

PROCESOR DIGITAL DE SUNET PE BAZA MICROCONTROLERULUI STM32F446RE

Andrei SPATARI^{1*}, Adrian BÎRNAZ²

¹Departamentul Informatică și Ingineria Sistemelor, grupa CR-202, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău. Republica Moldova

²Departamentul Microelectronică și Ingineria Biomedicală, Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău. Republica Moldova

*Autorul corespondent: Spatari Andrei, andrei.spatari@iis.utm.md

Îndrumător/coordonator științific: Baran Igor, programator-analist, „AROBS – Software” SRL [1], Chișinău, Republica Moldova.

Rezumat. În cadrul acestui articol se prezintă un dispozitiv care are posibilitatea de achiziționare a semnalului audio prin intermediul unui convertor analog-digital și procesarea ulterioară a acestuia de microcontroler din familia STM32 prin adăugarea efectului de ecou cu aplicarea semnalului rezultat la ieșirea convertorului digital-analog.

Cuvinte cheie: NUCLEO-F446RE, semnal audio, amplificator operațional, procesare numerică.

Introducere

În ultimul timp procesarea semnalelor, în special cel sonor, reprezintă unul dintre cele mai studiate domenii ale ingineriei [2], care necesită cunoștințe destul de vaste atât a ce reprezintă acest semnal (ce proprietăți posedă), cât și variațiunile de procesare [3]. În acest articol se descrie un dispozitiv care permite procesarea semnalului audio și care în viitor ar putea deveni un DJ Controller complex.

Scopul acestui proiect a fost crearea unui dispozitiv, care ar permite modificarea semnalului la ieșire (printr-un efect de ecou) față de cel de intrare. Pentru monitorizarea acestui efect a fost proiectat un „Control panel” ce constă din 3 potențiometre și 24 de LED-uri. În dependență de valorile obținute de la aceste potențiometre și supuse unor formule, s-a putut observa diferența dintre semnalul de ieșire și cel de intrare. Acesta este unul dintre cele 2 blocuri de bază ale acestui dispozitiv: „Control panel” și „Input signal”. Cel din urmă permite ridicarea semnalului deasupra axei Ox, pentru a obține, doar valori pozitive, fiindcă convertorul analog-digital al plăcii NUCLEO-F446RE nu lucrează cu valori negative.

Componentele sistemului

Elementele de bază ale dispozitivului:

- 3 amplificatoare TL071;
- placa de dezvoltare NUCLEO-F446RE;
- 2 baterii de 9 V fiecare;
- 3 potențiometre D103 cu capacitatea de 10 kΩ fiecare;
- 7 condensatoare electrolitice: 6 de 1 μF la 50 V, 1 de 10 μF la 50 V;
- 1 diodă Zenner din seria BTZ55C3V6;
- 1 diodă Schottky din seria 1N5822;
- 24 de LED-uri de 5mm (12 verzi, 6 galbene și 6 roșii);
- 29 de rezistențe: 24 de 470 Ω, 1 de 4.7 kΩ, 1 de 24 kΩ, 1 de 1 kΩ, 1 de 3 kΩ, 1 de 36 kΩ.
- 2 porturi audio-jack de tip mamă

Structura și principiul de funcționare al blocului „Control panel”

În figura Fig. 1 este reprezentată schema de structură a dispozitivului dat, în care pot fi evidențiate blocurile din care constă.

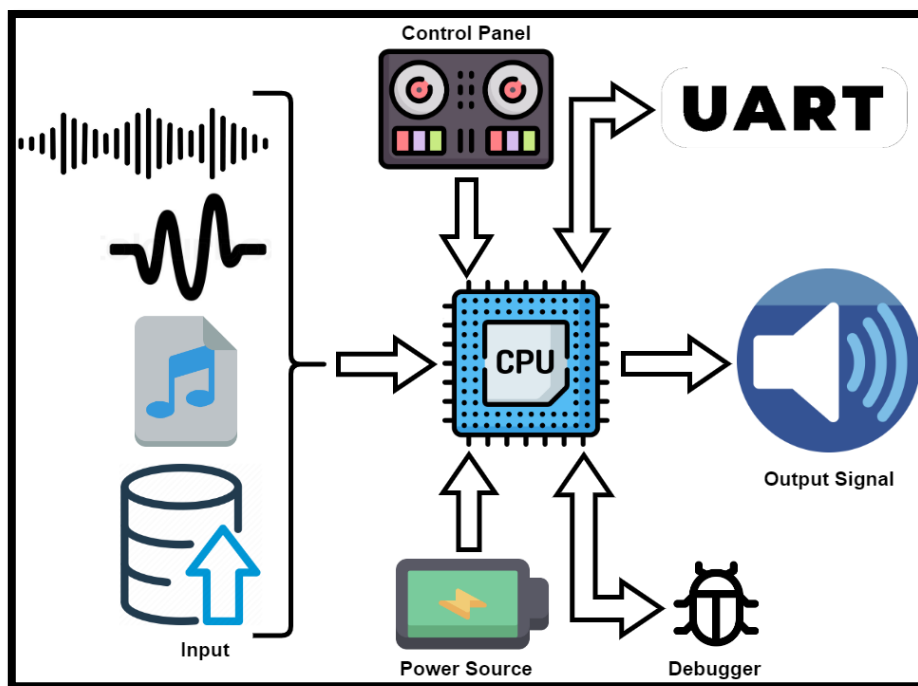


Figura 1. Schema de structură a dispozitivului „Sound Processor”

Blocul „Control panel” este format din 3 potențioetre din seria D103 cu nominalul de 10 kΩ fiecare. Acestea sunt conectate la 3 pini ai plăcii NUCLEO-F446RE [4], iar colectarea datelor se face cu ajutorul convertorului analog-digital (ADC)[5], setat în modul multicanal. Odată colectate, aceste valori sunt supuse unor formule matematice, care ulterior sunt utilizate în algoritmul de procesare. Spectrul de valori este cuprins între 0 și 4095, deoarece convertorul analog-digital este pe 12 biți.

Valoarea primului potențioetru este introdusă în Ec. (1). Rezultatul dat reprezintă delay-ul care la rândul său arată numărul de poziții cu care se va deplasa semnalul din vectorul cu dimensiunea maximală. Intervalul delay-ului este cuprins între 0 și 39 de unități.

Valoarea celui de-al doilea potențioetru este introdusă în Ec. (2). Rezultatul obținut este volumul porțiunii de semnal audio care a fost suprapus (adunat) la semnalul de la intrare. Intervalul de volum este între 0 și 100 de unități.

Valoarea celui de-al treilea potențioetru este introdusă în Ec. (3). Rezultatul obținut este volumul semnalului total care a fost scos în exterior prin intermediul unui convertor digital-analog (DAC). Intervalul acestui rezultat este de 20 și 100 de unități.

$$delay = 39 - \frac{valuePotentiometer1}{105} + 1 \quad (1)$$

$$delayVolume = \frac{valuePotentiometer2}{41} \quad (2)$$

$$volume = \frac{valuePotentiometer3}{51} + 20 \quad (3)$$

Pentru fiecare potențioetru au fost plasate câte 8 LED-uri de 5 mm (4 verzi, 2 galbene și 2 roșii), care au rolul de indicator. Astfel, intervalul de valori ai potențioetrului este împărțit în 8 segmente egale, iar fiecărui LED îi corespunde unul dintre aceste segmente.

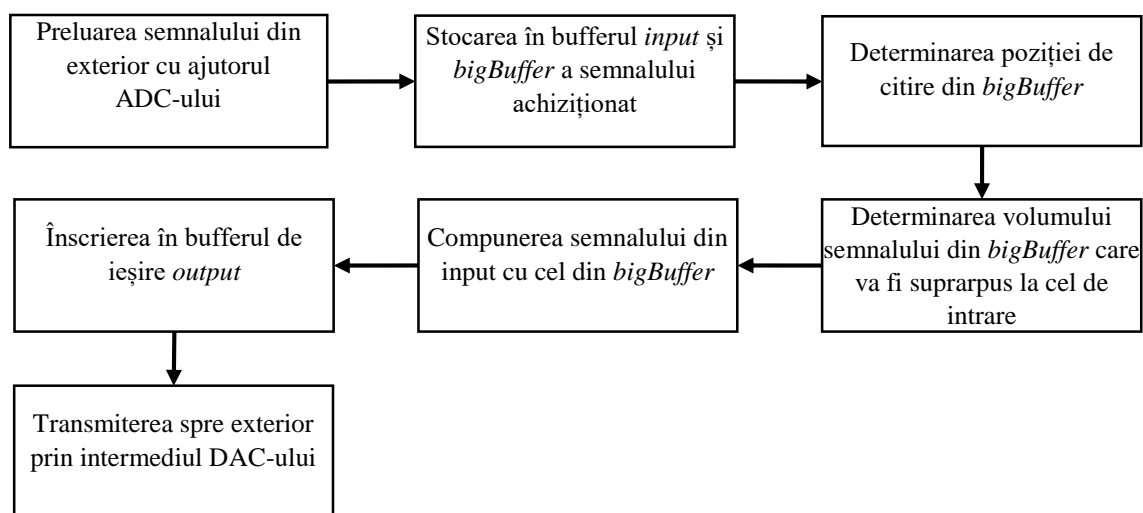


Figura 2. Algoritm de lucru al procesării semnalului

Algoritm de funcționare al dispozitivului este prezentat în Fig. 2 și constă în preluarea datelor de la potențiometre (printr-un ADC multicanal), semnalul audio de la celălalt convertor analog – digital, stocarea acestuia în 2 vectori, unul de lungimea de 2000 de elemente (*input*), iar celălalt de 40000 de elemente (*bigBuffer*) în care se înscrie în continuu. Inițial este determinată poziția elementului din vectorul *bigBuffer*, cu ajutorul valorii *delay*, care va fi suprapus semnalului de intrare. După, acestui element îi este dat volumul (cât de tare să fie auzit) prin valoarea *delayVolume*. Următorul pas este adunarea semnalului din *input* cu cel obținut și rezultatului dat îi este atribuit valoarea *volume*, cu care să fie auzit deja în exterior.

Convertorul analog-digital al plăcii NUCLEO-F446RE poate opera cu tensiuni cuprinse între 0 – 3.3V, pe când semnalul audio, generat de majoritatea plăcilor de sunet, are valoarea de amplitudine, la volum maxim, egală cu ~500mV, Fig. 3 (a) semnalul $V(VI: +)$. Respectiv valoarea minimă a amplitudinii este de -250mV. Pentru a ajusta semnalul de ieșire a plăcii audio la valorile de lucru a ADC-ului este necesar de adăugat o tensiune de deplasare pentru a poziționa semnalul deasupra axei Ox, astfel eliminând valorile negative a tensiunii de intrare. Cu toate acestea amplitudinea semnalului va fi prea mică pentru prelucrarea ulterioară din acest motiv este necesară amplificarea lui. Pentru a satisface cerințele expuse mai sus a fost concepută schema din Fig. 3, realizată în programul Schematics OrCAD [6].

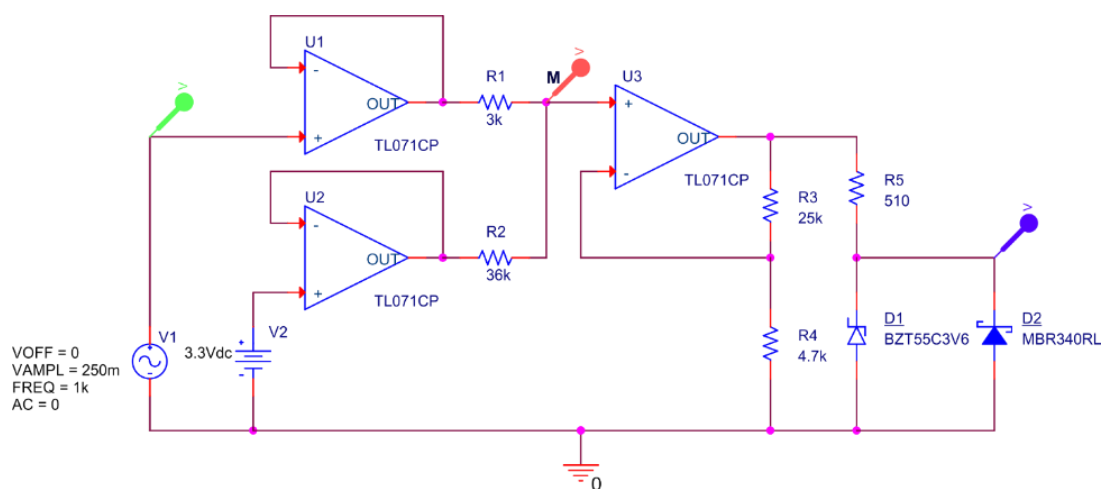


Figura 3. Schema electrică a circuitului de amplificare și sumare a semnalului util cu tensiunea de deplasare

Amplificatoarele operaționale [7] $U1$ și $U2$ sunt utilizate în calitate de tampon pentru a nu permite trecerea semnalului de deplasare la intrarea plăcii de sunet, dar și obținerea unei impedanțe mici necesare pentru sumarea semnelor de intrare cu semnalul de deplasare. Placa NUCLEO-F446RE are o sursă stabilizată de tensiune egală cu 3.3V. Această tensiune poate fi utilizată ca tensiune de deplasare, $V2$. Semnalele sumate vor avea diferite ponderi. Ponderele semnalului de la sursa $V2$ trebuie să fie mai mică întru cât avem nevoie de a deplasa semnalul cu +250mV. Pentru a seta ponderea semnalelor se vor alege rezistențele $R1$ și $R2$ conform Ec. (4) și Ec. (5).

$$P_{V1} = \frac{R2}{R1 + R2} \quad (4)$$

$$P_{V2} = \frac{R1}{R1 + R2} \quad (5)$$

Tensiunea rezultantă la sumarea semnalelor de la sursele $V1$ și $V2$ o primim în punctul M de pe schemă, Fig. 3(a) semnalul $V(R1:2)$. Tensiunea din punctul M, V_M , poate fi calculată după formula din Ec. 6.

$$V_M = V1 \cdot P_{V1} + V2 \cdot P_{V2} \quad (6)$$

Tensiunea V_M se aplică la intrarea neinversoare a amplificatorului operațional $U3$. Coeficientul de amplificare k se setează prin intermediul rezistoarelor $R3$ și $R4$ conform Ec. (7) și în rezultat vom obține semnalul amplificat în limitele necesare, prezentat în Fig. 3(b).

$$k = \frac{R3}{R4} + 1 \quad (7)$$

Pentru a proteja intrarea ADC-ului de la suprasarcini sau de potențial negativ, care în unele cazuri poate apărea la ieșire amplificatorului operațional $U3$, este conceput circuitul format din rezistorul $R5$ dioda stabilizatoare $D1$ și dioda Schottky $D2$. În cazul în care tensiunea de ieșire va fi mai mare decât tensiunea de stabilizare, dioda Zenner polarizată invers va fi străpunsă, astfel surplusul de tensiune va cădea pe rezistorul $R5$. Valoarea rezistorului poate fi calculat conform Ec. (8)

$$R5 = \frac{V_{U3} - V_Z}{I_Z \cdot I_{ADC}} \quad (8)$$

Dacă la ieșirea amplificatorului $U3$ se va forma potențial negativ dioda $D2$, se va deschide rapid și datorită căderii mici de tensiune pe joncțiune, semnalul nu va avea valori negative mai mici de -200mV, protejând astfel convertorul analog-digital. Simularea acestui caz este prezentat în Fig. 3(c).

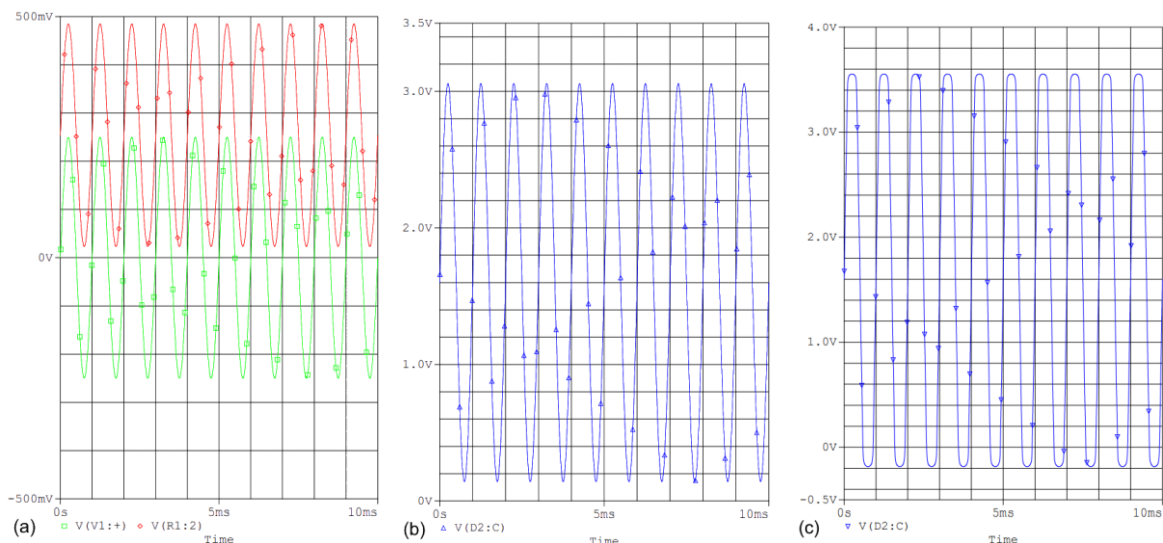


Figura 3. Semnale obținute în urma simulării circuitului. (a) Semnalul de intrare și semnalul de intrare deplasat. (b) Semnalul de ieșire. (c) Semnalul de ieșire limitat

Concluzii

Dispozitivul elaborat reprezintă un sistem de achiziție a semnalului auditiv care oferă posibilitatea procesării acestuia și adăugarea efectului de ecou cu transmiterea spre dispozitivele de redare a semnalului sonor. Funcționalitatea dispozitivului proiectat poate fi extinsă până la funcționalitatea unui DJ Controller profesionist. În rezultatul cercetării domeniului și proiectării dispozitivului prezentat a fost implementat circuitul de amplificare și translare a semnalului de intrare deasupra axei Ox, fiind format din 3 amplificatoare operaționale TL071[8], rezistențe și diode. De asemenea au fost efectuate și diferite testări, atât separate, pentru fiecare bloc, cât și asupra produsului final pentru verificarea corectitudinii algoritmului. Dispozitivul proiectat poate fi utilizat de către ingineri sau studenți în diferite domenii ca: generator sau analizor de semnal, filtrare și pentru reproducerea sunetelor. Astfel, în procesul de proiectare, au fost aplicate cunoștințele teoretice și abilitățile practice obținute în cadrul procesului de studiu la disciplinele de specialitate.

Mulțumiri. Aducem sincere mulțumiri companiei „AROBS Software” SRL pentru suportul acordat în realizarea acestui proiect.

Referințe

1. AROBS Software [online]. [Accesat 24.02.2023]. Disponibil: <https://acem.md/en/teams/arobs-software-2/>
2. Importance of audio signal processing [online]. [Accesat 24.02.2023]. Disponibil: <https://www.pathpartnertech.com/audio-signal-processing-understanding-digital-analog-audio-signal-processing/>
3. ROTAR D. Capitolul 1. In *PROCESAREA DIGITALĂ A SEMNALELOR*. Chișinău: TEHNICA INFO, 2005, pp 7 – 9.
4. Characteristics of NUCLEO-F446RE [online]. [Accesat 25.02.2023]. Disponibil: <https://os.mbed.com/platforms/ST-Nucleo-F446RE/>
5. UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI. CIRCUITE PENTRU CONVERSIA DATELOR: CONVERTOARE DIGITAL-ANALOGICE ȘI ANALOG-DIGITALE. In *CIRCUITE ANALOGICE ȘI DE CONVERSIE*. Chișinău: U.T.M, 2008, pp 77,78
6. LUPAN O. Studiul amplificatoarelor cu ajutorul programului Schematics OrCAD. In *INSTRUMENTE SOFTWARE ÎN ELECTRONICĂ*. Chișinău: U.T.M, 2006, pp 27 – 37
7. ДРОНИН Д., САНДУ Ю., БЫРНАЗ А., Проектирование и расчет измерительной схемы для резистивного датчика температуры PT-100. In *Conferința Tehnico-Științifică a Studenților, Masteranzilor și Doctoranzilor, Universitatea Tehnică a Moldovei, Ediția 2022*, Chișinău, 29-31 martie 2022, Vol. I, pp 220-224
8. *Amplificator operațional TL071* [online]. [Accesat 28.02.2023]. Disponibil <https://www.st.com/resource/en/datasheet/tl071.pdf>