

MiniSynth V2

- **Autor:** Brişculescu Mihai-Darius
- **Grupa:** 335CA
- **An universitar:** 2025–2026, semestrul 2
- **Curs:** Proiectare cu Microprocesoare (PM)
- **Facultate:** Automatică și Calculatoare, UNSTPB

Introducere

MiniSynth V2 este un sintetizator/sampler digital portabil, polifonic, alimentat la baterie, construit pe baza microcontroler-ului **Teensy 4.0** (ARM Cortex-M7 @ 600 MHz). Dispozitivul reproduce sunete prin trei mecanisme complementare:

1. **Forme de undă matematice** (sine, sawtooth, square, triangle, pulse, noise) generate în timp real de Teensy Audio Library.
2. **Instrumente wavetable** (pian, corzi, tobe etc.) preîncărcate în flash-ul firmware-ului, sintetizate de obiectul AudioSynthWavetable.
3. **Sample-uri WAV utilizator** încărcate de pe un card microSD (44.1 kHz, 16-bit, mono).

Toate instrumentele dispun de **anvelope ADSR per-instrument**, **acordare pe scale muzicale** (Chromatic, Major, Minor, Pentatonic, Blues, Dorian etc., cu rădăcină configurabilă) și un **lanț de efecte** (Reverb, Delay, Chorus, Flanger, Bitcrush, Distortion). Polifonia este de **8 voci** cu alocare dinamică (oldest-voice stealing).

Ce face

- **Tastatură de 25 de taste** (C4–C6) cu butoane de octave shift (Oct+ / Oct–) ce extind acoperirea pe întregul interval MIDI.
- **leșire stereo** prin difuzoare integrate (2× Sony SS-TSF550, 4 Ω) amplificate digital de 2× MAX98357A Class-D.
- **leșire pentru căști** mufă jack 3.5 mm (TRS, comutată).
- **leșire pentru amplificator de chitară** mufă jack 6.35 mm (mono, comutată) cu sumare L+R în mono.
- **Display OLED 1.3"** (SSD1306, 128×64) pentru meniu și feedback vizual.
- **Joystick analogic** pentru pitch bend / modulation în mod cântat și navigare în meniu.
- **Potențiomtru rotativ** pentru volum master / ajustare parametri în meniu.
- **Alimentare** dintr-un acumulator 18650 Li-Ion, încărcare USB-C prin TP4056.

Scopul proiectului

Realizarea unui instrument muzical electronic complet, autonom (battery-powered, fără PC), care să acopere cele 7 teme de laborator ale cursului PM (GPIO, UART, Întreruperi, Timere/PWM, ADC, SPI, I2C) într-o aplicație coerentă și utilă.

Ideea de la care am pornit

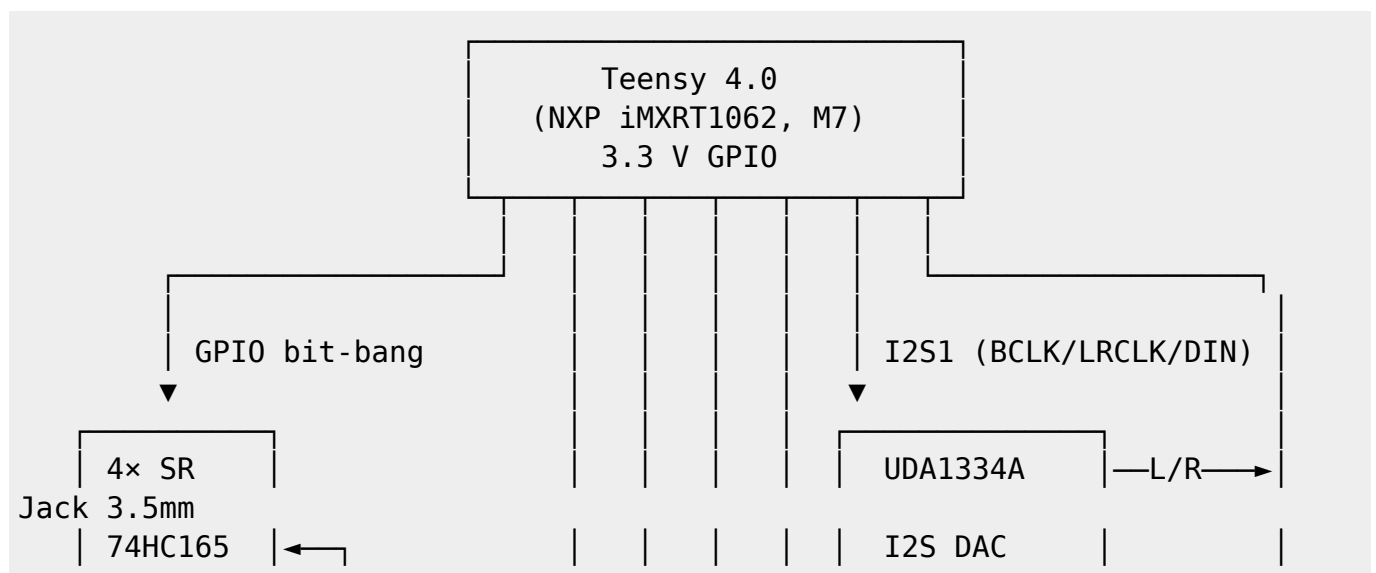
Mi-am dorit un proiect care să combine **electronica analogică** (audio path, alimentare, jack-uri comutate) cu **DSP în timp real** (sinteză polifonică, efecte, eșantionare) și o **interfață utilizator** propriu-zisă (display + meniu navigabil). Un sintetizator polifonic portabil, cu eșantionare bifurcată (instrumente factory + sample-uri user pe SD card), îndeplinește toate cele trei criterii și demonstrează simultan **toate cele 7 laboratoare PM**, nu doar minimul cerut de 3 — fiecare modul al proiectului mapează firesc pe câte un laborator (GPIO/UART/INT/PWM/ADC/SPI/I2C), fără implementări forțate.

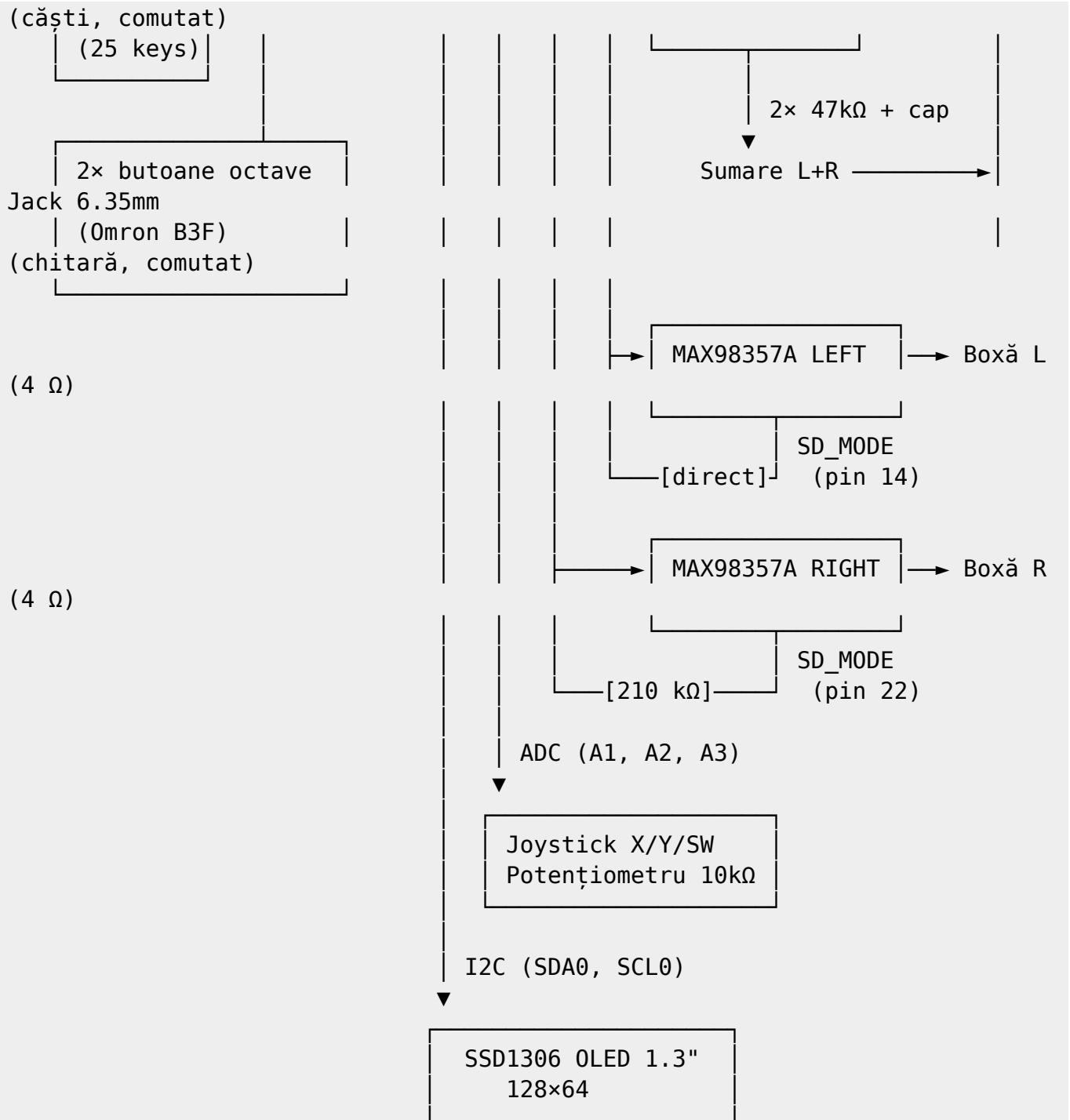
Utilitatea

- **Pentru utilizator:** un instrument muzical portabil, hackabil (sample-urile sunt simple fișiere WAV pe SD card, fără recompilare), cu funcție educativă (modul “scale-locked” împiedică notele false — util pentru începători și improvizație).
- **Pentru mine:** un proiect care îmbină ferm partea hardware (PCB design, audio analog, alimentare) cu firmware embedded real-time (DSP, DMA, drivere I2S/SPI/I2C/ADC), oferindu-mi expunere directă la întregul stack al unui sistem embedded de complexitate medie.

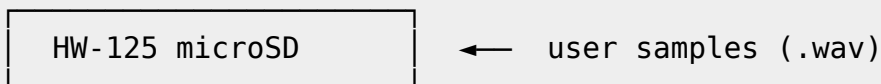
Descriere generală

Schemă bloc





SPI hardware (CS, MOSI, MISO, SCK):

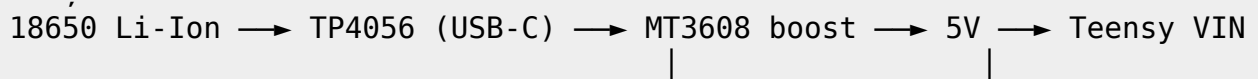


Detecție jack-uri (GPIO + 100k Ohm pull-up):

Pin 6 ← SJ1-3535NG (tip switch, "break")

Pin 23 ← Switchcraft 112AX (tip switch, "make", polaritate inversată)

Lanț de alimentare:



↳ CHRG — R → WP7113GD LED (verde, charging)
|
3.3V LDO Teensy → logica (74HC165, joystick, pot, OLED, pull-up-uri)

Module hardware

Modul	Componentă principală	Rol	Interfață cu MCU
Microcontroler	Teensy 4.0	DSP audio + control + UI	—
Tastatură 25 taste	4× SN74HC165N + Omron B3F-1000	Scanare matrice taste	GPIO bit-bang (pin 5/8/9)
Butoane octave	2× Omron B3F-1000	Shift octavă ±1	GPIO + INT (pin 2, 3)
Joystick	SparkFun analog joystick	Pitch bend / modulation / meniu	ADC (A1, A2) + GPIO (pin 4)
Potențiomtru	10 kΩ rotativ	Volum / ajustare valori meniu	ADC (A3)
DAC stereo	UDA1334A	I2S → analog L/R	I2S (pin 7, 20, 21)
Amplificator L	MAX98357A	Class-D, 3.2 W, canal stâng	I2S (shared) + SD_MODE (pin 14)
Amplificator R	MAX98357A	Class-D, 3.2 W, canal drept	I2S (shared) + SD_MODE (pin 22, 210 kΩ)
Difuzoare	2× Sony SS-TSF550 (4 Ω)	leșire stereo	analogic
Jack căști	SJ1-3535NG (TRS comutat)	leșire 3.5 mm + detecție	analog + GPIO det. (pin 6)
Jack chitară	Switchcraft 112AX (TS comutat)	leșire 6.35 mm mono + detecție	analog + GPIO det. (pin 23)
Display	SSD1306 OLED 1.3" 128×64 (Adafruit 938)	Meniu + HUD	I2C (pin 18, 19)
Storage	HW-125 microSD breakout	User samples (.wav)	SPI hardware (pin 10-13)
LED încărcare	WP7113GD (verde, 5 mm)	Indicator charging	TP4056 CHRG (independent de MCU)
Încărcător	TP4056 USB-C	CC/CV Li-Ion + protecții	—
Boost converter	MT3608	3.0-4.2 V → 5 V	—
Acumulator	18650 Li-Ion + holder	Sursă de energie	—
Înterupător	Rocker switch	ON/OFF general (post-MT3608)	—

Interacțiunea modulelor

Pe firul audio (digital → analog): Teensy generează stream-ul I2S (BCLK pin 21, LRCLK pin 20, DIN pin 7) care este distribuit simultan către **trei dispozitive**: UDA1334A (DAC pentru căști / chitară) și două MAX98357A (amplificatoare Class-D pentru difuzoarele stereo). Selecția canalului per amplificador se face prin pinul SD_MODE (analog multi-nivel), conform Tabelului 5 din datasheet-ul MAX98357A: ampul stâng primește SD_MODE direct dintr-un GPIO Teensy (HIGH = canal stâng), iar ampul drept primește SD_MODE printr-un rezistor serie de **210 kΩ** care, împreună cu pull-down-ul

intern de 100 k Ω , plasează tensiunea în intervalul B1-B2 (canal drept). Calculul rezistorului serie (din datasheet, pentru VDDIO = 3.3 V):

$$R_SMALL = 94.0 \times VDDIO - 100 = 94.0 \times 3.3 - 100 = 210.2 \text{ k}\Omega$$

→ se folosește **210 k Ω (E96)** sau **220 k Ω (E24)**.

Pe firul de comandă (UI → DSP): Joystick-ul și potențiometrul sunt citite pe ADC. Joystick-ul efectuează în modul *play pitch bend* (X) și modulation (Y); apăsarea click-ului joystick-ului activează meniul. În meniu, mișcările joystick-ului sunt **doar pentru navigare**, iar potențiometrul este **singurul** mecanism de modificare a valorilor (volum master, ADSR, voice count, concert pitch, scale, root note). Această separație previne modificările accidentale în timpul navigării.

Pe firul de detecție și mute hardware: La introducerea unui jack (căști sau chitară), GPIO-urile de detecție (pin 6 și pin 23) basculează stările (cu polarități inversate, conform datasheet-urilor SJ1-3535NG vs. Switchcraft 112AX). Firmware-ul răspunde tragând pinii 14 și 22 (SD_MODE) în LOW, ducând **ambele MAX98357A în shutdown hardware** (~0.6 μ A quiescent / chip). Acest mecanism elimină pop-urile audibile și economisește baterie când un jack rămâne introdus.

Pe firul de alimentare: Acumulatorul 18650 alimentează modulul TP4056 (charging + protecții); ieșirea acestuia merge la MT3608 care urcă tensiunea la **5 V**. Acest rail unic alimentează Teensy (prin VIN, **cu trasa VIN-VUSB tăiată** — obligatoriu pentru a preveni back-feed-ul USB), cele două MAX98357A, UDA1334A și HW-125. LDO-ul intern al Teensy (3.3 V) alimentează apoi logica de joasă putere: 74HC165, joystick, potențiometrul, OLED și toate pull-up-urile. LED-ul de charging WP7113GD este conectat **direct** între VBUS și pinul CHRГ al TP4056 — nu consumă pini sau ciclul MCU.

Hardware Design

Listă de componente

Componente principale

Componentă	Cantitate	Sursă	Rol
Teensy 4.0 (NXP iMXRT1062, ARM Cortex-M7 @ 600 MHz)	1	PJRC / Mouser	Microcontroler principal
UDA1334A I2S DAC breakout (NXP)	1	eMAG (clonă)	DAC stereo line-level pentru căști + chitară
MAX98357A I2S Class-D amplifier breakout (Adafruit/clonă)	2	Temu	Amplificare Class-D 3.2 W per canal pentru difuzoare
Sony SS-TSF550 (4 Ω , bass-reflex satellite)	2	Local	Difuzoare stereo
SN74HC165N (8-bit PISO shift register)	4	Mouser	Scanare 25 taste + 7 intrări nefolosite
Bourns 4608X-101-103LF (rețea bused 8x 10 k Ω)	4	Mouser	Pull-up-uri pentru 25 taste + 7 intrări libere
Omron B3F-1000 (tactile switch, low-profile)	27	Mouser	25x taste pian + 2x butoane octave (Oct+/Oct-)

Adafruit 938 — OLED 1.3" 128×64 SSD1306	1	Mouser / eMAG	Display meniu și HUD play-mode (jumperele J1, J2 lipite pentru I2C)
SparkFun analog joystick (2-axis + push-button)	1	Temu	Pitch bend / modulation / navigare meniu
Potențiomtru rotativ 10 kΩ liniar	1	Local	Volum master / ajustare parametri meniu
HW-125 microSD card module (cu LDO 3.3 V + level shifter)	1	Temu	Storage user samples (.wav)
SJ1-3535NG (jack 3.5 mm TRS, switched)	1	Mouser	leșire căști + detecție plug
Switchcraft 112AX (jack 6.35 mm TS, switched, "Tip Closed Circuit")	1	Mouser	leșire amplificator chitară + detecție plug
WP7113GD (LED verde 5 mm, GaP, $V_F \approx 2.0$ V)	1	Mouser	Indicator charging (driven de TP4056 CHRГ)
TP4056 USB-C charger module (cu protecții + CHRГ/STDBY pads)	1	Temu	Încărcare CC/CV pentru Li-Ion
MT3608 boost converter module (2 A max)	1	Temu	3.0–4.2 V → 5 V stabil
18650 Li-Ion + holder cu contacte arc	1	Local	Sursă de energie
Rocker switch (ON/OFF, single-pole)	1	Local / Temu	Înterupător general pe rail-ul 5 V
PCB custom (KiCad → fabricație online)	1	JLCPCB / similar	Suport mecanic + interconectare

Componente pasive (valori cheie)

Valoare	Cantitate	Rol
210 kΩ (E96) sau 220 kΩ (E24)	1	Rezistor serie SD_MODE pentru MAX98357A-RIGHT (selecție canal drept la VDDIO = 3.3 V)
100 kΩ	4	Pull-up-uri detecție jack (×2) + divizor monitorizare baterie (×2)
47 kΩ	2	Rețea de sumare L+R → mono pentru ieșirea de chitară
1 kΩ (sau 470 Ω pentru luminozitate sporită)	1	Limitare curent LED charging (WP7113GD)
0.47 μF / 1 μF film	2	Cuplare AC pe ieșirile analogice ale UDA1334A
100 nF ceramic	~10	Decuplare locală pe pinii VDD ai fiecărui IC
10 μF electrolitic / ceramic	~5	Decuplare bulk pe rail-ul 5 V și 3.3 V

Schemă electrică

Schema electrică completă (KiCad) va fi adăugată ca imagine și ca fișier sursă în secțiunea **Download** la milestone-ul **M2 (săptămâna 12)**, după finalizarea proiectării PCB.

Subansamble cheie deja proiectate (descrieri detaliate vor urma împreună cu schemele):

- **Scanare tastatură** — 4× SN74HC165 înlănțuite, alimentate la 3.3 V (range valid 2–6 V conform datasheet-ului SN74HC165), QH-ul ultimului 165 → pin 5 Teensy; SH/LD comun → pin 9; CLK comun

→ pin 8.

- **I2S audio bus** — BCLK (pin 21), LRCLK (pin 20), DIN (pin 7) partajate între UDA1334A și ambele MAX98357A. Fără MCLK (UDA1334A regenerează intern; MAX98357A “No MCLK Required” per datasheet).
- **SD_MODE drive** — pin 14 → SD_MODE LEFT (direct, 0 Ω); pin 22 → 210 kΩ → SD_MODE RIGHT. Jumperile de canal de pe breakout-uri **NU se podesc** (altfel GPIO LOW ar scurtcircuita rail-ul de 5 V prin GPIO de 3.3 V).
- **Detectie jack-uri** — pin 6 + 100 kΩ pull-up la 3.3 V (SJ1-3535NG, polaritate normal-LOW); pin 23 + 100 kΩ pull-up la 3.3 V (Switchcraft 112AX, polaritate normal-HIGH).
- **LED charging** — VBUS → anod WP7113GD → catod → R_LED (1 kΩ) → TP4056 CHRГ (open-drain). Calcul: $I_{LED} = (5.0 - 2.0) / 1000 = 3.0 \text{ mA}$ (sub limita absolută de 25 mA).
- **Divizor baterie** — VBAT → 100 kΩ → ADC (A?) → 100 kΩ → GND, raport 1:2.

Diagrame de semnal

Diagramele de timing pentru I2S, SPI și SR-shift vor fi adăugate la M2 împreună cu schemele.

Pin-out Teensy 4.0 (final)

Pin	Funcție	Periferic	Observații
0	RX1	UART	Debug serial input
1	TX1	UART	Debug serial output
2	BTN_OCT_UP	GPIO + INT	Octavă +1
3	BTN_OCT_DN	GPIO + INT	Octavă -1
4	JOY_SW	GPIO + INT	Click joystick (activare meniu / select / toggle)
5	SR_DATA	GPIO bit-bang	leșirea QH a ultimului 74HC165
6	JACK_HP_DET	GPIO input	Detectie căști (LOW = liber, HIGH = plug)
7	I2S1_DIN (OUT1A)	I2S	Date I2S → DAC + ambele amp-uri
8	SR_CLK	GPIO bit-bang	Clock 74HC165
9	SR_LATCH	GPIO bit-bang	SH/LD 74HC165
10	SD_CS	SPI	Chip select HW-125
11	SD_MOSI	SPI	MOSI HW-125
12	SD_MISO	SPI	MISO HW-125
13	SD_SCK	SPI	SCK HW-125 (+ LED onboard Teensy)
14	AMP_LEFT_SD	GPIO output	SD_MODE MAX98357A LEFT (direct)
15 / A1	JOY_X	ADC	Pitch bend / navigare orizontală
16 / A2	JOY_Y	ADC	Modulation / navigare verticală
17 / A3	VOL_POT	ADC	Volum / ajustare parametri
18 / A4	SDA0	I2C	OLED date
19 / A5	SCL0	I2C	OLED clock
20	LRCLK1	I2S	Word select → toate cele 3 dispozitive audio
21	BCLK1	I2S	Bit clock → toate cele 3 dispozitive audio
22 / A8	AMP_RIGHT_SD	GPIO output	SD_MODE MAX98357A RIGHT (prin 210 kΩ)

23 / A9	JACK_GUITAR_DET	GPIO input	Deteție chitară (HIGH = liber, LOW = plug — polaritate inversată)
VIN	+5 V	Power	De la MT3608, cu trasa VIN-VUSB tăiată
3.3V	+3.3 V	Power	De la LDO intern Teensy → logică de joasă putere

Acoperirea celor 7 laboratoare PM

Laborator	Implementare în MiniSynth V2
GPIO	Scanare 25 taste prin 74HC165 (bit-bang), butoane octave, click joystick, deteție jack-uri
UART	Debug serial (Serial1) pentru diagnostic în timpul dezvoltării
Înteruperi	Pin-change pe butoanele de octave, ISR audio (DMA I2S), click joystick, deteție hold pentru ieșire meniu
Timere / PWM	Generare I2S clocks (BCLK 1.4 MHz, LRCLK 44.1 kHz), ISR-ul Teensy Audio Library la 2.9 ms (PIT periodic), timing pentru hold-detect
ADC	Joystick X/Y, potențiomtru, monitorizare baterie (divizor 100k/100k)
SPI	Card microSD (HW-125) pe SPI hardware — single full SPI demonstration cu CS/MOSI/MISO/SCK
I2C	Display OLED SSD1306

Software Design

Mediu de dezvoltare

- **Arduino IDE + Teensyduino** add-on (suportul oficial PJRC pentru toolchain-ul ARM)
- **PlatformIO** ca alternativă pentru build-uri reproductibile (CI)
- **PJRC Audio Design Tool** ([GUI online](#)) pentru proiectarea graph-ului DSP
- **Teensy Wavetable Editor** ([repo oficial](#)) pentru conversia SoundFont-urilor (.sf2) în header-e C
- **KiCad 8** pentru schemă și PCB

Librării și surse 3rd-party

- **Teensy Audio Library** (PJRC, BSD) — DSP graph, oscilatoare, filtre, mixere, efecte, wavetable, WAV playback
- **Adafruit SSD1306 + Adafruit GFX** (BSD) — driver OLED și primitive grafice
- **SD** (built-in Teensyduino) — acces card microSD
- **FrankBoesing Teensy-WavePlayer** ([GitHub](#)) — variantă optimizată pentru sample loop-points
- **EEPROM** (built-in) — persistare setări (master volume, voice count, ADSR per instrument, scale, root note)

Algoritmi și structuri planificate

- **8-voice polyphony** cu alocare dinamică (oldest-voice stealing)
- **Trei motoare de sinteză rulând în paralel:**
 - AudioSynthWaveform / AudioSynthNoiseWhite (math)
 - AudioSynthWavetable (factory wavetable din PROGMEM)
 - AudioPlaySdWav (user samples cu loop-points)
- **ADSR per-instrument** persistat (factory în EEPROM-emulation, user în `instrument.txt` pe SD)
- **Lanț de efecte fix-ordonat:** Distortion → Bitcrush → Chorus → Flanger → Delay → Reverb (toggle ON/OFF per efect)
- **Quantizare pe scale:** mapare `midi_note` → `scale_degree` cu rădăcină configurabilă
- **Pitch shift în timp real** pentru sample-uri user (`playback_rate = 2^(semitone_offset / 12)`)
- **Sistem de meniu** ierarhic cu 4 tipuri de noduri (Category, Instrument terminal, Effect terminal, Numeric/Enum parameter, Read-only display)
- **Hardware mute** la introducerea unui jack — driving `SD_MODE LOW` pe ambele amp-uri (fără manipulare buffer I2S)

Implementarea propriu-zisă (surse + funcții) va fi documentată detaliat la milestone-ul **M3 (săptămâna 13)**.

Rezultate Obținute

Secțiune ce va fi completată după finalizarea proiectului (PM Fair, săptămâna 14, ~30 mai 2026):
fotografii ale dispozitivului asamblat, capturi de pe osciloscop ale semnalelor I2S/SPI, măsurători de consum, demonstrație video.

Concluzii

Secțiune ce va fi completată după demonstrația finală.

Download

Arhive ce vor fi încărcate progresiv:

- **M1 (acum):** acest document
- **M2 (săptămâna 12):** schemă KiCad (`.kicad_sch`), PCB (`.kicad_pcb`), gerber-uri pentru fabricație, BOM detaliat

- **M3 (săptămâna 13):** sursele firmware (.ino + .h/.cpp), wavetable headers, manifestul SD card de demo
- **M4 (final):** fișiere OpenSCAD pentru carcasa 3D-printabilă (.scad + .stl), fotografiile, video demo

Namespace OCW: pm:prj2026:bianca.popa1106:mihai.brisculescu.

Jurnal

- alegerea proiectului, research pe Teensy 4.0 vs. alternative (RP2040, ESP32, STM32 — ales Teensy pentru audio library matur și DMA I2S nativ).
- definirea arhitecturii hardware; selecție DAC (UDA1334A) și amplificator (inițial TPA6021A4N analog, apoi schimb la MAX98357A digital pentru imunitate la zgomot de alimentare).
- redactare documentație inițială OCW; început PCB layout în KiCad.

Bibliografie/Resurse

Resurse Hardware (datasheet-uri)

- Teensy 4.0 — [PJRC store page](#) și [specs](#)
- NXP UDA1334ATS — datasheet UDA1334ATS (NXP)
- Maxim/Analog Devices MAX98357A — datasheet MAX98357A/B
- TI SN74HC165 — datasheet SN74HC165 (Texas Instruments)
- Bourns 4608X-101-103LF — datasheet bussed resistor network
- Omron B3F — datasheet seria B3F tactile switches
- Kingbright WP7113GD — datasheet WP7113GD ($V_F = 2.0\text{ V}$ tip., I_F max 25 mA)
- Solid State Industries WP154A4SUREQBFZGW — datasheet RGB LED (variantă alternativă)
- CUI SJ1-353xNG — datasheet seria SJ1-353xNG (3.5 mm switched jack)
- Switchcraft NL110X / MNL110X — datasheet seria 1/4" switched jack (variantă AX = "Tip Closed Circuit")
- SSD1306 — datasheet controller OLED (Adafruit 938 monochrome breakout)
- HW-125 microSD module — schemă tipică (LDO + 74LVC125 level shifter)
- TP4056 — datasheet TP4056 (Nanjing Top Power) + schema modulului USB-C cu protecții
- MT3608 — datasheet MT3608 (Aerosemi) boost converter
- Sony SS-TSF550 — manual seria SS-TSF550/770/WSF550

Resurse Software

- [Teensy Audio Library](#) — documentație oficială
- [PJRC Audio System Design Tool](#)
- [Teensy Wavetable Synthesis](#) — generare instrumente din SoundFont
- [FrankBoesing/Teensy-WavePlayer](#)

- [Adafruit GFX Library guide](#)
- [Adafruit SSD1306 monochrome OLED guide](#)

[Export to PDF](#)

From:

<http://ocw.cs.pub.ro/courses/> - **CS Open CourseWare**

Permanent link:

<http://ocw.cs.pub.ro/courses/pm/prj2026/bianca.popa1106/mihai.brisculescu>



Last update: **2026/05/04 09:23**