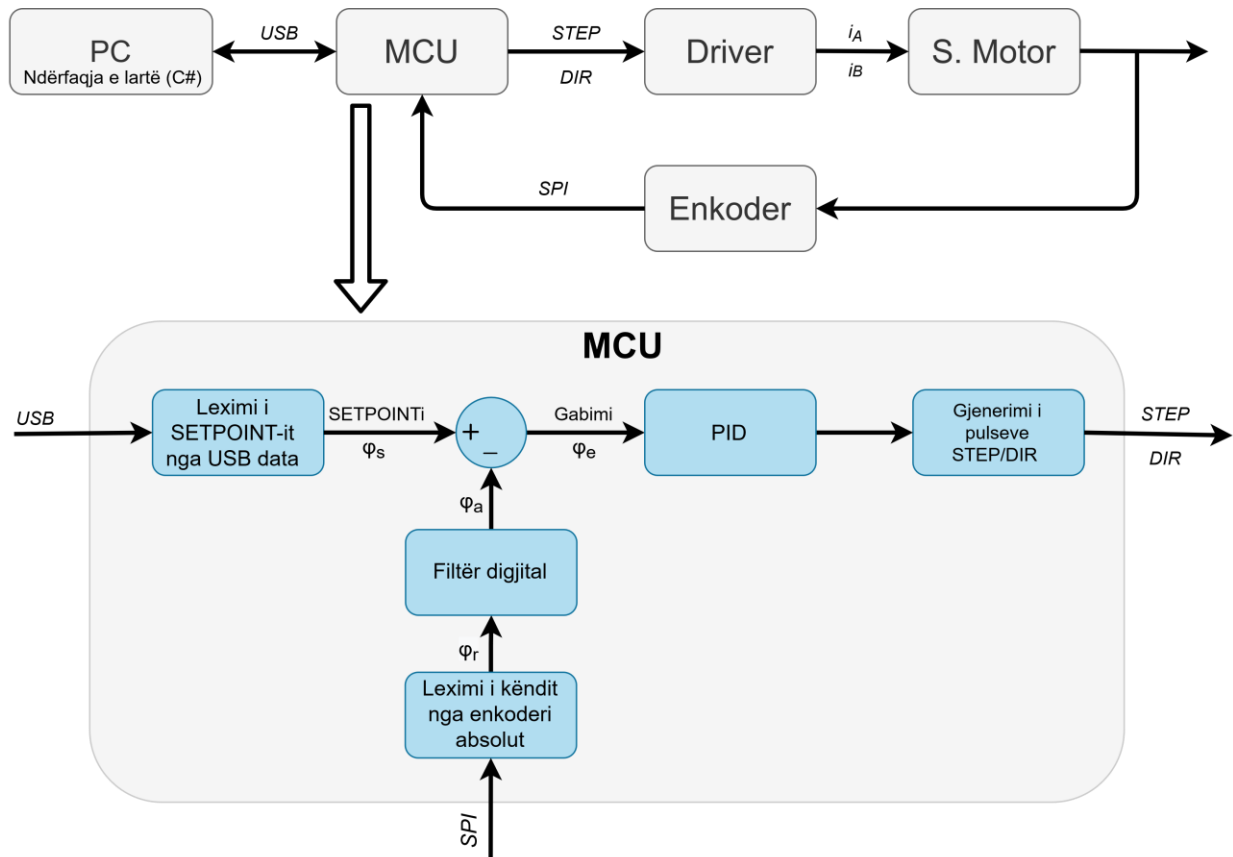


Fig. 7.4: Bllok-diagrami i rregullimit të pozitës

Skema rregulluese ngjason me atë të ngasjes me shpejtësi konstante, por tani, nga enkoderi lexojmë vlerat absolute të këndit përmes SPI. Procesi i rregullimit fillon me leximin e vlerës së setpoint-it (φ_s), ku kjo vlerë pastaj krahasohet me vlerën aktuale (mentale) të këndit (φ_a) në një shumare. Vlera e gabimit ($\varphi_e = \varphi_s - \varphi_a$) pastaj kalon tek PID rregullatori ku varësisht nga devijimi prej vlerës së dëshiruar dhe parametrave rregullues P, I, D, fitohet një sinjal komandues që përcillet deri tek funksioni për gjenerimin e pulseve STEP/DIR për komandimin e driver-it.

Ndryshe nga teknika e kaluar, këtu komandimi bëhet vetëm me pulse STEP/DIR dhe jo me UART. Rezolucioni i enkoderit në këtë mod punues është 14 bit. Një rezolucion i tillë, siç kemi thënë më herët [5.3], ofron ndjeshmëri minimale prej 0.022° .

Kjo ndjeshmëri kaq e madhe vjen me anë negative të saj, zhurmat! Meqë rezolucioni është shumë i lartë, edhe vibrimet mekanike të pjesëve të tjera të sistemit “kapen” nga enkoderi duke induktuar zhurma në sinjalin dalës, për këtë arsyeje është përdorur një filtrim më agresiv. Edhe pse është dashur të shfrytëzohet një filtrim më agresiv, rezolucioni i enkoderit dhe shpejtësia e tij e lartë për rifreskimin e të dhënave kanë mundësuar që mos të dëmtohet integriteti i sinjalit dalës.

Meqenëse enkoderi është absolut, qarku i kontrollit është i mbyllur, një aplikim tjetër për këtë sistem të kontrolli mund të jetë edhe në robotikë p.sh. për kontrollimin e këndeve të nryeve të manipulatorëve robotikë.

Poashtu, pasi SM kanë shpejtësi të konsiderueshme dhe moment të mirë, kjo e bën këtë sistem një zëvendësim të shkëlqyer për servo motorët të cilët përdorin motor DC në kombinim me reduktor për rritjen e momentit dhe potenciometër për lidhjen kthyese. (Gjithmonë, nëse lejojnë kufizimet mekanike, pra, dimensionet).

Për aplikimet ku kërkohet moment shumë më i lartë punues dhe kontroll i saktë i pozitës, ky sistem mund të shfrytëzohet në kombinim me një reduktorë adekuat.

7.1.4 Ngasja me moment konstant

Për aplikimet ku momenti maksimal i përcaktuar nuk duhet tejkaluar, p.sh. për shtrëngimin e bulonave të cilët kërkojnë një moment specifik pas mbërritjes të së cilit, shtrëngimi duhet ndaluar, kjo teknikë e paraqitur me bllok-diagramin e mëposhtëm, gjen aplikim.

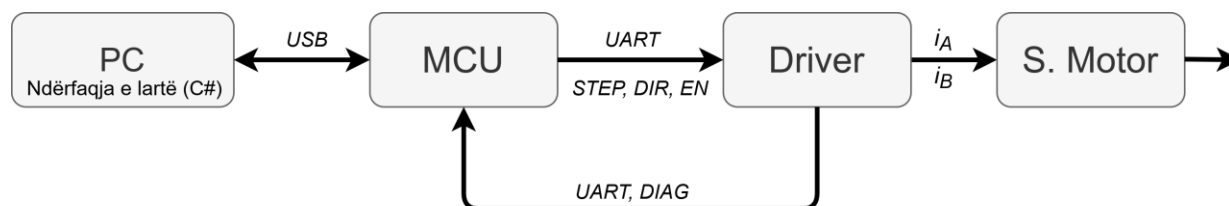


Fig. 7.5: Bllok-diagrami i ngasjes me moment konstant

Menjëherë, ajo që mund të dallohet nga bllok-diagrami është se lidhja kthyese tani realizohet nga driveri dhe jo enkoderi. Kjo ngase siç është cekur në [5.2] driveri inkorporon teknologjinë *StallGuard4™* e cila monitoron vazhdimisht ngarkesën në motor dhe në rast bllokimi (ngecje) apo të mbingarkimit të motorit, lajmëron kontrollerin përmes pinit DIAG.

Kjo teknologji me disa ndryshime të vogla mund të adaptohet për këtë aplikim.

Përmes UART-it specifikohet kufiri maksimal i rrymës së lejuar. Duke ditur se ekziston një korrelacion mes rrymës dhe momentit, duke caktuar rrymën e lejuar, ne caktojmë momentin maksimal të motorit. Nëse analizojmë shembullin paraprak, gjatë shtrëngimit të bulonave, kur mbërrihet fundi i filetave, duhet një moment më i madh për shtrëngimin e tyre, kjo rritje e momentit të nevojshëm shkakton rritjen e rrymës e cila furnizohet nga driver-i derisa të arrihet pragu i përcaktuar. Me mbërritjen e këtij pragu, driver-i sinjalizon MCU-në përmes pinit DIAG (shkurtesë për diagnostics) dhe pastaj mikrokontrolleri ndalon procesin e shtrëngimit.

Një teknikë e ngjashme përdoret edhe gjatë procesit të kthimit të CNC makinave në pikën fillestare (homing). Kur makina mbërrin limitin mekanik, rryma e motorit rritet mbi nominalen dhe kështu kontrolleri kupton se është mbërritur fundi. Kjo teknikë ndryshe njihet si *sensorless homing*.

7.1.5 Mënyra e rregullimit tek 3D printerët

Nëse zgjidhjen (sistemin) e realizuar përgjatë këtij punimi dëshirojmë ta aplikojmë në 3D printerë, këtë mund ta bëjmë në ata printerë të cilët si firmware kanë *MARLIN*-in. Marlini është një firmware *open-source* i cili ngasë pjesën më të madhe të të gjithë 3D printerëve. [15]

Bloq-diagrami rregullues i kësaj metode, është paraqitur në vazhdim.

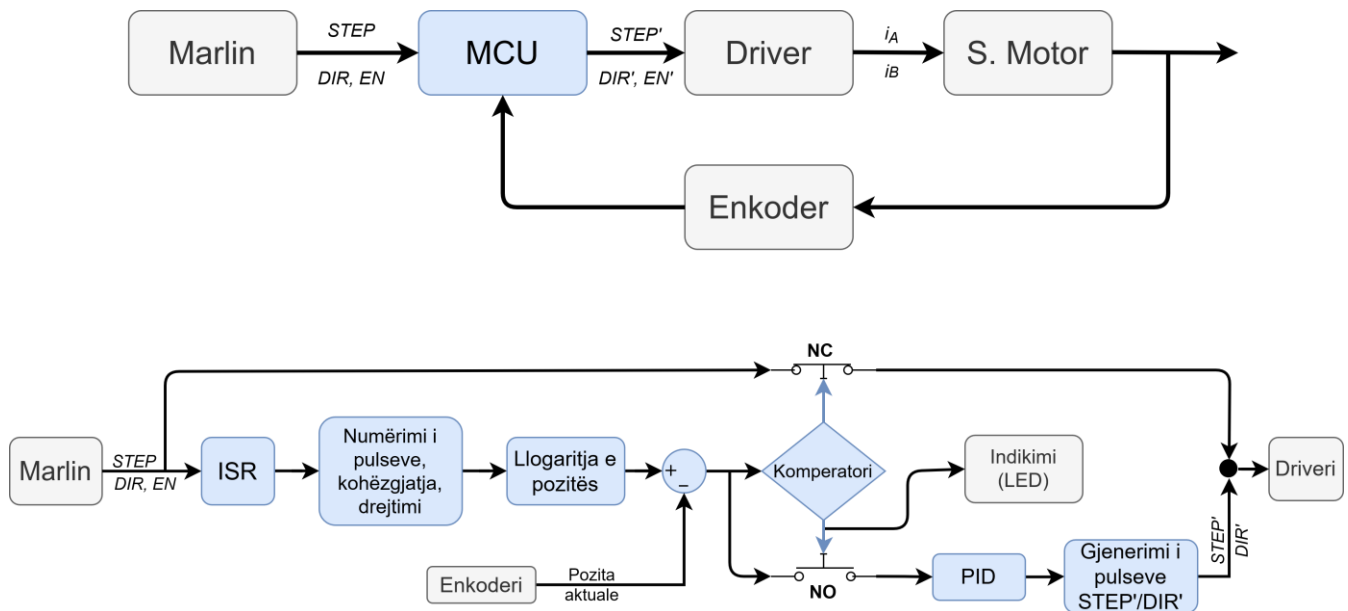


Fig. 7.6: Bllok-diagrami rregullues i aplikimit në 3D printerë

Ky diagram është ndarë në dy pjesë. Pjesa e sipërme është aplikimi i përgjithësuar ndërsa ajo e poshtme, hynë më thellë në detajet teknike. Blloqet e paraqitura me ngjyrë të kaltër, ekzekutohen përbrenda mikrokontrollerit.

Marlini është një firmware i optimizuar shumë mirë për komandimin e step motorëve me qark të hapur të kontrollit (open-loop), përderisa sistemi punon me parametra nominal, dalja gjithmonë i përgjigjet hyrjes pa pasur nevojë për lidhje kthyes. Mirëpo, në raste të rralla, ngacmimet e jashtme mund ta prishin harmoninë e këtij sistemi. Për evitim e këtyre rasteve është dizajnuar sistemi i paraqitur në bllok-diagramin e mësipërm.

Mënyra e funksionimit është kështu: Marlini gjeneron pulset komanduese STEP/DIR/EN varësisht nga GCODE-i i fajllit për printim. Këto pulse nga Marlini i dërgohen direkt driverit për komandimin e SM. Në rastin tonë, ne ndërpreme këtë lidhje dhe në mes tyre vendosim sistemin e zhvilluar përgjatë këtij punimi. Tani, pulset e gjeneruara nga Marlini, lexohen nga mikrokontrolleri. Pinat në të cilët janë lidhur këto pulse janë definuar si external interrupts. [3.3.1, Fig. 7.10]

Në momentin e parë që pranojmë ndonjë puls, pinat trigerojnë ISR-në (Interrupt Service Routine). Kjo nënkupton se kontrolleri ndërpre në çfarëdo procesi që është duke ekzekutuar dhe kalon tek ISR-ja brenda së cilës vendosim programin apo funksionet të cilat kanë prioritet. Në këtë rast, vendosim programin për numërimin e STEP pulseve, kohëzgjatjen e tyre dhe drejtimin e lëvizjes (DIR). Përmes këtyre informatave jemi në gjendje ta llogarisim pozitën e dëshiruar. Pas përfundimit të ISR-së, kontrolleri kthehet në procesin paraprak dhe vazhdon prej aty.

Pozita e llogaritur tani i kalohet një shtet shumë ku në të cilën pranohet edhe sinjali kthyes nga enkoderi. Pas kësaj, sinjali kalon tek një komparator i cili varësisht nga toleranca e specifikuar, përcakton se a është mbërritur pozita e synuar apo jo. Me këtë informatë, komparatori komandon dy ndërprerës alternues.

Meqenëse Marlini vetvetiu gjeneron pulset komanduese të cilat janë të rregulluara internalisht, kalimi i tyre edhe njëherë nëpër PID rregullatorë nuk është i nevojshëm. Prandaj, në bllok-diagram ekziston një degë paralele nga hyrja deri tek driver-i. Në mesin e kësaj dege gjendet një ndërprerës i cili normalisht është i mbyllur (NC) dhe që komandohet nga komparatori.

Gjersa sistemi punon brenda parametrave nominal të tij, sinjali hyrës nga Marlini dërgohet si i tillë në dalje tek driver-i. Por gjithmonë nën mbikëqyrjen e mikrokontrollerit!

Në rastet kur sistemi devijon nga setpointi, komparatori hapë lidhjen direkte dhe mbyllë ndërpresin tjetër kështu duke ridrejtuar sinjalin e gabimit për tek PID rregullatori, pas aplikimit të parametrave të së cilit, sinjali i rregulluar vazhdon për tek funksioni për gjenerimin e pulseve të modifikuara STEP'/DIR'. Këto pulse pastaj shkojnë tek driver-i. Me pulset e modifikuara, sistemi kthehet në gjendjen e harmonisë paraprake. Pas kompensimit të gabimit, komparatori mbyllë ndërprerësin e lidhjes direkte duke bartuar sinjalin e Marlin-it tek driveri dhe njëkohësisht hapë ndërpresin tjetër. Gjatë kohës së kompensimit, në PCB aktivizohet një LED për indikim.

Sinjali që aktivizon LED-in gjatë kohës së kompensimit të gabimit, mund të shfrytëzohet nga disa CNC makina për të triggeruar një alarm dhe për ta ndalë makinën nëse është e nevojshme.

Nëse thjeshtohet më tej ajo që u tha mesipër, gjatë punës normale të 3D printerëve, komandat e Marlin-it përcillen direkt tek driver-i. Vetëm në rastet kur ngacmimet e jashtme nxjerrin sistemin nga ekuilibri, kontrolleri ndërron përkohësisht rrjedhën e sinjalit, kompenson gabimin e shkaktuar nga ngacmimet e jashtme, kthen sistemin në ekuilibër dhe ndërron rrjedhën e sinjaleve përsëri.

7.1.6 Mënyra e rregullimit të CNC makinat

Fillimisht duhet sqaruar se edhe 3D printerët janë CNC makina. Arsyeja e ndarjes së këtyre në dy grupe qëndron në firmware-in i cili kontrollon këto makina. Për 3D printerë, tashmë dimë se *Marlini* është firmware-i kontrollues, ndërsa për CNC makina ekziston një firmware tjetër *open source* i quajtur *GRBL*. [16]

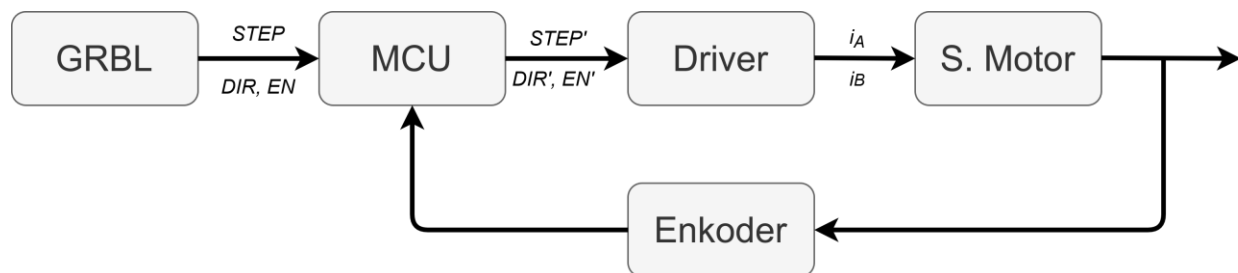


Fig. 7.7: Bllok-diagrami rregullues i aplikimit në CNC makina.

Blokk-diagrami kontrollues për GRBL është i njëjtte me atë të Marlin-it, prandaj është paraqitur vetëm diagrami i përgjithësuar.

Mes këtyre dy firmware-ve ekzistojnë disa dallime, kryesisht në mënyrën e gjenerimit të pulseve prandaj është dashur të përshtatet programi edhe për GRBL, por mënyra e rregullimit ngjason tërësisht me atë të sqaruar më sipër [7.1.5].

7.1.7 Teknikat e rregullimit brenda driver-it

Siç është cekur në [5.2], driver-i inkorporon disa teknika të ndryshme të rregullimit, metoda të ndryshme të komunikimit, pra përgjithësisht disa funksione që i kryen internalisht.

Këto funksione më së miri paraqiten me bllok-diagramin e mëposhtëm.

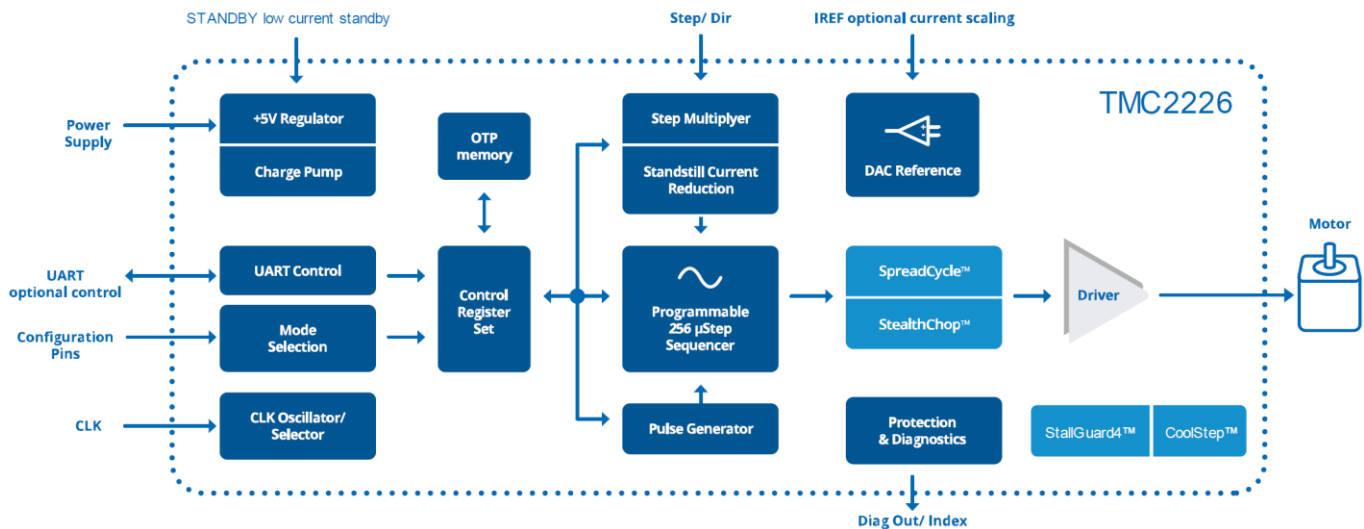


Fig. 7.8: Bllok-diagrami i përgjithësuar për driver-in TMC2226 [12]

Nga bllok-diagrami shohim funksionet e përgjithësuara si dhe mënyrën e rrjedhjes së sinjaleve mes blloqeve.

Ndërsa, një diagram më teknik, ku blloqet janë më të zgjeruara dhe ku shihen disa nga komponentët kryesore rrethimore të driver-it, është paraqitur në figurën e mëposhtme (Fig. 7.9).

Këto dy diagrame janë marrë nga dokumenti i specifikave të prodhuesit të driver-it [12].

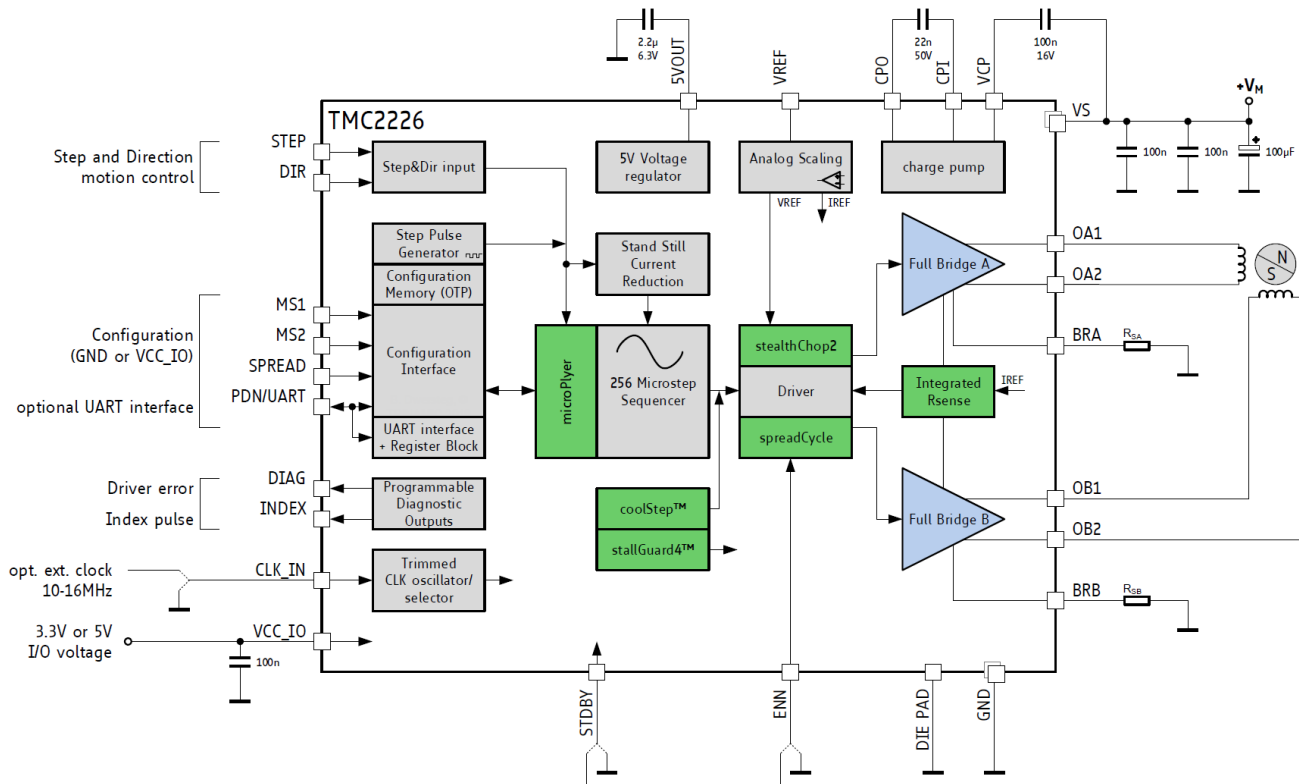


Fig. 7.9: Bllok-diagrami i aplikimit bazik për TMC2226 [12]

7.2 Konfigurimi dhe programimi i mikrokontrollerit

7.2.1 Gjuhët programuese

Gjatë këtij punimi janë shfrytëzuar tre gjuhë të ndryshme programuese. Dy prej tyre për programimin e mikrokontrollerit ndërsa e treta për zhvillimin e një GUI (Shih kapitullin 7.3).

Për programimin e mikrokontrollerit janë kombinuar gjuhët C dhe C++. Gjersa nuk mund të vendosim një kufi ndarës të qartë mes tyre, mund të themi se programi është bërë kryesisht në C++ ndërsa funksionet të cilat kërkojnë shpejtësi të lartë ekzekutimit, janë realizuar në C.

Gjuha C është më afër gjuhës së makinës sesa C++, prandaj edhe ofron shpejtësi më të lartë të ekzekutimit dhe zë më pak hapësirë. Por, pasi që C++ është më i pasur në sintaksë dhe librari, si gjuhë bazë është zgjedhur C++ dhe gjuha C si shtesë.

Kompajlleri pranon gjuhën C brenda mjedisit programues të C++.

7.2.2 Konfigurimi i pinave

Prodhuesi i mikrokontrollerit të zgjedhur ofron edhe veglat softuerike për konfigurimin dhe programimin e këtyre kontrollereve.

Softueri *STM32CubeIDE* mundëson konfigurimin e pinave të MCU-së përmes një ndërfaqeje. Mjafton ta zgjedhim pinin e dëshiruar dhe përcaktojmë njërën nga funksionet e mundshme të atij pini, si p.sh.: *Input*, *Output*, *External Interrupt*, *Analog Input* apo edhe funksionet e tjera nëse i përkrah si: *SPI*, *UART*, *I2C*, *I2S*, *USB*... Pas zgjedhjes së funksioneve, softueri gjeneron automatikisht kodin për ti konfiguruar këta pina në funksion e përzgjedhur.

Në figurën e mëposhtme janë paraqitur pinat e konfiguruar varësisht prej funksionit të tyre.

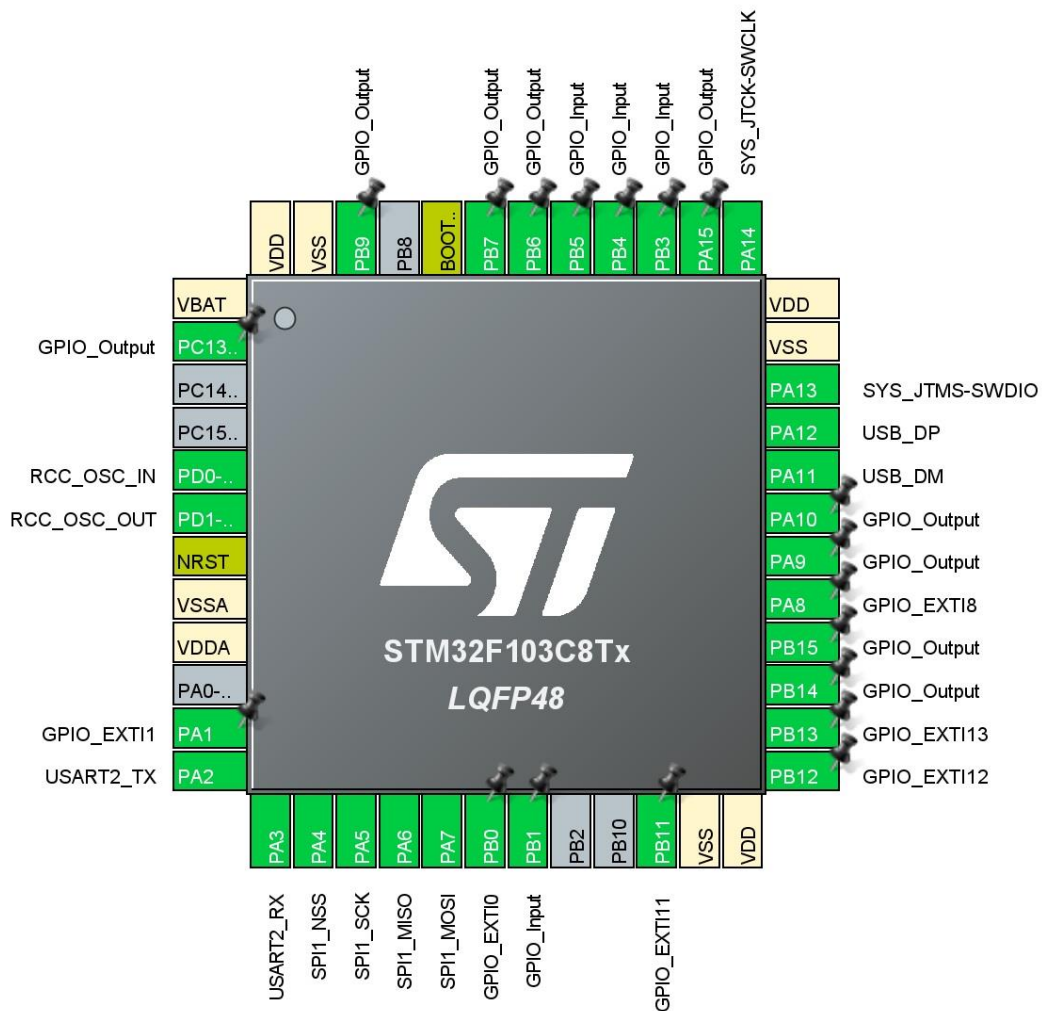


Fig. 7.10: Konfigurimi i pinave të mikrokontrollerit

Meqenëse komunikim me MCU e kemi përmes USB-së (CDC), në ndërfaqen e parë zgjedhim COM portin në të cilin lidhim pajisjen dhe zgjedhim shpejtësinë e komunikimit. Pas lidhjes së kontrollorit me kompjuter mund të vazhdojmë në menyte tjera.

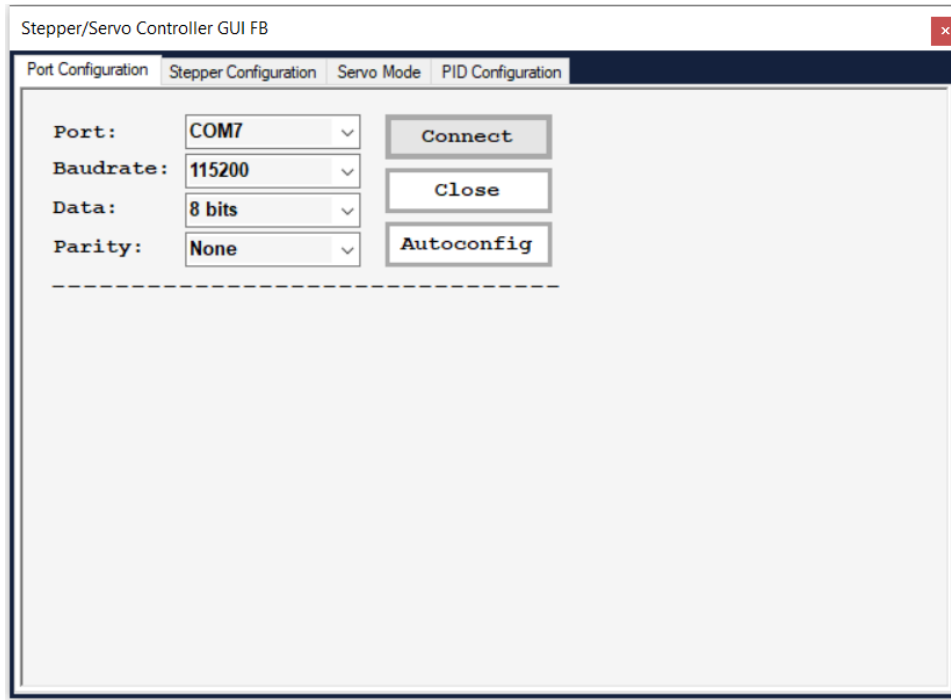


Fig. 7.12: Vendosja e komunikimit kompjuter – kontrollor

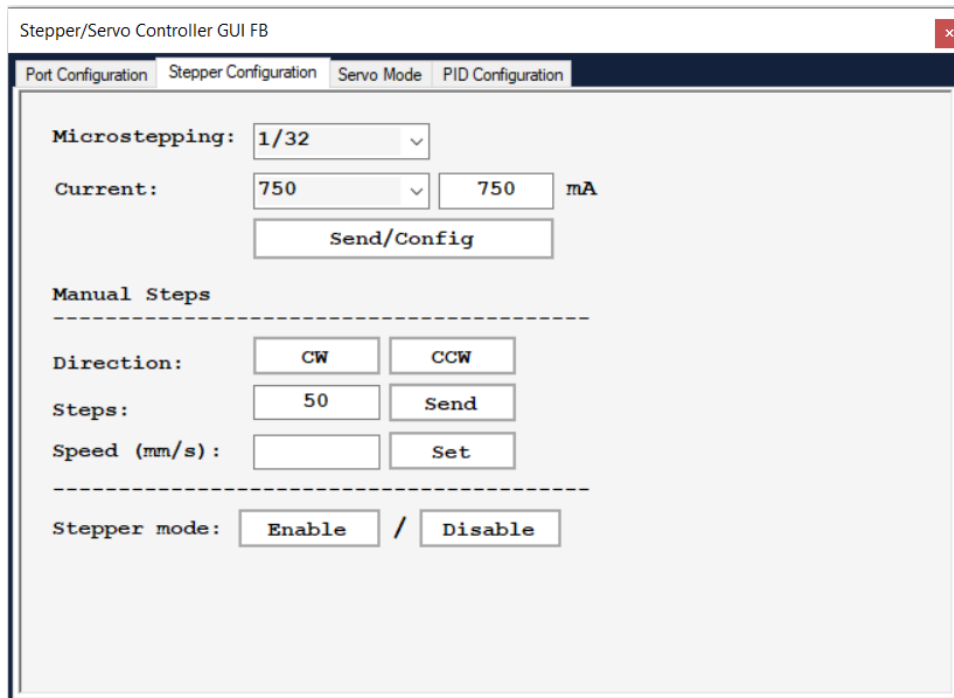


Fig. 7.13: Konfigurimi i parametrave të SM

Në figurën e mësipërme (Fig. 7.13) është paraqitur dritarja e dytë.

Nëpërmjet kësaj dritareje mund ti konfigurujmë parametrat si mikrohapat, rrymën e lejuar, aktivizim dhe deaktivizimin e motorit.

Gjithashtu prej këtu mund ta komandojmë motorin të lëviz për një numër të caktuar të hapave. Mjafton ta specifikojnë numrin e hapave, drejtim e lëvizjes dhe (opsionale) shpejtësinë e lëvizjes.

Mikrohapat i zgjedhim nga menyuja rënëse (drop-down menu).

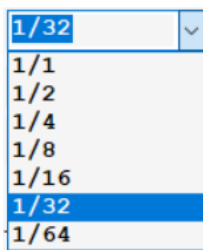


Fig. 7.14: Zgjedhja e mikrohapave

Ngjashëm, nga menyuja rënëse mund të zgjedhim edhe rrymën e lejuar për fazë apo këtë mund ta shkruajmë në hapësirën në të djathtë (text box).

Dritarja e tretë (Fig. 7.15) mundëson kontrollimin e step motorit sikur të jetë servo motor!

Përmes kësaj dritareje mund të përcaktojmë këndin për të cilin dëshirojmë ta rrotullojmë SM. P.sh. nëse vendosin vlerën e këndit 720° , motori do kryej dy rrotullime të plota. Pastaj mund ta përcaktojmë shpejtësinë konstante të rrotullimit, si dhe vlerën e momentit (në Ncm).

Nga kjo dritare mund ta lexojmë vazhdimisht vlerën e këndit të boshtit të SM, si dhe cilëndo pozitë të tij mund ta vendosim si kënd referent (kënd 0°).

Përmes dritares së fundit (Fig. 7.16) mund ti ndërrojmë PID parametrat të cilët përdoren tek rregullimi i shpejtësisë [7.1.2] dhe rregullimi i pozitës [7.1.3]. Nëpërmjet kësaj dritareje mund të ndërrohen parametrat e PID rregullatorit gjatë kohës sa kontrolleri është duke punuar. Kjo ka përshpejtuar procesorin e gjetjes së vlerave më të përshtatshme të PID-së.

Duhet cekur se ky aplikacion është zhvilluar vetëm për qëllim të testimeve gjatë këtij punimi dhe si tillë nuk është i gatshëm për qëllime industriale. Në industri, ky GUI mund të anashkalohet dhe informatat për kontroll dhe konfigurim mund ti përcillen kontrollërit direkt përmes USB-së.

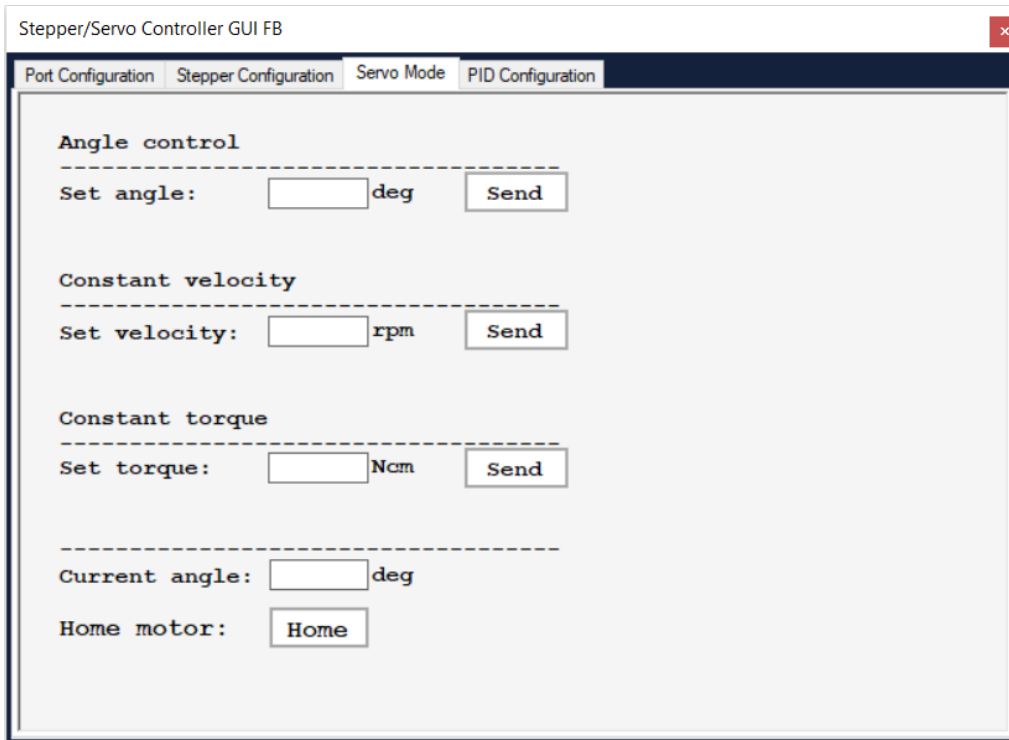


Fig. 7.15: Dritarja e tretë, komandimi i SM

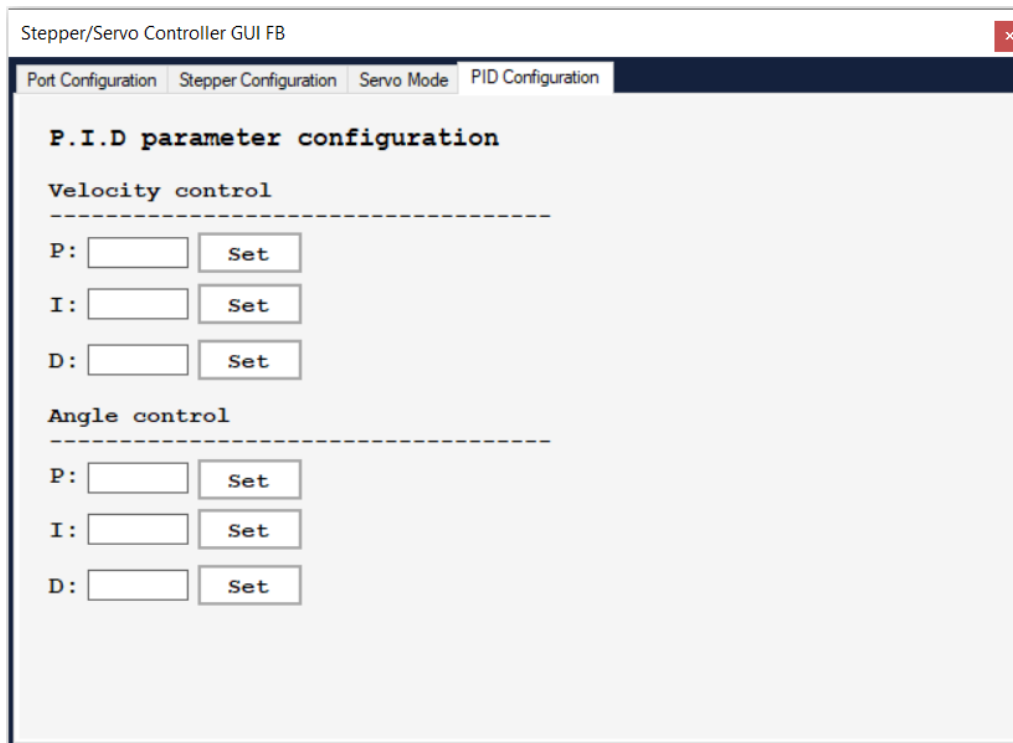


Fig. 7.16: Ndryshimi i P.I.D. parametrave

8. TESTIMET

Në këtë kapitull do të paraqiten testimet praktike që janë realizuar gjatë këtij punimi.

Këtu fillimisht do të shfaqen krahasimet në shpejtësinë e operimit të mikrokontrollerit varësisht nga gjuha programuese e përdorur, pastaj do të vazhdohet me testimet termike dhe së fundmi, me testimet akustike.

8.1 Testimi i shpejtësisë së mikrokontrollerit

Në mënyrë që sistemi të ketë përgjigje sa më të shpejtë është kërkuar optimizimi i tij si nga ana harduerike ashtu edhe nga ajo softuerike. Në kapitullin [7.2.1](#) kemi thënë se për funksionet të cilat kërkojnë shpejtësi të lartë të ekzekutimit është përdorur gjuha C pasi që është më e shpejtë! Për ta verifikuar këta pohim, i referohemi matjeve në vazhdim të realizuara më osciloskop.

Kodi i shfrytëzuar për të gjitha testet në vijim është i njëjte dhe përbëhet nga një *while loop* të pafundme brenda së cilës vetëm lëshojnë dhe fikim të njëjtin pin vazhdimisht për të formuar një valë katrore frekuencën e së cilës do ta masim.

Për testin e parë do të shfrytëzojmë framework-in e Arduinos për ta ndryshuar gjendjen e pinit.

```
while (1)
{
    digitalWrite(PC13, HIGH);
    digitalWrite(PC13, LOW);
}
```

Framework-i i Arduinos është i bazuar mbi gjuhën C++.

Komanda *digitalWrite(pini, gjendja)* është aktualisht funksion i cili shkruan gjendjen e dëshiruar (1 apo 0) në pinin e dëshiruar (në këtë rast, PC13).

PC13 i referohet pra pinit të STM32F103 gjendjen e të cilit do ta monitorojmë përmes osciloskopit.

Pas dërgimit të kodit në MCU, në osciloskop është pranuar sinjali i paraqitur në vazhdim.

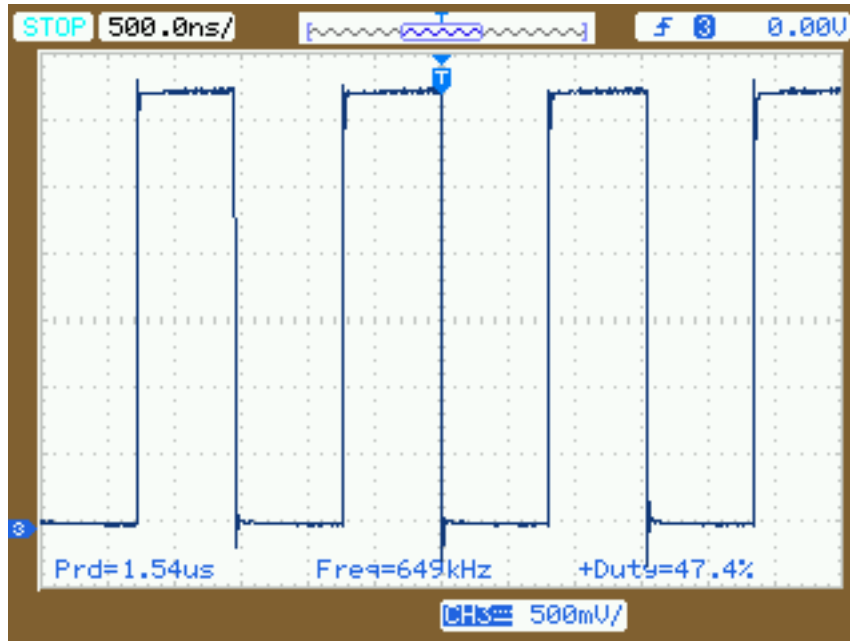


Fig. 8.1: Matja e frekuencës (Gjuha C++)

Nga këtu shohim se frekuenca e sinjalit të gjeneruar është $f_1 = 649 \text{ kHz}$ dhe perioda $T_1 = 1.54 \mu\text{s}$ ndërsa *Duty Cycle* (pozitiv) është 47.5%. Arsyeja pse nuk është saktësisht 50% qëndron në faktin se për gjenerimin e këtij sinjali nuk janë shfrytëzuar timer-ët as komparatorët por thjesht një unazë e pafundme (kodi i paraqitur më parë).

Për testin e radhës, në vend të funksioneve të gatshme për ndryshimin e gjendjes, tani gjendjen e pinit e ndërrojmë në nivel të harduerit përmes HAL⁹ komandave (C).

Rreshtat e kodit të ndërrojnë gjendjen e pinit janë paraqitur në vazhdim.

```
HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN13, GPIO_PIN_SET);  
HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN13, GPIO_PIN_RESET);
```

Duhet cekur se përdallim nga thjeshtësia e kodit të mëparshëm, tani për funksionimin e këtyre komandave është dashur të bëhen edhe disa konfigurime shtesë.

Sinjali i pranuar në osciloskop është paraqitur në figurën në vazhdim.

⁹ HAL – Hardware Abstraction Layer

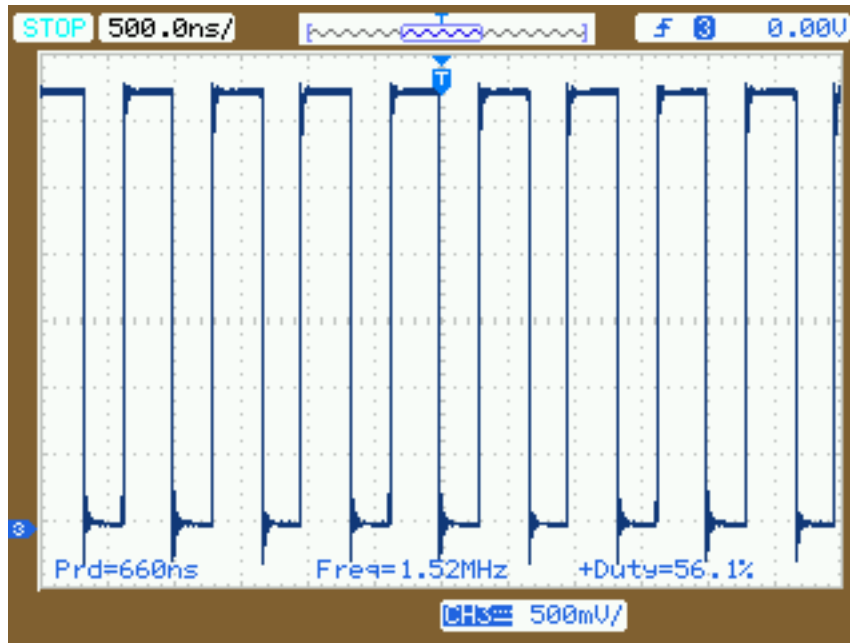


Fig. 8.2: Matja e frekuencës (Gjuha C)

Frekuenca e sinjalit të gjeneruar pas këtij ndryshimi të vogël softuerik është $f_2 = 1.52 \text{ MHz}$.

Krahasuar me frekuencën e kaluar ($f_1 = 649 \text{ kHz}$), tani kemi një përmirësim prej 234%. Perioda e sinjalit nga $T_1 = 1.54 \mu\text{s}$ ka zbritur në $T_2 = 660 \text{ ns} = 0.66 \mu\text{s}$

Përmes këtij testi është konfirmuar se mikrokontrolleri përformon më shpejtë nëse përdorim gjuhën programuese C.

Në mënyrë që këto teste të vendosën në referencë me një mikrokontroller tjetër, programi i njëjtë është ngarkuar në Arduino Uno (Atmega328p) dhe sinjali dalës është matur me osciloskop si më parë. Rezultatet e arritura janë paraqitur në figurën 8.3.

Tani shohim se frekuenca e sinjalit është $f_3 = 152 \text{ kHz}$. Nëse këtë vlerë e krahasojmë me testin e parë, STM32F103 përformon komandat e dhëna 4.27 herë më shpejtë sesa Arduino Uno!

Nëse kjo vlerë krahasohet me testin e dytë, mikrokontrolleri i zgjedhur ka një përmirësim të frekuencës së sinjalit dalës saktësisht 1000%.

Duhet cekur se rezultatet e Arduino-s gjithashtu mund të përmirësohet nëse në vend të funksioneve të gatshme (si digitalWrite) përdorim teknikën e manipulimit të porteve. Meqenëse Arduino nuk është përdorur për këtë punim, një testim i tillë nuk është realizuar.

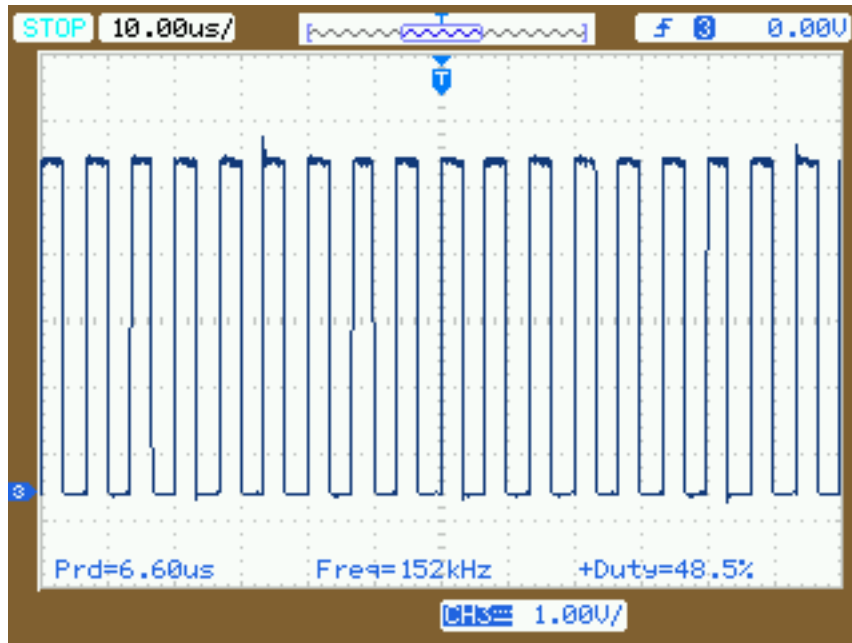


Fig. 8.3: Matja e frekuencës (Arduino)

Për ta shtyrë mikrokontrollerin deri në limitet e tij, programi i përdorur për testin e radhës është shkruar në Assembler. Nga figura tani shohim se mikrokontrolleri ka arritur frekuencën punuese $f_4 = 12\text{ MHz}$ e cila është shumë më e lartë sesa çdo test tjetër i realizuar.



Fig. 8.4: Matja e frekuencës (Assembler)

Frekuenca $f_4 = 12 \text{ MHz}$ e “përkthyer” në terma më të thjeshtë nënkupton se mikrokontrolleri është i aftë që ta ndryshojë gjendjen e një pini 12 milion herë në sekondë!

Edhe pse kemi përmirësime të dukshme, një përafrim i tillë nuk është përdorur ngase siç mund të shihet në figurën e mësipërme (Fig. 8.4) forma e sinjalit nuk ngjason më në valë katrore. Kjo për shkak të shpejtësisë së madhe të ndërrimit të gjendjes, pini nuk ka kohë ta arrijë steady-state para se ti vije komanda e radhës.

Arsyeje tjetër për mos përdorimin e Assembler-it është edhe kompleksiteti i programimit me të.

Të dhënat e këtyre testeve janë paraqitur edhe në tabelën vijuese.

Tabela 8.1: Matjet e realizuara me osciloskop

	Frekuenca	Perioda	Duty Cycle (+)
STM32F103 (C++)	649 kHz	1.54 μs	47.4 %
STM32F103 (C)	1.52 MHz	0.660 μs	56.1 %
STM32F103 (Assembler)	12 MHz	0.083 μs	32.5 %
Arduino Uno (C++)	152 kHz	6.6 μs	48.5 %

Kështu ngjashëm janë bërë edhe testime të tjera si për përcaktimin e PWM frekuencës dhe filtrim e sinjaleve, por në punim janë vendosur vetëm testimet për shpejtësi.

8.2 Testimet termike

Për të pasur një informatë se a kemi përmirësime në temperaturat punuese, janë realizuar një seri testimesh duke shfrytëzuar kamerë termike.

Si subjekt testimi është shfrytëzuar një 3D printer dhe janë matur temperaturat punuese të motorëve dhe të driver-ëve në intervale të njëjta kohore.

Për këto testime është shfrytëzuar i njëjti GCODE, driver-at janë rregulluar ashtu që të kenë të njëjtën rrymë si dhe mikrohapat janë konfiguruar njësoj në tre llojet e driver-ëve që janë testuar në vazhdim ashtu që çdo test të jetë realizuar nën kushte të njëjta.

8.2.1 Temperaturat e matura në step motor

Për realizim e këtij testi, 3D printeri është lëshuar ta printojë një pjesë dhe janë matur temperaturat nga fillimi deri në përfundim të printimit në intervale 5 minutëshe. Pas printimit të parë janë ndërruar driver-at A4988 me ata të realizuar gjatë këtij punimi (TMC2226), është lënë printeri të kthehet në temperaturën e ambientit dhe pastaj është përsëritur testi i njëjtte si më parë.

Për këtë test janë matur vetëm temperaturat e step motorit të aksit Y pasi ky aks ka ngarkesë më të madhe gjatë printimit. Disa nga imazhet të marra nga kamera termike janë paraqitur në vijim.

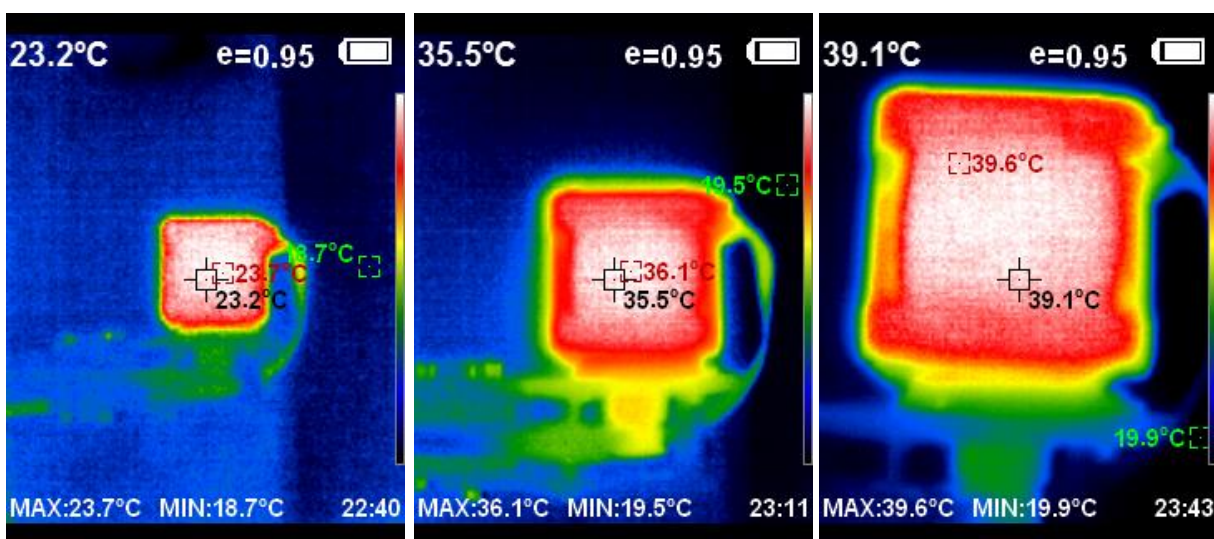


Fig. 8.5: Imazhet termike të motorit Y (A4988)

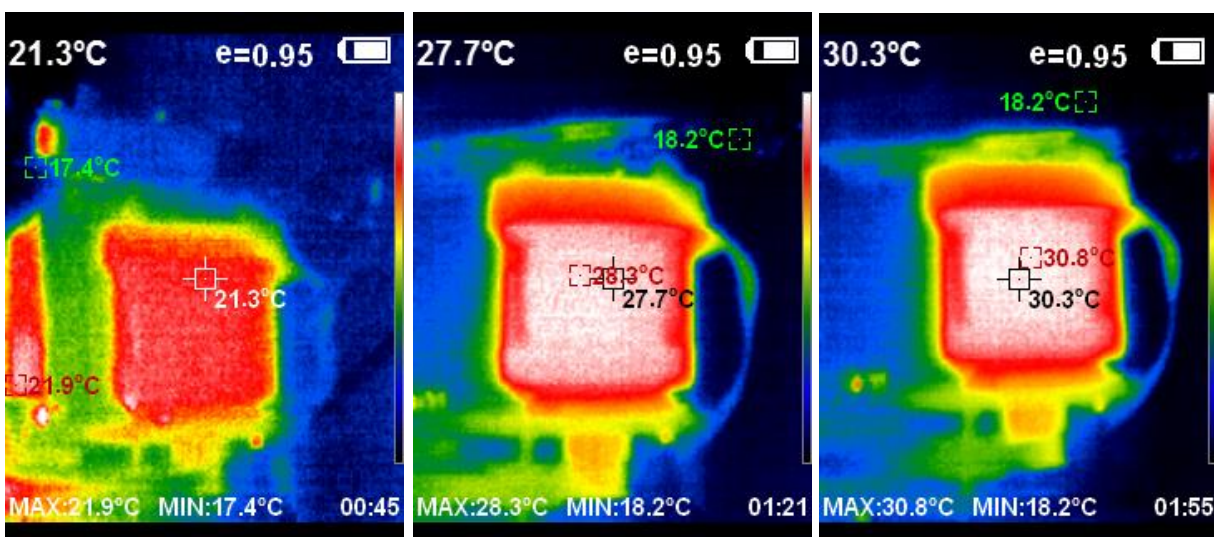


Fig. 8.6: Imazhet termike të motorit Y (TMC2226)

Në pamje të parë mund të duket se imazhet termike dallojnë nga njëri tjetri! Në realitet të gjitha imazhet e paraqitura janë të step motorit të aksit Y, por mes testeve është ndërruar distanca dhe këndi i kamerës termike gjatë fotografimit. Efekti i këtij ndërrimi në rezultatet finale është i neglizhueshëm.

Imazhet e paraqitura në figurat e mëparshme janë realizuar 5 minuta pas fillimit të printimit, në mes të printimit, dhe para 5 minuta përfundimit të procesit të printimit. (Minuta 5, 30 dhe 55). Në tabelën vijuese janë paraqitur të gjitha matjet e bëra.

Tabela 8.2: Temperaturat e matura në step motor (°C)

	A4988	TMC2226
00:00	18.9	20.1
00:05	23.7	21.3
00:10	26.6	23.4
00:15	30.3	24.2
00:20	32.5	25.5
00:25	33.8	26.1
00:30	35.5	27.7
00:35	36.7	28
00:40	37.7	29
00:45	38	29.9
00:50	38.3	30.1
00:55	39.1	30.3
01:00	40.2	30.6

Gjatë testeve, gjithashtu është matur edhe temperatura e ambientit. Për testin e parë të realizuar me driver A4988, mesatarja e temperaturës së ambientit ishte 17.9 °C ndërsa gjatë testit të dytë me driverin e realizuar TMC2226, mesatarja e temperaturës së ambientit ishte 19.4 °C.

Nga tabela e kemi të qartë se driver-i ynë ka përformuar më mirë sesa driver-i origjinal i printerit në secilin prej testeve!

Rregullimi i vazhdueshëm i rrymës e cila i dërgohet SM ka ndikuar në performancën e motorit.

Ashtu që të dhënat e tabelës të mund ti vizuelizojmë më mire, në vazhdim janë paraqitur dy grafe.

Në grafën e parë vlerat janë paraqitur horizontalisht dhe janë krahasuar mes vetë për çdo vlerë të tabelës. Driver-i ynë është paraqitur me ngjyrë portokalli ndërsa driver-i A4988 me ngjyrë të kaltër.

Në grafën e dytë mund të shihen temperaturat e përgjithshme të motorit gjatë testeve.

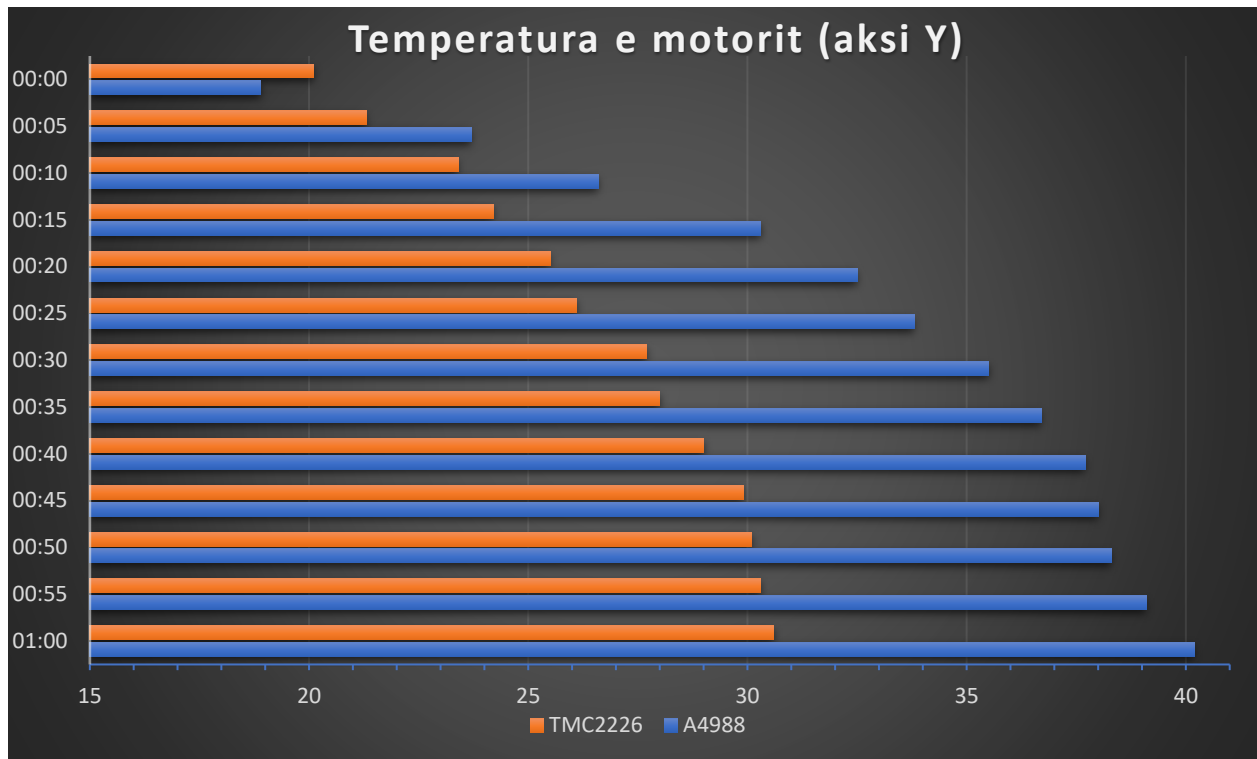


Fig. 8.7: Grafi krahasues i temperaturave të motorit

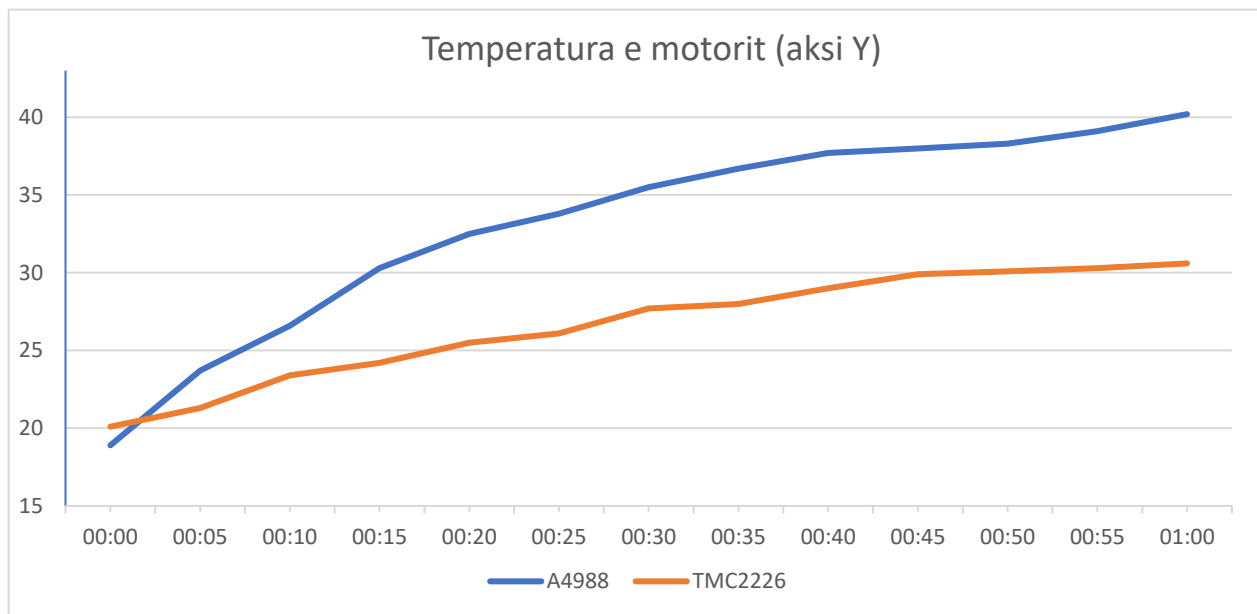


Fig. 8.8: Grafi linear i temperaturave të motorit

Përmes këtyre grafeve mund të shihet se kemi përmirësime të dukshme në temperaturën punuese të step motorëve. Temperatura startuese e driverit TMC2226 është më e lartë sesa ajo e A4988 për shkak të ndryshimeve në temperaturën e ambientit.

8.2.2 Temperaturat e matura në driver-a

Gjatë matjeve të temperaturave të motorit gjithashtu janë matur edhe temperaturat punuese në secilin driver respektivisht. Disa nga këto imazhe termike janë paraqitur në vazhdim.

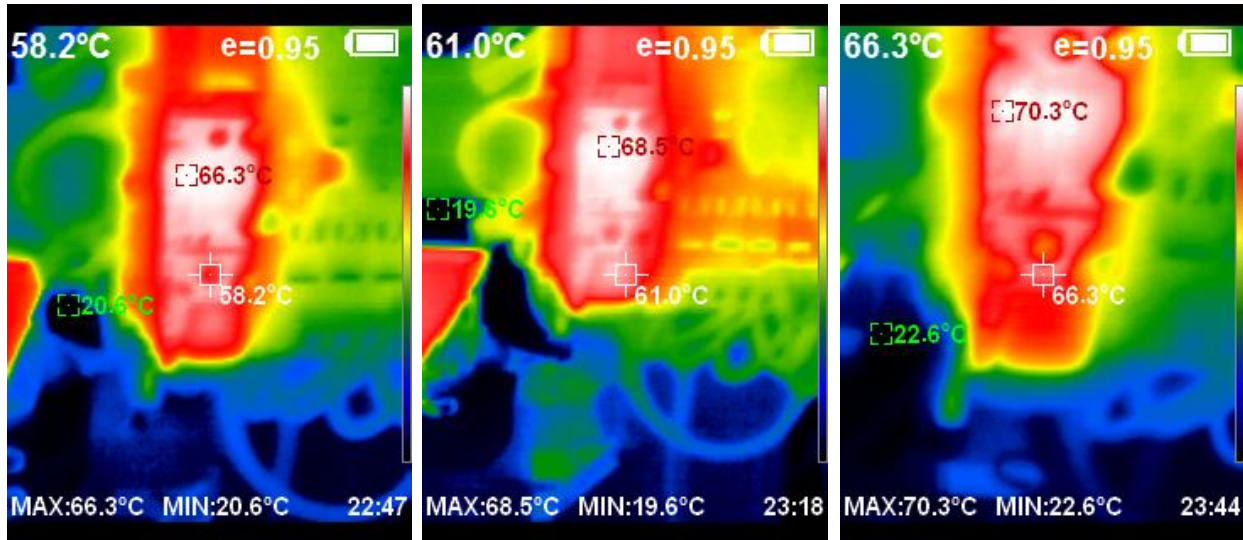


Fig. 8.9: Imazhet termike të A4988

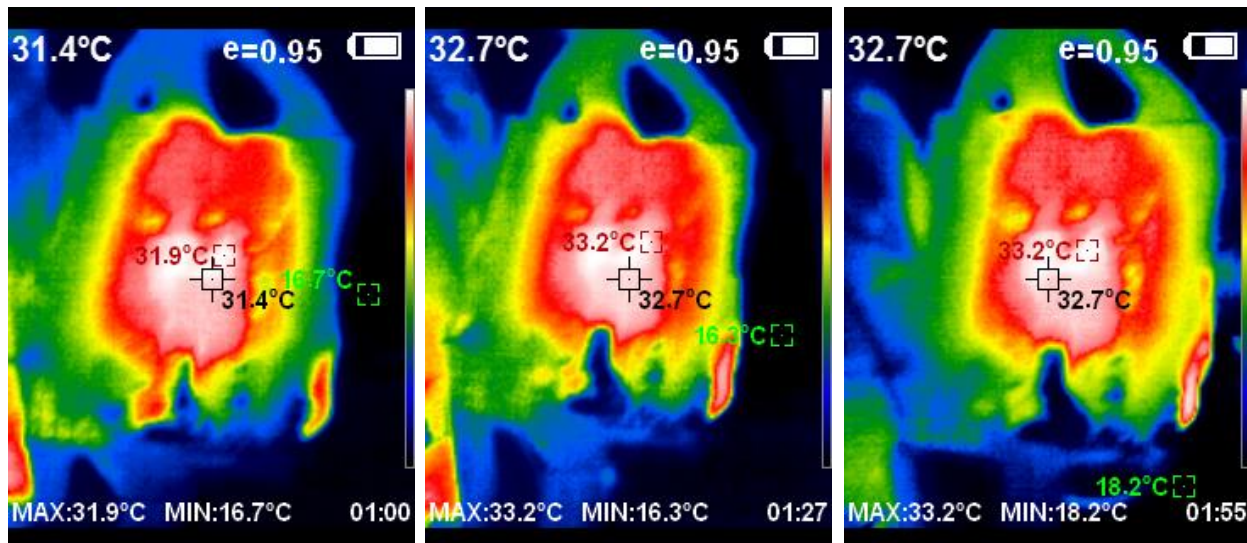


Fig. 8.10: Imazhet termike të TMC2226

Edhe këto testime janë realizuar në intervale të njëjta kohore.

Tek figura 8.9 mund të shihen nga dy driver njëkohësisht. Driver-i sipër është për aksin Y ndërsa driver-i poshtë i përket aksit X të 3D printerit. Tek figura 8.10 pamja është më e paqartë, kjo ngase e gjitha PCB-ja e zhvilluar kontribuon në lirim e nxehtësisë dhe kamera termike zonat me temperaturë të njëjte i shfaqë me ngjyrë të njëjte.

Ta gjitha matjet janë listuar në tabelën në vazhdim.

Tabela 8.3: Temperaturat e matura në driver (°C)

	A4988	TMC2226
00:00	19.5	19.7
00:05	42.9	22.1
00:10	66.3	31.4
00:15	66.8	31.4
00:20	68.4	32.8
00:25	67.8	32.7
00:30	68.3	38.7
00:35	68.5	33.2
00:40	69.2	32.5
00:45	69.9	33.4
00:50	70.8	33.4
00:55	70.3	32.7
01:00	63.4	36.1

Të grafikuara, këto të dhëna duken kështu:

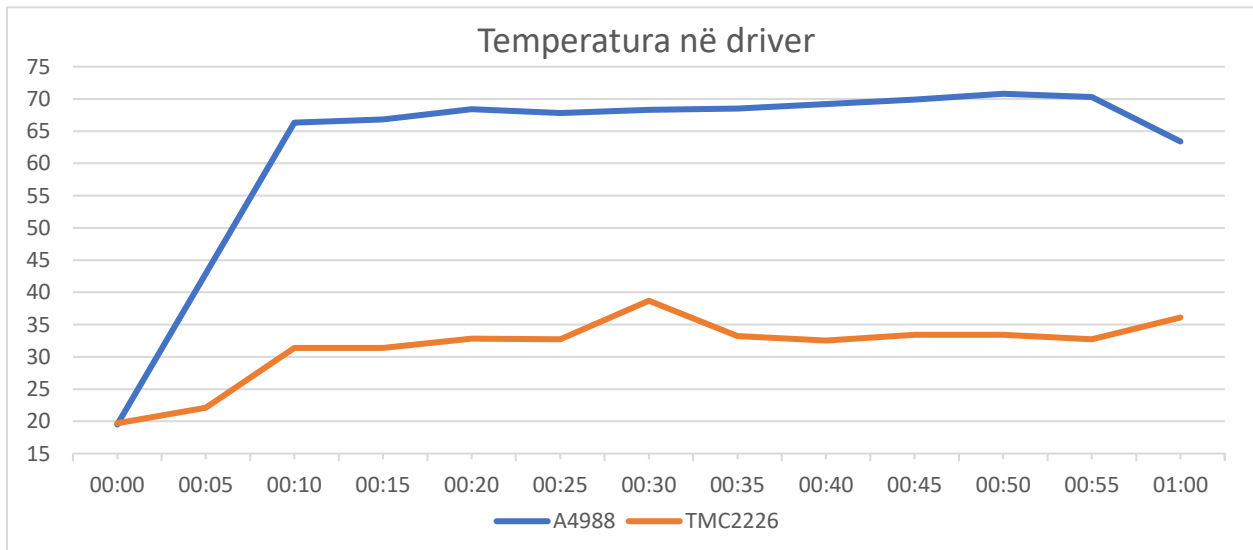


Fig. 8.11: Graf i temperaturave të driver-ëve

Nëse nxjerrim mesataret e këtyre temperaturave dhe i krahasojmë mes vete, *driver-i ynë nxehët për 50% më pak sesa ai komercial (A4988)*. Kjo mund të shihet qartazi edhe nga grafi i mësipërm.

Temperatura më e ulët nënkupton edhe efikasitet më të lartë.

Në lakoren e TMC2226, minuta 30-të shihet një temperaturë pak më e madhe se normalja. Kjo mund të jetë thjeshtë gabim momental i kamerës termike.

8.2.3 Krahasimet mes driverit të zhvilluar dhe TMC2226 të gatshëm

Për t'iu përgjigjur pyetjes se përmirësimet termike të paraqitura më sipër, a janë vetëm si rezultat i ndërrimit të driver-it apo janë përmirësim sinergjik i punës së bërë në pjesën harduerike dhe atë softuerike, testimet e njëjta janë realizuar dhe krahasuar me një driver të gatshëm TMC2226. Pamja e këtij driver-i të gatshëm është dhënë në figurën vijuese.

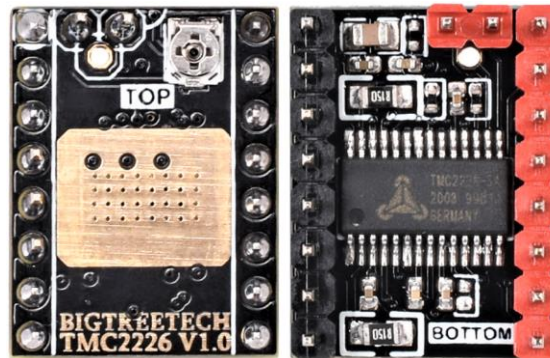


Fig. 8.12: Driver-i i gatshëm TMC2226

Ky driver është dizajnuar që të jetë kompatibel me driver-in A4988.

Përsëri janë matur temperaturat në step motorin e aksit Y për shkak se ka ngarkesë më ta madhe punuese dhe kështu vërehet më lehtë performanca e driver-it.

Të dhënat e matjeve janë paraqitur në tabelën në vazhdim.

Tabela 8.4: Temperaturat e matura në motor (°C)

	Driveri i gatshëm	Driveri i zhvilluar
00:05	21.3	21.3
00:10	25.9	23.4
00:15	29.2	24.2
00:20	32	25.5
00:25	34.3	26.1
00:30	33.5	27.7
00:35	33.4	28
00:40	34	29
00:45	35.3	29.9
00:50	36.1	30.1
00:55	38	30.3
01:00	38.4	30.6

Vlerat e tabelës tani janë krahasuar mes vete në grafën në vazhdim.

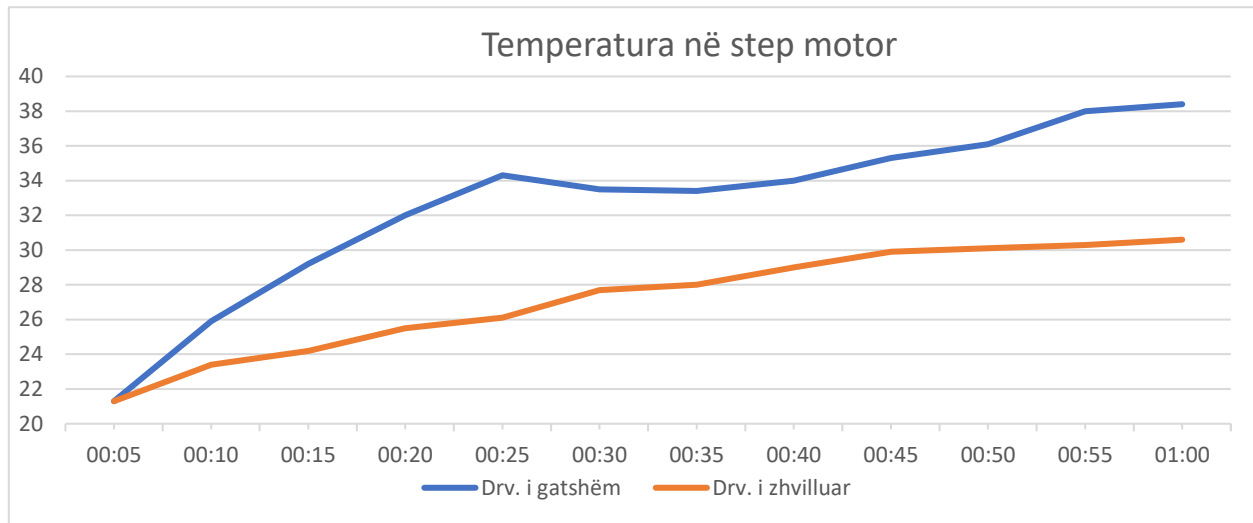


Fig. 8.13: Grafi krahasues i driver-ëve TMC2226

Ky grafikoni i jep përgjigje pyetjes së parashtruar më parë. Driveri i zhvilluar përgjatë këtij punimi ka performancë më mirë termike andaj edhe efikasitet më të mirë sesa driveri i ngjashëm me të i cili mund të blihet si i gatshëm.

8.2.4 Grafi i efikasitetit të driver-it

Duke iu referuar dokumentit të specifikave të prodhuesit të driver-it [12] mund të nxjerrim një graf të efikasitetit të motorit NEMA17. Me ngjyrë të zezë është paraqitur aplikimi standard me 50% moment punues rezervë ndërsa me ngjyrë të gjelbër, operimi i motorit kur shfrytëzojmë teknologjitë *CoolStep™* dhe *StallGuard4™*. Varësisht nga shpejtësia e rrotullimit, mund të komandojmë driverin të përdor teknika të ndryshme për rregullimin e rrymës kështu duke rezultuar në efikasitet final më të lartë.

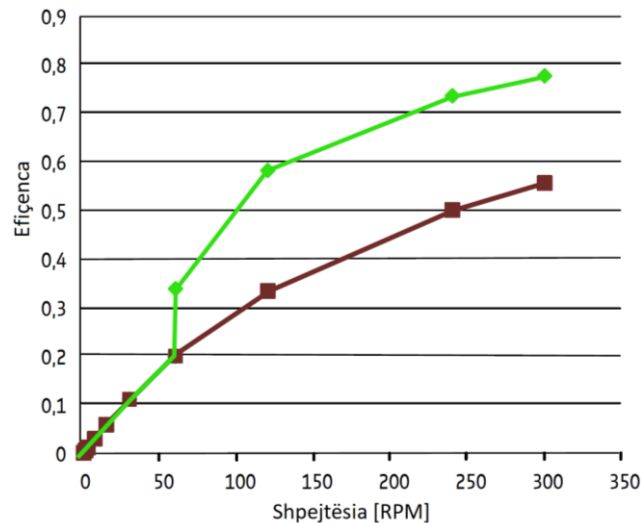


Fig. 8.14: Grafi i efikasitetit të motorit [12]

8.3 Testimet akustike

Një faktor shumë i rëndësishëm tek 3D printerët është edhe zhurma e tyre gjatë punës. Zhurma operuese e 3D printerëve vjen kryesisht nga step motorët. Pasi që rrymat ngasëse të step motorëve nuk janë sinusoida të pastra por valë katrore në formë të sinusoidave, këto shkaktajnë vibrime dhe rezonanca në motor të cilat “prodhojnë” zhurma të padëshiruara dhe të kapshme nga veshi i njeriut.

Përgjatë punimit është cekur se me rritjen e numrit të mikrohapave, rrymat ngasëse i ngjasojnë më shumë sinusoidës dhe parimisht ulët edhe niveli i zhurmave.

Për ta testuar këtë hipotezë, printeri është vendosur në një kuti speciale e cila kryen funksion e dhomës anekoike¹⁰. Dhoma anekoike siguron që zhurmat e jashtme të mos interferojnë me testimet por edhe zhurma e printerit të mbahet brenda saj për tu matur niveli i tyre.

Furnizuesi i printerit me rrymë (power supply) është nxjerrë jashtë kutisë për shkak të zhurmës që lëshon gjatë ftohjes dhe me kablllo të zgjatura është bartur rryma brenda kutisë. Në të njëjtën kuti, në pozitë fikse është vendosur një decibel-metër.

Në total janë realizuar katër testime. Dy testime me driver-in A4988 dhe dy tjera me driver-in e zhvilluar. Duhet cekur se për testimet e dyta, vetëm aksi X dhe Y janë zëvendësuar me TMC driver ndërsa ekstruderi (E) dhe aksi Z janë lënë me driver A4988.

Për printim është dizajnuar një pjesë e cila ka seksione të gjata të cilat i lejojnë printerit ta arrijë shpejtësinë maksimale të lejuar. Gjithashtu pjesa e dizajnuar ka harqe dhe seksione të ngushta me kthime të shpejta të cilat provokojnë printerin për të gjeneruar zhurma.

Pasi që zhurmat e gjeneruara janë në funksion të shpejtësisë së printimit, për çiftin e parë të testeve shpejtësia e printimit është më e vogël ndërsa për çiftin e dytë, shpejtësia e printimit është rritur për 25mm/s në raport me shpejtësinë paraprake.

Rezultatet e pranuar nga decibel-metri janë paraqitur në figurat 8.15 dhe 8.16.

Në mënyrë që këto matje të krahasohen dhe të lexohen më lehtë, këto janë paraqitur gjithashtu në tabelën 8.5 të dhënë në vazhdim.

¹⁰ Anekoike – pa zë, pa zhurmë, e izoluar



Fig. 8.15: Raporti i decibel-metrir për driver-in TMC2226

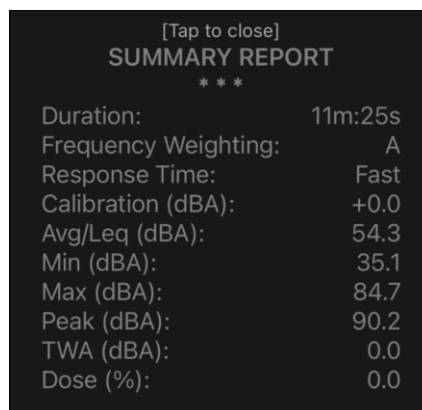


Fig. 8.16: Raporti i decibel-metrir për driver-in A4988

Tabela 8.5: Matjet akustike (dB)

	Mesatarja	Minimumi	Maksimumi	Piku	Kohëzgjatja
TMC (ngadalë)	45.1	39.6	59.5	64.6	15:17 min
TMC (shpejtë)	46.4	39.6	57.9	62.1	11:21 min
A4988 (ngadalë)	47.7	39.6	67.6	73.2	15:04 min
A4988 (shpejtë)	54.3	35.1	84.7	90.2	11:24 min

Vlerat e maksimumit dhe pikut nga tabela nuk janë tregues shumë të mirë të nivelit të përgjithshëm të zhurmës, kjo ngase në disa shpejtësi të caktuara printeri rezononë dhe bën shumë zhurmë të madhe por kjo zgjatë për një periudhë të shkurtë kohore. Vlera minimale është thujtse e njëjte në të gjitha testet. Ndërsa, vlera e cila do të merret për shqyrtim është vetëm vlera mesatare e zhurmës.

Nëse tani krahasojmë vlerat mesatare të zhurmave, shohim se dallimi mes tyre duket i vogël, sidomos për tre testet e para! Në fakt, dallimi është shumë i madh ngase shkalla e matjes nuk është lineare por është logaritmike.

Njësia e cila përdoret për matjen e zhurmave njihet si deciBel dhe llogaritet sipas formulës:

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{10^{-12} \frac{W}{m^2}} \right)$$

ku I paraqet intensitetin e zërit (W/m^2) ndërsa $10^{-12} W/m^2$ i referohet zërit më të ulët të mundshëm që dallohet nga veshi i njeriut.

Nëse me 0 dB shënojmë qetësinë pothuajse perfekte, një zë që është 10 herë më i fuqishëm ka vlerën 10 dB. Një zë që është 100 herë më i fuqishëm se vlera fillestare, në shkallë logaritmike ka vlerën 20 dB. Një zë 1000 herë më i fuqishëm është 30dB, e kështu më radhë.

Rritja e zhurmës për 3 dB nënkupton dyfishimin e energjisë së zërit.

Me këtë informacion tani mund ti krahasojmë vlerat mesatare të zhurmave.

Nëse zbresim vlerat e mesatarëve përkatëse nga tabela, fitojmë ndryshimet:

$$47.4 - 45.1 = 2.6 \text{ dB}$$

$$54.3 - 46.4 = 7.9 \text{ dB}$$

Për të paraqitur shkallën logaritmike të fuqisë së zërit (në dB) shfrytëzojmë ekuacionin:

$$y = 10 \log_{10}(x)$$

Tani me këto vlera paraqesim një graf dhe vendet ku lakorja $y = 10 \log_{10}(x)$ pritet me drejtëzat $y_1 = 2.6$ dhe $y_2 = 7.9$, paraqesin për sa herë është rritur niveli i zhurmës.

Ky graf është paraqitur në figurën në vijim (Fig. 8.17).

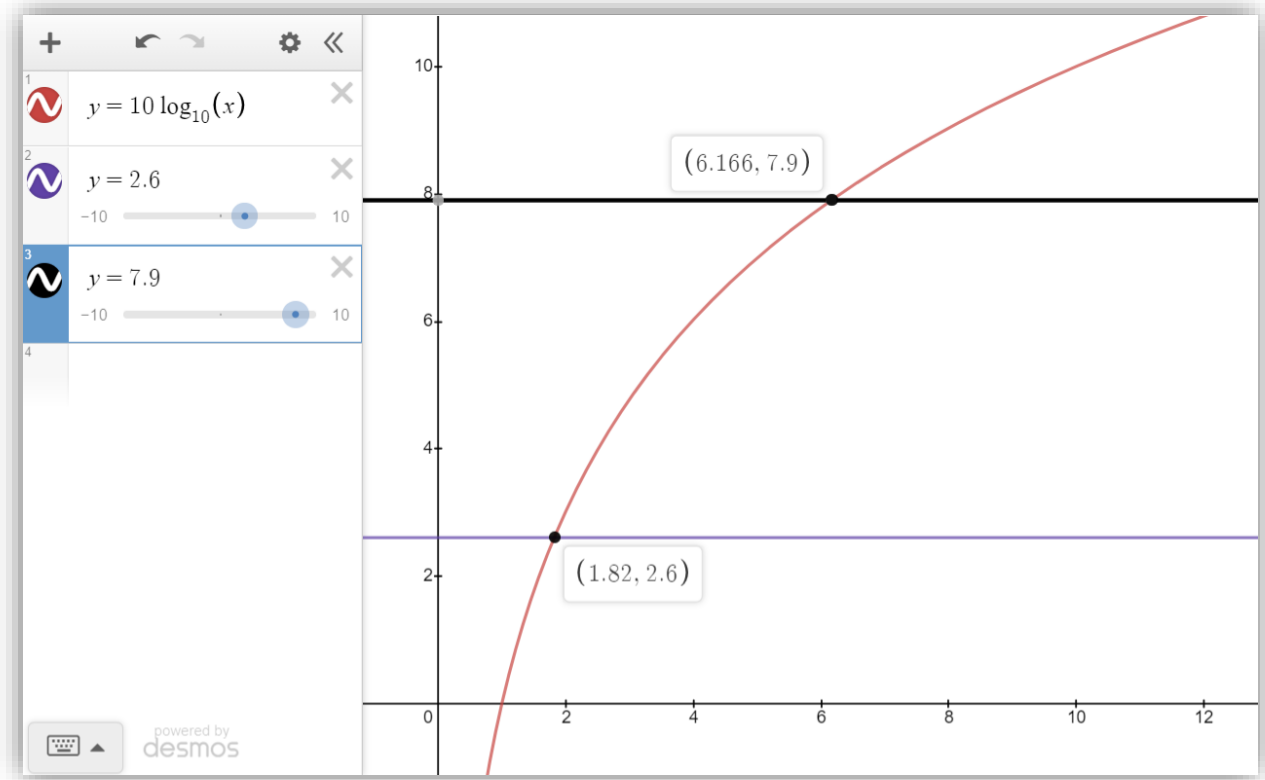


Fig. 8.17: *Krahasimi i zhurmave në shkallën logaritmike*

Nga pikëprerjet e drejtëzave me lakoren, fitojmë vlerat 1.82 dhe 6.166 për çiftin e ngadalshëm dhe të shpejtë të testeve respektivisht.

Në testimet e ngadalshme, driver-i A4988 ka gjeneruar 1.82 herë më shumë zhurmë sesa driveri ynë. Shprehur ndryshe, *driveri i zhvilluar përgjatë këtij punimi është për 45% më i qetë*.

Në testimet e shpejta, A4988 ka gjeneruar 6.16 herë më shumë zhurmë sesa driveri ynë. Shprehur ndryshe, *driveri i zhvilluar përgjatë këtij punimi është për 84% më i qetë sesa driveri A4988*.

Që testimet të jenë më të sakta, ato duhet të përsëriten disa herë dhe në kohëzgjatje më të madhe por për këtë punim testimet janë realizuar vetëm njëherë për të pasur një pasqyrë të përafërt të niveleve të zhurmave.

9. PËRMBLEDHJA, REZULTATET DHE KONKLuzionET

9.1 Përmbledhja e punimit

Punimi është filluar duke prezantuar qëllimet e hulumtimit, mangësitë e sistemeve ekzistuese dhe mënyrat se si do të targetohen këto probleme. Pastaj janë paraqitur informatat e përgjithshme në lidhje me step motorët, klasifikimet e tyre, përparësitë, mangësitë dhe përdorimet, duke vazhduar me detajet e konstruktimit të step motorëve dhe mënyrën e ngasjes së tyre ku janë paraqitur figura të cilat përshkruajnë mënyrën e lëvizjes së step motorit hap-pas-hapi. Një fokus i veçantë është dhënë ngasjes me mikrohapat e cila është përshkruar përmes figurave si dhe matematikisht. Në pjesën e radhës janë dhënë informatat e përgjithshme në lidhje me pllakat elektronike (PCB), janë dizajnuar dy PCB të ndryshme, njëra është zhvilluar fizikisht dhe është përshkruar e ilustruar me figura tërë procesi. Pllaka tjetër është dizajnuar për qëllime industriale dhe është përdorur për simulime. Pastaj është përshkruar pjesa mekanike. Këtë e fillojmë me ekuacionet matematikore të cilat përshkruajnë sistemin. Më pas vazhdohet me çmontimin e një step motori ku pjesët e të cilit janë paraqitur në figura përkatëse. Gjatë këtij procesi janë matur dimensionet fizike të pjesëve dhe janë përdorur për 3D modelim të step motorit. Këtu janë dizajnuar edhe adapterët përkatës të cilët mundësojnë lidhjen e PCB-së me step motor. Së fundmi është dizajnuar një shtëpizë industriale e cila mbulon pllakën elektronike dhe montohet ne step motor. Në pjesën e radhës janë paraqitur komponentët elektronike të përdorura dhe është dhënë një sqarim i shkurtër në lidhje me arsyet e përdorimit të tyre. Janë realizuar një numër i madh i simulimeve me qëllim të verifikimit të pjesëve të ndryshme të punimit. Simulimet e realizuara përfshijnë simulimet elektrike si shpërndarja e rrymës nëpër pllakë, dendësia e rrymave, llogaritja e gjerësisë së përçueseve si dhe simulimet termike. Gjithashtu është simuluar edhe aftësia e shtëpizës për dispimin e nxehtësisë. Nga këtu është vazhduar me metodat e ndryshme të rregullimit që janë shfrytëzuar gjatë programimit të mikrokontrollerit. Janë treguar teknikat e ndryshme të rregullimit varësisht nga modi i punës, gjuhët e përdorura programuese, konfigurimi i pinave, dhe së fundmi është zhvilluar një ndërfaqe (GUI) për thjeshtimin e procesit të konfigurimit dhe komandimit të step motorit. Të gjitha teknikat e rregullimit janë ilustruar me diagrame rregulluese përkatëse. Pas gjitha këtyre është vazhduar me realizimin e testeve praktike. Fillimisht janë krahasuar shpejtësitë e operimit të kontrollerit varësisht nga gjuha programuese e përdorur, pastaj është vazhduar me testimet termike dhe së fundmi, me testimet akustike. Matjet e bëra janë paraqitur nëpërmjet tabelave, grafeve, e figurave.

9.2 Rezultatet dhe konkluzionet

Nga shfaqja e probleme dhe mangësive me sistemet aktuale, punimi është zgjeruar në të gjitha fushat që janë konsideruar si të nevojshme për realizimin e një sistemi më modern i cili përmirëson ato mangësi.

Prandaj, nga rezultatet e simulimeve të paraqitura përgjatë punimit si dhe rezultateve të testimeve praktike të realizuara, arrijmë në konkluzion se qëllimet për hulumtimin dhe zhvillimin e një metode alternative më të avancuar për kontrollimin e stepper motorëve janë arritur plotësisht.

Përmes këtyre rezultateve është parë se metoda e rregullimit dhe e kontrollimit e propozuar dhe e zhvilluar gjatë këtij punimi ka saktësi më lartë, siguri se do ta arrijë gjithmonë cakun e përcaktuar, efikasitet më të lartë, nivel më të vogël të zhurmave e oscilimeve totale të sistemit, si dhe temperatura më të ulëta punuese si të stepper motorëve ashtu edhe të ngasësve të tyre.

Në përgjithësim, metoda alternative e kontrollimit e propozuar nëpërmjet këtij punimi përmirëson performancën totale të sistemit krahasuar me zgjidhjet ekzistuese komerciale.

10. SHTOJCA

Tek shtojca janë cekur të gjitha programet të cilat janë shfrytëzuar për realizimin e këtij punimi, e gjithashtu janë cekur edhe disa detaje të tjera teknike

10.1 Softuerët e shfrytëzuar

Një numër softuerësh janë shfrytëzuar përgjatë punimit. Këta janë listuar në vazhdim sipas funksionalitetit të tyre.

10.1.1 Softuerët për dizajnimin e pllakave elektronike

Për dizajnimin e pllakës së parë është shfrytëzuar programi online i quajtur *EasyEDA*. Përmes këtij është realizuar skema dhe layout-i i pllakës. Logo e këtij programi është paraqitur në vazhdim.



Fig. 10.1: Logo e programit EasyEDA

Për dizajnimin e pllakës së dytë janë shfrytëzuar softuerët e kompanisë *CADENCE*. Këtu janë shfrytëzuar tre softuer me funksionalitete të ndryshme.



Fig. 10.2: Logo e kompanisë Cadence

Për dizajnimin e komponentëve është shfrytëzuar softueri *Padstack Editor*, për realizimin e skemës softueri *Capture CIS*, ndërsa për realizimin e pllakës (layout-it), softueri *PCB Editor*. Logot e këtyre programeve janë dhënë në vazhdim.

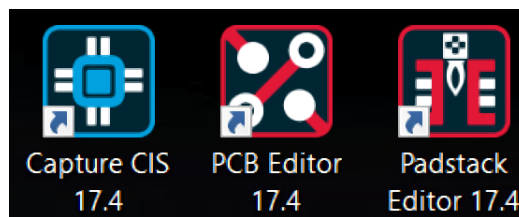


Fig. 10.3: Logot e Capture CIS, PCB Editor dhe Padstack Editor

10.1.2 Softueri i shfrytëzuar për pjesën mekanike

Për dizajnimin e pjesëve mekanike është shfrytëzuar softueri *Fusion 360* i kompanisë *Autodesk*.



Fig. 10.4: Logo e programit Fusion 360

10.1.3 Softuerët e shfrytëzuar për programim

Këtu janë shfrytëzuar disa softuer të ndryshëm varësisht nga aplikimi i kërkuar. Logot e këtyre janë paraqitur në vijim dhe nga e majta në të djathtë, janë: *Visual Studio Code*, *Visual Studio*, *STM32 Cube IDE*, *Arduino IDE*.



Fig. 10.5: Logo e softuerëve të programimit

10.1.4 Softuerët e shfrytëzuar për simulime

Për realizim e simulimeve elektrike është shfrytëzuar softueri *PCB-Investigator*. Ky softuer është shfrytëzuar edhe për simulimet termike të realizuara në kapitullin 6.1.3.

Për simulimet tjera termike të paraqitura në kapitullin 6.2, është shfrytëzuar përsëri softueri *Fusion 360*.



Fig. 10.6: Logo e softuerëve të përdorur për simulime

10.1.5 Softuerët e shfrytëzuar për realizmin, editimin dhe renderimin e figurave

Për realizimin e figurave të paraqitura gjatë punimit është shfrytëzuar kryesisht softueri *Adobe Illustrator*, nganjëherë edhe softueri *Inkscape*.

Për realizmin e renderimeve të paraqitura në disa figura gjatë punimit është shfrytëzuar softueri *Keyshot*. Renderimet janë realizuar nga 3D modelet e pjesëve.



Fig. 10.7: Logo e softuerëve të përdorur për figura

10.1.6 Softuerët e tjerë

Për këtë punim janë shfrytëzuar edhe disa softuer të tjerë funksioni i të cilëve do përmendet shkurtimisht. Softueri i cekur në kapitullin 6.1.1 është *PCB Calculator*. Për vizatimin e diagrameve të paraqitura në kapitullin 7.1 është përdorur programi online *draw.io*. Për gjenerimin e GCode-ëve dhe përgatitjen e modeleve për printim 3D është shfrytëzuar softueri *Cura*. Grafet e ndryshme dhe tabelat e paraqitura përgjatë punimit janë realizuar në *Excel* dhe së fundmi, për shkrimin e këtij punimi është përdorur programi *Microsoft Word*.



Fig. 10.8: Logot e softuerëve tjerë

10.2 Disa detaje tjera teknike

Magneti i cili përdoret për sinjalizimin e enkoderit duhet të zgjedhet me kujdes ngase magnetet disk mund të jenë të magnetizuar në dy drejtimi, aksialisht (figura në të majtë) dhe diametralisht (figura në të djathtë).

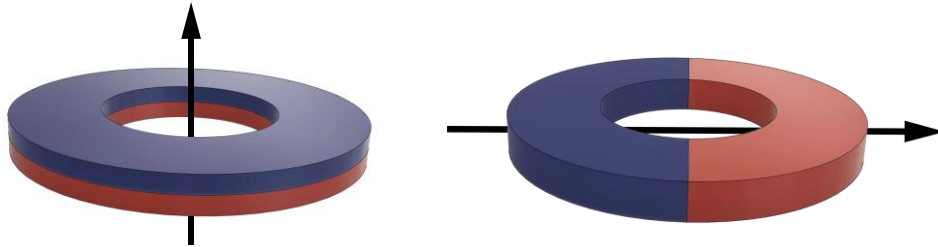


Fig. 10.9: Kahet e magnetizimit

Nëse zgjedhim magnetin në majtë, enkoderi nuk mund të dallojë ndryshim në fushën magnetike gjatë rrotullimit të rotorit. Magnetet e duhur për këtë punim janë ata të magnetizuar diametralisht.

Duke shfrytëzuar enkoder magnetik ne evitojmë kontaktin mes tij dhe rotorit, nëse nuk ka kontakt atëherë nuk ka fërkim shtesë gjatë rrotullimi të boshtit kjo siguron mirëmbajte më të ulët dhe jetëgjatësi më të lartë të sistemit.

Lloji i 3D printerit i cili është shfrytëzuar për testime gjatë këtij punimi është *Tevo Tarantula*.

Lloji i kamerës termike të përdorur për testime është *HTi HT-18*.

Gjithashtu janë dizajnuar edhe disa PCB tjera të cilat nuk janë cekur në punim ngase roli i tyre ka qenë dytësor në rezultatet finale të punimit.

Gjatë testimeve reale për temperatura dhe për zhurmë, të dy llojet e driver-ëve janë konfiguruar në të njëjtën rrymë ashtu që rezultatet krahasuese të jenë sa më të sakta.

Pllaka e njëjte e zhvilluar mund të përdoret edhe për kontrollimin e step motorëve të modelit NEMA23. Driver-i përkrah rryma dhe tensione më të larta të cilat e bëjnë kompatibil edhe me këtë lloj të step motorëve, vetëm duhet 3D printuar një adapter tjetër i cili bën përshtatjen mekanike të pllakës në trupin e step motorit NEMA23.

LITERATURA

- [1] Picatoste Ruilope, R. (2014). *Modelling and Control of Stepper Motors for High Accuracy Positioning Systems Used in Radioactive Environments* (Doctoral dissertation, Madrid, Polytechnic University).
- [2] Barber, G. R. (1980). *Modelling and control of a hybrid stepping motor* (Doctoral dissertation, Aston University).
- [3] Baluta, G. (2007). *Microstepping mode for stepper motor control*. In 2007 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (Vol. 2, pp. 1-4). IEEE.
- [4] Shabani, S., Likaj, R. (1998). *Teknikat e Rregullimit*. (Universiteti i Prishtinës, Prishtinë)
- [5] Orana, N. (2011). *Bazat e Elektroteknikes*. (Prishtinë).
- [6] Acarnley, P. P. (2002). *Stepping motors: a guide to theory and practice* (No. 63). IET.
- [7] Likaj, R., Bajrami, X. and Qelaj, M. (2018): *Modelimi, simulimi dhe optimizimi i sistemeve mekanike*. (Prishtinë, Fakulteti i Inxhinerisë Mekanike).
- [8] Masi, A., Conte, G., Losito, R., & Martino, M. (2007). *DSP-based stepping motor drivers for the LHC collimators*. In 2007 15th IEEE-NPSS Real-Time Conference (pp. 1-8). IEEE.
- [9] Pajaziti, A., Gojani, I., Bajrami, Xh. (2018). *Dinamika e makinave*. (Universiteti i Prishtinës, Prishtinë).
- [10] Shala, A. (2015). *Dinamika e Sistemit me Rregullim*. (Prishtinë).
- [11] STMicroelectronics, “*STM32F103x8, STM32F103xB; Medium-density performance line ARM®-based 32-bit MCU with 64 or 128 KB Flash, USB, CAN, 7 timers, 2 ADCs, 9 com. Interfaces*” (Rev. 17 / 08.2015). [Online].
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>
- [12] Trinamic, “*TMC2226 Datasheet*”, (Rev. 1.06 / 05.2020). [Online].
https://www.trinamic.com/fileadmin/assets/Products/ICs_Documents/TMC2226_Datasheet_V106.pdf
- [13] Microchip Technology, Atmel, “*ATmega328P; 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash*”, (Rev. 7810D-AVR / 01.2015). [Online].
https://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf

- [14] Monolithic Power Systems, “*MagAlpha MA730 14-Bit, Digital, Contactless Angle Sensor with ABZ Incremental & PWM Outputs datasheet*”, (Rev. 1.01 / 10.2017). [Online]. https://www.monolithicpower.com/en/documentview/productdocument/index/version/2/document_type/Datasheet/lang/en/sku/MA730/document_id/3563
- [15] Marlin, “*Marlin Firmware*”. [Online]. <https://marlinfw.org/> [02.2021]
- [16] GRBL, “*Grbl Firmware*”. [Online]. <https://github.com/gnea/grbl> [02.2021]
- [17] GCT, “*USB4105 – Type C USB 2.0 Connector*”. [Online]. <https://gct.co/connector/usb4105> [02.2021]

UNIVERSITETI I PRISHTINËS
“HASAN PRISHTINA”
FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE

DEKLARATA ETIKE

Unë, **Fatjon Beqa** me numër te regjistrimit (indeksit) **180805200004** deklaroj se,

punimi i diplomës me titull:

**“NJË METODË ALTERNATIVE PËR MODELIMIN DHE KONTROLLIMIN E
STEPPER MOTORËVE HIBRID”**

- paraqet rezultatet e punës sime shkencore hulumtuese,
- punimi i diplomës në tersi apo pjesërisht nuk është paraqitur në ndonjë program akademik në Fakultete tjera apo Universitete,
- rezultatet e prezantuara në punimin e diplomës janë të besueshme dhe janë të specifikuara ne mënyrën e duhur, dhe
- nuk i kam shkel të drejtat autoriale.

Vendi, data
Prishtinë, 19.02.2021

Emri dhe Mbiemri, nënshkrimi
Fatjon Beqa