

TEHNIČKO VELEUČILIŠTE U ZAGREBU
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ ELEKTROTEHNIKA

Mirko Jokić

**Razvoj jednostavnog digitalno upravljano
sintisajzera temeljenog na mikroupravljaču
Atmega16A**

Projektni Zadatak PPURS

Zagreb, Kolovoz 2025

Sadržaj

Sadržaj

Uvod	3
1.1 Odabir mikroupravljača za projektni zadatak	4
2 Opis hardvera.....	5
2.1 Implementacija predpojačala kroz LM386.....	6
2.2 MCP23008 I2C Port Expander.....	7
2.3 1602 LCD 4-bitni ekran.....	9
2.4 Kućište sintisajzera	10
2.5 Troškovnik	11
3 Programski Kod	12
Zaključak.....	13
Prilog	14
Literatura.....	20

Slike

Slika 1.1 Blok shema projekta	3
Slika 2.1 Kicad shema MCP23008 24 tipke	5
Slika 2.2 Shema predpojačala	6
Slika 2.4 Shema MCP23008 Port Expander.....	7
Slika 2.5 PCB Editor shema 24 tipke.....	8
Slika 2.6 LCD ekran 4-bitno Serijski spojen	9
Slika 2.7 Kućište Sintisajzera.....	10
Slika 3 Flow Chart glavnog programskog koda.....	12

Tablica

Tablica 1 Opis MCP23008 spojeva	8
Tablica 2 Troškovnik	11

Uvod

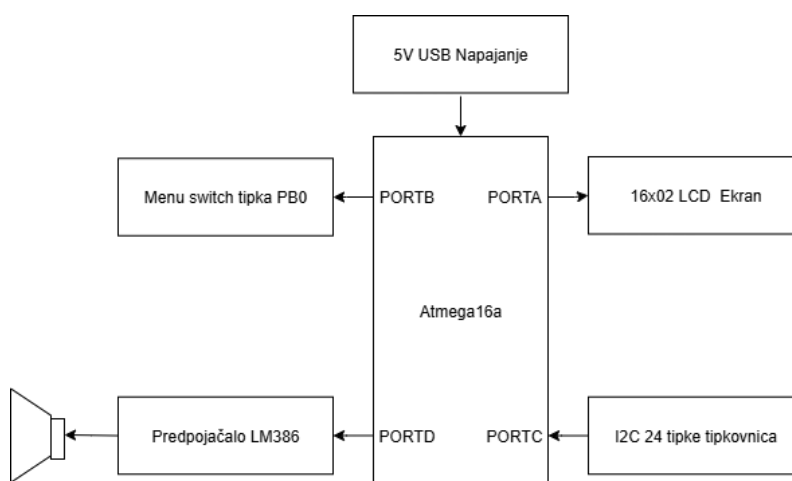
Razvoj mikroupravljača i prateće digitalne elektronike omogućio je da se i složeni sustavi, poput glazbenih instrumenata, mogu realizirati jednostavno i pristupačno.

Zahvaljujući svojoj fleksibilnosti, mogućnosti programiranja i količini opće programirljivih ulazno/izlazno jedinica na mikroupravljaču, omogućili smo jednostavnije projektiranje kopija modernih sintisajzera.

Naponski generiran oscilator i filter sada je lako zamijenjiv sa Digitalnim oscilatorom koji uzorkovanjem šalje signal analognom psintisajzera.

Cilj ovog rada je povezati digitalnu i analognu elektroniku kroz izradu jednostavnog digitalno upravljanog glazbenog sintisajzera. stav se temelji na mikroupravljaču **Atmega16A-U**, koji generira digitalne zapise tonova putem širinsko impulsne modulacije koji frekvencijskim odzivom preuzetim sa poljem koje sadrži tonove od C4 do B3 priprema za daljnu obradu.

Taj se signal dalje pojačava analognim pretpojačalom i dovodi na zvučnik. Ulazni sustav temelji se na tipkama povezanima preko I2C proširivača ulazno-izlaznih portova, čime se postiže jednostavan dizajn i omogućava korištenje većeg broja ulaza nego što ih mikroupravljač sam nudi.



Slika 1.1 Blok shema projekta

1.1 Odabir mikroupravljača za projektni zadatak

Baza samog kontrolera je mikroupravljač Atmel ATMEGA 328-PU. Kontroler ima funkciju Digitalnog naponskog oscilatora koji stvara signal pripremljen za ostatak mreže. Opremljen je serijskom komunikacijom kojom je spušten C programski kod i kojim je naknadno spojen 1602 LCD module. Ostatak mreže napajan je I2C protokolom. Sam mikroupravljač spojen je 220V AC adapterom na 5V DC koji dijeli na ostatak komponenti.

Prema prethodno izrađenom blok dijagramu, izrađena je električna shema kontrolera koja obuhvaća sve elemente potrebne za povezivanje senzora i aktuatora odnosno uređaja.

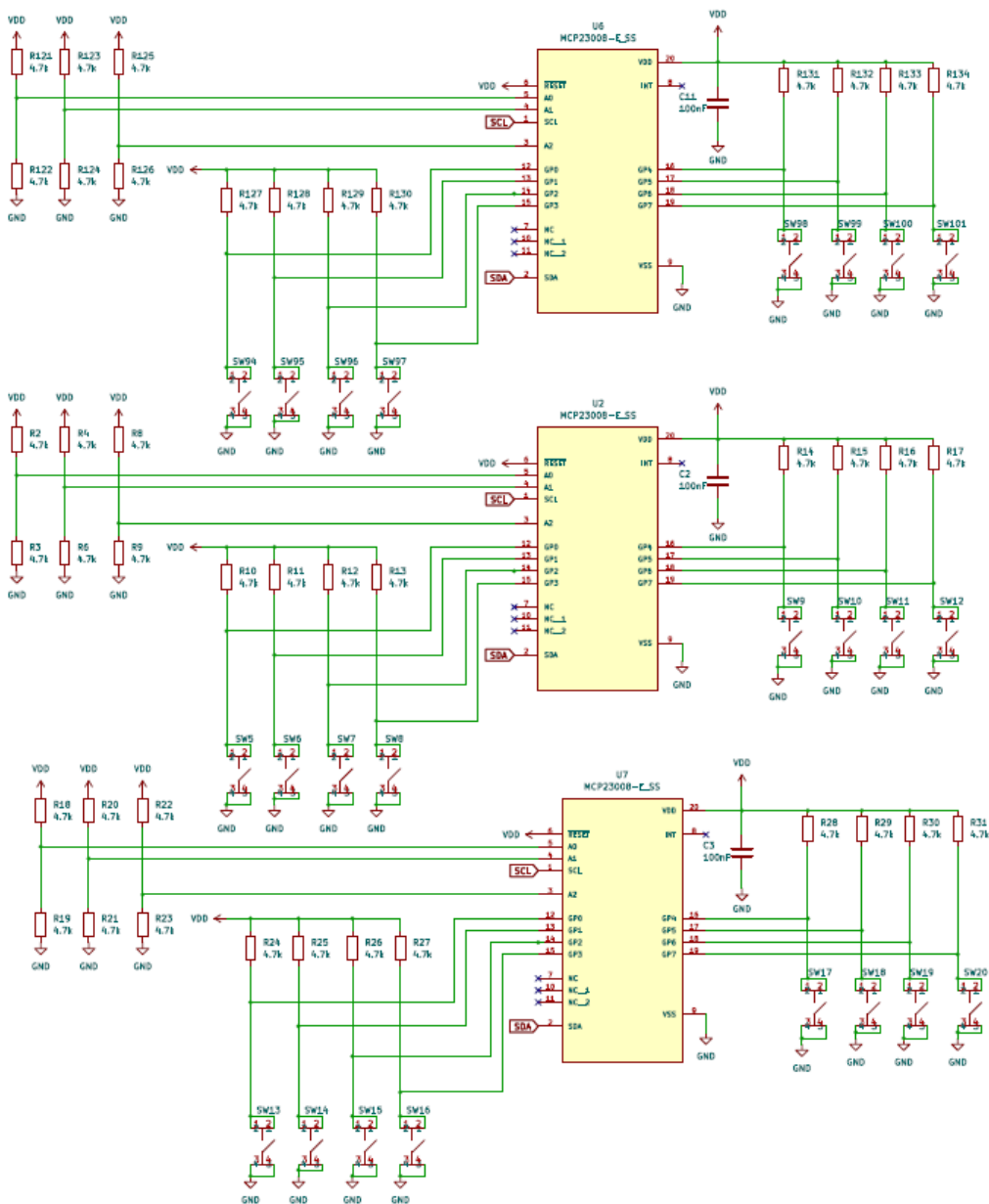
Kod dizajna tiskane pločice elementi se automatski iz sheme, prenose na tiskanu pločicu koji se ručno razmještaju prema potrebama s obzirom na izvedbu kućišta kontrolera. Sami dizajn osim što obuhvaća razmještaj komponenti i vodova, obuhvaća definiranje debljina vodova, razmake između vodova, definiranje Via između slojeva i rupa za montažu.

Tehnička specifikacija mikroupravljača **Atmel ATmega16A-PU**

- Arhitektura: 8-bitni RISC mikroupravljač
- Taktni generator: do 16 MHz (u ovom sustavu: 16 MHz kvarc)
- Radni napon: 2.7 V do 5.5 V (1.8 V – 5.5 V u „low frequency” načinu, do 8 MHz)
- Flash memorija: 16 KB (od čega do 512 B može biti rezervirano za bootloader)
- SRAM: 1 KB
- EEPROM: 512 B
- Ulazno-izlazni pinovi: 32 programabilna I/O pina
- ADC kanali: 8 (10-bitni A/D pretvarač)
- Komunikacija: UART, SPI, I²C (TWI)
- Timeri: dva 8-bitna i jedan 16-bitni timer
- Potrošnja: tipično par mA u aktivnom načinu rada, < 1 μ A u power-down modu
- Paket: PDIP-40 (u ovom projektu)

2 Opis hardvera

Korisničko sučelje sintisajzera realizirano je pomoću 24 tipke na PCB ploči sa SMD komponentama projektirano u Kicad 9.0 programu. Za proširenje dostupnih ulaza spojena su 3 MCP23008 PORT Expander-a, putem I2C protokola. Ovom tehnikom omogućeno je najbrže komercijalno dostupno očitavanje stanja svih tipki 100 KHZ.

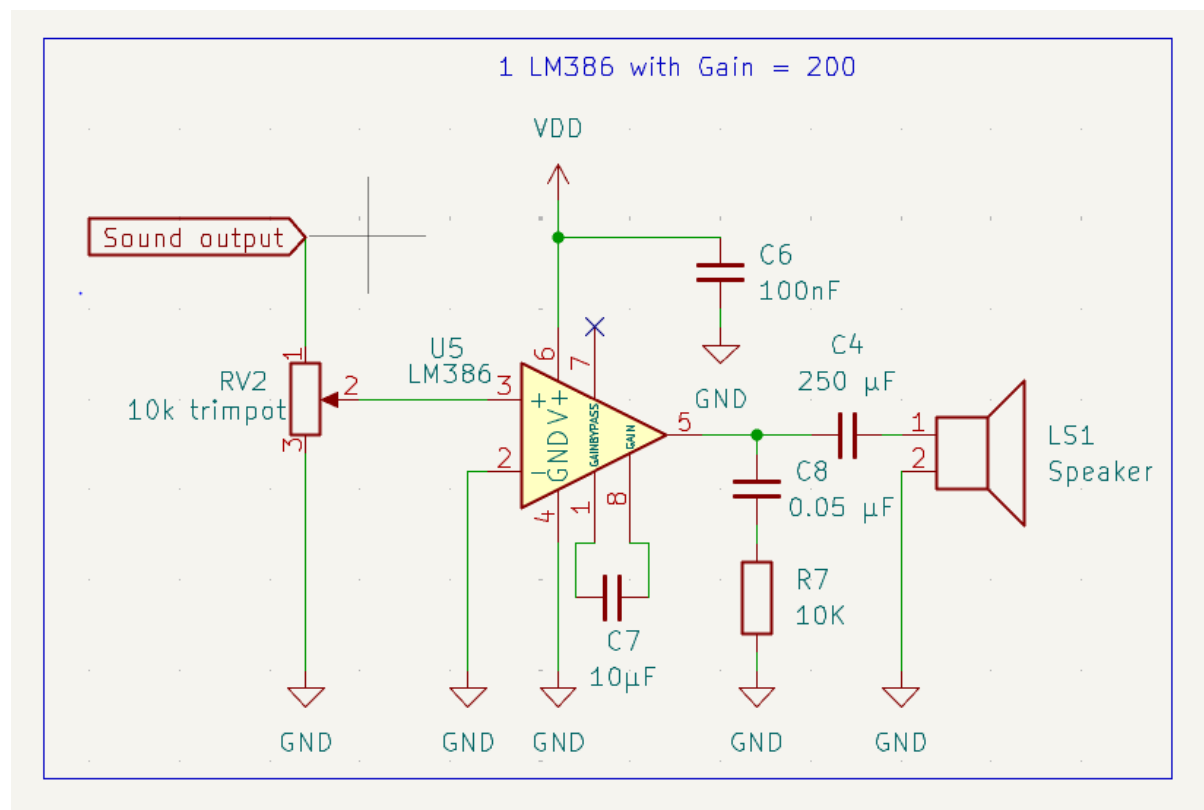


Slika 2.1 Kicad shema MCP23008 24 tipke

2.1 Implementacija predpojačala kroz LM386

LM386 je predpojačalo klase AB dizajnirano za male izlazne snage. Interni Gain iznosi 20, a postavljen je 200, spajanjem elektrolitskog kondenzatora u vrijednosti od 10 μF , između pinova 1 i 8.

Ulazni pinovi mjere se u odnosu na masu, dakle referentan napon oko koje siječe audio signal je 0 V. Čip je napajan prema 5 V a referencu dobija sa Atmega16A PortD pina PD7, ispred kojeg je stavljen 10 K Ω potencijometar.

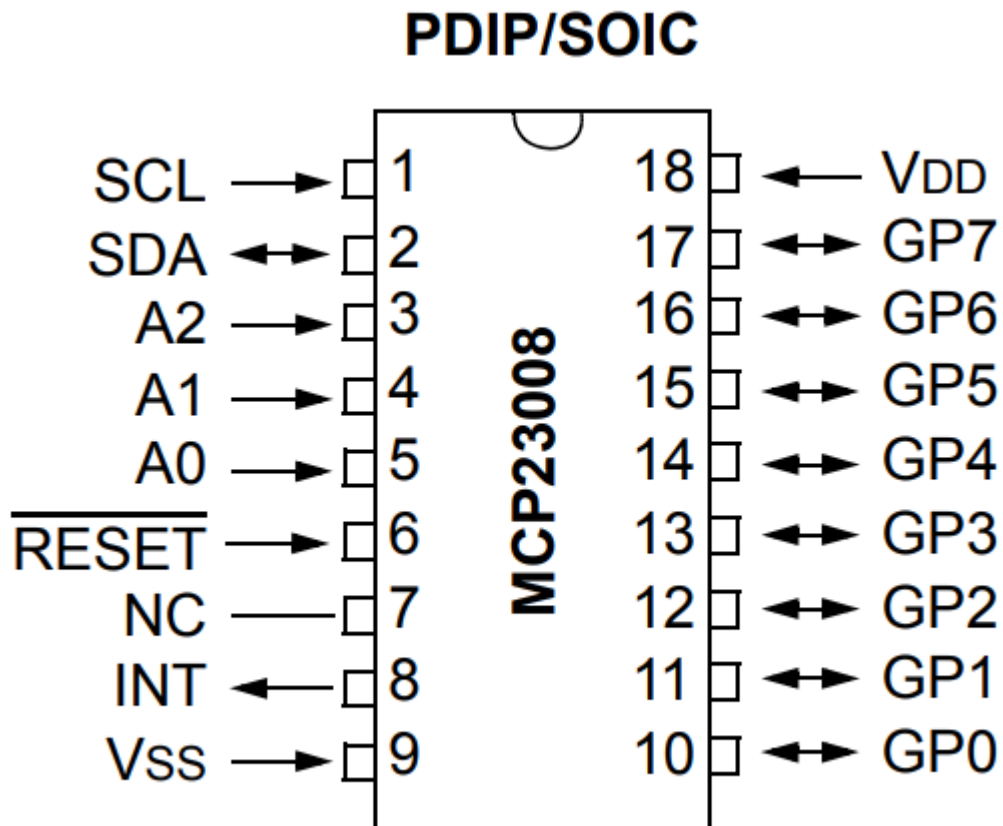


Slika 2.2 Shema predpojačala

Predpojačalo upravlja 8 Ω zvučnikom snage 0.5 W, zbog čega je idealan za ovakve primjene zbog male potrošnje energije i dobrog omjera kvalitete pojačanog signala i učinkovitosti, bez značajnih gubitaka u struji i pregrijavanja komponente.

2.2 MCP23008 I2C Port Expander

MCP23008 je ekspanzijski sklop koji služi za proširenje broja ulazno/izlaznih jedinica mikrokontrolera koristeći I2C(TWI) sabirnicu. Sastoji se od 8 GPIO proširivih ulaza/izlaza i 3 adresna pina pomoću kojih se određuje adresa modula na sabirnici.



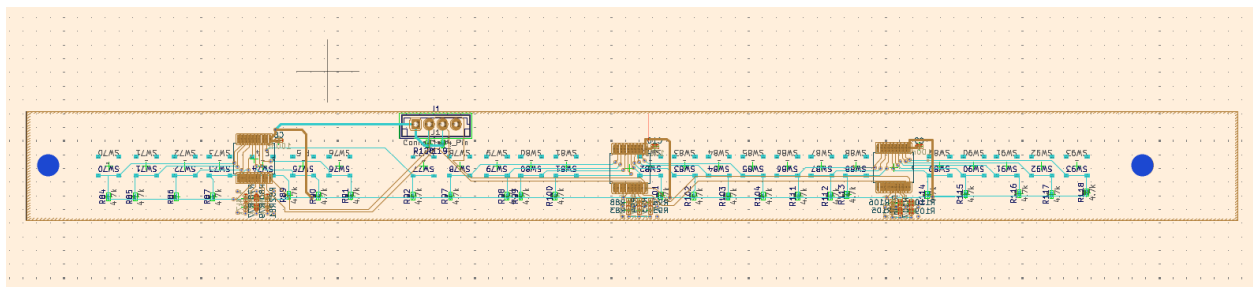
Slika 2.3 Shema MCP23008 Port Expander

Pin	Naziv	Opis
1	SCL	Takt
2	SDA	Serijsko slanje podatka
3-5	A1-A3	Adresni pinovi
6	RESET	Reset
7	NC	Nema Konektora
8	INT	Interrupt izlaz
9	VSS	Napajanje
10-18	GPIO	I/O tipka

Tablica 1 Opis MCP23008 spojeva

U praktičnoj primjeni često se preferira konfiguracija u kojoj su pinovi u visokom logičkom stanju (pull-up), a prelaze u nisko stanje (LOW) prilikom aktivacije tipke. Takva konfiguracija osigurava stabilniji rad i smanjuje osjetljivost sustava na elektromagnetske smetnje.

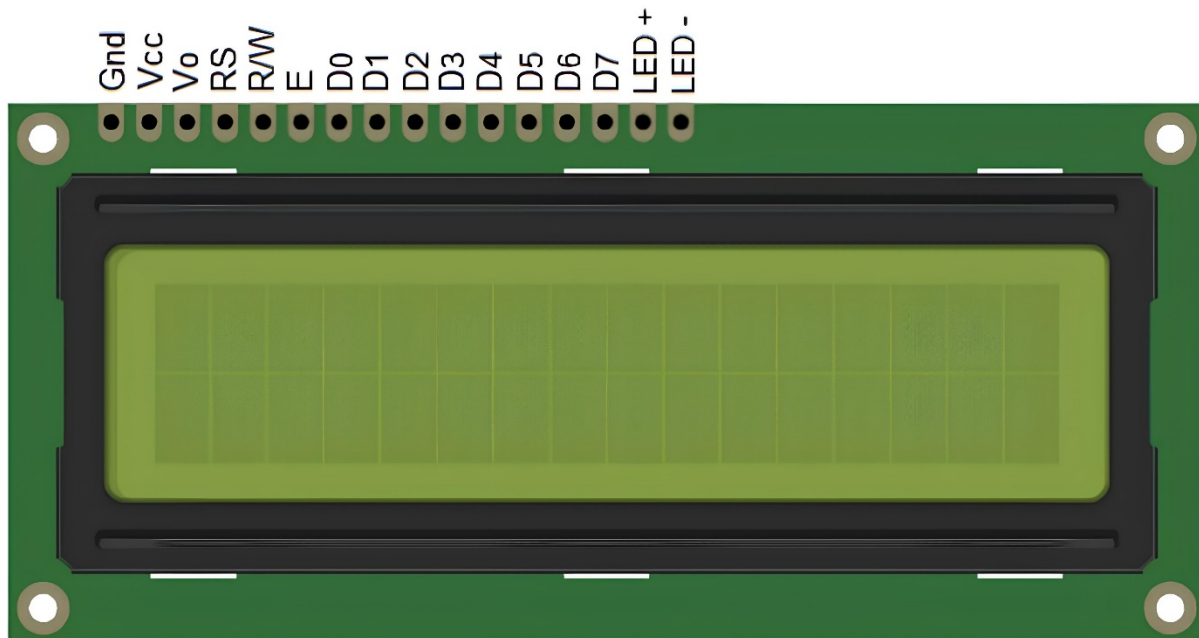
Master mikrokontroler ATMEGA16A komunicira s MCP23008 po vaki od triju adresnih pinova (A0–A2) može biti spojen na izvor napajanja (logička jedinica) ili na masu (logička nula) koju kasnije pomiče zavisno od čitanja/pisanja stanja. Na taj način moguće je formirati osam različitih adresa uređaja u rasponu od 0x20 do 0x27. U ovom projektu korištene su adrese 0x21, 0x22 i 0x23, što omogućuje spajanje i neovisno adresiranje triju MCP23008 modula na istoj I2C sabirnici.



Slika 2.4 PCB Editor shema 24 tipke

2.3 1602 LCD 4-bitni ekran

U projektu je korišten standardni LCD 16x2 zaslon temeljen na HD44780 kontroleru. Ovakav zaslon prikazuje 16 znakova u dva retka, a komunikacija je ostvarena u 4-bitnom načinu rada. U takvom načinu rada, podaci se šalju u dva dijela tzv. Nibble. Ponajprije se šalje viši, a zatim niži polubajt(Nibble). Važno je napomenuti kako u ovom načinu rada ekran je obavezno spojen D4- D7, a ne od početka(D0-D3) kako bi znao kontroler poslati 4-bitnu, a ne 8-bitnu komunikaciju. LCD zaslon analogno upravlja pozadinskim osvjetljenjem osvijetljenjem znakova. Važno je stoga ispravno spojiti LED+ i LED-, tj, između obavezno postaviti otpornik, u ovom slučaju 560 Ω . Svijetlinu znakova regulira trimmer potencijometar 10 K Ω , odabran zbog veličine koja stane na pločicu.

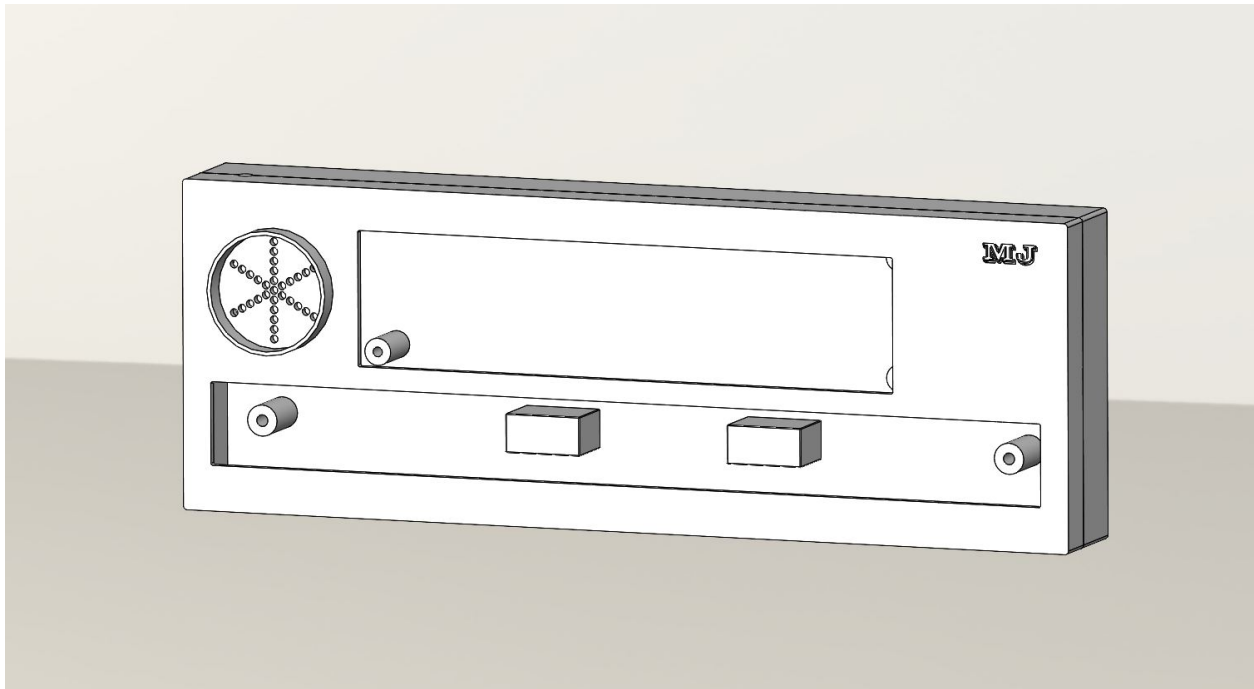


Slika 2.5 LCD ekran 4-bitno Serijski spojen

2.4 Kućište sintisajzera

Kućište uređaja prvo je osmišljeno i modelirano u programu AutoCAD 2025, a zatim je prenijeto u SolidWorks 2020, gdje su izrađeni BOM (Bill of Materials) i STL datoteke potrebne za 3D ispis.

Za izradu kućišta korišten je 3D printer Bambu Lab X1 Carbon, a proces ispisa trajao je približno 4 sata. Materijal korišten za ispis bio je ASA filament (bijeli), odabran zbog svoje čvrstoće i otpornosti na vanjske uvjete.



Slika 2.6 Kućište Sintisajzera

Prva iteracija imala je nekoliko problema:

- Poklopac je krivo isprintan i zvučnik se ne drži na mjestu
- Dimenzije su bile pogrešne, bio je predubok
- Donja strana je imala značajne deformacije

Konačna verzija kućišta pokazala se zadovoljavajuće kvalitete i funkcionalnosti te estetski odgovara namjeni sintisajzera.

2.5 Troškovnik

Cijena uređaja sastoji se od maloprodajne cijene komponenti na tržištu i cijene izrade. Mjerni uređaji poput osciloskopa, lemilice, računala, 3d printera e računaju se u materijalne troškove, već se uračunavaju u cijenu uloženog rada.

Komponente	Cijena u €
Atmega16a	2.85 €
LCD ekran	3.15 €
PCB pločica	39 €
Bijeli filament za 3d printer	22.90 €
Tipke	12.72 €
Lm386	1.31 €
Otpornici i kondenzatori	1.30 €
Protoboard	1.90 €
Ukupno	85.13 €

Tablica 2 Troškovnik

Trošak izrade bez uračunatih prototipa iznosi 85.13 €, zajedno sa pokušajima i testiranjima prelazi 100 €.

Projektiranje, izrada, narudžba i lemljenje iznosi 8 € po satu, za dva radna tjedna 8h rada = 640 €

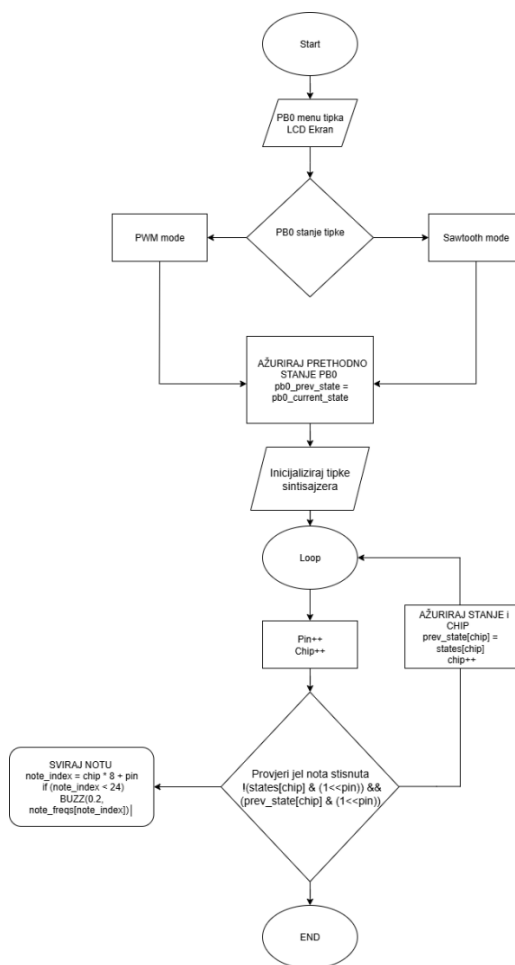
3 Programski Kod

Programski kod napisan je u programskom okruženju Microchip studio. Razvojno okruženje omogućuje kvalitetan linker i toolchain `#include <avr/io.h>`. Taj header file definira sve registre i bitove potrebne za konfiguraciju i upravljanje svim protokolima i sučeljima koje se mogu ostvariti na Atmega mikroupravljaču.

Bez ovog zaglavlja, program ne bi mogao direktno pristupiti registrima i konfigurirati pinove ili periferije mikrokontrolera.

U glavnom programskom kodu Atmega16a poziva sve periferije sukladno dogovorenom protokolu. Rad je sastavljen od 3 protokola, one wire toggle za stanje tipke PB0, I2C za 24 tipke koje sviraju i 4 bitna serijska komunikacija za LCD ekran.

Sve to povezano je kroz header datoteke koje pozivaju funkcije objasnjene u skladnim kodovima unutar istog projekta.



Slika 3 Flow Chart glavnog programskog koda

Zaključak

U ovom projektnom zadatku uspješno je realiziran jednostavan digitalno upravljani sintisajzer temeljen na mikroupravljaču Atmega16A. Projekt je pokazao kako se kombinacijom digitalne i analogne elektronike može ostvariti funkcionalan glazbeni instrument pristupačne cijene i relativno jednostavne izvedbe.

Kroz implementaciju MCP23008 I2C port expandera omogućeno je proširenje broja ulaza te povezivanje 24 tipke, čime je ostvareno korisničko sučelje instrumenta. Generirani signal obrađen je i pojačan pomoću predpojačala temeljenog na LM386, a izlazni zvuk dobiven je putem zvučnika. Dodatno, korišten je LCD zaslon 16x2 za prikaz informacija, što doprinosi preglednosti sustava. Posebna pažnja posvećena je i mehaničkom dijelu – kućište je izrađeno 3D printanje, čime je postignuta funkcionalna i estetski prihvatljiva izvedba.

Projektu nedostaju brzina i sigurnost izvedbe. Sigurnost koda temeljena je na testiranju usart komunikacijom kojom je ostvaren predpregled nadolazećih funkcija i protokola.

Kao smjer budućeg razvoja, moguće je razmotriti promjenu mikroupravljača, kvalitetniji error check, više vizualnih signala i kvalitetnija izrada.

Prilog

U prilogu se nalazi main kod programa i električne sheme sklopa

```
#include "AVR lib/AVR_lib.h"
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include "I2C/i2c.h"
#include "LCD/lcd.h"
#define MCP23008_ADDR1 0x21
#define MCP23008_ADDR2 0x22
#define MCP23008_ADDR3 0x23

#define IODIR 0x00
#define GPPU 0x06 // Pull-up registar
#define GPIO 0x09

static const int note_freqs[24] = {
    262, 277, 294, 311, 330, 349, 370, 392, 415, 440, 466, 494,
    // C4 do B4
    523, 554, 587, 622, 659, 698, 740, 784, 831, 880, 932, 988
    // C5 do B5
};

uint8_t display_mode = 0;
uint8_t pb0_prev_state = 1;
```

```

void mcp23008_init(uint8_t addr)
{
    uint8_t write_addr = addr << 1;
    if (i2c_start(write_addr) != 0) {
        return;
    }
    i2c_write(IODIR);
    i2c_write(0xFF);
    i2c_stop();
    if (i2c_start(write_addr) != 0) return;
    i2c_write(GPPU);
    i2c_write(0xFF);
    i2c_stop();
}

uint8_t mcp23008_read(uint8_t addr) {
    uint8_t write_addr = addr << 1;
    uint8_t read_addr = write_addr | 0x01;

    i2c_start(write_addr);
    i2c_write(GPIO);
    i2c_rep_start(read_addr);
    uint8_t data = i2c_read_nack();
    i2c_stop();
    return data;
}

```

```
void inicijalizacija() {  
    input_port(DDRB, PB0);  
    set_port(PORTB, PB0, 1);  
  
    lcd_init(); // inicijalizacija lcd displeja  
}  
  
void update_display() {  
    lcd_clrscr();  
    lcd_home();  
  
    if (display_mode == 0) {  
        lcd_print("PWM");  
    } else {  
        lcd_print("sawtooth");  
    }  
}  
  
int main(void) {  
    inicijalizacija();  
    lcd_clrscr();  
    lcd_home();  
  
    lcd_print("Welcome");  
    _delay_ms(1000);  
  
    update_display();  
}
```



```

SAWTOOTH(0.2, 440);

    i2c_init(100000);

    mcp23008_init(MCP23008_ADDR1);
    mcp23008_init(MCP23008_ADDR2);
    mcp23008_init(MCP23008_ADDR3);
    _delay_ms(100);
    SAWTOOTH(0.1, 523);
    _delay_ms(100);
    SAWTOOTH(0.1, 659);
    _delay_ms(100);
    SAWTOOTH(0.1, 784);

uint8_t prev_state[3] = {0xFF, 0xFF, 0xFF};
while (1) {
    uint8_t pb0_current_state = get_pin(PINB, PB0);
    if (pb0_current_state == 0 && pb0_prev_state == 1) {
        display_mode = !display_mode;
        update_display();
        BUZZ(0.1, 880);
        _delay_ms(200);
    }

    pb0_prev_state = pb0_current_state;

```

```

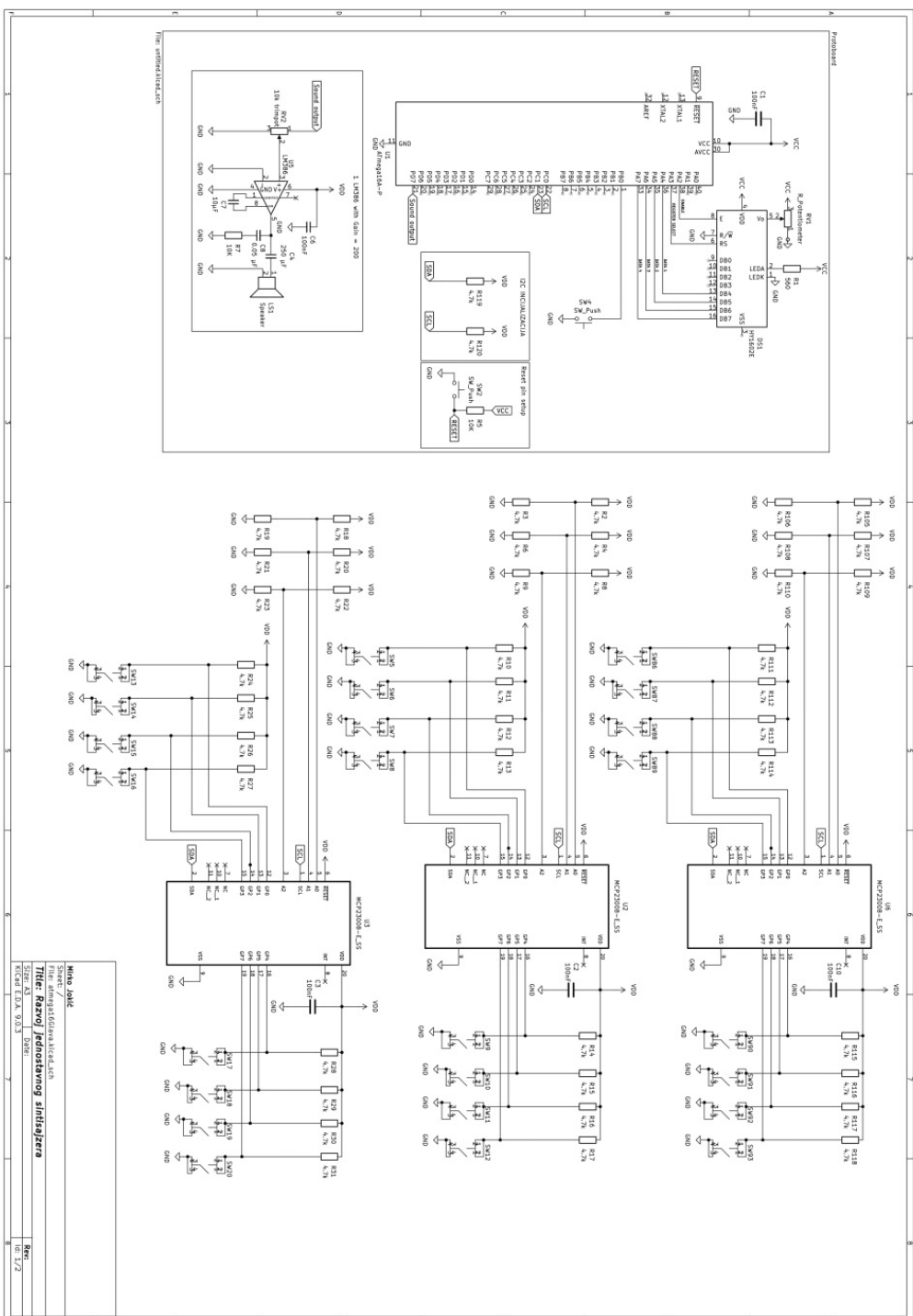
uint8_t states[3] = {
    mcp23008_read(MCP23008_ADDR1),
    mcp23008_read(MCP23008_ADDR2),
    mcp23008_read(MCP23008_ADDR3)
};

for (uint8_t chip = 0; chip < 3; chip++) {
    for (uint8_t pin = 0; pin < 8; pin++) {
        if (!(states[chip] & (1 << pin)) &&
            (prev_state[chip] & (1 << pin))) {
            uint8_t note_index = chip * 8 + pin;
            if (note_index < 24) {
                BUZZ(0.2, note_freqs[note_index]);
            }
        }
    }
    prev_state[chip] = states[chip];
}

_delay_ms(50);
}

return 0;
}

```



Literatura

- [1] Zoran Vrhovski, Marko Miletić: *Mikroračunala*.
- [2] Vatroslav Zuppa Bakša, mag. ing. el. techn. inf.: *Programiranje v2*, Zagreb, 2021.
- [3] Paul Horowitz, Winfield Hill: *The Art of Electronics*.
- [4] Blog Poly Nomial: *Creating High-Quality Electronics Schematics*, 2025, [link](#)
- [5] Adam Tornhill: *Patterns in C*, [PDF link](#)
- [6] Željko Stojanović: *Analogni sklopovi – radni materijal*, 2006.