

LASERSKA HARFA

Projektna dokumentacija

Dominik Peruško
Matej Antonijevič

Ljubljana, september 2012

Kazalo

1	Uvod	1
2	Specifikacije naprave	2
3	Časovni in finančni plan	3
3.1	Časovni plan	3
3.2	Finančni plan	3
4	Zasnova naprave	4
4.1	Bločna shema	4
4.2	Vezja.....	5
4.3	Tiskanine	10
4.4	Program.....	14
4.5	Shema ohišja	17
5	Kosovnica	18
6	Merilni rezultati, postopki testiranja in kalibracije	23
6.1	Meritve signalov v posameznih vozliščih vezja.....	23
6.2	Meritev višine	26
7	Tehnične specifikacije	27
8	Navodila za uporabo	28
9	Časovna in finančna rekapitulacija	29
9.1	Časovna rekapitulacija	29
9.2	Finančna rekapitulacija	29
10	Reference.....	30
11	Priložene datoteke.....	31

Ključne besede

Glasbilo - Musical instrument

Laserska harfa - Laser Harp

Detekcija odbite svetlobe - Detection of light deflection

MIDI komunikacija - MIDI communication

USB komunikacija - USB communication

1 Uvod

Laserska harfa je glasbilo, ki deluje na principu laserske svetlobe. Leta 1981 jo je izumil Bernard Szajner, a širšemu občinstvu jo je predstavil komaj Jean Michel Jarre na koncertih Concerts in China v 90. letih.

Harfa po prostoru riše laserske žarke, ki jih uporabnik z rokami prekinja in s tem njihovo svetlobo razprši po prostoru. To svetlobo je potrebno zaznati in obdelati v informacijo, ki jo pošljemo na napravo za sintezo zvoka.

Kljub temu, da laserske harfe obstajajo že nekaj časa, je še vedno zelo eksotičen elektronski glasbeni inštrument in zahteven projekt, saj načrti zanje niso dostopni širši množici. Zaradi tega sva se odločila, da jo realizirava za Tekmovanje v načrtovanju mikrokrmilniških sistemov 2010.

Najina harfa je morala biti razvita s čim manjšimi stroški. Glavni strošek pri takem projektu so laser in galvanski motor. Uspelo nama je realizirati harfo z navadnim enosmernim motorjem namesto z galvanskim, s čimer sva prihranila nekaj denarja, le pri laserju sva morala poseči za dragim 200mW laserjem.

Za cilj sva si zadala tudi, da naj bo najina harfa sposobna razbrati višino prekinitve žarka in glede na to informacijo spreminjati ton, lastnost, ki je nisva zasledila pri nobeni obstoječi harfi.

Ker sva pri projektu začela le iz YouTube posnetkov igranja na harfo, sva si morala zamisliti koncept delovanja harfe od začetka, kar je bil glavni izziv tega projekta.

2 Specifikacije naprave

- Nastavljanje poljubnega števila žarkov, njihove širine in razmaka med njimi.
- Detekcija višine prekinitve, kar nam omogoča večnivojski način igranja
- Možnost preproste kalibracije naprave v prostoru s čimer se prilagodimo višini uporabnika in konfiguraciji ter osvetljenosti prostora.
- Glasbo naj ustvarja zunanja naprava, s katero komuniciramo po MIDI protokolu.
- Preprosto preklapljanje med različnimi glasbili oziroma oktavami tekom samega igranja na inštrument.
- Pošiljanje podatkov o "višini" posameznega žarka na računalnik in grafični prikaz le te.
- Ohišje naj bo izdelano tako, da se navzočim kar se da preprosto predstaviti princip delovanja naprave.

3 Časovni in finančni plan

3.1 Časovni plan

Ocenjeni časovni plan je zasnovan upoštevajoč, da izdelek izdelujeta dve osebi.

Zasnova sistema: 5 h

Zasnova posameznih gradnikov sistema: 20 h

Risanje shem in tiskarin: 15 h

Izdelava tiskarin in sestavljanje: 15 h

Test tiskarin: 5 h

Pisanje programa: 30 h

Ohišje: 5 h

Popravljanje napak (programskih in načrtovalskih): 10h

Priprava dokumentacije: 10 h

Skupaj: 115 h

3.2 Finančni plan

Vsebuje ocenjeno vrednost komponent na posamezni tiskanini in ostali pripadajoči material za izdelavo celotne naprave.

Laser: 30 €

Motor: 0 €

Izdelava stekla: 0 €

Izdelava ohišja: 10 €

Material za izdelavo PCB: 15 €

Kabli in konektorji: 5 €

Material za posamezne tiskanine:

Detektor odboja: 5 €

Glavna plošča: 15 €

Pedala: 8 €

MIDI/USB : 7 €

Pretvornik logičnih nivojev: 3 €

4 Zasnova naprave

4.1 Bločna shema

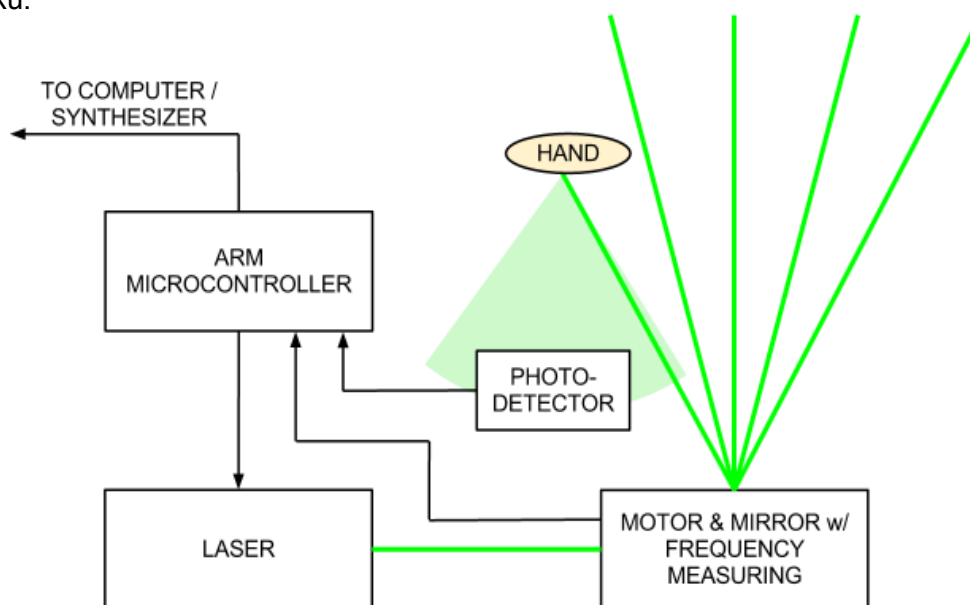
Na enosmerni motor je pritrjeno ogledalo, s pomočjo katerega delimo laserski žarek in je edina enota sistema, ki je neodvisna od krmiljenja ki ga opravlja mikrokontroler. Laserski žarek usmerimo v ogledalo in počakamo, da odbiti žarek vpade na fotodiodo. Če spremljamo odziv na fotodiodi več obratov ogledala, lahko izračunamo hitrost vrtenja motorja. S pomočjo tega podatka izračunamo čas, ko moramo laserski žarek vklopiti in izklopiti da dobimo želeno število žarkov, ustrezno debelino in razmak med njimi.

Odbita svetloba, bodisi od stropa ali od roke se razprši in vpade na fotodetektor, ki je usmerjen navzgor. Ko se laserski žarek nemoteno odbija od stropa, lahko izmerimo bazno raven osvetljenosti senzorja. Takoj, ko žarek prekinemo z roko, se poveča količina vpadne svetlobe na senzor in s tem njegov odziv. Iz te informacije lahko ugotovimo, da je bil laser prekinjen in kje približno se je prekinitev zgodila.

Ugotavljanje, kateri žarek je bil prekinjen enostavno sledi iz osnovne zasnove risanja žarkov - vedno je prižgan samo en laserski žarek. Če spremljamo odziv na senzorju takoj, ko žarek prižgemo, je vsa svetloba, ki je višja od osnovnega nivoja, posledica tega laserskega žarka.

Ko ugotovimo kateri žarek je bil prekinjen in višino prekinitev, lahko to informacijo pošljemo dalje v napravo, ki sintetizira zvok. Ta komunikacija je izvedena po MIDI protokolu, tako da je možno harfo brez dodatnih zapletov priključiti na večino sintesajzerjev. Za povezavo z računalnikom je potrebno uporabiti MIDI/USB prilagodilnik.

Vzporedno z MIDI komunikacijo lahko harfo preko USB na računalnik pošilja tudi informacijo o izmerjeni vpadni svetlobi za vsak laser, kar je možno spremljati s programsko opremo na računalniku.



Slika 1: Bločna shema sistema

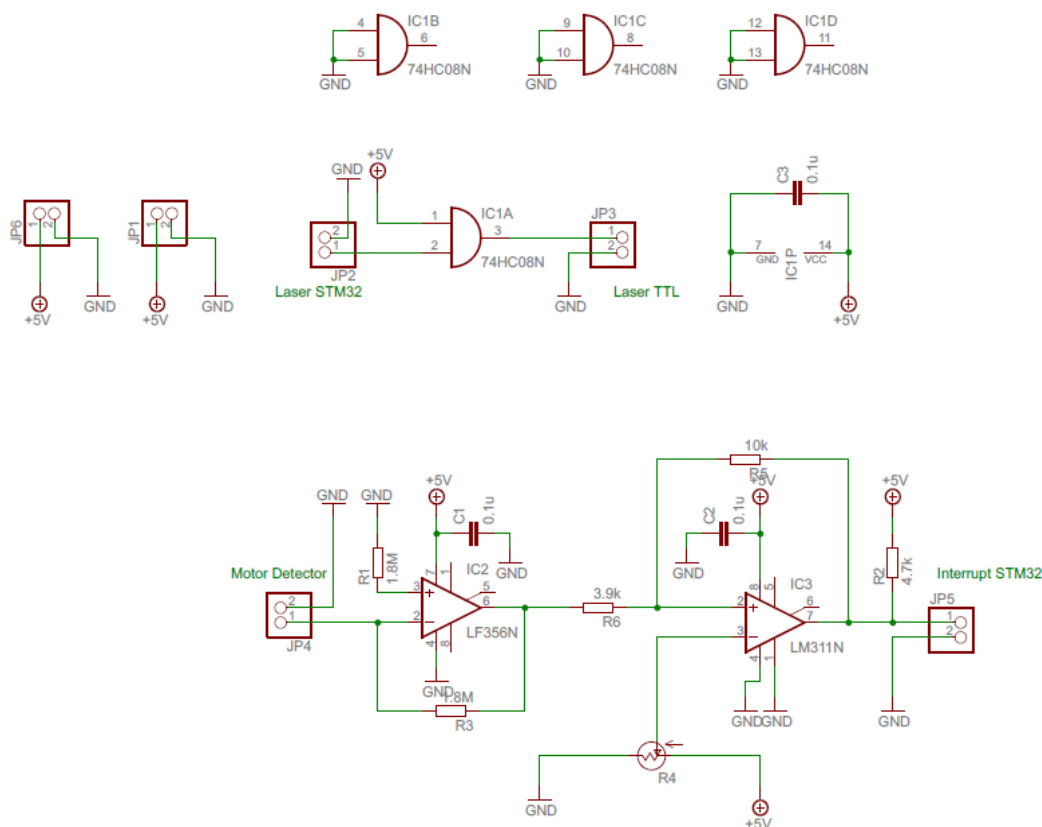
Harfi je dodana še pedalka, s katero uporabnik določa oktavo, v kateri želi igrati. Ta je prikazana na 7 segmentnih prikazovalnikih, ki se nahajajo na pedalki. Z dodatnimi stikali na harfi lahko uporabnik izbira tudi med več načini igranja - ena oktava brez zvišanih/znižanih tonov, dve oktavi brez zvišanih/znižanih tonov, in ena oktava z zvišanimi/znižanimi toni.

4.2 Vezja

4.2.1 Prilagodilno vezje za referenčno diodo in krmiljenje laserja

Fotodioda S7686 (Hamamatsu) je montirana na ohišje harfe in priključena v vezje na vhodu *Motor Detector*. Ko nanjo posveti laser, povzroči v fotodiodi tok v zaporni smeri, ki ga z operacijskim ojačevalnikom IC2 (LF356) spremenimo v napetost. Ta signal želimo uporabiti kot zunanji interrupt v mikrokontrolerju. Zato moramo signal dodatno obdelati (mu določiti izrazitejšo prednjo fronto). V ta namen uporabimo komparator LM311, kateremu z uporabo R5 in R6 dodamo histerezo, da izhod vezja takrat, ko je vhodna napetost enaka referenčni na potenciometru R4, izhod ne utripa. Tako dobimo na izhodu *Interrupt STM32* napetostne impulze z očitno prednjo fronto, ki si sledijo s frekvenco vrtenja motorja. Ta signal v programu uporabimo za izračun hitrosti vrtenja in pozicije motorja.

Z mikrokontrolerjem je potrebno ob pravih trenutkih prižigati in ugašati laserski žarek, da dobimo efekt več ločenih žarkov, ki stojijo na miru. Laser, ki sva ga izbrala ima možnost TTL modulacije, tako da je ta naloga razmeroma preprosta. Potrebna je le prilagoditev logičnih nivojev iz 3.3V na izhodu mikrokontrolerja na 5V, ki jih potrebuje laser. To izvajamo s pomočjo logičnih IN vrat v čipu 7408.



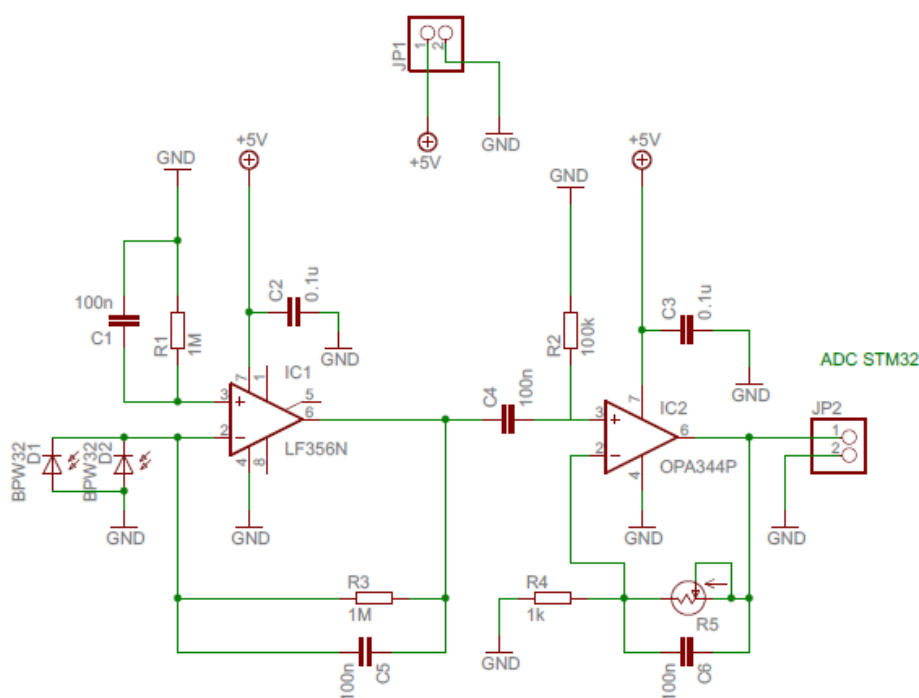
Slika 2: Prilagodilno vezje za referenčno diodo in krmiljenje laserja

4.2.2 Detektor odboja

Svetlobo, ki se odbija nazaj v harfo zaznavamo z dvema fotodiodama S7686 (na shemi je označena kot BPW32). Prvi del vezja je enak prejšnjemu, tok fotodiod spet spremenimo v napetost, uporoma R1 in R3 sta dodana le kondenzatorja, s katerimi v vezju zmanjšujemo šum (pri visokih frekvencah impedanci Z1 in Z3 upadeta).

Temu vezju sledi visokoprepustni filter, s katerim izločimo iz vezja enosmerno komponento, ki nosi le informacijo o naravni osvetlitvi prostora in je ne potrebujemo.

Signal na koncu še ojačimo z ojačevalnikom, sestavljenim okoli operacijskega ojačevalnika OPA344. Ta ima zaradi spremenljivim uporom R5 nastavljivo ojačenje, kar je bilo uporabno med testiranjem sistema. Namen ojačevalnika je ojačiti signal na vhodno območje AD pretvornika, s čimer dosežemo večjo natančnost meritve.



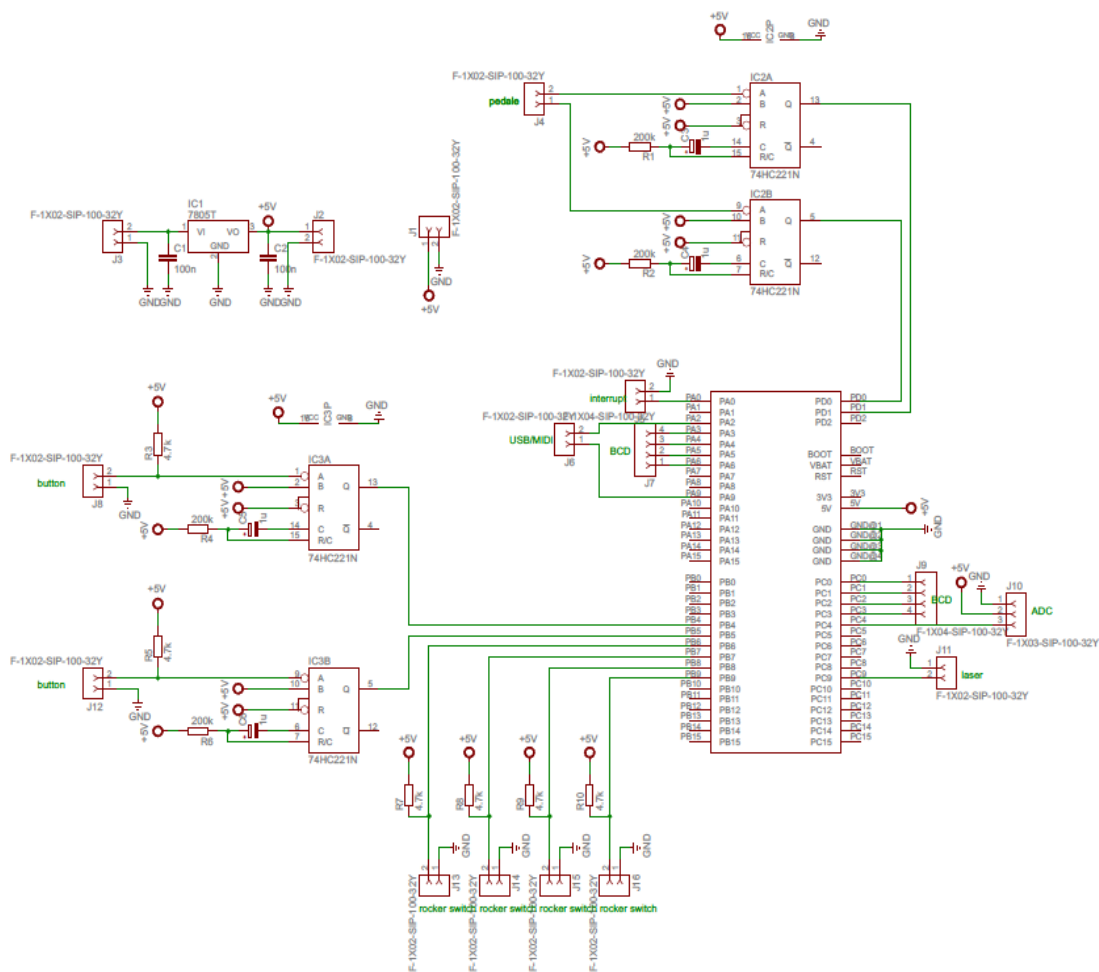
Slika 3: Detektor odboja

4.2.3 Glavna plošča

Na glavni plošči se nahaja razvojna plošča *STM32VLDISCOVERY* z mikrokontrolerjem *STM32F100RB* in vhodi ter izhodi do ostalih vezij.

Z monostabilnimi multivibratorji *74HC221* je narejeno debounce vezje za tipke in pedalko. Ti ob prednji fronti na izhodu generirajo na izhodu logično enico, ki traja točno določen čas, izbran z uporom in kondenzatorjem.

V vezju se nahaja tudi napetostni regulator *7805*, ki na izhodu daje napetost 5V za napajanje vezja.

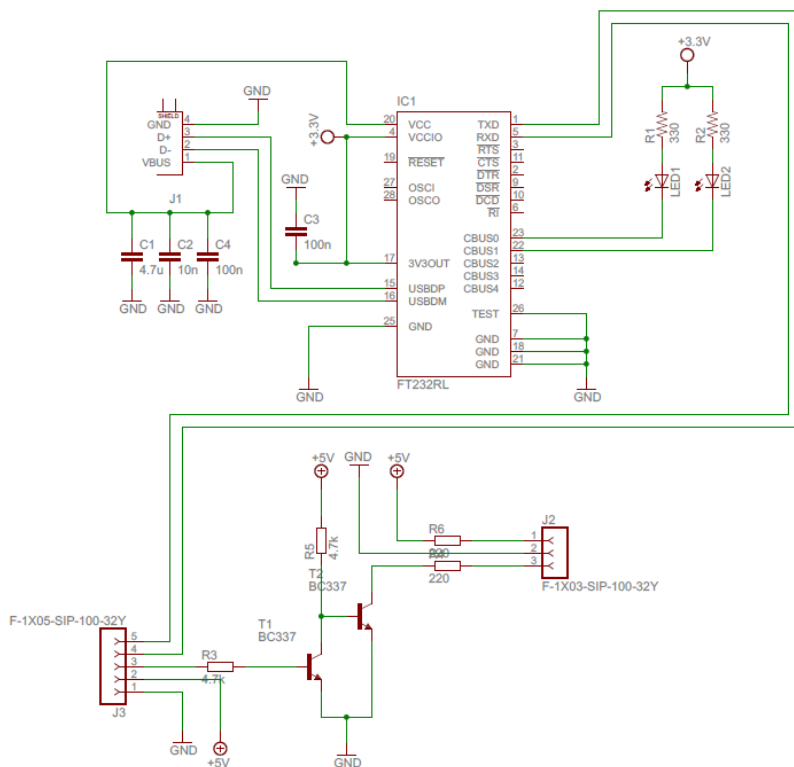


Slika 4: Glavna plošča

4.2.5 Komunikacija z računalnikom in glasbilo

Za komunikacijo z računalnikom je uporabljen USB v UART pretvornik *FT232R* z dodanima LED diodama, ki svetita ob aktivni komunikaciji.

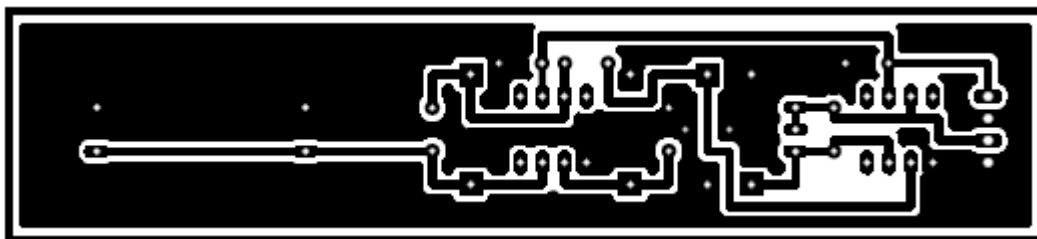
Pri MIDI komunikaciji s pomočjo *BC337* tranzistorjev izvedemo preprosto tokovno zanko.



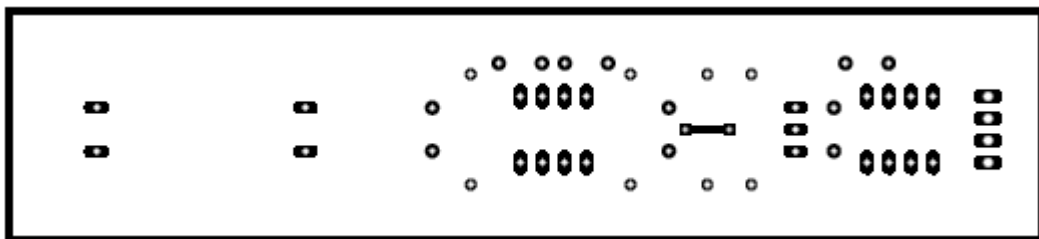
Slika 6: Vezje za komunikacijo z računalnikom in glasbilo

4.3 Tiskanine

4.3.1 Detektor odboja

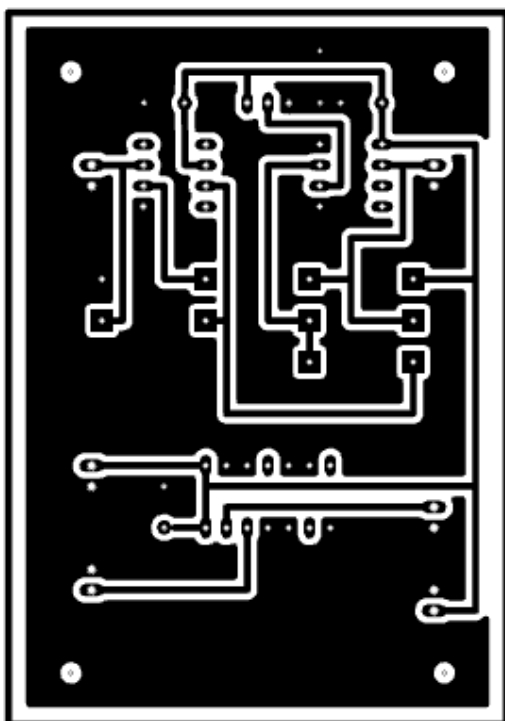


Slika 7: Detektor odboja, spodnja plast

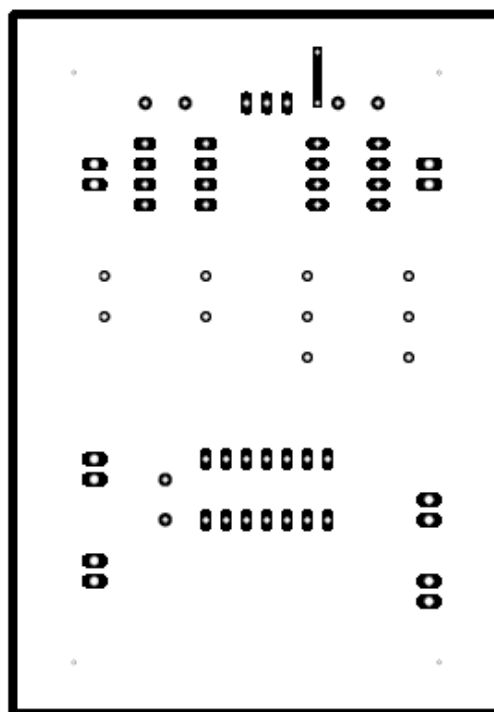


Slika 8: Detektor odboja, zgornja plast

4.3.2 Prilagodilno vezje za referenčno diodo in krmiljenje laserja

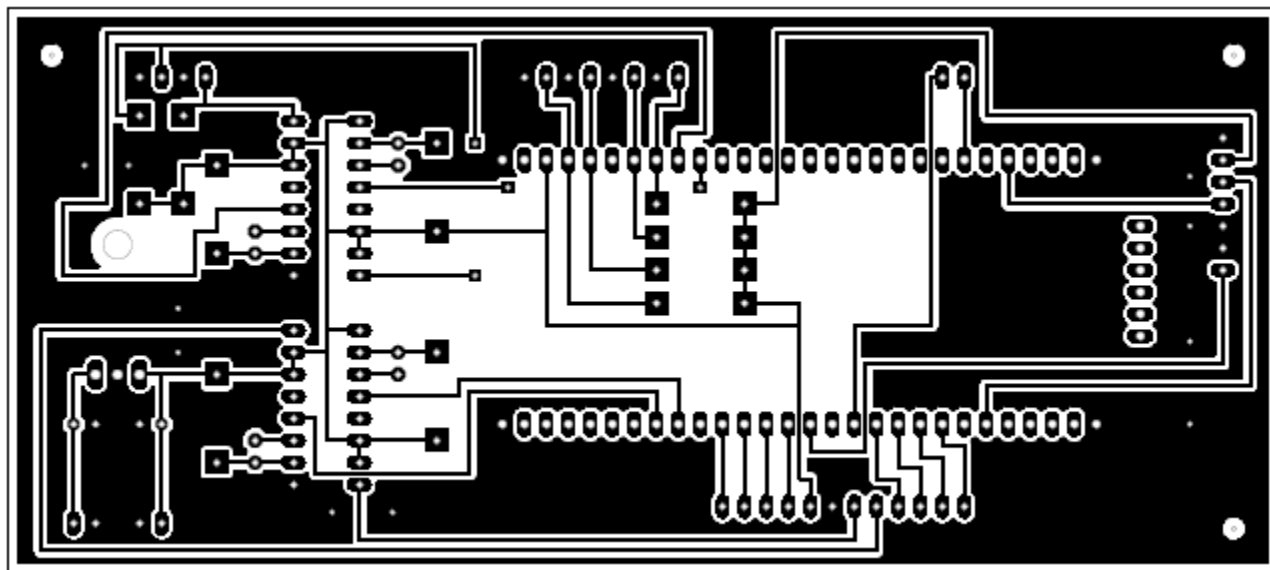


Slika 9: Prilagodilno vezje za referenčno diodo in krmiljenje laserja, spodnja plast

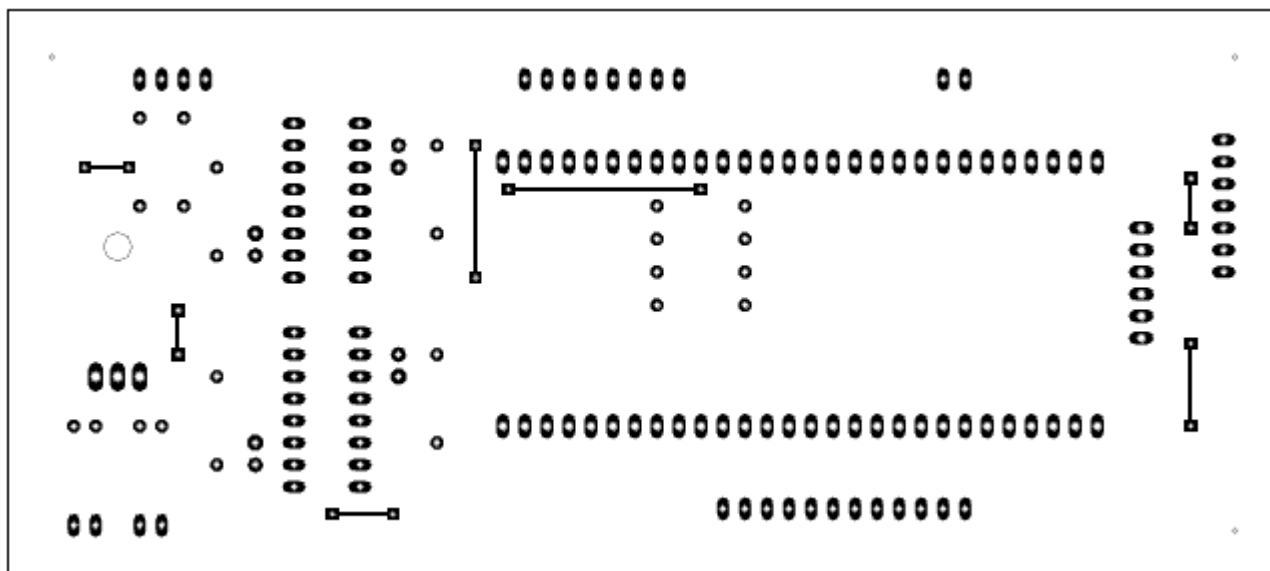


Slika 10: Prilagodilno vezje za referenčno diodo in krmiljenje laserja, zgornja plast

4.3.3 Glavna plošča

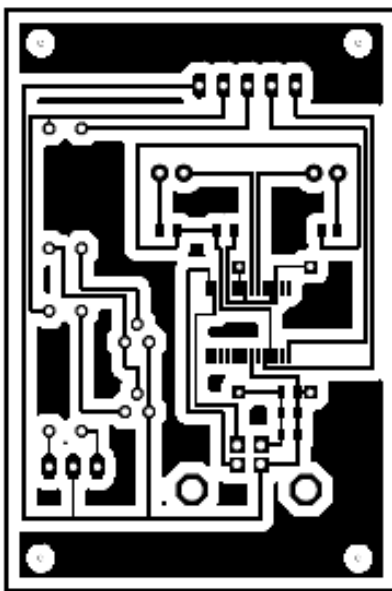


Slika 11: Glavna plošča, spodnja plast

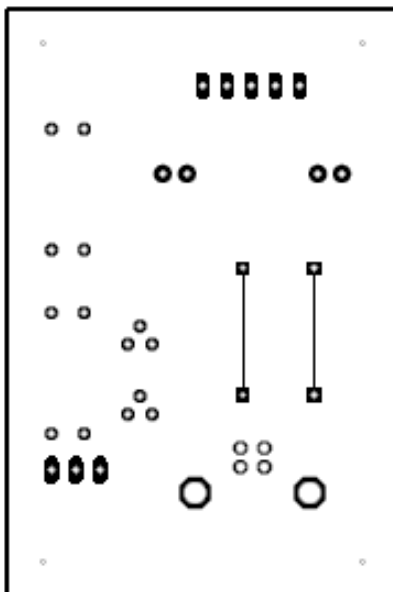


Slika 12: Glavna plošča, zgornja plast

4.3.4 Komunikacija z računalnikom in glasbilom

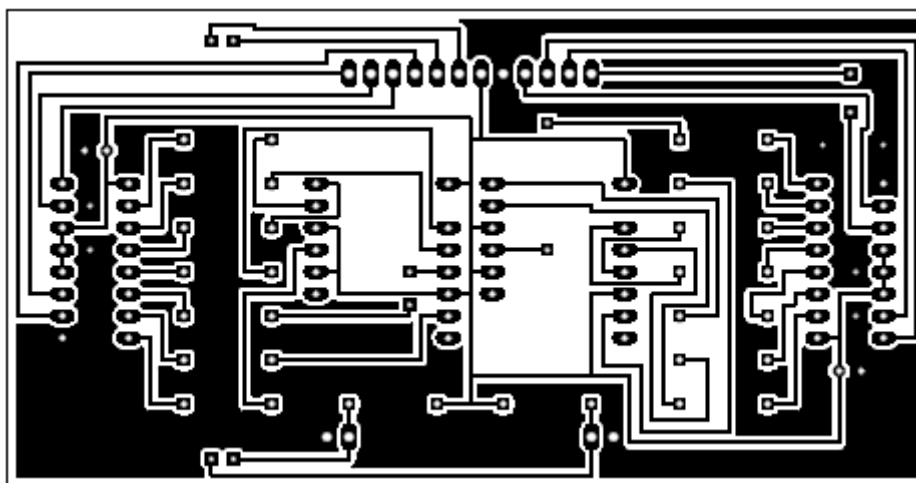


Slika 13: Komunikacija z računalnikom in glasbilom, spodnja plast

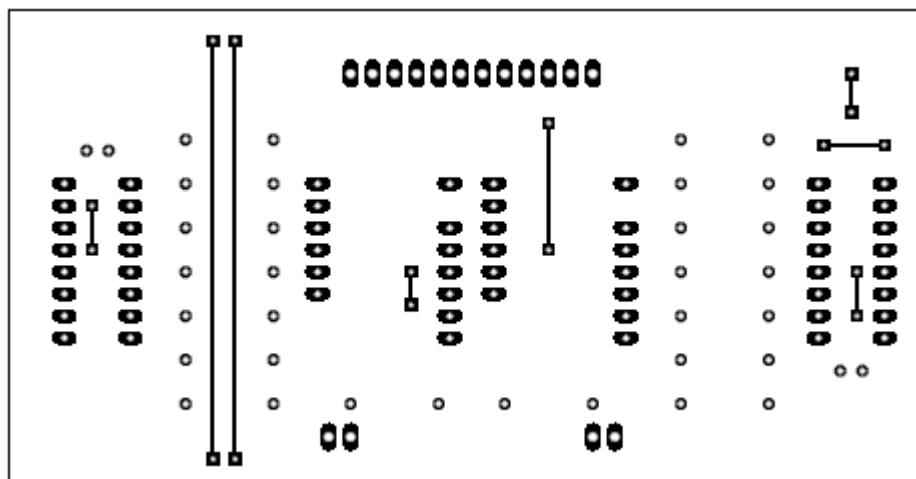


Slika 14: Komunikacija z računalnikom in glasbilom, zgornja plast

4.3.5 Pedalka



Slika 15: Pedalka, spodnja plast

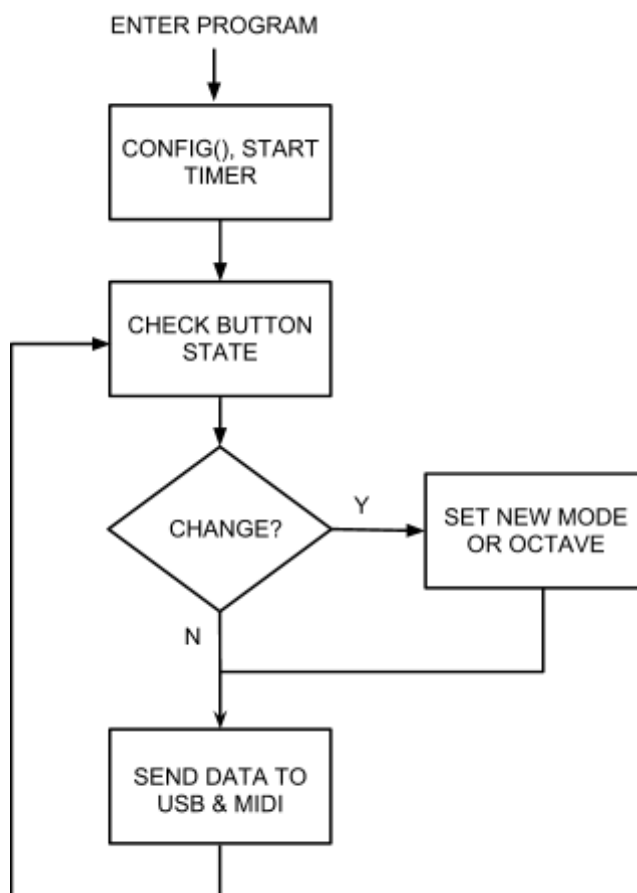


Slika 16: Pedalka, zgornja plast

4.4 Program

4.4.1 Glavni program

V glavnem programu na začetku izvedemo inicializacijo in zaženemo števec. Program nato teče v zanki, v kateri spremlja stanje tipk in stikal in glede na njih spreminja način igranja, število žarkov ali oktavo. V zanki program tudi pošilja po UART protokolu preko UART v USB pretvornika na računalnik meritev odboja za vsak žarek in, če je kateri od žarkov prekinjen, po MIDI protokolu kateri ton je potrebno zaigrati.

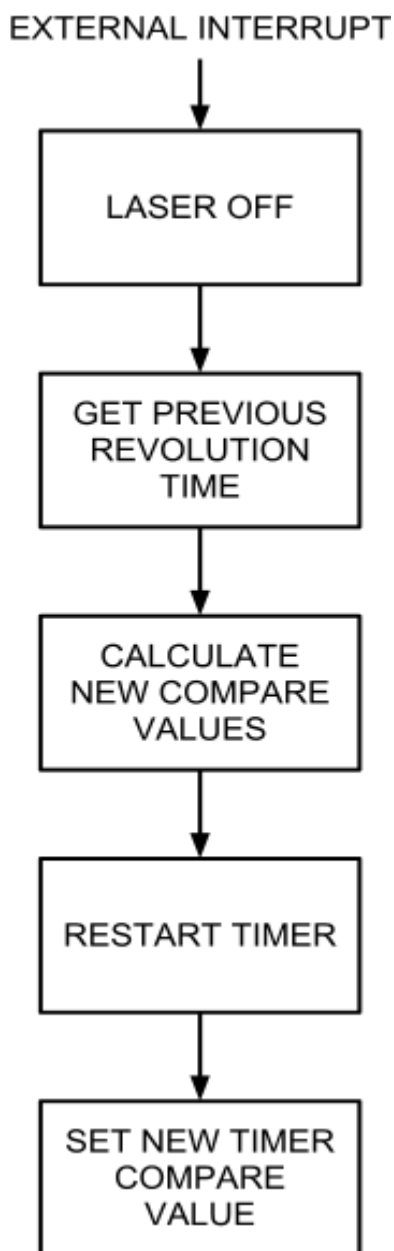


Slika 17: Glavna zanka programa

4.4.2 Zunanja prekinitve

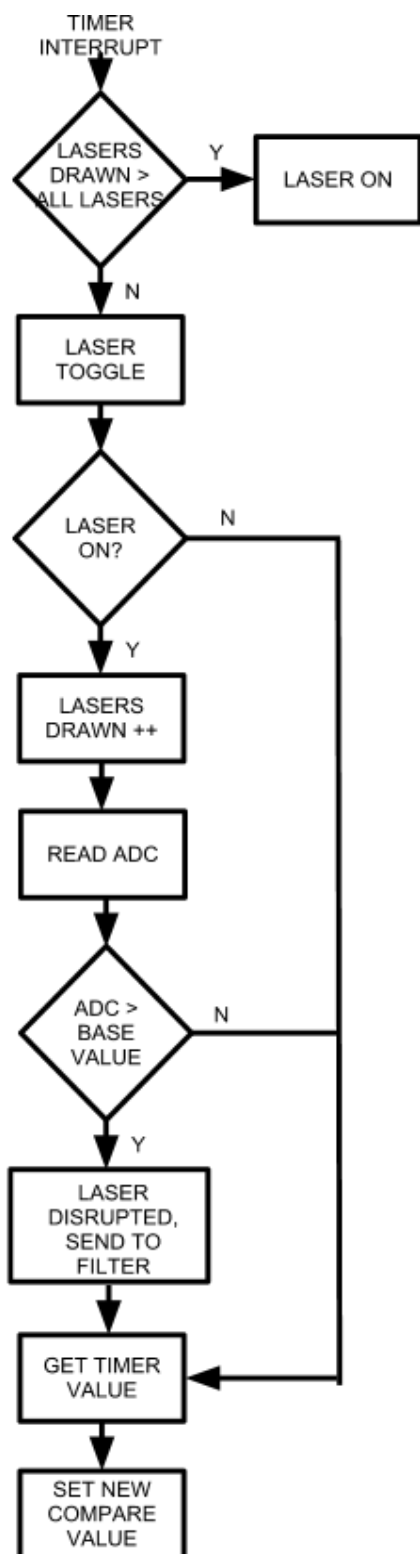
Ob zunanji prekinitvi, ki pride iz referenčne diode, nameščene na ohišju, program ugasne laser in preveri stanje števca ter izračuna čas od prejšnje zunanje prekinitve, to je čas, ki ga je motor potreboval za en obrat. Program nato predvideva, da bo hitrost motorja tudi v naslednjem obratu enaka in iz tega podatka in dejstva, da je laser v trenutku prekinitve v točno znani poziciji izračuna čase, ko mora vklopiti in izklopiti laser, da bodo narisani laserski žarki v točno določenih pozicijah in točno določenih debelin. Tako je program neobčutljiv na spreminjanje hitrosti motorja (dokler so te spremembe relativno počasne).

Izračunane čase za naslednji obrat vnese v tabelo in prvega uporabi za novo compare vrednost števca. To je vrednost, do katere bo števec štel in nato sprožil prekinitve.



Slika 18: Program ob zunanji prekinitvi

4.4.3 Prekinitev števca



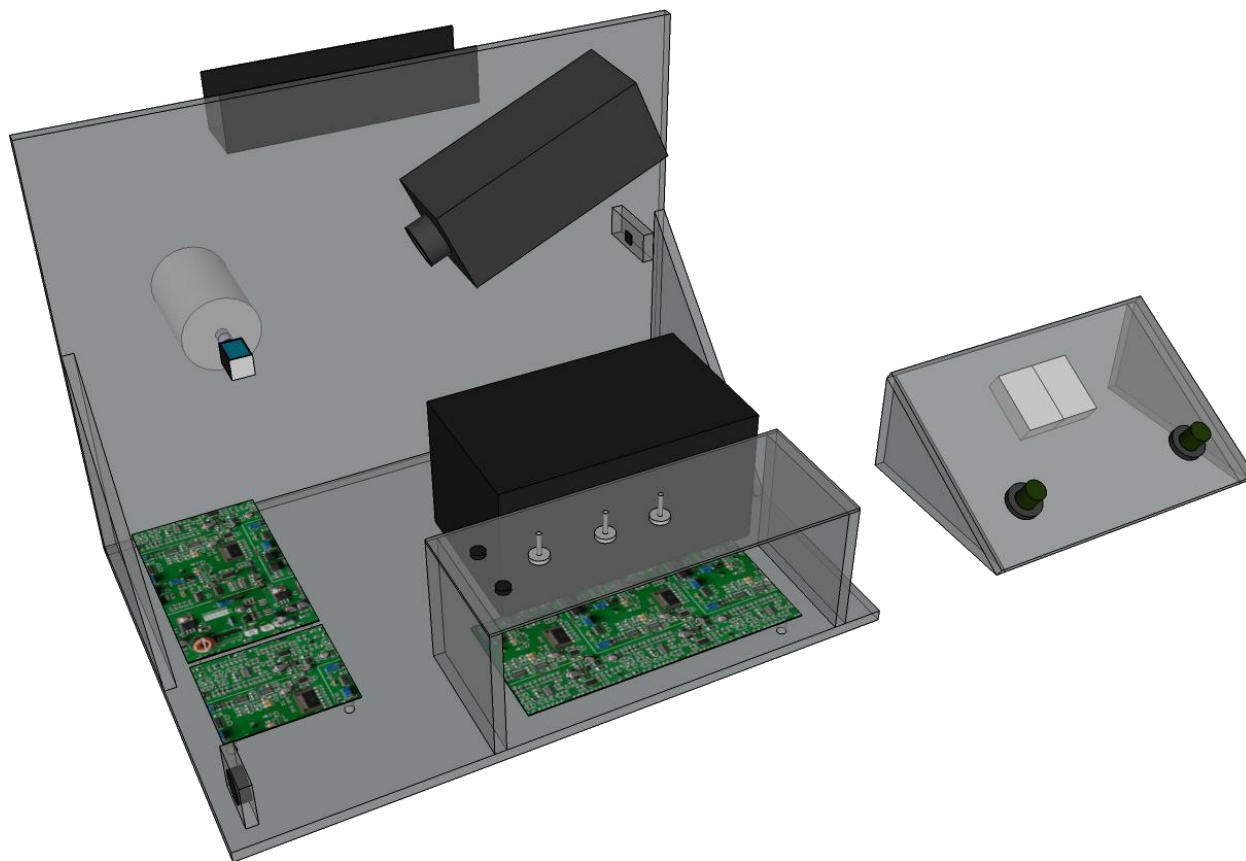
Slika 19: Program ob prekinitvi števca

Ko števec prešteje do vrednosti, shranjene kot compare vrednost, sproži prekinitev. Vemo, da je takrat potrebno laser prižgati ali ugasniti. Če je bil laser prižgan tolikokrat, kolikor žarkov hočemo narisati, laser prižgemo in končamo. Če še nismo narisali vseh žarkov, je potrebno spremeniti stanje laserja (prižgati ali ugasniti). Če smo laser prižgali, si to zapomnimo in začnemo ADC pretvorbo signala iz sprejemnih fotodiod. Če je odbita svetloba dvakrat večja od bazičnega nivoja, ki ga izmerimo, ko harfo po vklopu kalibriramo, pošljemo odčitek na digitalni filter. Ta izračuna povprečje odčitkov, nato pa še povprečje odboja na istem žarku za zadnje štiri obrate (za dodatno zmanjšanje motenj). Tako je odzivni čas harfe pri motorju, ki se vrti s 50Hz enak 80ms, kar omogoča nemoteno igranje.

Program gre nato naprej po tabeli izračunanih časov in nastavi novo compare vrednost. Ta prekinitev se torej na en obrat izvede $2 \times \text{število žarkov} + 1$ (vsakega mora prižgati in ugasniti, po zadnjem žarku je laser ugasnjen nek prednastavljen mrtvi čas, potem ga mora spet prižgati, da lahko ta sproži novo zunanjo prekinitev).

4.5 Shema ohišja

Ker je harfa med drugim namenjena predstavitvam študentom in dijakom, je bilo potrebno ohišje zasnovati tako, da je razlaga delovanja harfe čim lažja. Zato so vse komponente montirane na odprto ohišje iz prozornega pleksi stekla.



Slika 20: Shema ohišja

5 Kosovnica

5.1.1 Prilagodilno vezje za referenčno diodo in krmiljenje laserja

part	value	device	package	price+tax@pcs	price+tax	manufacturer	supplier
C1	0.1u	CAPPTH1	CAP-PTH-5MM	0,0396	0,0396		Farnell
C2	0.1u	CAPPTH1	CAP-PTH-5MM	0,0396	0,0396		Farnell
C3	0.1u	CAPPTH1	CAP-PTH-5MM	0,0396	0,0396		Farnell
IC1	74HC08N	74HC08N	DIL14	0,14	0,14		JUST
IC2	LF356N	LF356N	DIL08	1,22	1,22		Farnell
IC3	LM311N	LM311N	DIL08	0,2	0,2		JUST
JP1		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
JP2		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
JP3		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
JP4		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
JP5		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
JP6		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
R1	1.8M	R- EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R2	4.7k	R- EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R3	1.8M	R- EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R4	5k	POTTRS64W	S64W	0,66	0,66		JUST
R5	10k	R- EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R6	3.9k	R- EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST

Skupaj: 2,54€

Cena tiskanine (5 kosov): 22,00€

5.1.2 Detektor odboja

part	value	device	package	price+tax@pcs	price+tax	manufacturer	supplier
C1	100n	CAPPTH1	CAP-PTH-5MM	0,0396	0,0396		Farnell
C2	0.1u	CAPPTH1	CAP-PTH-5MM	0,0396	0,0396		Farnell
C3	0.1u	CAPPTH1	CAP-PTH-5MM	0,0396	0,0396		Farnell
C4	100n	CAPPTH1	CAP-PTH-5MM	0,0396	0,0396		Farnell
C5	100n	CAPPTH1	CAP-PTH-5MM	0,0396	0,0396		Farnell
C6	50k	CAPPTH1	CAP-PTH-5MM	0,0396	0,0396		Farnell
D1		S7686				Hamamatsu	SAMPLE
D2		S7686				Hamamatsu	SAMPLE
IC1	LF356N	LF356N	DIL08	1,22	1,22		Farnell
IC2	OPA344P	OPA344P	DIL08	1,57	1,57		Farnell
JP1		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
JP2		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
R1	1M	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R2	100k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R3	1M	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R4	1k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R5	50k	POTTRS64W	S64W	0,66	0,66		JUST

Skupaj: 3,78€

Cena tiskanine (5 kosov): 16,00€

5.1.3 Glavna plošča

part	value	device	package	price+tax@pcs	price+tax	manufacturer	supplier
C1	100n	C-EU025-025X050	C025-025X050	0,0396	0,0396		Farnell
C2	100n	C-EU025-025X050	C025-025X050	0,0396	0,0396		Farnell
C3	1u	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5	0,05	0,05		JUST
C4	1u	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5	0,05	0,05		JUST
C5	1u	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5	0,05	0,05		JUST
C6	1u	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5	0,05	0,05		JUST
IC1		7805T	TO220H	0,38	0,38		JUST
IC2		74HC221N	DIL16	0,6	0,6		Farnell
IC3		74HC221N	DIL16	0,6	0,6		Farnell
J1		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J2		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J3		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J4		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J5		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J6		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J7		connector	2+2 pin	0,052	0,052		JUST
J8		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J9		connector	2+2 pin	0,052	0,052		JUST
J10		connector	3 pin	0,052	0,052		JUST
J11		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J12		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J13		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J14		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J15		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
J16		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
R1	200k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R2	200k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R3	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R4	200k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R5	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R6	200k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R7	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R8	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R9	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R10	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
U\$1		STM32_DISCOVERY		14,13	14,13	STM	Farnell

Skupaj: 16,58€

Cena tiskanine (5 kosov): 44,00€

5.1.4 Pedalka

part	value	device	package	price+tax@pcs	price+tax	manufacturer	supplier
C1	100n	C-EU025-040X050	C025-040X050	0,0396	0,0396		Farnell
C2	100n	C-EU025-040X050	C025-040X050	0,0396	0,0396		Farnell
IC1		74LS47N	DIL16	1,476	1,476		Farnell
IC2		74LS47N	DIL16	1,476	1,476		Farnell
JP1		connector	2+2 pin	0,052	0,052		JUST
JP2		connector	2+2 pin	0,052	0,052		JUST
JP3		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
JP4		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
JP5		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
JP6		connector	2 pin	0,026	0,026		JUST
R1	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R2	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R3	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R4	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R5	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R6	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R7	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R8	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R9	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R10	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R11	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R12	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R13	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R14	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R15	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R16	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
U\$1		HDSP-C8G1	HDSP-Q	0,66	0,66	AVAGO	Farnell
U\$2		HDSP-C8G1	HDSP-Q	0,66	0,66	AVAGO	Farnell

Skupaj: 4,72€

Cena tiskanine (5 kosov): 23,00€

5.1.5 Komunikacija z računalnikom in glasbilom

part	value	device	package	price+tax@pcs	price+tax	manufacturer	supplier
C1	4.7u	CAP0805	0805	0,0156@100	1,56		Farnell
C2	10n	CAP0805	0805	0,0108@100	1,08		Farnell
C3	100n	CAP0805	0805	0,0108@100	1,08		Farnell
C4	100n	CAP0805	0805				Farnell
IC1		FT232RL	SSOP28	5,892	5,892	FTDI	Farnell
J1		USB-B	PN61729	0,672	0,672	LUMBERG	Farnell
J2		connector	3 pin	0,0528	0,0528		Farnell
J3*		connector	2+3 pin	0,08	0,08		Farnell
LED1		LED5MM	LED5MM	0,108	0,108	KINGBRIGHT	Farnell
LED2		LED5MM	LED5MM	0,108	0,108	KINGBRIGHT	Farnell
R1	330	RESISTOR	0805	0,01	0,01		Farnell
R2	330	RESISTOR	0805	0,01	0,01		Farnell
R3	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R4	220	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R5	4.7k	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
R6	220	R-EU_0207/12	0207/12	0,01	0,01		JUST
T1		BC337	TO92	0,055	0,055		JUST
T2		BC337	TO92	0,055	0,055		JUST

Skupaj: 10,80€

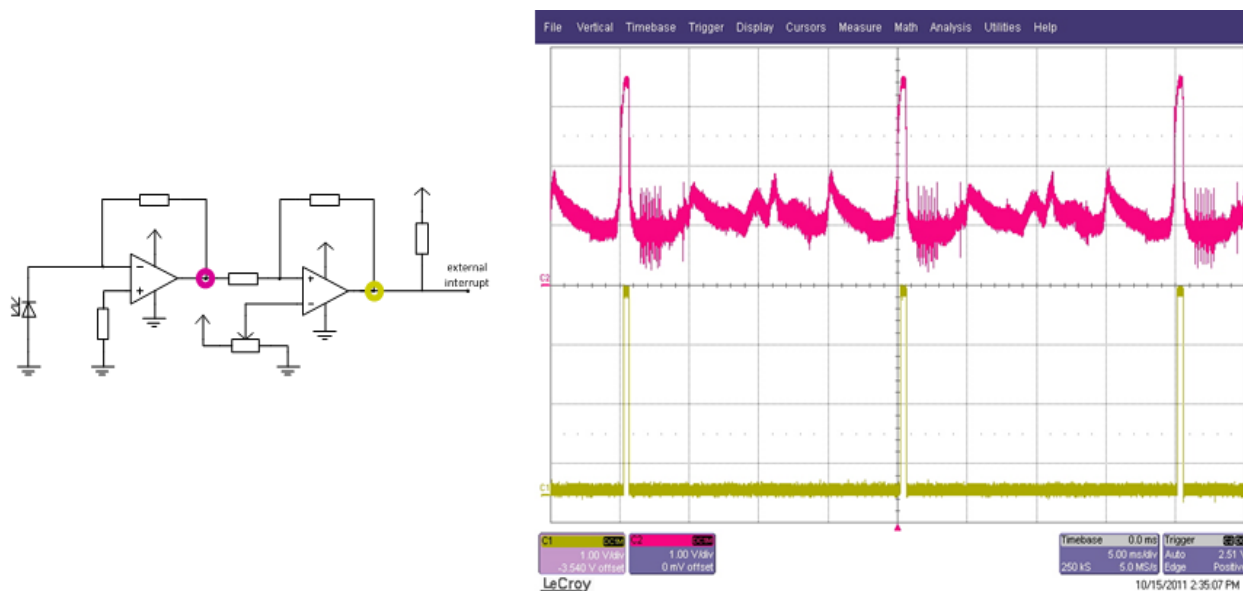
Cena tiskanine (5 kosov): 11,00€

6 Merilni rezultati, postopki testiranja in kalibracije

6.1 Meritve signalov v posameznih vozliščih vezja

6.1.1 Risanje žarkov

Slika 21 prikazuje signale v vezju, ki meri svetlobo na referenčni diodi in na procesor pošlje prekinitev, ko žarek nanjo vpade. Zgornji signal je napetost, ki je sorazmerna toku skozi diodo. Spodaj je signal po komparatorju s histerezo. Vidimo, da je ta direktno uporaben za zunanjo prekinitvev.



Slika 21: Signali v vezju referenčne diode

Slike 25 do 28 prikazujejo izhod iz ojačevalnik (in vhod v AD pretvornik) pri različnih višinah prekinitve 6. žarka. Vidimo, da se da iz višine signala hitro sklepati o približni višini prekinitve.



Slika 25: Odboji, ni prekinitve



Slika 27: Odboji, višina prekinitve 2 m



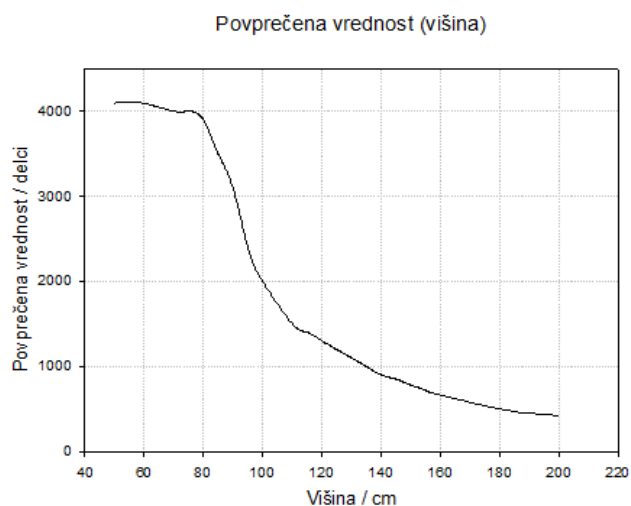
Slika 26: Odboji, višina prekinitve 1,5 m



Slika 28: Odboji, višina prekinitve 1 m

6.2 Meritev višine

Slika 29 prikazuje povprečno vrednost vzorčenega signala odboja, ko je laser prižgan, v odvisnosti od višine prekinitve. Kot pričakovano vzorčena vrednost kvadratno upada z razdaljo prekinitve, pri majhnih razdaljah pa prehaja v nasičenje.



Slika 29: Vrednost vzorčnega signala v delcih v odvisnosti od višine.

7 Tehnične specifikacije

- kalibracija na prostor
- laser: 200mW, 532nm
- dva 7-segmentna prikazovalnika za izpis oktave
- MIDI komunikacija
- USB komunikacija
- napajanje: 220V, 50Hz

8 Navodila za uporabo

Vklop: Harfo je potrebno priključiti na 220V omrežno napetost in vključiti napajanje. Laser se vključi s stikalom na napajalnem modulu laserja. Harfa se zatem prižge in takoj risati laserske žarke.

Kalibracija: Harfo je potrebno pred igranjem kalibrirati. Na glavni plošči pritisnemo gumb za kalibracijo, pri čemer se na 7-segmentnih prikazovalnikih izpiše "cc". Pri tem moramo paziti, da noben od žarkov ni prekinjen, saj si v tem trenutku harfa zapomni bazno vrednost odboja od stropa. Za dokončanje kalibracije z roko prekinemo četrti žarek iz desne in stisnemo desni gumb na pedalki. S tem smo določili mejo med zvišanimi in znižanimi toni pri dvonivojskem načinu igranja. Harfa je s tem kalibrirana in samodejno prične oddajati informacije na USB in MIDI izhode.

Komunikacija z računalnikom: Za komunikacijo z računalnikom je potrebno med harfo in računalnik priključiti USB kabel. Nato na računalniku prižgemo programsko opremo za spremljanje odboja žarkov.

Komunikacija s sintesajzerjem: Za komunikacijo s sintesajzerjem med harfo in vhod, označen z IN, priključimo MIDI kabel. Za sintesajzerje, ki tečejo na računalnikih lahko uporabimo MIDI/USB pretvornik.

Igranje: Po uspešno izvedenih korakih 1-4 je harfa pripravljena na igranje. Harfo igramo s prekinjanjem posameznih laserskih žarkov. Ton je odvisen od prekinjenega žarka in višine prekinitev (le pri dvonivojskem načinu igranja). Za boljši odboj lahko uporabimo tudi belo rokavico.

Menjava oktave: Na pedalki je izpisana oktava, v kateri se trenutno nahajamo. Oktavo spremenimo s pritiskom na gumba, ki se nahajata na pedalki. Levi zniža oktav, desni jo zviša.

Menjava načina igranja: Način igranja spreminjamo s stanjem dveh levih stikal na glavni plošči. Možni načini so sledeči:

Stanje stikal	gor/gor	dol/gor	gor/dol	dol/dol
Način delovanja	8 žarkov, 1 oktava (brez zvišanih/znižanih tonov)	13 žarkov, 1 oktava (z zvišanimi/znižanimi toni)	8 žarkov, 1 oktava (z zvišanimi/znižanimi toni - dvonivojski način igranja)*	16 žarkov, 2 oktavi (brez zvišanih/znižanih tonov)

* Pri dvonivojskem načinu igranja upoštevamo mejo, ki smo jo nastavili med kalibracijo - če žarek prekinemo nižje od meje, harfa zaigra navaden ton, če prekinemo višje zaigra zvišan ton (kjer obstaja).

9 Časovna in finančna rekapitulacija

9.1 Časovna rekapitulacija

Zasnova sistema: 3 h

Zasnova posameznih gradnikov sistema: 40 h

Risanje shem in tiskanin: 10 h

Izdelava tiskanin in sestavljanje: 20 h

Test tiskanin: 10 h

Pisanje programa: 35 h

Ohišje: 10 h

Popravljanje napak (programskih in načrtovalskih): 25 h

Priprava dokumentacije: 15 h + 15 h (dokumentacija za seminar)

Skupaj: 168 h + 15 h

9.2 Finančna rekapitulacija

Laser: 350 €

Motor: 0 €

Izdelava stekla: 3 €

Izdelava ohišja: 5 €

Material za izdelavo PCB: 10 €

Kabli in konektorji: 6 €

Material za posamezne tiskanine:

Detektor odboja: 3,78 €

Glavna plošča: 16,58 €

Pedala: 4,72 €

MIDI/USB : 10,80 €

Pretvornik logičnih nivojev: 2,54 €

V primerjavi s finančnim planom je opazno odstopanje predvsem pri ceni laserja, saj je prvotni laser nehal delovati in je bilo potrebno kupiti kvalitetno zamenjavo. Tako je v ceni zajeta cena prvotnega in trenutnega laserja.

Pri oceni, kakor tudi pri finančni rekapitulaciji ni navedena cena izdelave tiskani, saj sva tiskanine izdelava sama, tako da je bilo potrebno plačati le material. V primeru, da bi se tiskanine delale industrijsko, pa je posamezna vrednost (za 5 kosov) navedena pri kosovnici posamezne tiskanine.

10 Reference

1. Zgodovina laserske harfe
http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_harp
(obiskano dne 3.9.2012)
2. Podatkovni list LF356
<https://www.national.com/ds/LF/LF155.pdf>
(obiskano dne 3.9.2012)
3. Podatkovni list 74LS47N
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/51079/FAIRCHILD/DM74LS47N.html>
(obiskano dne 3.9.2012)
4. Podatkovni list LM311
<http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM311.pdf>
(obiskano dne 3.9.2012)
5. Podatkovni list Hamamatsu diode S7686
http://jp.hamamatsu.com/resources/products/ssd/pdf/s7686_kspd1040e02.pdf
(obiskano dne 3.9.2012)
6. Podatkovni list OPA344
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa4344.pdf>
(obiskano dne 3.9.2012)
7. Podatkovni list 74HC08N
http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT08.pdf
(obiskano dne 3.9.2012)
8. Podatkovni list BC337
<http://www.fairchildsemi.com/ds/BC/BC337.pdf>
(obiskano dne 3.9.2012)
9. Podatkovni list FT232R
http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf
(obiskano dne 3.9.2012)
10. Podatkovni list 74HC221N
http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT221_CNV.pdf
(obiskano dne 3.9.2012)
11. Podatkovni list LM7805
<http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf>
(obiskano dne 3.9.2012)
12. Spletna stran uporabljenega laserja
<http://www.ultralasers.com/proinfo.php?productid=7&cat=3&page=1&featured>
(obiskano dne 3.9.2012)
13. Spletna stran STM32VLDISCOVERY
<http://www.st.com/internet/evalboard/product/250863.jsp>
(obiskano dne 3.9.2012)
14. STM32F100RB REFERENCE MANUAL
http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/REFERENCE_MANUAL/CD00246267.pdf
(obiskano dne 3.9.2012)
15. Izdelava tiskanih vezij
<http://www.svet-el.si/proizvodi-in-storitve/tiskana-vezja>
(obiskano dne 3.9.2012)

11 Priložene datoteke

- Načrti vezja in tiskanine (sch in pcb)
- Koda programa
- Izhodne datoteke za izdelavo tiskanine
- Vrtalni načrt
- Prezentacija