Sintetizator digital autonom

1. Introducere

1.1 Prezentarea pe scurt a proiectului

Acest proiect constă în proiectarea și realizarea unui **sintetizator digital autonom**, bazat pe microcontrolerul **ATmega328P**. Dispozitivul este un instrument muzical electronic capabil să genereze sunete prin tehnica DDS (Direct Digital Synthesis).

Sintetizatorul primește comenzi de note muzicale prin interfața serială (de la tastatura unui laptop) și permite modelarea sunetului în timp real folosind o interfață hardware compusă din 5 potențiometre și un buton multifuncțional. Vizualizarea parametrilor se realizează prin intermediul unui ecran OLED de 0.96 inch.

1.2 Scopul proiectului

Scopul principal este crearea unui sistem integrat care să demonstreze capacitățile de procesare digitală de semnal ale unui microcontroler de 8 biți. Proiectul urmărește:

- Generarea de forme de undă variate (sinusoidală, sawtooth, square).
- Implementarea hardware a unei anvelope de amplitudine de tip **ADSR** (Attack, Decay, Sustain, Release).
- Realizarea unui dispozitiv portabil, alimentat prin baterie, cu sistem de amplificare audio integrat.

1.3 Ideea de la care am pornit

Ideea a luat naștere din dorința de a dezvălui modul în care funcționează sintetizatoarele comerciale scumpe. Am pornit de la conceptul de “Digital Audio Workstation (DAW) in a box”, dorind să transfer controlul sunetului din mediul virtual al mouse-ului într-un mediu tactil, unde fiecare modulație a sunetului este rezultatul unei modificări fizice de tensiune prin potențiometre. A fost o provocare de a optimiza codul pentru a obține o latență minimă și o fidelitate audio acceptabilă pe un hardware limitat.

2. Hardware Design

Proiectarea hardware a fost realizată având în vedere două obiective principale: fidelitatea semnalului

audio (reducerea zgomotului digital) și ergonomia interfeței de control. Dispozitivul este construit modular, separând etajul de procesare digitală de etajul de amplificare analogică.

2.1 Listă de piese

Componentă	Specificații Tehnice	Cantitate	Rol în Proiect
Microcontroler	ATmega328P	1	Creierul sistemului, sinteză DDS
Display[1)]	OLED 0.96” I2C (SSD1306)	1	Feedback vizual parametri ADSR/Wave
Amplificator[2)]	PAM8403 Stereo 2x3W	1	Amplificare semnal audio la nivel de boxe
Potențiometre[3)]	10kΩ Liniare (B10K)	5	Control Attack, Decay, Sustain, Release, Pitch
Difuzoare[4)]	4Ω, 3W, 40mm	2	Redare audio stereo
Rezistență	1kΩ	1	Parte a filtrului Low-Pass (RC)
Condensator	100nF (Ceramic 104)	1	Filtrare zgomot PWM (Filtru RC)
Condensator	10µF (Electrolitic)	1	Cuplaj audio (DC Blocking)
Condensator	1000µF (Electrolitic)	1	Stabilizare alimentare amplificator
Switch[5)]	MTS-102 Toggle (Metal)	1	Pornire/Oprire generală
PCB[6)]	Prototipare FR4 4x6cm	2	Suport electric componente
Modul convertor USB la TTL[7)]	CH340	1	Adaptor la alimentare circuit
Modul USB 2.0 la TTL UART[8)]	CP2104	1	Convertor serial

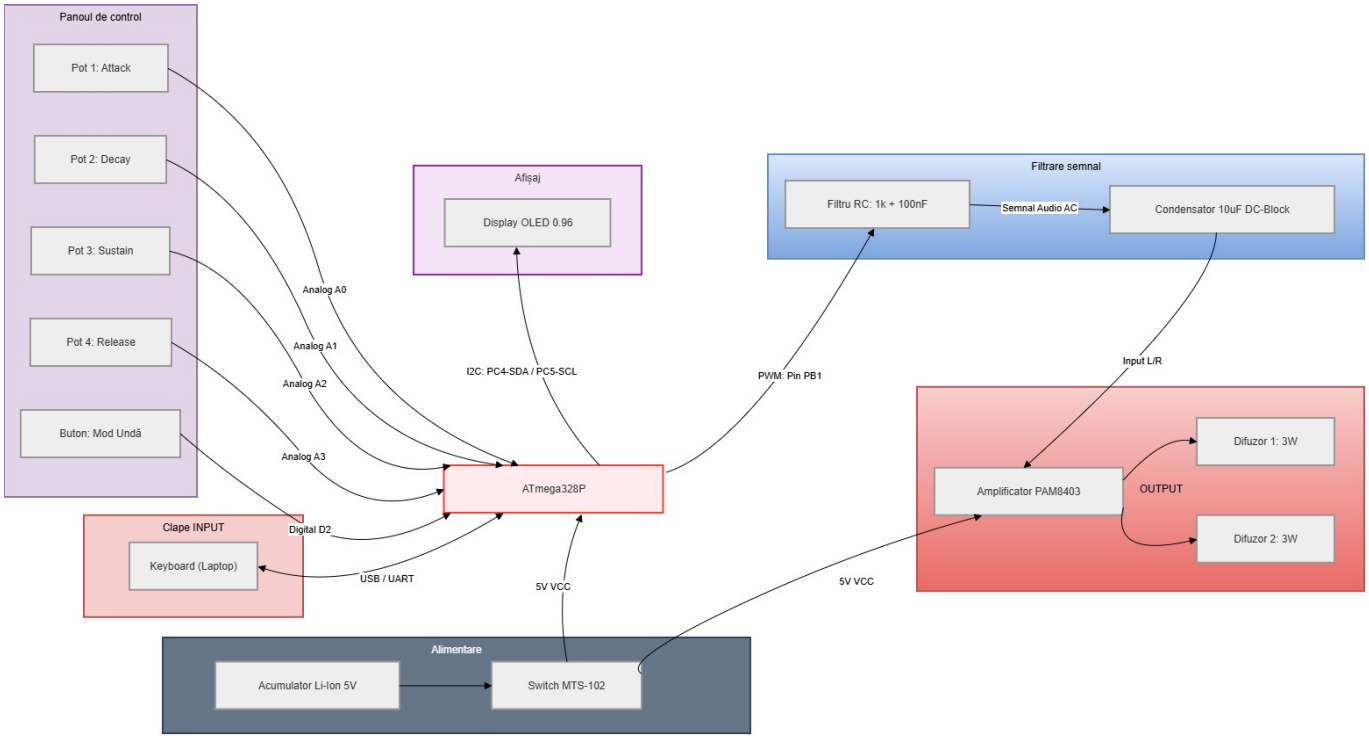
2.2 Schema Bloc

Sunetul este generat digital prin PWM (Pulse Width Modulation) la o frecvență purtătoare înaltă. Pentru a obține un semnal audio analogic curat, semnalul parcurge următorul traseu:

- **Generare:** Pinul PB1 scoate un semnal PWM cu duty cycle variabil.
- **Filtrare Low-Pass (RC):** Rezistența de 1kΩ împreună cu condensatorul de 100nF formează un filtru care elimină frecvența purtătoare a PWM-ului.
- **DC Blocking:** Condensatorul de 10µF elimină componenta de curent continuu (offset de 2.5V), lăsând să treacă doar unda audio (AC).
- **Amplificare:** Semnalul filtrat intră în pinii L-IN și R-IN ai PAM8403.

Configurația pinilor ATmega328P:

- **Pini Analogici (PC0 - PC3, ADC6):** Conectați la pinii centrali ai celor 5 potențiometre pentru citirea ADC.
- **Pini I2C (PC4 - SDA, PC5 - SCL):** Conectați la display-ul OLED.
- **Pin PD2:** Intrare pentru buton (folosește întreruperea externă INT0).
- **Pin PB1 (PWM):** Ieșirea audio principală către lanțul de filtrare.



2.3 Schema Electrică

2.4 Rezultatele simulării și Calcule

Pentru filtrul de reconstrucție (Low-Pass), am calculat frecvența de tăiere (f_c) folosind formula:

$$f_c = \frac{1}{2 \pi R C}$$

Înlocuind valorile alese ($R = 1000 \Omega$ și $C = 100 \times 10^{-9} F$):

- **$f_c \approx 1591 Hz$**

Această valoare a fost aleasă pentru a oferi un sunet “cald”, eliminând eficient zgomotul digital ascuțit generat de tactul microcontrolerului.

Notă privind alimentarea: Simularea comportamentului amplificatorului la volum maxim a indicat necesitatea unui condensator de tip “buffer” de **1000µF**. Acesta previne resetarea Arduino-ului în momentele în care boxele solicită un curent de vârf (peste 500mA) din bateria de 5V.

Software Design

Motorul de Sinteza (synth.c / synth.h)

Nucleul audio foloseste **Direct Digital Synthesis (DDS)** cu un tabel sinus de 256 esantioane stocat in **PROGMEM** (Flash), economisind cei 2 KB de SRAM disponibili. Fiecare din cele 4 voci polifonice utilizeaza un acumulator de faza pe 16 biti, al carui byte superior indexeaza direct tabelul — eliminand orice calcul trigonometric la runtime. Generarea esantioanelor se face in **ISR(TIMER1_OVF_vect)** la 31250 Hz (Fast PWM 9-bit), avand un buget strict de ~512 cicluri CPU. Toata aritmetica foloseste **fixed-point Q8.8** si operatii pe intregi — fara virgula mobila. Mixarea vocilor, aplicarea envelope-ului ADSR si scalarea volumului se reduc la inmultiri si shift-uri pe 16/32 biti, mentinand ISR-ul sub 200 cicluri (~39% din buget). Envelope-ul ADSR este avansat separat la 1 kHz prin **ISR(TIMER2_COMPA_vect)** via `adsr_tick_voice()`, decupland rata lenta a modulatiei de amplitudine de rata rapida de esantionare. Alocarea vocilor foloseste o strategie in trei pasi: re-trigger daca nota este deja activa, alocare voce libera (IDLE), sau **voice stealing** bazat pe varsta relativa (scadere modulara `uint8_t`). Semnalul PWM porneste centrat la 50% duty (`PWM_CENTER=255`), generand 0V DC prin condensatorul de cuplaj si eliminand pocniturile la pornire.

Comunicatia USART (usart.c / usart.h)

Receptia este **polling non-blocant** (`USART0_available()` + `USART0_read()`), evitand overhead-ul unui ISR suplimentar care ar concura cu ISR-urile audio. Transmisia este blocanta per-caracter.

ADC si Parametri (adc.c / main.c)

Citirea celor 5 potentiometre (Attack, Decay, Sustain, Release, Volume) se face prin polling la intervale rare, folosind un contor uint8_t cu overflow natural la 256 iteratii — evitand un timer dedicat. Valorile ADC sunt convertite in rate Q8.8 prin `calc_rate()` si aplicate atomic (cu `cli()/sei()`).

Interfata Python (piano.py)

Scriptul `PianoController` ruleaza pe Linux fara dependinte grafice, folosind **termios raw mode** pentru detectia tastelor cu latenta minima. Un mecanism de **auto-release cu timere per-nota** (`_schedule_release()`) simuleaza key-up din terminal, care nu ofera nativ acest eveniment. Comunicatia seriala este protejata de un `threading.Lock`, iar un thread daemon dedicat (`serial_reader_thread()`) citeste asincron raspunsurile de la ATmega.

Repo Github cod

Rezultate Obţinute

Care au fost rezultatele obţinute în urma realizării proiectului vostru.

Concluzii

Download

O arhivă (sau mai multe dacă este cazul) cu fişierele obţinute în urma realizării proiectului: surse, scheme, etc. Un fişier README, un ChangeLog, un script de compilare şi copiere automată pe uC crează întotdeauna o impresie bună .

Fişierele se încarcă pe wiki folosind facilitatea **Add Images or other files**. Namespace-ul în care se încarcă fişierele este de tipul **:pm:prj20??:c?** sau **:pm:prj20??:c?:nume_student** (dacă este cazul). **Exemplu:** Dumitru Alin, 331CC → **:pm:prj2009:cc:dumitru_alin**.

Bibliografie/Resurse

Listă cu documente, datasheet-uri, resurse Internet folosite, eventual grupate pe **Resurse Software** şi **Resurse Hardware**.

Export to PDF

Datasheet Atmega328P

1) https://sigmanortec.ro/Display-OLED-1-3-Alb-128x64-p136081872
2) https://sigmanortec.ro/modul-amplificator-miniatura-pam8403-22-5v
3) https://sigmanortec.ro/Potentiometru-1K-5K-10K-20K-50K-100K-p136286400
4) https://sigmanortec.ro/Speaker-40mm-3W-p134573662
5) https://sigmanortec.ro/Intrerupator-3A-250V-Switch-MTS-102-p140901357
6) https://sigmanortec.ro/Placa-PCB-prototipare-fata-dubla-4x6cm-p211619088
7) https://sigmanortec.ro/modul-convertor-usb-la-ttl-ch340-msop10-type-c-33-5v
8) https://sigmanortec.ro/Modul-Convertor-serial-USB-2-0-la-TTL-UART-CP2104-STC-PRGMR-p136248993