

Kamil Maliński

nr albumu: 30572

kierunek studiów: Teleinformatyka

forma studiów: studia stacjonarne

**MIKROPROCESOROWY SYSTEM ODTWARZANIA DŹWIĘKU
WIEŁOKANAŁOWEGO**

MICROPROCESSOR SYSTEM OF MULTI-CHANNEL AUDIO PLAYBACK

Praca dyplomowa inżynierska

napisana pod kierunkiem:

dr inż. Eugeniusza Kornatowskiego

Katedra Przetwarzania Sygnałów i Inżynierii Multimedialnej

Data wydania tematu pracy: 21.03.2016 r.

Data złożenia pracy: 30.01.2017 r.

Szczecin, 2017

OŚWIADCZENIE

AUTORA PRACY DYPLOMOWEJ

Oświadczam, że praca dyplomowa inżynierska/magisterska pt.
„Mikroprocesorowy system odtwarzania dźwięku wielokanałowego”
napisana pod kierunkiem:
dr inż. Eugeniusza Kornatowskiego
jest w całości moim samodzielnym autorskim opracowaniem sporządzonym przy
wykorzystaniu wykazanej w pracy literatury przedmiotu i materiałów źródłowych.
Złożona w dziekanacie Wydziału Elektrycznego treść mojej pracy dyplomowej w formie
elektronicznej jest zgodna z treścią w formie pisemnej.

Oświadczam ponadto, że złożona w dziekanacie praca dyplomowa ani jej fragmenty nie
były wcześniej przedmiotem procedur procesu dyplomowania związanych z uzyskaniem
tytułu zawodowego w uczelniach wyższych.

.....
podpis dyplomanta

Szczecin, dn.

Streszczenie pracy

Celem pracy jest analiza technologii odtwarzania dźwięku w zestawach kina domowego, a także projekt i budowa własnego systemu odtwarzania dźwięku wielokanałowego. Praca omawia tematykę historii i rozwoju standardów dźwięku w kontekście komercyjnego sprzętu audio-wideo oraz budowę typowego toru przetwarzania sygnałów dźwiękowych. W części teoretycznej zawarte są informacje o najważniejszych aspektach sprzętu i oprogramowania użytych w procesie tworzenia systemu, w tym technologii transmisji danych. Część praktyczna dokumentuje procesy projektowania układów elektronicznych i głośników oraz budowy wszystkich elementów. Ostatnia część pracy opisuje najistotniejsze konstrukcje programistyczne zastosowane przy programowaniu mikrokontrolera i aplikacji mobilnej.

Słowa kluczowe

Kino domowe, Dolby Digital, DTS, Mikrokontroler PIC, dźwięk cyfrowy

Abstract

The purpose of this thesis is the analysis of audio playback technologies found in home theater devices, as well as designing and building a multi-channel audio playback system. The thesis talks about the history and development of audio standards in the context of commercial audio-video equipment, and the structure of a typical audio signal processing system. The theoretical part of the thesis includes information about the most significant aspects of hardware and software used in the process of creating the system. The practical part documents the processes of designing electrical circuits and the speakers, as well as building all of the components. The last part describes the most important programming constructs used to program the microcontroller, and the mobile app.

Keywords

Home Cinema, Dolby Digital, DTS, PIC Microcontroller, digital sound

Spis treści

Wprowadzenie	7
Wstęp teoretyczny.....	9
1.1. Konfiguracje sprzętowe systemów kina domowego	9
1.1.1. Systemy monofoniczne i stereo	9
1.1.2. Systemy wielokanałowe.....	10
1.2. Standardy transmisji sygnału audio.....	14
1.2.1. Sygnał analogowy	14
1.2.2. Dolby Surround.....	15
1.2.3. PCM	18
1.2.4. Dolby Digital	19
1.2.5. DTS	20
1.2.6. Cyfrowy dźwięk trójwymiarowy.....	20
1.2.7. Typowy tor przetwarzania sygnału wielokanałowego	21
1.3. Środowiska sprzętowe	22
1.3.1. Mikrokontroler PIC	23
1.3.2. Moduł Bluetooth z układem HC-05	24
1.3.3. Dekoder cyfrowych sygnałów dźwięku Audio Gear 5.1.....	25
1.3.4. Karta dźwiękowa USB Audiotrak Maya U5.....	26
1.3.5. Końcówka mocy LM3886	27
1.4. Oprogramowanie	29
1.4.1. MPLAB X.....	29
1.4.2. Mathcad.....	31
1.4.3. Android Studio	32
1.5. Wykorzystane technologie transmisji danych	33
1.5.1. Bluetooth	33
1.5.2. RS-232.....	33
1.5.3. I ² C.....	34
1.5.4. USB.....	34
Projektowanie elektronicznych elementów zestawu	36
2.1. Zasilacz	37
2.1.1. Zasilacz wzmacniacza	37

2.1.2. Zasilacz układów analogowych	38
2.1.3. Zasilacz układów cyfrowych	39
2.1.4. Układ zabezpieczający	40
2.2. Wzmacniacz	41
2.2.1. Układy wzmacniające	41
2.2.2. Układy dystrybucji sygnałów	42
2.2.3. Układ diod zasilania	43
2.3. Odbiornik	44
2.3.1. Układ mikroprocesora	44
2.3.2. Układ wyboru źródła dźwięku	45
2.3.3. Układ regulacji głośności PT2258	45
2.4. Głośniki	46
2.4.1. Wybór przetworników	46
2.4.2. Obliczenie pojemności obudów	49
2.4.3. Projektowanie zwrotnic	50
Budowa elementów zestawu	53
3.1. Układy elektroniczne	53
3.2. Obudowy	55
3.3. Głośniki	57
Programowanie mikrokontrolera i aplikacji sterującej	59
4.1. Programowanie mikrokontrolera	59
4.1.1. Obsługa wyświetlacza	59
4.1.2. Sterowanie za pomocą enkodera obrotowego z przyciskiem	60
4.1.3. Komunikacja z modułem Bluetooth	61
4.1.4. Komunikacja I ² C	61
4.2. Tworzenie aplikacji na system Android	62
4.2.1. Interfejs	62
4.2.2. Transmisja Bluetooth	63
Zakończenie	64
Bibliografia	65
Spis tabel	66
Spis rysunków	67
Spis kodów źródłowych	69

Wprowadzenie

Technologie kina domowego rozwijają się z coraz większą prędkością już od dekad. Chęć uzyskania możliwie najlepszej jakości obrazu i dźwięku była motorem napędowym innowacji w dziedzinie technik audiowizualnych. Przez lata powstawały coraz lepsze formaty nagrywania i odtwarzania filmów w zaciszu domowym, począwszy od mechanicznych projektorów wyświetlających klatki niemych filmów po nowoczesne cyfrowe systemy pozwalające na rekonstrukcję dźwięku przestrzennego i obrazu w rozdzielczościach sięgających dziesiątek milionów pikseli.

Niniejsza praca skupia się nad tematyką zestawów odtwarzania dźwięku wielokanałowego. Jednym z głównych jej celów jest zaprojektowanie i zbudowanie wysokiej jakości systemu kina domowego. Aby jednak ten cel zrealizować, należy dogłębnie zaznajomić się z tematyką przetwarzania dźwięku. Zostaną więc przeanalizowane standardy i formaty stosowane na przestrzeni ostatnich dekad oraz związane z nimi technologie. W dalszej części pracy zostaną też omówione metody i techniki wykorzystane podczas tworzenia poszczególnych elementów systemu, a także wykorzystane standardy transmisji danych.

Po części teoretycznej praca skupi się na projektowaniu i realizacji systemu. Tworzony zestaw składa się z:

1. zasilacza
2. odbiornika, który pozwala na wybór źródła dźwięku, kontrolę głośności i komunikację z aplikacją mobilną;
3. wzmacniacza;
4. głośników;
5. aplikacji mobilnej.

Opisane zostaną schematy wszystkich urządzeń i ich rola w systemie. Przedostatni rozdział dokumentuje proces budowania systemu na podstawie wcześniej stworzonego projektu. Przybliży techniki i decyzje konstrukcyjne, mające wpływ na ostateczny wygląd zestawu. Na końcu omówione zostaną najważniejsze aspekty związane z programowaniem mikrokontrolera i tworzeniem mobilnej aplikacji sterującej bezprzewodowo systemem.

Cel pracy

Przybliżenie najpopularniejszych standardów i formatów audiowizualnych wykorzystywanych w systemach kina domowego, a także zaprojektowanie i stworzenie własnego systemu dźwięku wielokanałowego, z obsługą zarówno analogowych, jak i cyfrowych źródeł dźwięku i możliwością zdalnego sterowania za pomocą aplikacji na urządzeniu mobilnym z systemem Android.

Zakres pracy

Rozwój wielokanałowych systemów audio - Home Theatre (HT) - ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań zawierających cyfrowe procesory dźwięku. Budowa typowego toru przetwarzania sygnału systemu odtwarzania wielokanałowej ścieżki dźwiękowej.

ROZDZIAŁ 1

Wstęp teoretyczny

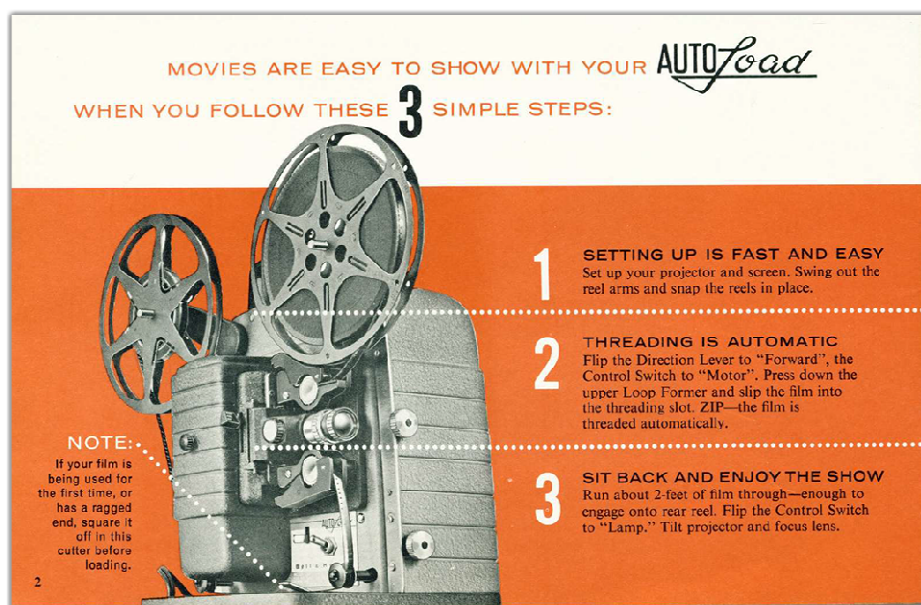
Pierwszy rozdział opisuje historię technologii audio kina domowego, najpopularniejsze konfiguracje sprzętowe, standardy transmisji i budowę typowego zestawu wielokanałowego. Ponadto zawiera informacje na temat najważniejszych elementów sprzętowych, oprogramowania i technologii użytych podczas projektowania i budowy mikroprocesorowego systemu odtwarzania dźwięku wielokanałowego.

1.1. Konfiguracje sprzętowe systemów kina domowego

Jednym z podstawowych kryteriów podziału systemów odtwarzania dźwięku jest ilość i rola jego głośników. Wraz z rozwojem technologii, zwiększa się liczba kolumn głośnikowych w domowych zestawach audiowizualnych. Ten podrozdział przybliży historię tego rozwoju, poczynwszy od projektorów bez żadnego głośnika, przez systemy mono- i stereofoniczne, aż po najnowsze technologie wykorzystujące ich dziesiątki.

1.1.1. Systemy monofoniczne i stereo

Technologia systemów kina domowego stawiała swoje pierwsze kroki w latach pięćdziesiątych dwudziestego wieku, kiedy to popularne stały się kamery i projektory do użytku domowego. Dzięki nim można było zobaczyć czarno-białe nagrania z ośmiomilimetrowej taśmy filmowej na przenośnym ekranie, często bez dźwięku. W ciągu dwóch kolejnych dekad wprowadzono na rynek sprzęt umożliwiający nagrywanie i odtwarzanie kolorowego obrazu wraz ze ścieżką dźwiękową (najczęściej monofoniczną).



Rysunek 1.1. Strona z instrukcji obsługi domowego projektora taśmy 8 mm z lat pięćdziesiątych
Źródło: Na podstawie [12]

Lata siedemdziesiąte to okres, w którym taśmy filmowe zaczęły być wypierane przez standard VHS. Głównym czynnikiem popularności tego formatu była wygoda – odtwarzacz kaset wideo wystarczy podłączyć do telewizora, aby móc cieszyć się domowymi nagraniami, a także komercyjnymi filmami wydanymi w tym formacie. Ponadto większość odtwarzaczy można było łatwo podłączyć do domowego sprzętu Hi-Fi stereo, co znacznie poprawiało jakość dźwięku.



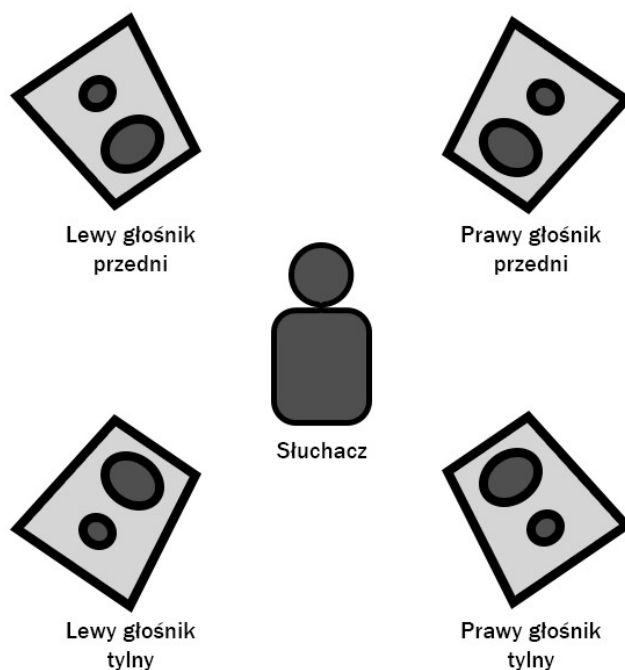
Rysunek 1.2. Logo informujące o ścieżce Hi-Fi stereo przed filmem na kasecie VHS
Źródło: Na podstawie [13]

1.1.2. Systemy wielokanałowe

Pierwsze systemy odtwarzania dźwięku wielokanałowego powstały na początku lat 70. dwudziestego wieku. Były to systemy kwadrofoniczne, w których słuchacz miał

dwa głośniki przed sobą i dwa z tyłu (patrz Rysunek 1.3). Takie ustawienie głośników można wykorzystać dwojako:

1. do separacji pozornych źródeł dźwięku w celu wzmocnienia efektu przestrzenności;
2. do odwzorowania akustyki pomieszczeń (np. sal koncertowych).



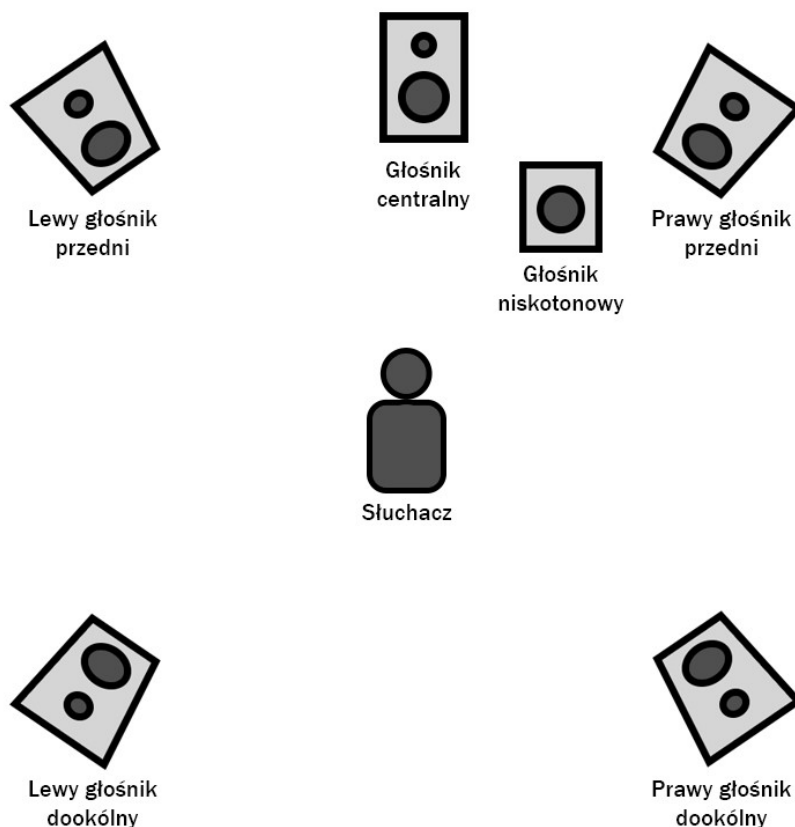
Rysunek 1.3. Rozmieszczenie głośników w systemie kwadrofonicznym

Źródło: Opracowanie własne

Pierwsza publiczna demonstracja połączenia dźwięku wielokanałowego z wyświetlanym obrazem wysokiej jakości nastąpiła w roku 1982 podczas targów Summer Consumer Electronics Show w Chicago. Firmy Lucasfilm, Dolby Labs, ADS, Proton i NAD połączyły siły, aby pokazać, jak dobrze może brzmieć i wyglądać domowy sprzęt audiowizualny. To wydarzenie uznaje się za narodziny kina domowego.

Duży wpływ na rozwój technologii Home Theatre miała popularność w Stanach Zjednoczonych i Japonii formatu LaserDisc, który pozwalał na zapis dźwięku przestrzennego w kilku formatach, zarówno analogowych, jak i cyfrowych. Jednak przełomem stał się nowy format – DVD. Wraz z jego rosnącą popularnością na przełomie XX. i XXI. wieku, wzrastało też zainteresowanie systemami odtwarzania dźwięku przestrzennego 5.1, które stały się na długi czas standardem dźwięku kina domowego. Ta konfiguracja różni się od kwadrofonii dwoma dodatkowymi głośnikami: centralnym i niskotonowym (patrz Rysunek 1.4). Zadaniem kanału centralnego jest „zakotwiczenie”

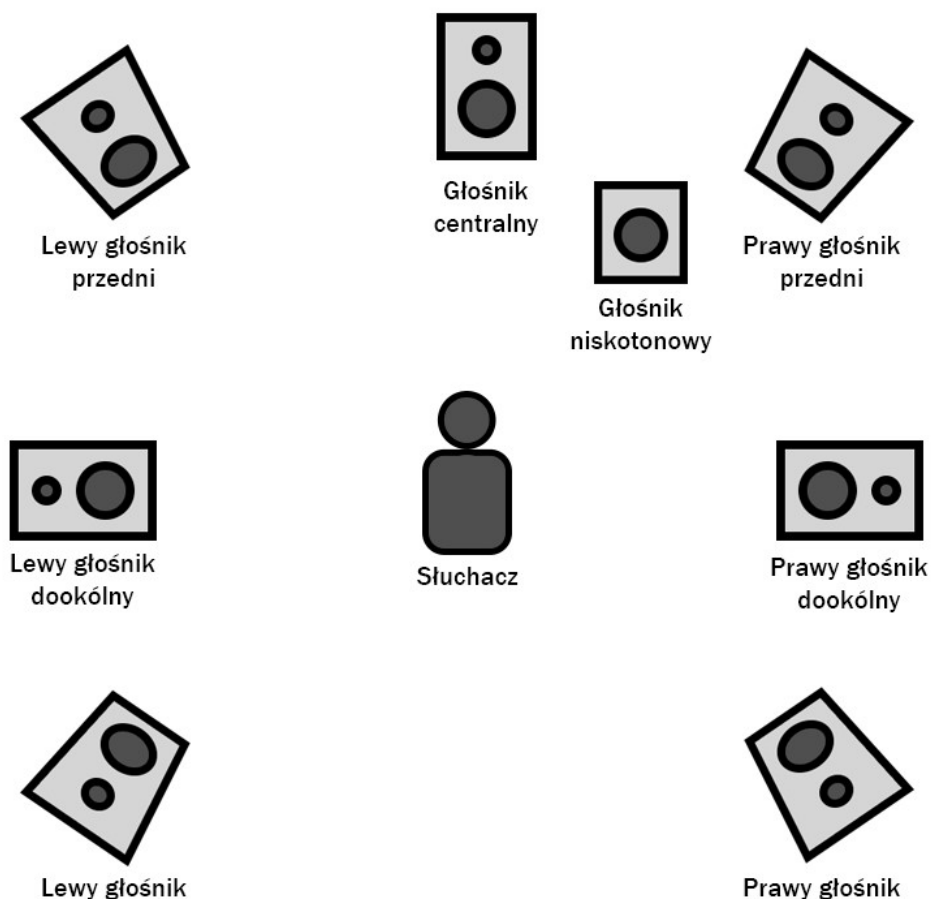
najważniejszych elementów dźwięku (np. dialogi filmowe) w centrum uwagi widza. Głośnik niskotonowy służy do odtwarzania kanału efektowego, potęgującego wrażenia podczas wydarzeń takich jak eksplozje, grzmoty itp. Jego fizyczne położenie w systemie nie jest tak krytyczne, jak reszty głośników, ponieważ ustalenie położenia źródła dźwięku o niskiej częstotliwości jest dla ludzkiego ucha bardzo trudne.



Rysunek 1.4. Rozmieszczenie głośników w systemie surround 5.1

Źródło: Opracowanie własne

Gwałtowny rozwój technologii multimedialnych w ostatnich kilkunastu latach pozwolił na zwiększenie ilości i jakości ścieżek audio, a co za tym idzie – ilości głośników w systemach audio. Poprzez systemy 7.1, który dodał dwa głośniki tylne (patrz Rysunek 1.4), 9.1 i 10.2 aż do 22.2. Ten ostatni został zaproponowany przez laboratorium japońskiego dostawcy radiowo-telewizyjnego NHK jako standard dźwięku w systemie telewizji Ultra HD. W tym standardzie stosuje się 22 głośniki szerokopasmowe rozmieszczone dookoła słuchacza na trzech wysokościach i 2 głośniki niskotonowe.



Rysunek 1.5. Rozmieszczenie głośników w systemie surround 7.1

Źródło: Opracowanie własne

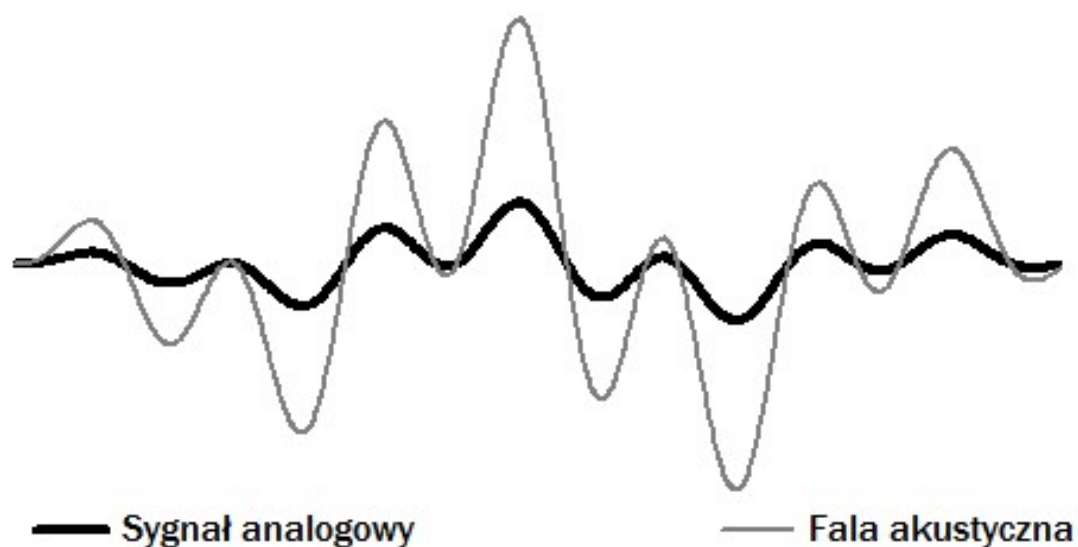
Najnowsze standardy wprowadzane na rynek odtwarzają tzw. dźwięk trójwymiarowy. Dodają one głośniki dla kanałów „atmosferycznych”, które zazwyczaj są wieszane na suficie. Zmienia się także sposób podejścia do miksowania dźwięku. Zamiast ścieżek dźwiękowych dla każdego głośnika, przesyłane są ścieżki dla obiektów będących źródłami dźwięku, zawierające m.in. informacje o położeniu obiektu. Ten sygnał jest następnie dekodowany i miksowany przez system tak, aby odpowiadał danej konfiguracji głośników. Dzięki takiemu podejściu, o technologię dźwięku 3D można rozbudować już istniejące standardowe systemy surround. Dla przykładu system surround 7.1 po dodaniu dwóch dodatkowych kanałów atmosferycznych i odpowiedniego dekodera, staje się systemem 7.1.2. Ścieżki dźwiękowe w tej technologii są wykorzystywane w filmach w formacie Blu-Ray i coraz więcej kin domowych jest w stanie je rozkodować.

1.2. Standardy transmisji sygnału audio

Aby sprostać wymaganiom coraz większej ilości i jakości ścieżek audio, postępy technologiczne w dziedzinie transmisji sygnałów muszą dotrzymywać tempa rozwojowi konfiguracji sprzętowych zestawów kina domowego, starając się jednocześnie utrzymać jak największą kompatybilność ze starszymi technologiami. W ostatnich latach transmisje cyfrowe niemal całkowicie wyparły sygnały analogowe ze względu na moce obliczeniowe dekodowników, które bez problemu radzą sobie z dekodowaniem wielu ścieżek o wysokiej częstotliwości próbkowania, a także mniej skomplikowane sposoby łączenia elementów zestawu – dla przykładu jeden przewód HDMI może przesłać jednocześnie ośmiokanałowy dźwięk 7.1 i obraz w rozdzielczości HD. Żeby przesłać 8 kanałów dźwiękowych i jedną ścieżkę wideo za pomocą sygnałów analogowych potrzeba co najmniej 9 przewodów RCA, a jakość obrazu będzie gorsza, niż w przypadku standardu HDMI. Ta część pracy będzie poświęcona omówieniu poszczególnych technologii transmisji audio, ich zastosowań, wad i zalet.

1.2.1. Sygnał analogowy

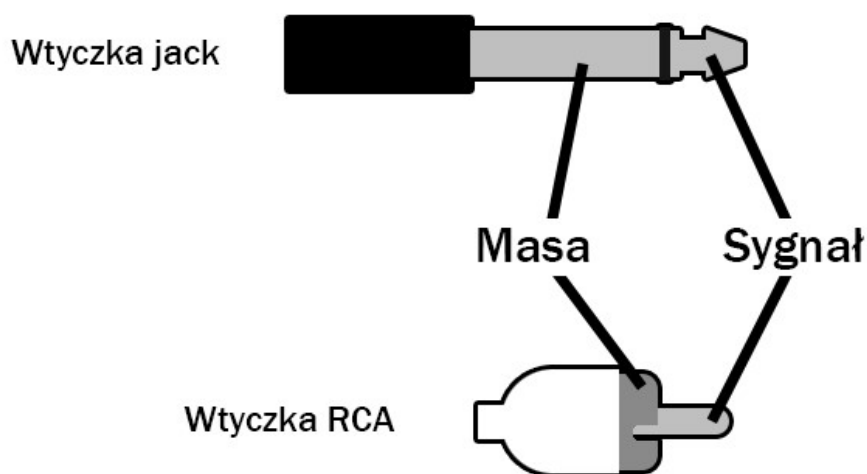
Sygnał analogowy jest najstarszym i najprostszym sposobem przesyłania dźwięku. Jest on reprezentacją fali akustycznej (drgań mechanicznych) w postaci drgań napięcia fali elektrycznej (patrz Rysunek 1.6).



Rysunek 1.6. przykładowa zależność przebiegu sygnału analogowego od kształtu fali akustycznej

Źródło: Opracowanie własne

Do przesyłania analogowych sygnałów audio najczęściej wykorzystywane są przewody zakończone wtyczkami typu RCA (popularnie zwane „cinch”) lub jack (patrz Rysunek 1.7).



Rysunek 1.7. Wtyczki typu jack (mono) i RCA

Źródło: Opracowanie własne

Rozrzut zakresów napięć sygnałów analogowych jest spory. Niektóre mikrofony przesyłają sygnał o amplitudzie rzędu kilku miliwoltów, z kolei napięcia sygnału kolumn głośnikowych o wysokiej mocy sięgają setek woltów. Najczęściej jednak napięcie sygnału, który jest przetwarzany przez urządzenia audio, nie przekracza kilku woltów.

Aby przesyłać dźwięk wielokanałowy sygnałami analogowymi, trzeba użyć osobnego przewodu dla każdej ścieżki dźwiękowej. Sygnał stereo wymaga więc użycia dwóch, a sygnał 7.1 ośmiu przewodów. Dlatego w dzisiejszych systemach wielokanałowych połączenia analogowe są rzadkością.

1.2.2. Dolby Surround

Dolby Surround to technologia wprowadzona na rynek konsumencki w roku 1982. Polega ona na miksowaniu dodatkowych kanałów z sygnałem stereo, tak, aby po przetworzeniu przez odpowiedni dekodery, dało się wydobyć oryginalne ścieżki audio. Sygnał Dolby Surround można odtwarzać także w systemie dwugłośnikowym, bez potrzeby dekodowania. Pierwsza wersja systemu Dolby Surround pozwalała jedynie na dodanie ścieżki surround do sygnału stereo. Kolejna wersja – już pod nazwą Pro Logic – oprócz ogólnego polepszenia jakości kodowania/dekodowania, zwiększała ilość dodatkowych ścieżek w sygnale stereo:

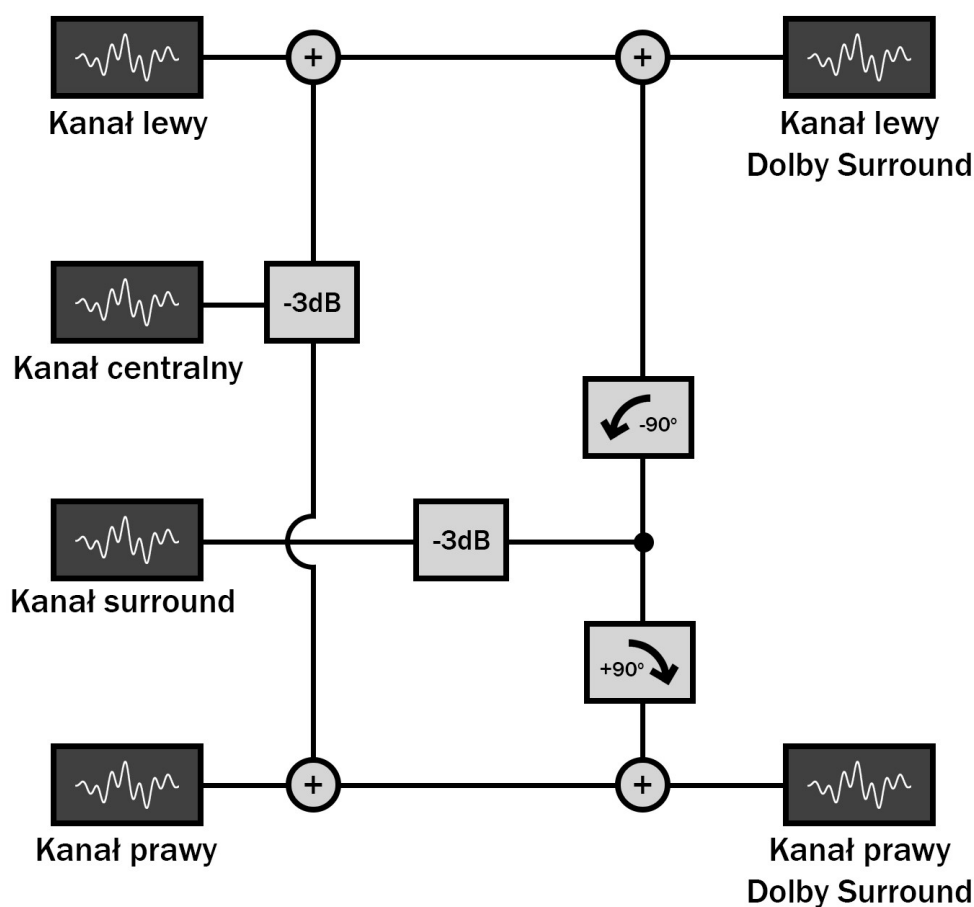
1. Dolby Pro Logic – kanał przestrzenny o ograniczonym paśmie częstotliwości i centralny;
2. Dolby Pro Logic II – dwa kanały przestrzenne pełnozakresowe i jeden centralny;

3. Dolby Pro Logic IIx – dwa kanały przestrzenne, dwa tylne i jeden centralny.

Dolby Pro Logic IIx pozwala więc na sterowanie systemem 7.1. Najnowsza wersja systemu – Dolby Pro Logic IIz – analizuje informacje przestrzenne wydobyte z kanałów surround i na ich podstawie generuje ścieżki dla dwóch dodatkowych kanałów górnych, które spełniają podobną funkcję do górnych głośników systemu Dolby Atmos.

Proces kodowania sygnałów surround i centralnego według standardu Dolby Surround Pro Logic w najprostszej postaci odbywa się następująco (patrz Rysunek 1.8):

1. amplitudy ścieżki centralnej i surround zostają zmniejszone o 3 dB;
2. ścieżka centralna zostaje dodana do ścieżki lewej i prawej;
3. ścieżka surround zostaje dodana do kanału lewego po przesunięciu w fazie o 90° , a do kanału prawego po przesunięciu o -90° .



Rysunek 1.8. Schemat blokowy kodera Dolby Surround

Źródło: Opracowanie własne

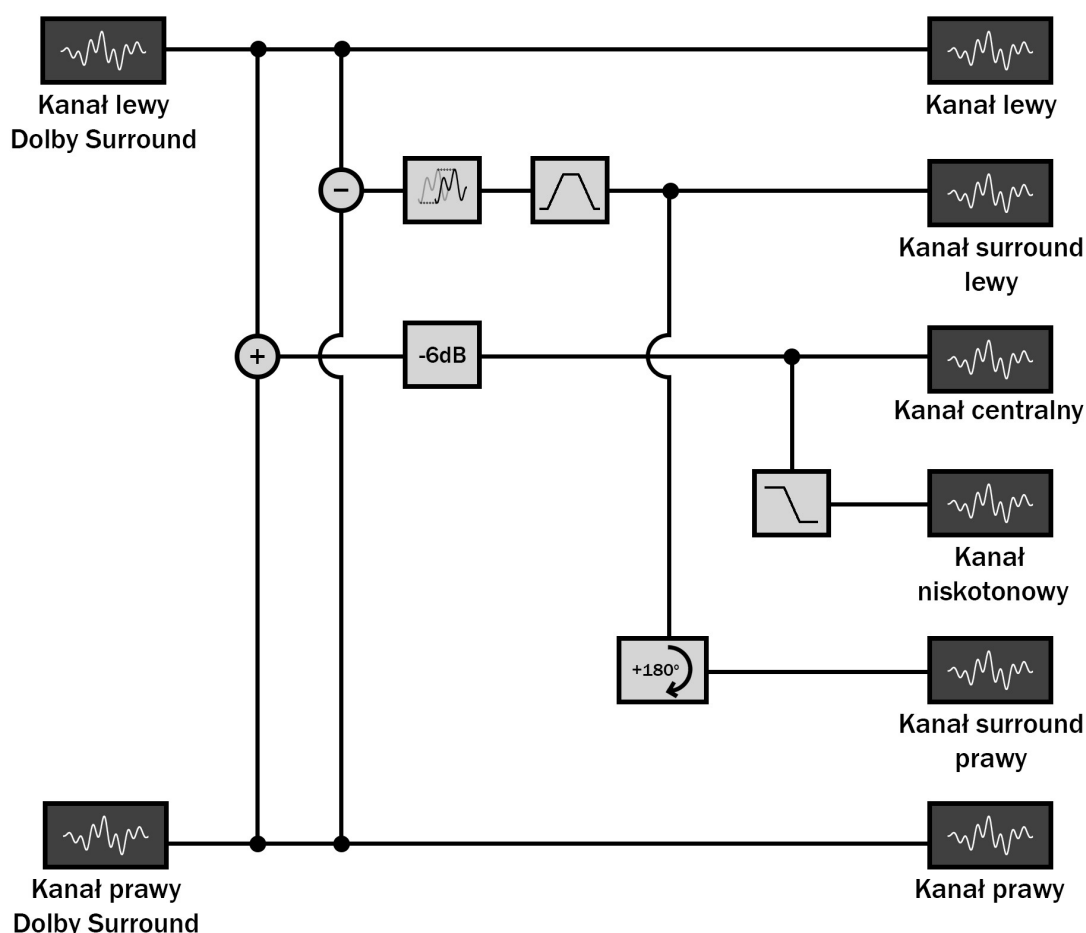
Dzięki takiemu kodowaniu, podczas słuchania nagrania używając systemu stereo, powstaje pozorne centralne źródło dźwięku, ponieważ składowa centralna sygnału w obu kanałach jest taka sama. Kanał przestrzenny jest niesłyszalny, ponieważ

jest przechowywany w kanałach lewym i prawym z odwrotnymi fazami i podczas odsłuchu oba głośniki nawzajem wyciszają swoje składowe surround.

Z tak przygotowanych sygnałów stereo możemy za pomocą dekodera wydobyć dźwięk wielokanałowy. Dla przykładu kolejne kroki procesu dekodowania ścieżek 5.1 z sygnału Dolby Surround (patrz Rysunek 1.9) to:

1. zsumowanie sygnałów lewego i prawego i zmniejszenie jego amplitudy o 6 dB. – powstaje sygnał centralny;
2. sygnał centralny zostaje przefiltrowany filtrem dolnoprzepustowym, tworząc sygnał niskotonowy;
3. przesunięcie różnicy sygnałów lewego i prawego w czasie oraz przefiltrowanie wyniku filtrem pasmowoprzepustowym daje w efekcie jeden z kanałów surround;
4. drugi kanał surround uzyskuje się przesuwając pierwszy w fazie o 180° .

Opóźnienie kanałów surround pogłębia wrażenie przestrzeni, które jest dodatkowo potęgowane tym, że sygnały surround są odwrotne w fazie, a co za tym idzie, podczas odsłuchu ciężko określić położenie ich źródła.

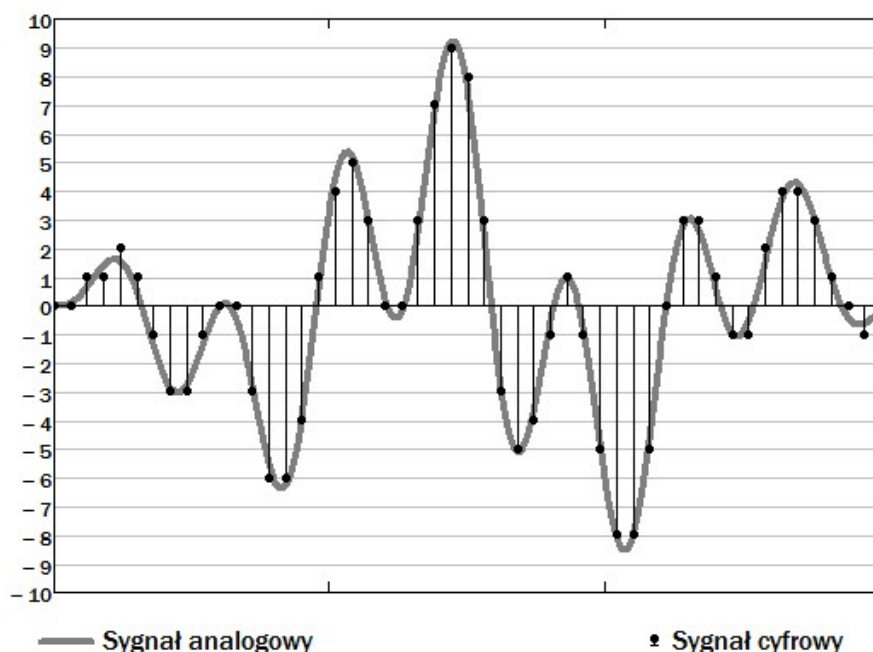


Rysunek 1.9. Schemat blokowy kodera Dolby Surround

Źródło: Opracowanie własne

1.2.3. PCM

PCM (Pulse Code Modulation) jest popularnym sposobem przedstawiania sygnału analogowego w postaci cyfrowej. Polega na mierzeniu chwilowych wartości sygnału w pewnych (najczęściej równych) odstępach czasu (patrz Rysunek 1.10), a następnie zapisanie wyników jako ciągu liczb.



Rysunek 1.10. Sygnał analogowy i odpowiadający mu sygnał PCM

Źródło: Opracowanie własne

Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na jakość sygnału cyfrowego są:

1. częstotliwość, z jaką następują pomiary, nazywana częstotliwością próbkowania;
2. dokładność pomiarów, zwana głębią bitową.

Według twierdzenia Kotelnikowa-Shannona, do wiernego odtworzenia sygnału analogowego w postaci cyfrowej potrzeba częstotliwości próbkowania co najmniej dwukrotnie wyższej od najwyższej częstotliwości występującej w sygnale analogowym. Ludzkie ucho jest w stanie wychwycić dźwięki o częstotliwości do około 20 kHz, dlatego standardem częstotliwości próbkowania sygnału PCM dla płyt audio jest 44.1 kHz, a dla płyt DVD 48 kHz.

Do transmisji sygnałów cyfrowych audio najczęściej używa się przewodów HDMI, które oprócz dźwięku przesyłają także obraz i wiele innych informacji. Do przesyłania samego strumienia cyfrowego audio używa się przewodów koaksjalnych ze wtykiem RCA lub optycznych z interfejsem Toslink (patrz Rysunek 1.11).



Rysunek 1.11. Wtyki najczęściej stosowanych interfejsów przesyłania cyfrowych sygnałów audio
Źródło: Opracowanie własne

1.2.4. Dolby Digital

Dolby Digital (znany też jako AC3) jest cyfrowym standardem kodowania i transmisji dźwięku opracowanym przez Dolby Laboratories i wprowadzonym na rynek w roku 1992. Jego pierwsza wersja obsługiwała do pięciu kanałów pełnozakresowych (20 Hz – 20 kHz) i jeden kanał niskotonowy (20 Hz – 120 Hz). Kodek AC-3 w sposób stratny kompresuje ścieżki PCM o częstotliwości próbkowania 48 kHz i 24 bitowej głębi. W wyniku tego procesu sygnał PCM o przepływności sięgającej ponad 5 Mb/s jest najczęściej kompresowany do 448 kb/s, tak aby przy zachowaniu akceptowalnej jakości dźwięku możliwie jak najbardziej zmniejszyć strumień danych.



Rysunek 1.12. Logo Dolby Digital, umieszczane na kompatybilnym sprzęcie i materiałach zawierających ścieżki Dolby Digital
Źródło: www.Dolby.com

Kolejne wersje Dolby Digital wносиły usprawnienia do standardu. Dolby Digital EX, za pomocą technik podobnych do Dolby Surround, dodał obsługę dwóch dodatkowych kanałów tylnych. W ten sposób zachowano kompatybilność z systemami 5.1, jednocześnie oferując obsługę systemów 7.1. Następnym krokiem rozwoju

technologii był format Dolby Digital Plus, który dzięki możliwościom formatów HD-DVD i Blu-Ray, zwiększył ilość obsługiwanych kanałów do 7.1, a także przepływność strumienia danych do 3 Mb/s. Najnowszym standardem formatu Dolby Digital jest Dolby TrueHD. Jest to technologia kompresji bezstratnej, o przepływności 18 Mb/s. Oprócz przesyłania ścieżek dźwiękowych, pozwala też na kodowanie obiektów wraz z ich metadanymi, dzięki czemu może służyć jako kodek dla systemów Dolby Atmos.

1.2.5. DTS

Kodek DTS Coherent Acoustics (DCA), powszechnie nazywany DTS jest bezpośrednim konkurentem Dolby Digital. Oba standardy są do siebie podobne technologicznie, jednak DTS Charakteryzuje się lepszymi parametrami dźwięku w stosunku do podstawowej wersji standardu Dolby Digital – niemal trzykrotnie wyższa prędkość strumienia danych niż w przypadku Dolby Digital (1,5 Mb/s) i znacznie niższy stopień kompresji. Został spopularyzowany dzięki wprowadzeniu go jako opcjonalną ścieżkę dźwiękową w formacie DVD. Najpopularniejsze konsole do gier, (PlayStation 3, Xbox 360 i nowsze) także wspierają kodek DCA.



Rysunek 1.13. Logo DTS, umieszczane na kompatybilnym sprzęcie i materiałach zawierających ścieżki DCA

Źródło: www.dts.com

Technologie firm Dolby Laboratories i DTS wzajemnie się prześcigają od czasu wejścia na rynek, trudno więc jednoznacznie je do siebie porównać. Niemal każdy nowoczesny zestaw kina domowego jest w stanie dekodować sygnały w obu standardach.

1.2.6. Cyfrowy dźwięk trójwymiarowy

Najnowocześniejszym trendem rozwoju techniki dźwięku wielokanałowego są systemy dźwięku trójwymiarowego. Rezygnują one z zapisu osobnych ścieżek dla konkretnych głośników, na rzecz obiektów. Każdy taki obiekt ma swoją ścieżkę dźwiękową, a także położenie. Na podstawie tych informacji, dekodery miksuje odpowiednie ścieżki audio dla poszczególnych głośników w zestawie. Pozwala to na uniezależnienie sygnału cyfrowego konfiguracji sprzętowej użytkownika – ten sam sygnał zostanie odtworzony

w systemie 5.1, jak i 24.2.4. Ponadto, systemy tego typu wprowadzają głośniki górne, tzw. atmosferyczne, które powinny znajdować się nad głową słuchacza.



Rysunek 1.14. Loga dwóch najpopularniejszych standardów dźwięku 3D

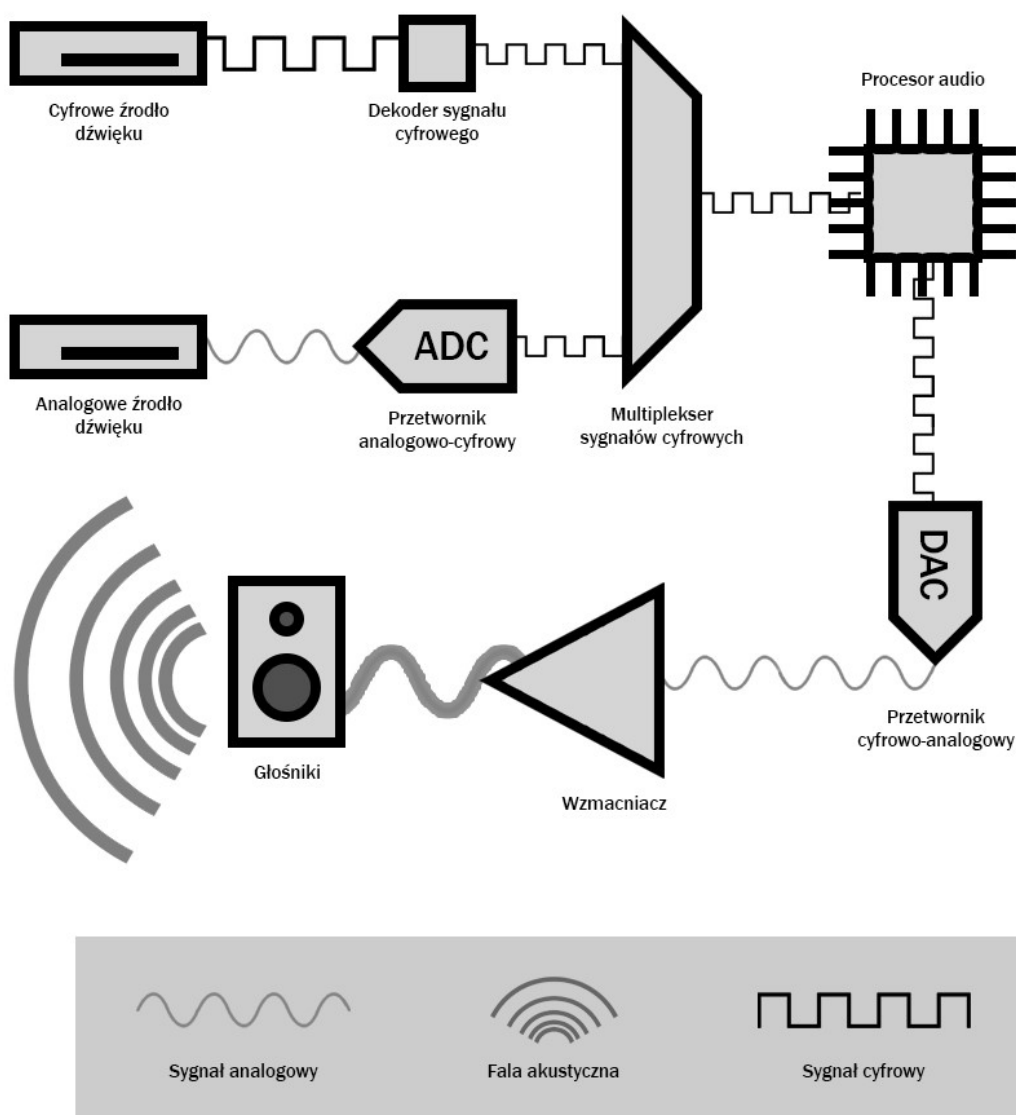
Źródło: www.Dolby.com, www.DTS.com

Zarówno firma Dolby laboratories jak i DTS mają swoje standardy dźwięku 3D. W przypadku Dolby jest to Dolby Atmos, a DTS – DTS:X (patrz Rysunek 1.14). Obie technologie działają podobnie i są powoli wprowadzane do kin i formatów domowych.

1.2.7. Typowy tor przetwarzania sygnału wielokanałowego

Całkowicie analogowe systemy wielokanałowe stanowią rzadkość. W zdecydowanej większości nowoczesnych zestawów kina domowego dźwięk jest przetwarzany w formie cyfrowej, a dopiero w układzie wzmacniacza jest przywracana forma analogowa dźwięku, przy pomocy przetworników cyfrowo-analogowych. Zazwyczaj więc, tor przetwarzania sygnału audio składa się z następujących elementów:

1. źródła dźwięku (np. odtwarzacz Blu-Ray, czy konsola do gier);
2. przetworniki analogowo-cyfrowe (DAC) dla źródeł sygnałów analogowych (np. odtwarzaczy CD);
3. dekodery formatów cyfrowych dla cyfrowych źródeł dźwięku;
4. multiplekser sygnału pozwalający na wybór odtwarzanego źródła dźwięku;
5. cyfrowy procesor dźwięku, pozwalający na regulację głośności kanałów, a także ewentualne filtrowanie dźwięku;
6. przetworniki cyfrowo-analogowe (ADC) przetwarzające sygnały z procesora na dźwięk analogowy dla wzmacniacza;
7. końcówki mocy wzmacniające sygnał analogowy do mocy wystarczającej do odtworzenia za pomocą głośników;
8. przetworniki elektroakustyczne, czyli inaczej głośniki, zamieniające sygnał elektryczny audio na drgania powietrza, które docierają do uszu słuchacza.



Rysunek 1.15. Schemat blokowy typowego toru przetwarzania sygnału wielokanałowego
Źródło: Opracowanie własne

1.3. Środowiska sprzętowe

Projektowany system przetwarzania dźwięku składa się z kilku modułów sprzętowych, które muszą ze sobą współpracować. Ten podrozdział opisuje najważniejsze z nich, czyli mikrokontroler, moduł komunikacji bezprzewodowej, i przetworniki cyfrowo-analogowe. Zostanie pokrótce omówiony ich rola w systemie, zasada działania i istotne parametry.

1.3.1. Mikrokontroler PIC

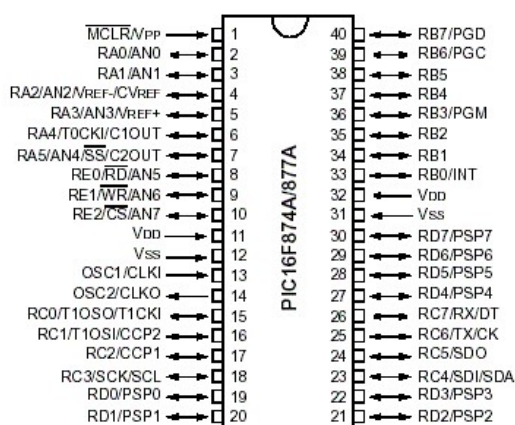
Mikrokontroler stanowi centralną jednostkę sterującą zestawem. To on steruje wyborem źródła dźwięku i głośnością zestawu. Ponadto komunikuje się z aplikacją w telefonie, wyświetla informacje na wyświetlaczu LCD i obsługuje enkoder obrotowy.

Do jednoczesnego sterowania wszystkimi możliwościami systemu konieczny był dobór mikrokontrolera o wystarczającej ilości wejść/wyjść, a także obsługujący komunikację szeregową i I²C. Wybór padł na PIC16F877A w obudowie DIP40. Jego duże rozmiary ułatwiają lutowanie, a ilość pinów pozwala na połączenie wszystkich elementów układu do osobnych linii.

Tabela 1.1. Najważniejsze parametry mikrokontrolera PIC16F877A

Źródło: Na podstawie [7]

Parametr	Wartość
Napięcie zasilania	2.0 V – 5.5 V
Maksymalny pobór prądu	4 mA
Częstotliwość taktowania	DC – 20 MHz
Ilość wejść/wyjść	33
Obsługiwane metody komunikacji	szeregowe: USART, MSSP, I ² C, równoległe: PSP
Ilość wejść analogowych	8



Rysunek 1.16. oznaczenia pinów mikorkontrolera PIC16F877A

Źródło: Na podstawie [7]

1.3.2. Moduł Bluetooth z układem HC-05

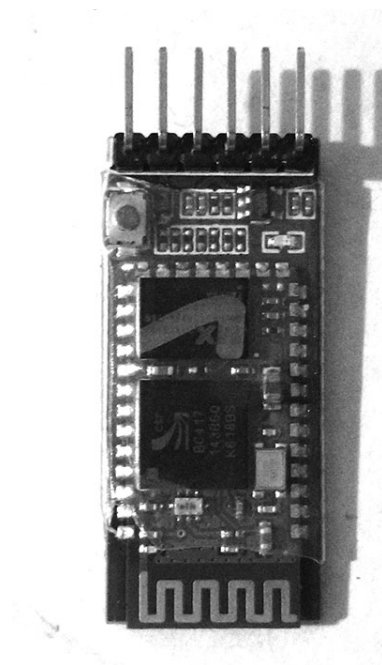
Do komunikacji bezprzewodowej wykorzystany został moduł Bluetooth z układem HC-05. Jest to bardzo popularny i prosty w użyciu moduł – wystarczy podłączyć zasilanie 5 V i dwie linie portu szeregowego aby cieszyć się komunikacją bezprzewodową z naszym układem. Dodatkowo zaletą modułu są jego małe wymiary i waga, dzięki którym

nie wymaga specjalnego mocowania w obudowie – wystarczy wpiąć go w gniazdo sześciopinowe .

Tabela 1.2. Najważniejsze parametry modułu Bluetooth z układem HC-05

Źródło: Na podstawie [11]

Parametr	Wartość
Napięcie zasilania	5V
Maksymalny pobór prądu	80 mA
Napięcie sygnałów Rx i Tx	3.3V
Standard Bluetooth	2.0 + EDR



Rysunek 1.17. Moduł Bluetooth z układem HC-05

Źródło: Opracowanie własne

1.3.3. Dekoder cyfrowych sygnałów dźwięku Audio Gear 5.1

Dekoder Audio Gear 5.1 służy w systemie jako przetwornik cyfrowo-analogowy. Jego rola polega na przetworzeniu sygnału cyfrowego z wejścia optycznego na sygnał analogowy, który następnie jest przetwarzany przez system. Urządzenie ma wiele dodatkowych możliwości i trybów pracy, jednak w projektowanym zestawie zostanie użyty jedynie jako interfejs pomiędzy cyfrowym wejściem optycznym a układami analogowymi.

Tabela 1.3. Najważniejsze parametry Dekodera Audio Gear 5.1

Źródło: Opracowanie własne

Parametr	Wartość
Napięcie zasilania	5V
Wejścia cyfrowe	2x Toslink, Coaxial
Wejścia analogowe	Jack 3.5 mm
Wyjścia analogowe	3x Jack 3.5 mm (6 kanałów)



Rysunek 1.18. Dekoder Audio Gear 5.1

Źródło: Opracowanie własne

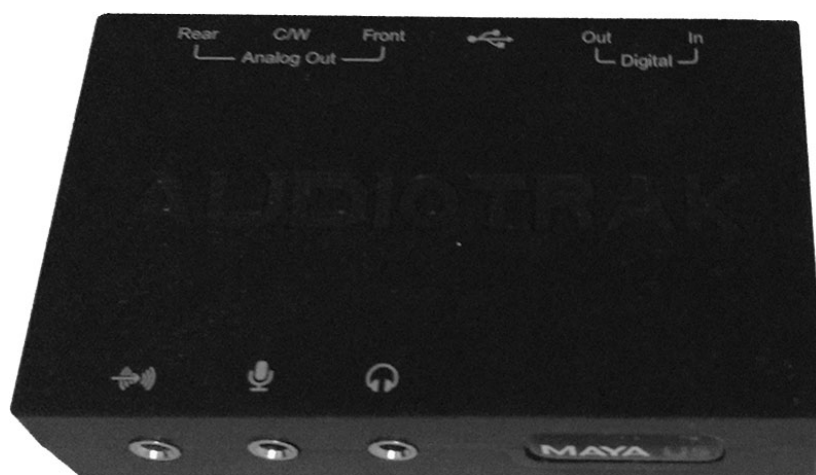
1.3.4. Karta dźwiękowa USB Audiotrak Maya U5

System ma z założenia mieć możliwość pracowania jako zewnętrzna karta dźwiękowa komputera PC. O ile układy scalone kart dźwiękowych stereo są stosunkowo łatwe do znalezienia, o tyle układy wielokanałowe przeznaczone dla hobbystów praktycznie nie istnieją. Dlatego do stworzenia zestawu zostało użyte gotowe urządzenie Audiotrak Maya U5, które po wyjęciu z obudowy stanowi jeden z układów odbiornika.

Tabela 1.4. Najważniejsze parametry karty Audiotrak Maya

Źródło: Opracowanie własne

Parametr	Wartość
Napięcie zasilania	5V
Wejścia cyfrowe	USB, Toslink
Wejścia analogowe	3x Jack 3.5 mm
Wyjścia analogowe	3x Jack 3.5 mm (6 kanałów), Jack 3.5 mm (słuchawki)
Wyjścia cyfrowe	Toslink

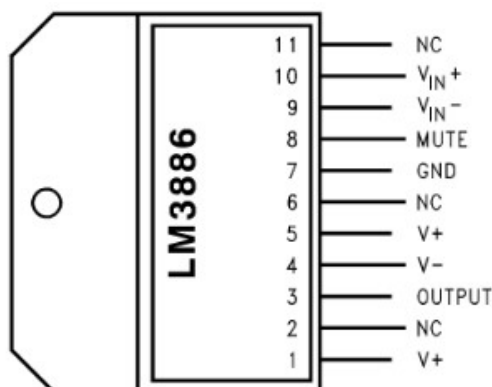


Rysunek 1.19. Karta dźwiękowa Audiotrak Maya U5

Źródło: Opracowanie własne

1.3.5. Końcówka mocy LM3886

Kluczowym elementem wzmacniacza jest końcówka mocy LM3886. Jest to układ opracowany przez firmę Texas Instruments w roku 1999. Do dnia dzisiejszego ciężko znaleźć zamiennik o porównywalnych parametrach w tej klasie cenowej. Amplifier audio oparty o jedną końcówkę mocy LM3886 może osiągnąć średnią moc sięgającą nawet 68 watów, przy impedancji głośników równej 4Ω i zasilaniu $\pm 28\text{ V}$. Układ ten charakteryzuje się rewelacyjną jakością dźwięku. Zniekształcenia harmoniczne THD+N w zakresie od 20 Hz do 20 kHz wynoszą 0,1%, a stosunek sygnału do szumu to minimum 92 dB. Ponadto układ jest wyposażony w funkcję „mute”, która wycisza wzmacniacz, jeżeli prąd wypływający z pinu nr 8 (patrz Rysunek 1.20) jest mniejszy niż 0,5 mA.

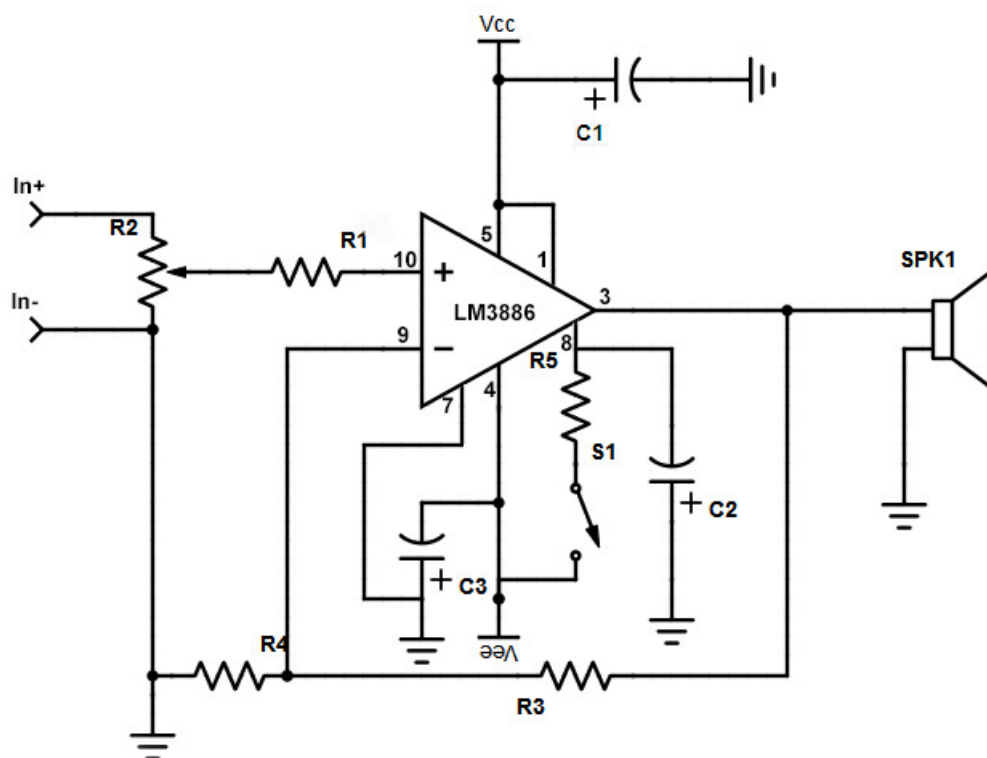


Rysunek 1.20. Oznaczenia pinów końcówki mocy LM3886

Źródło: Na podstawie [8]

LM3886 może być zasilany napięciami od 20 V do 84 V, a jego maksymalna chwilowa moc wyjściowa to 135 W. Ze względu na tak dużą moc, układ ma wbudowane zabezpieczenia przed zbyt dużym natężeniem wyjściowym (spowodowanym np. zwarcie wyjścia z masą), zbyt dużym napięciem wyjściowym (wywołanym przez obciążenia indukcyjne), a także przed przegrzaniem. Najczęściej jest stosowany w konfiguracji nieodwracającego wzmacniacza operacyjnego (patrz Rysunek 1.21). Jego wzmocnienie (stosunek sygnału wyjściowego U_{wy} do wejściowego U_{we}) w takim układzie opisuje wzór:

$$\frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{R_3 + R_4}{R_4} \quad (1.1)$$



Rysunek 1.21. Typowy schemat wzmacniacza z układem LM3886

Źródło: Opracowane na podstawie [8]

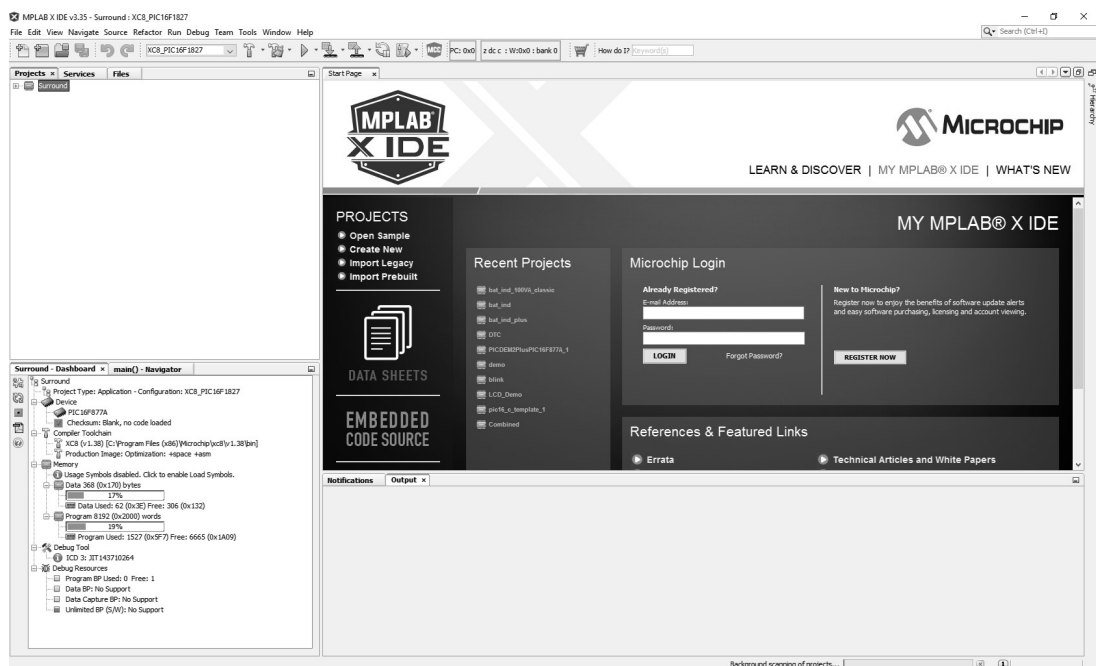
Głośność sygnału wejściowego (a co za tym idzie także wyjściowego) jest kontrolowana za pomocą potencjometru R2. Na schemacie widzimy też włącznik S1, który po zamknięciu łączy nóżkę „mute” z ujemnym źródłem napięcia poprzez rezystor R5. Wartość opornika jest dobrana tak, aby z pinu nr 8 po załączeniu S1 wypływał prąd wystarczający do wyłączenia funkcji „mute”.

1.4. Oprogramowanie

Stworzenie systemu wymagało dokonania różnego rodzaju obliczeń i symulacji, a także zaprogramowania mikrokontrolera i aplikacji na urządzenia z systemem Android. W poniższym podrozdziale zostaną opisane programy użyte w tych celach.

1.4.1. MPLAB X

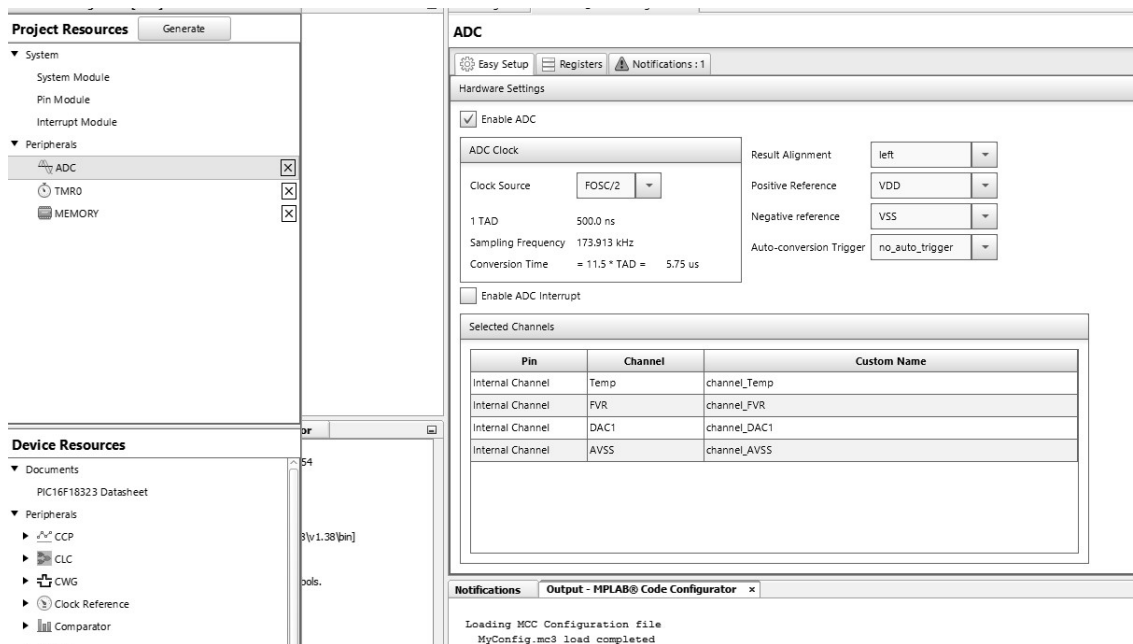
MPLAB X jest środowiskiem programistycznym do mikrokontrolerów PIC, udostępnianym za darmo przez firmę Microchip – twórców tychże mikrokontrolerów. Oprogramowanie działa na platformach Windows, Linux i Mac OS X.



Rysunek 1.22. Okno startowe programu MPLAB X

Źródło: Opracowanie własne

Dużym atutem tego środowiska jest ścisła integracja ze sprzętem, np. podczas kompilacji widzimy ile procent pamięci mikrokontrolera wykorzystaliśmy. Kolejną mocną jego stroną jest moduł MCC - Microchip Code Configurator (patrz Rysunek 1.23), który pozwala na wygenerowanie kodu konfiguracyjnego (wejść, wyjść, przetworników ADC, pamięci itd.) mikrokontrolera za pomocą przejrzystego kreatora. Znacznie przyspiesza to początkowe fazy projektów.



Rysunek 1.23. Konfiguracja przetwornika analogowo-cyfrowego za pomocą modułu MCC

Źródło: Opracowanie własne

MPLAB działa jedynie z certyfikowanymi przez firmę Microchip urządzeniami, dlatego do programowania mikrokontrolera został użyty programator Microchip ICD3 (patrz Rysunek 1.24).

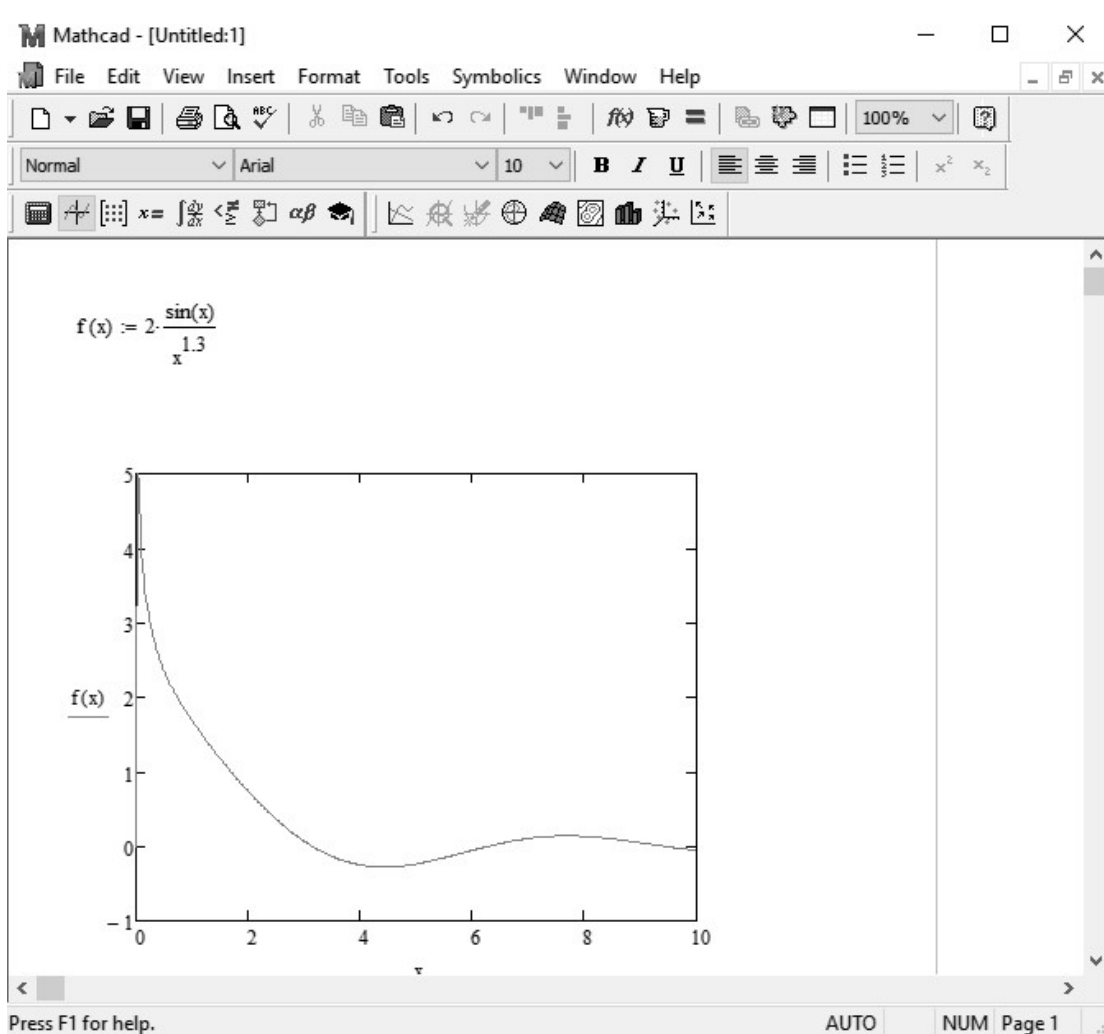


Rysunek 1.24. Programator ICD3

Źródło: Opracowanie własne

1.4.2. Mathcad

Program Mathcad firmy Parametric Technology Corporation jest oprogramowaniem algebry komputerowej wspomagającym dokonywanie skomplikowanych obliczeń przy pomocy komputera. Program jest zaprojektowany tak, aby pracować z nim tak, jak z tradycyjnym notatnikiem (patrz Rysunek 1.25). Umożliwia wykonywanie skomplikowanych operacji matematycznych, ale także tworzenie wykresów, analizę plików dźwiękowych i obrazów, tworzenie animacji.



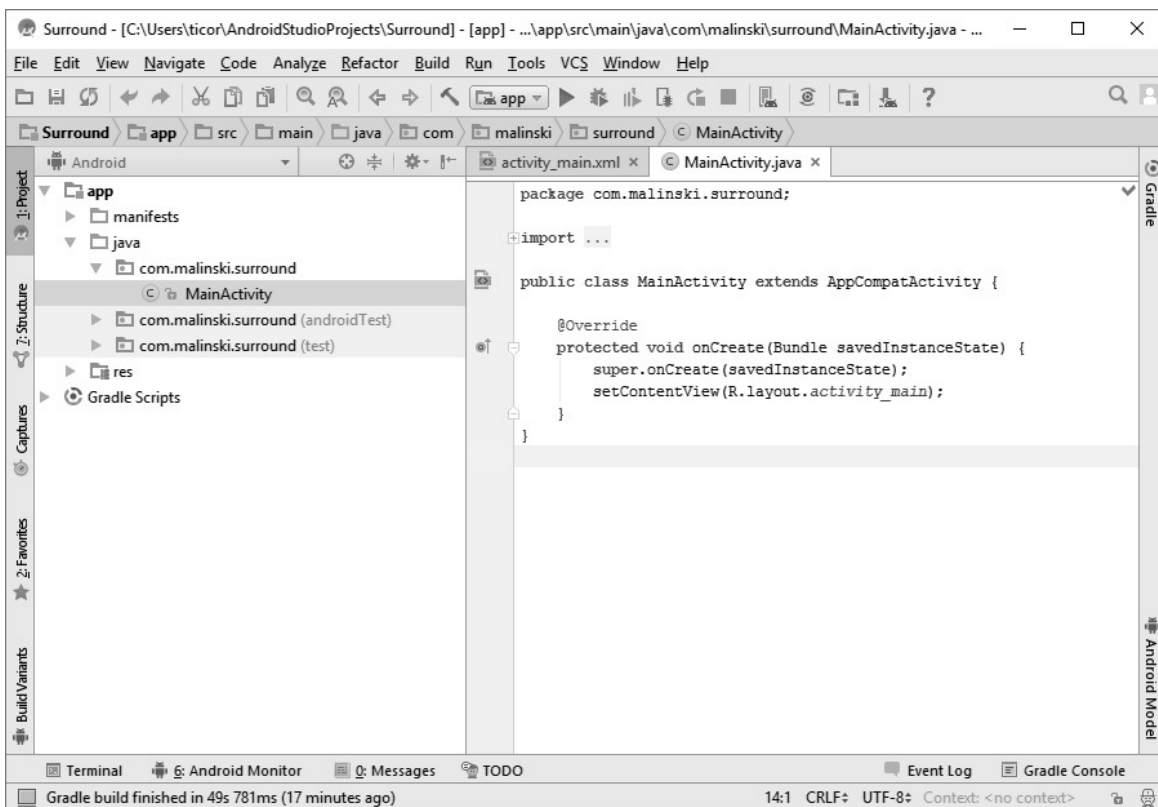
Rysunek 1.25. Interfejs programu Mathcad

Źródło: Opracowanie własne

Program Mathcad w niniejszej pracy został użyty do obliczenia wartości komponentów zwrotnic głośnikowych, a także do wyliczenia objętości obudów głośników.

1.4.3. Android Studio

Android Studio jest oficjalnym środowiskiem programistycznym do tworzenia aplikacji na platformę Android, która dominuje wśród urządzeń mobilnych na rynku. Środowisko bazuje na oprogramowaniu JetBrains IntelliJ IDEA i jest udostępniane za darmo przez producenta – firmę Google. Oprogramowanie zawiera wiele modułów ułatwiających tworzenie aplikacji, np. edytor wizualny, emulator urządzeń z systemem Android czy gotowe szablony prostych aplikacji. Ponadto zawiera wszystkie elementy, jakie powinno mieć zaawansowane środowisko programistyczne – kolorowanie i podpowiadanie składni, wiele opcji konfiguracyjnych, zaawansowany debugger.



Rysunek 1.26. Interfejs programu Android Studio

Źródło: Opracowanie własne

1.5. Wykorzystane technologie transmisji danych

Poszczególne elementy odbiornika wykorzystują do wymiany informacji cztery protokoły komunikacyjne: Bluetooth, RS-232, I²C i USB. Ten podrozdział jest poświęcony krótkiemu omówieniu każdego z nich.

1.5.1. Bluetooth

Projektowany system jest w stanie przyjmować i wysyłać komunikaty za pomocą połączenia Bluetooth. Jest to technologia bezprzewodowej transmisji danych pomiędzy urządzeniami elektronicznymi. Wykorzystują je urządzenia takie jak bezprzewodowe klawiatury i myszy, zestawy słuchawkowe, radia samochodowe czy drukarki. Największą popularność zyskała dzięki zastosowaniu w telefonach komórkowych, gdzie pozwala na wygodny transfer danych z telefonu do innych urządzeń bez użycia kabli.



Rysunek 1.27. Logo standardu Bluetooth

Źródło: www.Bluetooth.com

Do komunikacji wykorzystywane są fale radiowe w paśmie częstotliwości ISM 2,4 GHz.. Specyfikacja pierwszej wersji protokołu ujrzała światło dzienne w roku 1999. Bluetooth 1.0 pozwala na transfer z prędkością 21 kb/s. Kolejne wersje protokołu zwiększały prędkość transmisji, a także poprawiały ich bezpieczeństwo. Na dzień dzisiejszy najnowszą wersją standardu jest Bluetooth 5, która poza zwiększeniem szybkości transferu danych do 50 Mbit/s i zasięgu połączenia (do 240 m), zadbała o łatwiejszą integrację z urządzeniami Internet of Things i niskie zużycie energii.

1.5.2. RS-232

Moduł Bluetooth łączy się z mikrokontrolerem PIC16F877A za pomocą protokołu szeregowej transmisji danych RS-232. Standard ten jest szeroko znany jako metoda transmisji danych w starszych komputerach osobistych za pomocą portów COM. W przypadku mikrokontrolerów stosowany jest uproszczony, dwuprzewodowy sposób połączenia. Wyjście (Tx) mikrokontrolera jest podłączone do wejścia (Rx) modułu

i odwrotnie. Umożliwia to wymianę danych w obie strony. Typowa ramka danych w transmisji RS-232 składa się z następujących elementów:

1. bit START (stan niski);
2. bajt danych;
3. opcjonalny bit parzystości w celu zweryfikowania poprawności transmisji;
4. jeden lub dwa bity STOP.

1.5.3. I²C

I²C jest prostym protokołem umożliwiającym komunikację z wieloma urządzeniami podłączonymi do tej samej magistrali (teoretyczny limit to 127 urządzeń). Został zaprojektowany przez firmę Philips na początku lat osiemdziesiątych, z myślą o przesyłaniu danych wewnątrz urządzeń elektronicznych. Urządzenia połączone ze sobą magistralą I²C mogą pracować w trybie „master” lub „slave”. Transmisja odbywa się za pomocą dwóch linii: SDA (linia danych) i SCL (linia zegara). Są one połączone poprzez rezystory podciągające do źródła zasilania. Typowa transmisja danych odbywa się w następujących krokach:

1. warunek startu – urządzenie „master” zmienia wartość linii SDA z wysokiej na niską, podczas gdy linia SCL utrzymuje stan wysoki;
2. „master”. zgodnie z taktowaniem linii SCL na linii SDA wysyła 7 bitów zawierający adres urządzenia „slave”, z którym próbuje się skontaktować, a następnie jeden bit R/W wybierający operację zapisu lub odczytu;
3. „slave” wysyła jeden bit ACK, potwierdzający nawiązanie komunikacji;
4. „master” wysyła lub odbiera 8 bitów zgodnie z bitem R/W;
5. „slave” wysyła jeden bit ACK, potwierdzający pomyślny transfer bajtu;
6. „master” generuje warunek stopu – linia SDA zmienia wartość z niskiej na wysoką, podczas gdy linia SCL utrzymuje stan wysoki.

1.5.4. USB

USB (Universal Serial Bus – uniwersalna magistrala szeregową) jest powszechnie stosowanym standardem komunikacji szeregową. Jego dwie najważniejsze cechy to uniwersalność (można go wykorzystać do połączenia wielu różnego typu urządzeń) i zgodność ze standardem Plug and Play, dzięki czemu peryferia można podłączać do urządzenia w trakcie jego działania i korzystać z nich bez potrzeby dodatkowej konfiguracji. Istnieją następujące wersje standardu USB::

1. USB 1.1 z roku 1998, która pozwala na transfer z prędkością 12 Mb/s;
2. USB 2.0 z roku 2000, teoretycznie osiąga maksymalną prędkość transmisji wynoszącą 480 Mbit/s;
3. USB 3.0 wprowadzona w roku 2008 osiąga prędkość 5 Gb/s;
4. USB 3.1 z roku 2013, może przesyłać dane z prędkością 10 Gb/s;

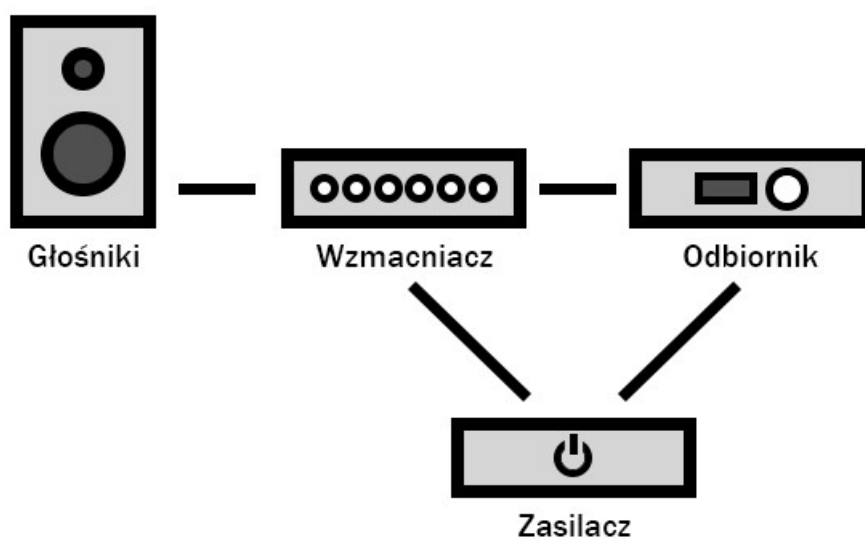
5. USB Typ C z roku 2014 wprowadza nowy typ złącza i o wiele większe możliwości zasilania.

Oprócz transferu danych, USB odpowiada też w wielu przypadkach za zasilanie podłączonego urządzenia, a w ostatnich latach, interfejs stał się standardowym gniazdem zasilania w urządzeniach mobilnych.

ROZDZIAŁ 2

Projektowanie elektronicznych elementów zestawu

W tym rozdziale zostaną omówione procesy projektowania zasilacza, wzmacniacza, odbiornika i głośników. Wszystkie te elementy muszą ze sobą współpracować, więc ważne było zaplanowanie sposobu ich połączenia, jeszcze przed rozpoczęciem projektowania samych urządzeń.



Rysunek 2.1. Schemat połączenia elementów zestawu

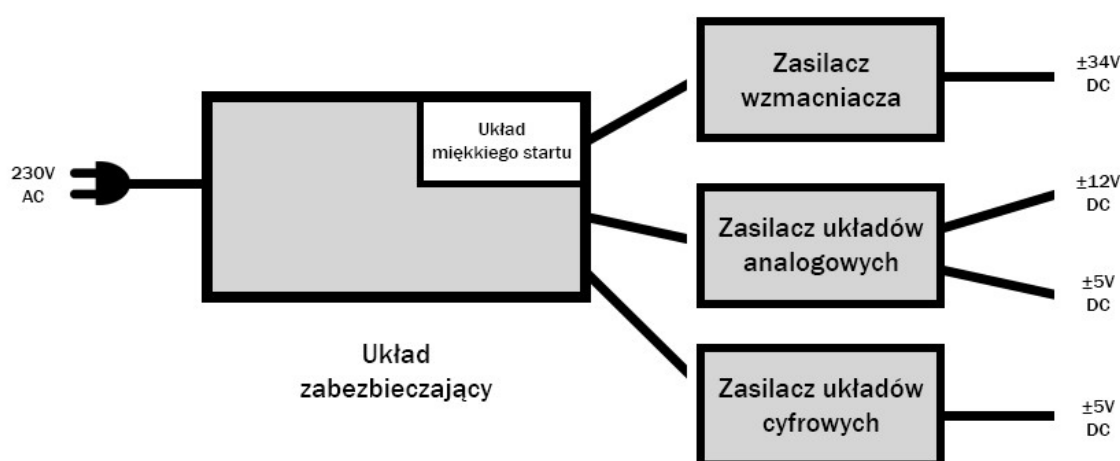
Źródło: Opracowanie własne

Wzmacniacz i odbiornik są połączone z zasilaczem. Symetrycznego zasilania potrzebują zarówno wzmacniacz (± 35 V), jak i część analogowa odbiornika (± 12 V oraz ± 5 V). Część cyfrowa natomiast potrzebuje pojedynczej linii zasilającej

o napięciu 5V. Odbiornik przesyła sygnał audio do wzmacniacza za pomocą analogowych złącz RCA. Z kolei głośniki są podłączone do wzmacniacza za pomocą złącz zaciskowych.

2.1. Zasilacz

Ze względu na ilość potrzebnych napięć, a także potrzebę minimalizacji zakłóceń, zasilacz został zaprojektowany jako trzy osobne układy, z osobnymi transformatorami. Każdy z tych modułów ma swoje gniazda wyjściowe dla wytwarzanych napięć. Złącza masy każdej linii zasilającej są połączone ze sobą (we wzmacniaczu i procesorze masy są oddzielne, w celu zniwelowania szumów, szczególnie tych wywoływanych przez układy cyfrowe). Oprócz samych układów zasilania, potrzebny był także układ zabezpieczający, zawierający bezpieczniki i tzw. układ „miękkiego startu” dla największego z transformatorów.



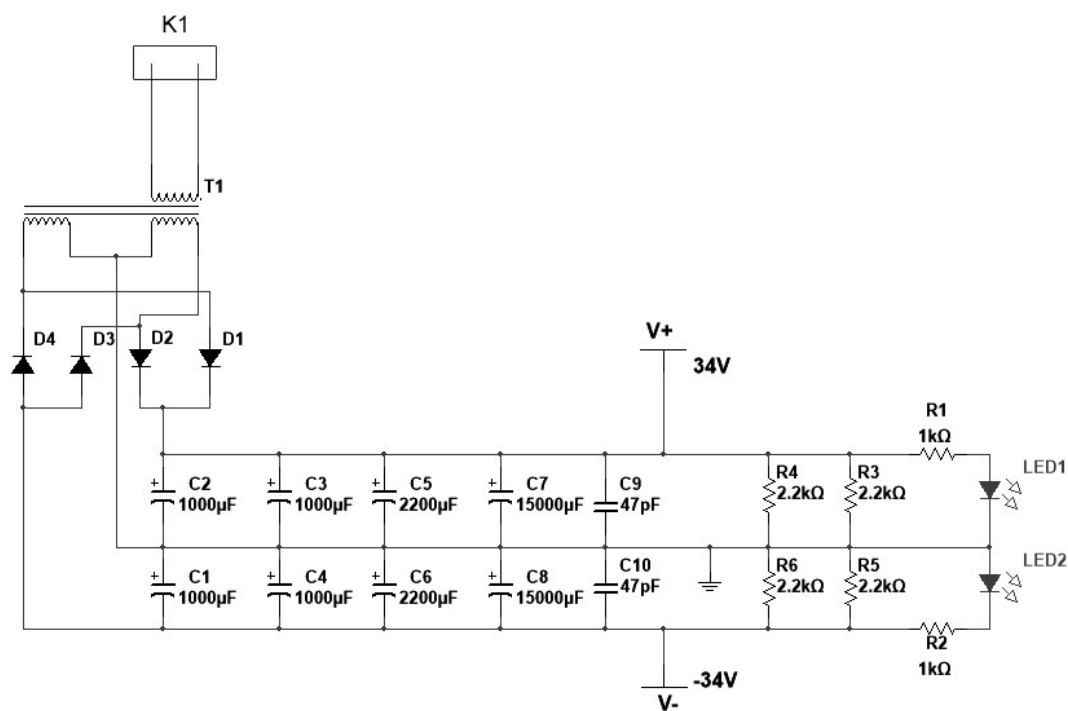
Rysunek 2.2. Schemat blokowy zasilacza

Źródło: Opracowanie własne

2.1.1. Zasilacz wzmacniacza

Projektowany wzmacniacz korzysta z sześciu końcówek mocy, które w optymalnych warunkach osiągają moc 68 watów. Dlatego, w celu sprostania zapotrzebowaniu na moc, został użyty transformator toroidalny 500 VA, z dwoma zwojami wtórnymi o napięciu 24VAC (T₁). Uzwojenia wtórne zostały ze sobą połączone, tworząc masę układu. Napięcie z pozostałych dwóch odczepów przechodzi przez diody prostownicze

(D1-D4) tworzące prostownik mostkowy. Jego dodatnie wyjście stanowi w odniesieniu do masy dodatnią linię zasilania 34V, zaś ujemne wyjście – ujemną linię 34V. Następnie wszelkie oscylacje napięcia zostają odfiltrowane za pomocą kondensatorów (C1-C8), o łącznej pojemności ok. 20000 μF , połączonych równolegle między liniami zasilającymi a masą. Aby zmniejszyć impedancję największych kondensatorów, bezpośrednio na ich nóżkach umieszczone są równolegle kondensatory o pojemności 10 pF (C9 i C10. Między liniami zasilającymi a masą, znajdują się także diody LED (LED1 i LED2) wraz z rezystorami limitującymi natężenie (R1 i R2), które informują o włączeniu zasilania, a także rezystory rozładowujące, mające za zadanie rozładowanie potencjału przechowywanego w kondensatorach po wyłączeniu urządzenia.



Rysunek 2.3. Schemat elektryczny zasilacza wzmacniacza

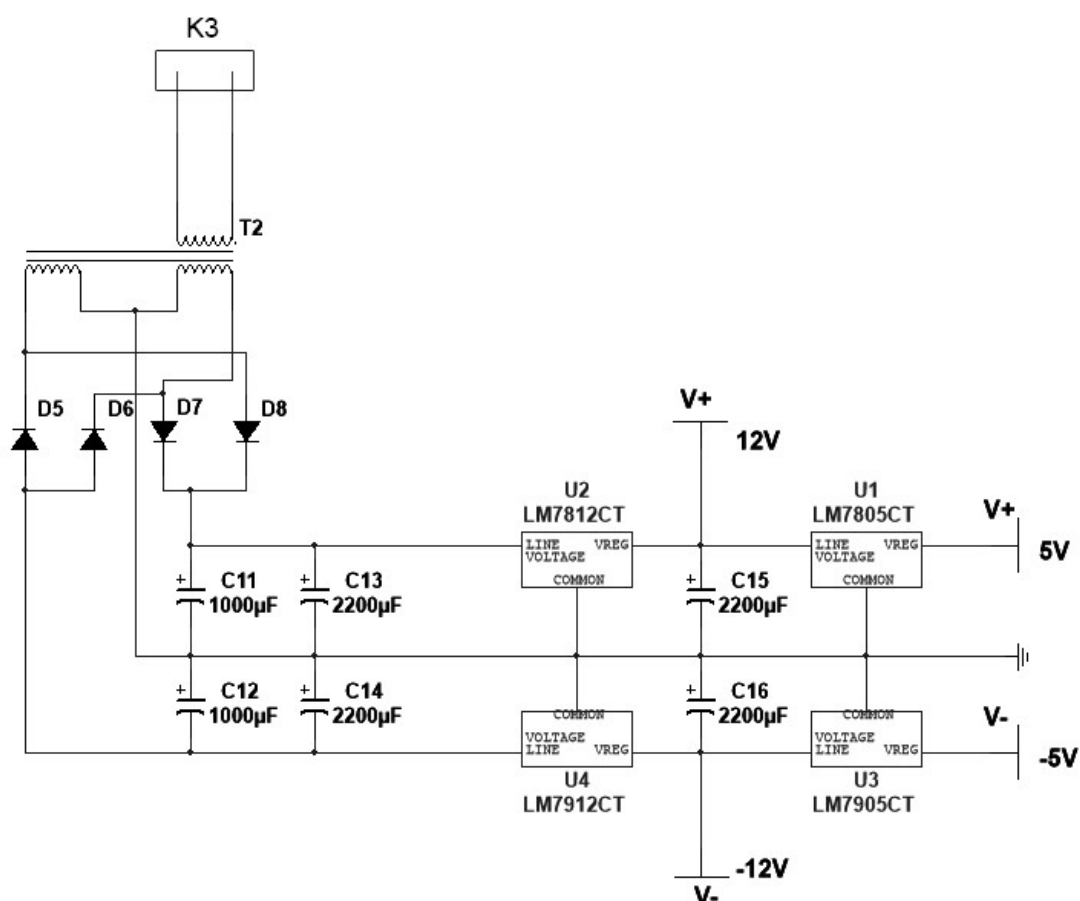
Źródło: Opracowanie własne

2.1.2. Zasilacz układów analogowych

Zasilacz układów analogowych oparty jest na tego samego typu konstrukcji co zasilacz wzmacniacza. Użyty transformator (T2) jest jednak znacznie mniejszy (moc 50VA,

napięcie 2x10V). Ponadto zostały zastosowane liniowe stabilizatory napięcia, aby uzyskać stabilne cztery linie zasilające o odpowiednich poziomach napięć:

1. U1 - LM7805 – stabilizator napięcia +5 V;
2. U2 - LM7812 – stabilizator napięcia +12 V;
3. U3 - LM7905 – stabilizator napięcia -5 V.
4. U4 - LM7912 – stabilizator napięcia -12 V.



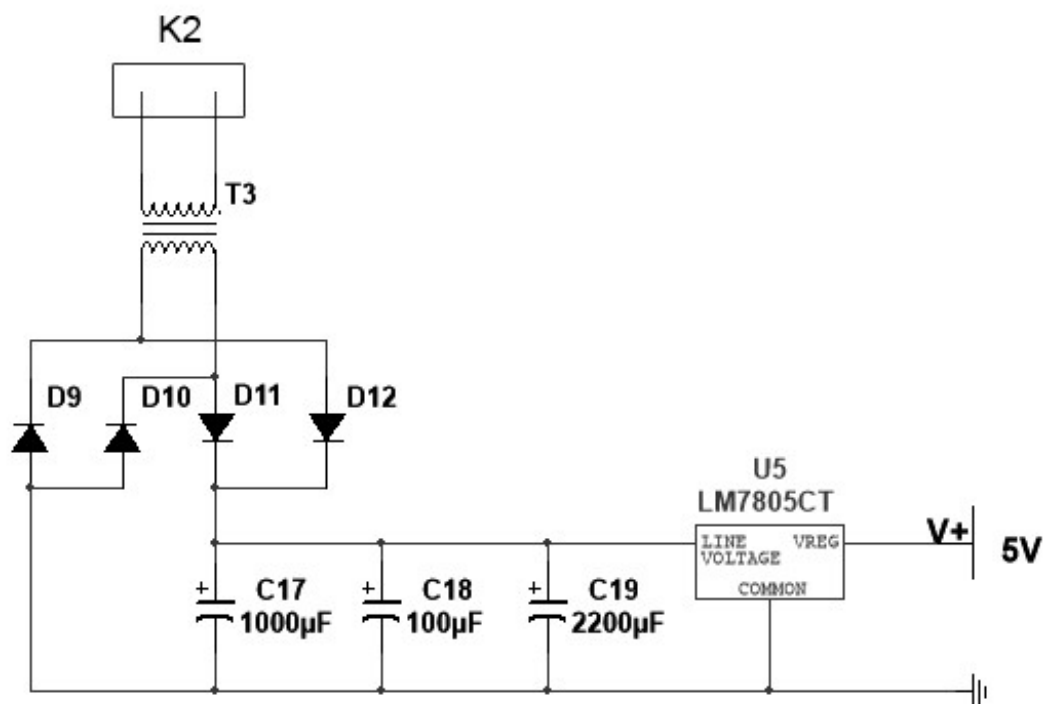
Rysunek 2.4. Schemat elektryczny zasilacza układów analogowych

Źródło: Opracowanie własne

2.1.3. Zasilacz układów cyfrowych

Układ zasilający części cyfrowej procesora, w przeciwieństwie do pozostałych, nie wytwarza napięcia ujemnego. Nie wymaga też tak skrupulatnego podejścia do redukcji szumów. Jego budowa jest więc znacznie prostsza. Transformator kształtkowy (T3) jest podłączony do mostka prostowniczego (D9-D12). Następnie trzy kondensatory

(C17-C19) usuwają drgania a stabilizator (U5) zmniejsza napięcie do pięciu woltów, potrzebnych do zasilenia układów cyfrowych.

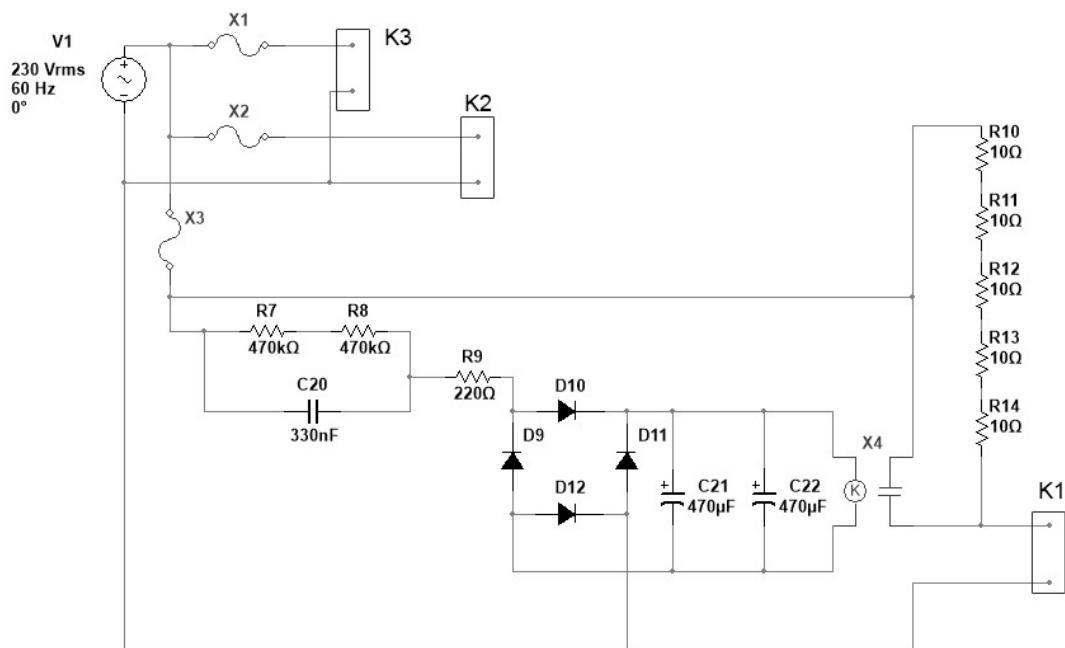


Rysunek 2.5. Schemat elektryczny zasilacza układów cyfrowych

Źródło: Opracowanie własne

2.1.4. Układ zabezpieczający

Zadaniem układu zabezpieczającego jest doprowadzenie do pozostałych układów zasilacza prądu z sieci poprzez odpowiednie bezpieczniki (X1-X3). Ponadto jest także wyposażony w układ „miękkiego startu” dla transformatora T1. Układ ten, po włączeniu zasilania ogranicza natężenie prądu przepływającego przez transformator za pomocą rezystorów pięciowatowych (R10-R14). W tym czasie kondensatory C21 i C22 ładują się przez około dwie sekundy, a kiedy osiągną napięcie 24 V wystarczające, żeby zamknąć przekaźnik, rezystory ograniczające zostają odcięte, a prąd z sieci płynie bezpośrednio do transformatora. Zastosowanie takiego rozwiązania niweluje problem wywołany przez kondensatory o dużej pojemności w zasilaczu, które przez chwilę po podłączeniu zasilania stanowią zwarcie linii zasilających.



Rysunek 2.6. Schemat elektryczny układu zabezpieczającego zasilacza

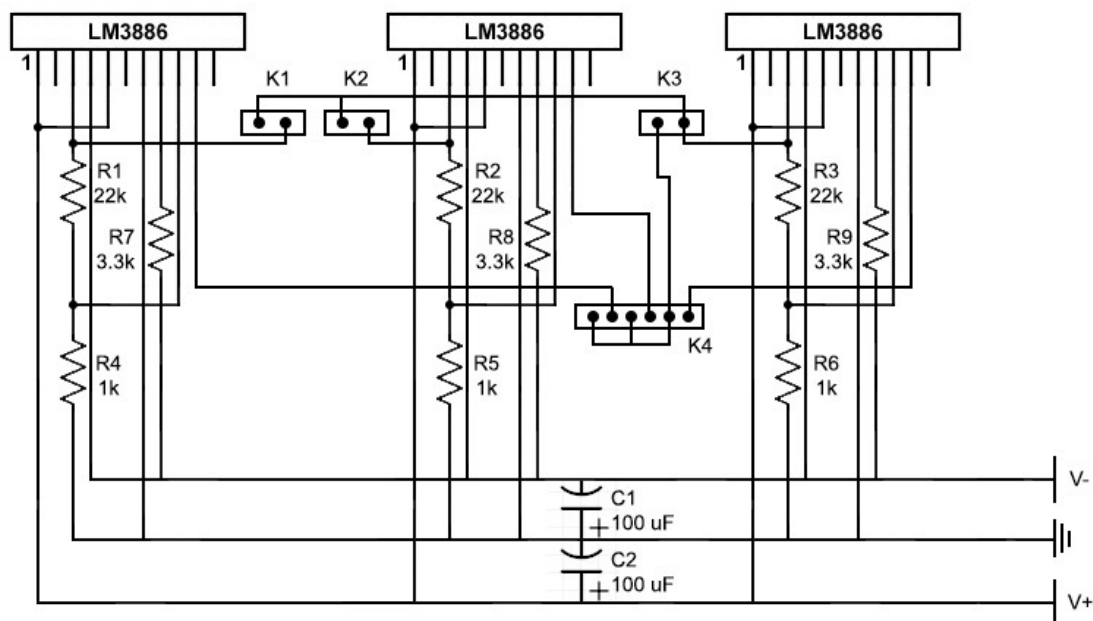
Źródło: Opracowanie własne

2.2. Wzmacniacz

Wzmacniacz jest zasilany symetrycznym napięciem ± 34 V. Ze względów konstrukcyjnych został podzielony na cztery układy. Dwa z nich to trzykanałowe układy wzmacniacza. Trzeci zajmuje się dystrybucją i regulacją głośności sygnałów przed wzmocnieniem, a ostatni to cztery diody LED sygnalizujące podłączenie zasilania.

2.2.1. Układy wzmacniające

Sygnał 5.1 wymaga sześciu końcówek mocy – jednej dla każdego kanału. Końcówki mocy z kolei wymagają odpowiedniego chłodzenia. Z tego powodu układ wzmacniający został podzielony na 2 układy o takim samym schemacie elektrycznym (patrz Rysunek 2.7). Dzięki temu rozwiązaniu, można użyć do chłodzenia dwóch osobnych, dużych radiatorów, rozmieszczonych po przeciwnych stronach obudowy wzmacniacza.



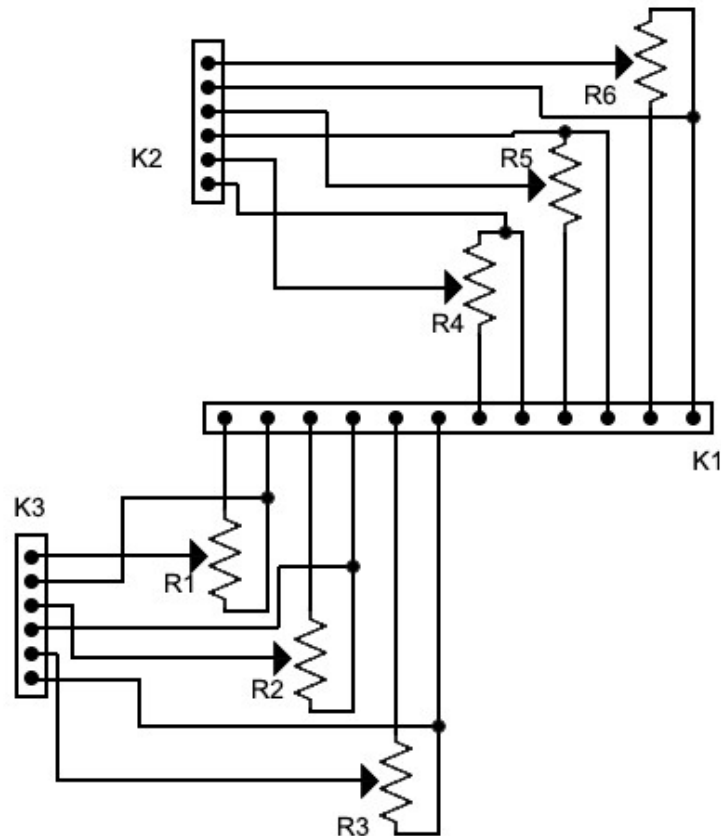
Rysunek 2.7. Schemat elektryczny układów wzmacniających

Źródło: Opracowanie własne

Nóżki nr 8 końcówek mocy są na stałe połączone do ujemnego źródła zasilania poprzez rezystory 3,3 k Ω . Oznacza to, że funkcja „mute” jest niedostępna. Jest to zabieg celowy, ponieważ wyciszanie wzmacniacza będzie realizowane przez odbiornik. Na podstawie wartości rezystorów R1 i R4, korzystając ze wzoru 1.1, można obliczyć, że stosunek sygnału wyjściowego do wejściowego wynosi 23. Takie wzmocnienie wynika z faktu, że układ jest zasilany napięciami ± 34 V, a maksymalna amplituda sygnału audio to około 2,5 V. Kondensatory C1 i C2 służą do odfiltrowania zakłóceń z linii zasilających. Konektory K1-K3 służą do podłączenia głośników, a K4 konektorem sygnałów wejściowych.

2.2.2. Układy dystrybucji sygnałów

Celem tego układu jest doprowadzenie sygnałów wejściowych do wzmacniacza. Wszystkie kanały są podłączone do konektora K1. Następnie głośność sygnałów jest sterowana za pomocą potencjometrów logarytmicznych 100k (R1-R6), których wyjścia wraz z masą są wyprowadzane do konektorów K2 i K3. Te z kolei są łączone z konektorami na układach wzmacniających.

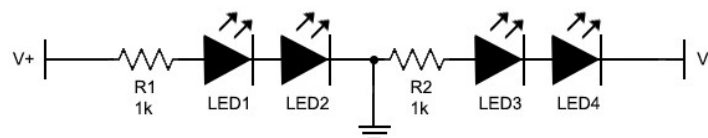


Rysunek 2.8. Schemat elektryczny układu dystrybucji sygnałów

Źródło: Opracowanie własne

2.2.3. Układ diod zasilania

Ostatnim i zarazem najprostszym układem we wzmacniaczu jest obwód diod LED, sygnalizujących podłączenie zasilania. Oprócz samych diod, są w układzie tylko dwa rezystory ograniczające prąd (R1 i R2).



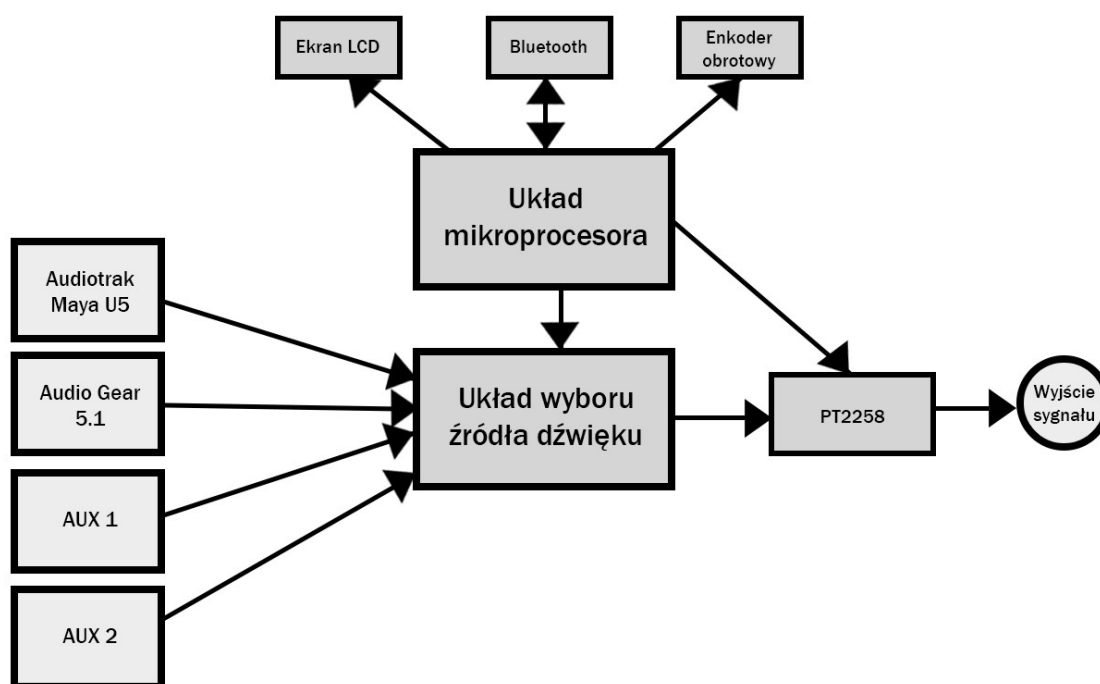
Rysunek 2.9. Schemat elektryczny układu diod zasilania

Źródło: Opracowanie własne

2.3. Odbiornik

Odbiornik jest kluczowym elementem projektowanego systemu. To on zarządza wyborem źródła dźwięku, komunikacją poprzez Bluetooth, konwersją sygnału stereo do Dolby Surround a przede wszystkim stanowi główny interfejs sprzętowy. Urządzenie składa się z następujących komponentów (patrz Rys 2.10):

1. karta dźwiękowa Audiotrak Maya U5;
2. dekodler Audio Gear 5.1;
3. dwa wejścia sygnałów analogowych (AUX 1 i AUX 2);
4. układ mikroprocesora;
5. układ wyboru źródła dźwięku;
6. układ regulacji głośności PT2258;
7. ekran LCD;
8. enkoder obrotowy z przyciskiem;
9. moduł Bluetooth HC-05.

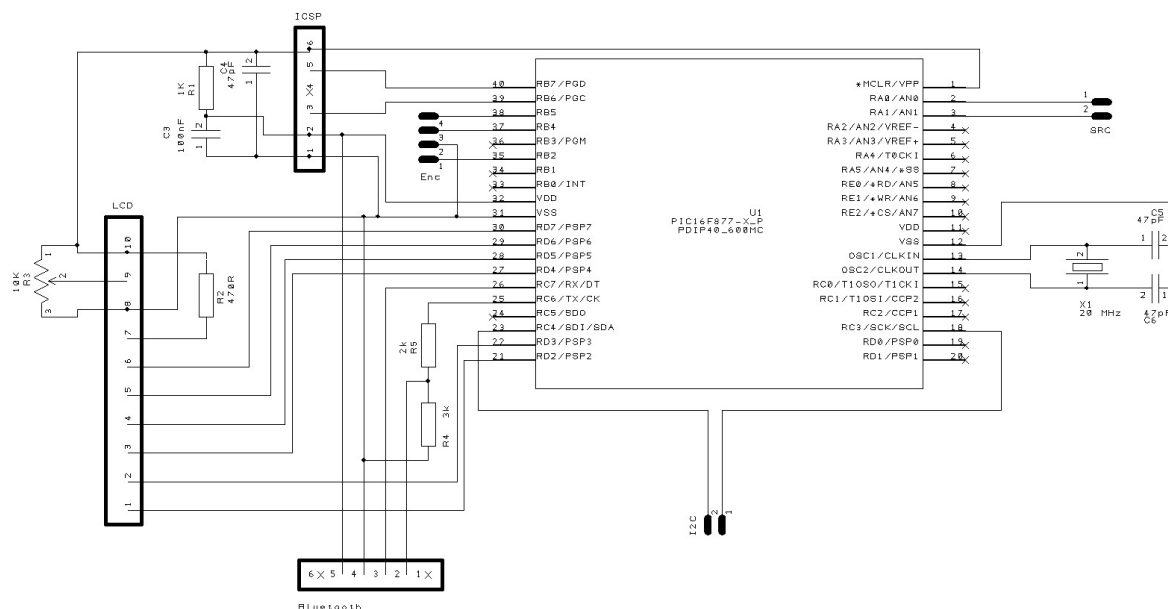


Rysunek 2.10. Schemat blokowy odbiornika

Źródło: Opracowanie własne

2.3.1. Układ mikroprocesora

Układ mikroprocesora (patrz Rys. 2.10) odpowiada za obsługę wyświetlacza, enkodera obrotowego, modułu bluetooth. Steruje też liniami I²C, do których podłączony jest układ PT2258. Ponadto wysyła on sygnały sterujące, które zmieniają źródło dźwięku. Linie Rx i Tx modułu Bluetooth działają na napięciach poziomym 3.3 V, dlatego został użyty dzielnik napięcia, aby procesor wysyłając dane linią pięciowoltową nie uszkodził modułu.

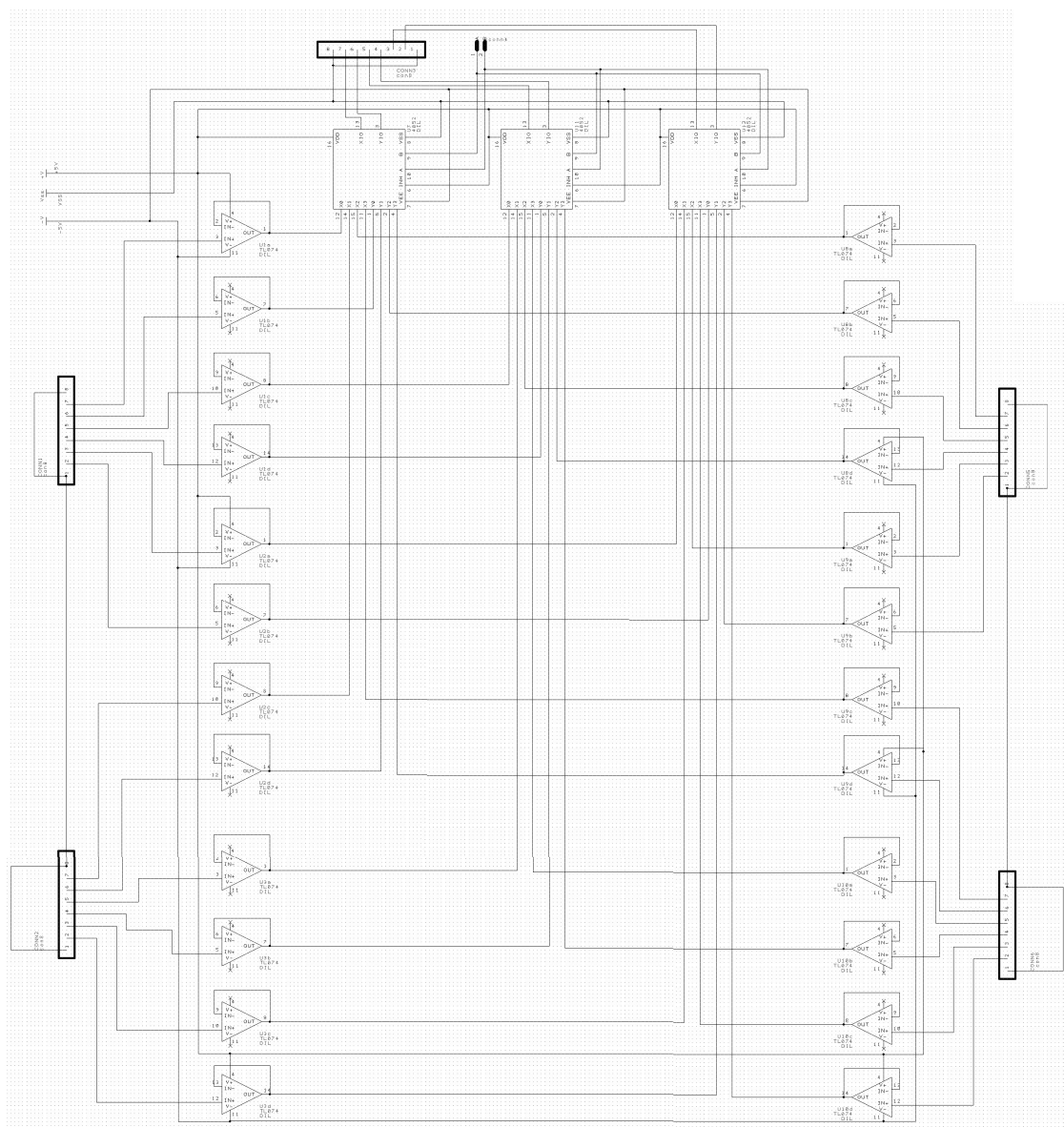


Rysunek 2.11. Schemat elektryczny układu mikroprocesora

Źródło: Opracowanie własne

2.3.2. Układ wyboru źródła dźwięku

Układ (patrz Rysunek 2.12) stanowi przełącznik pomiędzy czterema źródłami sześciokanałowego dźwięku. Sygnały wejściowe podłączane są za pomocą konektorów CON1, CON2, CON5 i CON6. Następnie przechodzą przez wtórniki napięcia zrealizowane za pomocą sześciu poczwórnych wzmacniaczy operacyjnych typu TL074 (U1, U2, U5, U8, U9, U10). Wybór źródła dźwięku dokonywany jest za pomocą podwójnych, czterokanałowych multiplekserów analogowych HCF4052 (U7, U11, U12). Aby obsłużyć sześć kanałów z każdego z czterech źródeł potrzeba trzech takich multiplekserów. Ich sygnały sterujące są ze sobą połączone, więc działają one jako jeden układ, przełączający wszystkie sześć kanałów pomiędzy czterema źródłami. Wejściem sygnałów sterujących jest złącze CONN4, a wyjściem sygnałów CONN3.

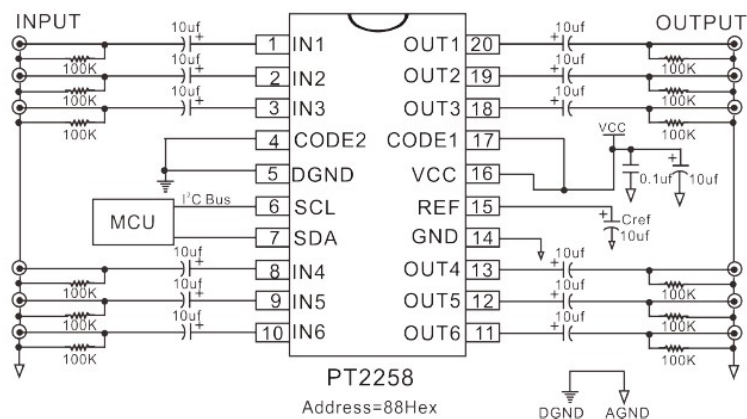


Rysunek 2.12. Schemat elektryczny układu wyboru źródła dźwięku
Źródło: Opracowanie własne

2.3.3. Układ regulacji głośności PT2258

Układ PT2258 pozwala na regulację głośności sześciu kanałów audio. Sterowany jest poprzez komunikację I²C. Można za jego pomocą regulować poziom wszystkich kanałów jednocześnie lub każdego z osobna. Poza tym, posiada opcję wyciszenia wszystkich kanałów. W systemie został zastosowany jako ostatni element toru przetwarzania sygnału w odbiorniku. Podłączony jest według schematu zawartego w jego karcie katalogowej (patrz Rysunek 2.13).

APPLICATION CIRCUIT



Rysunek 2.13. Schemat podłączenia układu PT2258 z jego karty katalogowej

Źródło: Na podstawie [9]

2.4. Głośniki

Głośniki są jednym z głównych elementów sprzętu audio, decydujących o jakości odtwarzanego dźwięku. Ten podrozdział opisuje proces ich projektowania, począwszy od doboru przetworników, poprzez obliczenia objętości obudów, aż po projektowanie układów zwrotnic.

2.4.1. Wybór przetworników

Przy wyborze przetworników elektroakustycznych decydujące były dwa czynniki. Pierwszym były oczywiście ich parametry – im lepsze, tym lepsza jakość dźwięku wydobywającego się z zestawu. Drugim czynnikiem była niestety cena. Zakupienie pięciu kompletów przetworników to duży wydatek. Mając te kwestie na uwadze, wybór padł na następujące urządzenia:

1. średnio-niskotonowe przetworniki Eastech C6741;
2. wysokotonowe głośniki Yasaki YS 9 KH;
3. niskotonowy przetwornik STX W30.200.8.MC.

Eastech C6741 (patrz Rysunek 2.15) to przetwornik pracujący w paśmie przenoszenia od 30 do 4600 Hz. Jego impedancja wynosi 6 Ω , czułość 92 dB, a moc znamionowa 100 W. Yasaki YS 9 KH (patrz Rysunek 2.14) jest głośnikiem wysokotonowym. Przenosi sygnały w paśmie od 3 kHz do 20 kHz, a więc w połączeniu z przetwornikiem Eastech pokrywają niemal całe pasmo słyszalnych przez ludzkie ucho częstotliwości. Urządzenie Yasaki charakteryzuje się impedancją 8 Ω , czułością 92 dB. oraz mocą maksymalną wynoszącą 100 W.



Rysunek 2.14. Przetwornik elektroakustyczny Yasaki YS 9 KH

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 2.15. Przetwornik elektroakustyczny Eastech C6741

Źródło: Opracowanie własne

Przetwornik elektrokustyczny do subwoofera – STX W30.200.8.MC (patrz Rysunek 2.16) – ma impedancję wynoszącą 8 Ω , czułość o wartości 91 dB i moc znamionową 200 W. Jego pasmo przenoszenia to 30 – 2000 Hz.



Rysunek 2.16. Przetwornik elektroakustyczny STX W30.200.8.MC

Źródło: Opracowanie własne

2.4.2. Obliczenie pojemności obudów

Objętość obudowy głośnika ma duży wpływ na jego brzmienie. Działa podobnie do pudła rezonansowego instrumentów akustycznych – potęguje moc dźwięku, który wpada w rezonans wewnątrz szczelnie zamkniętej przestrzeni. Dlatego ważne jest odpowiednie dobranie wymiarów obudów głośnikowych do wybranych przetworników.

W przypadku głośnika niskotonowego problem został rozwiązany przez producentów przetwornika, którzy zalecają zbudowanie obudowy o objętości 60 L. Z kolei głośniki wysokotonowe są na stałe wbudowane w optymalną dla siebie obudowę. Zostaje więc tylko obliczenie objętości obudowy dla przetwornika Eastech C6741 używając jego parametrów Thele-Small'a, według wzoru:

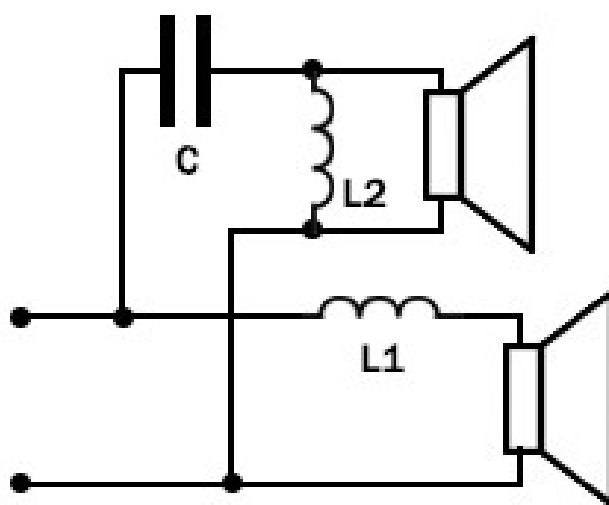
$$V_b = \frac{V_{as}}{\left(\frac{Q_{tc}}{Q_{ts}}\right)^2 - 1}$$

Gdzie V_b to objętość obudowy, a Q_{tc} to zakładana dobroć całkowita w obudowie (wartość 0,7 uznawana jest za optymalną). Q_{ts} (dobroć całkowita dla częstotliwości rezonansowej), przetwornika wynosi 0,4, a V_{as} (objętość ekwiwalentna) jest równe 35 L. Podstawiając te wartości do wzoru, otrzymujemy optymalną objętość obudowy głośnika, równą 16.97 L. Ze względu na to, że same głośniki, a także zwrotnice zajmują pewną przestrzeń, (około jednego litra), założona objętość wykonywanych obudów to 18 L.

2.4.3. Projektowanie zwrotnic

Zwrotnica jest układem elektrycznym wewnątrz głośnika, który za pomocą odpowiednich filtrów rozdziela sygnał dźwiękowy pomiędzy przetworniki zainstalowane w kolumnie. Każdy przetwornik powinien dostać tylko tę część pasma, którą jest w stanie najlepiej odtwarzać. Zwrotnice należy projektować tak, aby charakterystyki częstotliwościowe filtrów, po zsumowaniu były jak najbliższe jedności w całym paśmie przenoszenia głośnika.

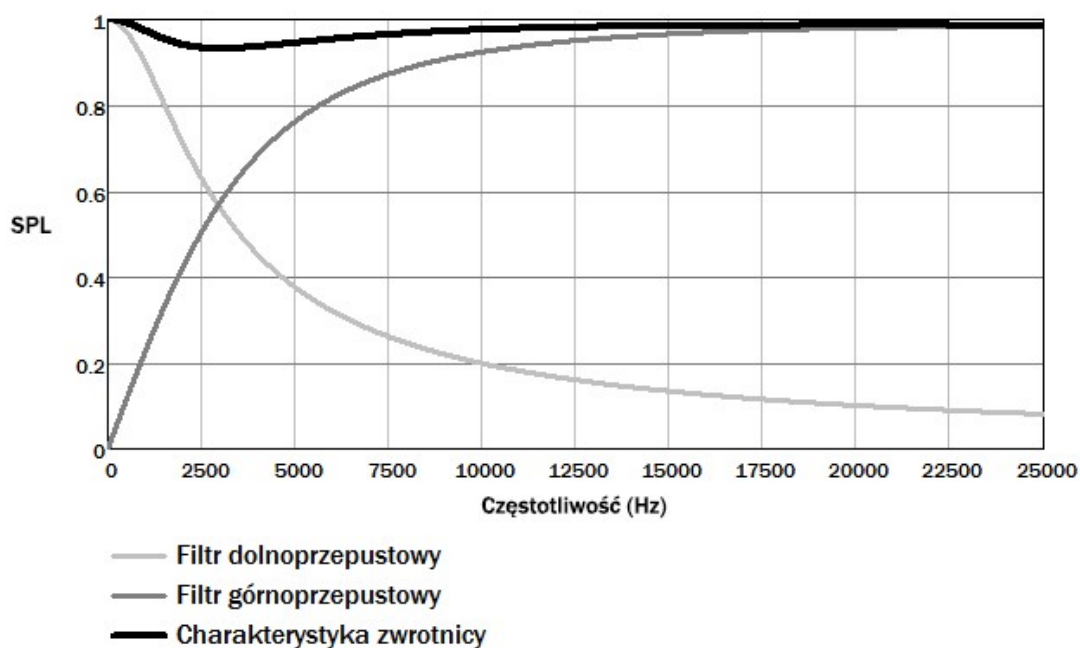
Zwrotnica do głośników pełnozakresowych została stworzona z połączenia dwóch filtrów: dolnoprzepustowego pierwszego rzędu i górnoprzepustowego drugiego rzędu (patrz Rysunek 2.16).



Rysunek 2.17. Schemat elektryczny zwrotnicy głośnika pełnozakresowego

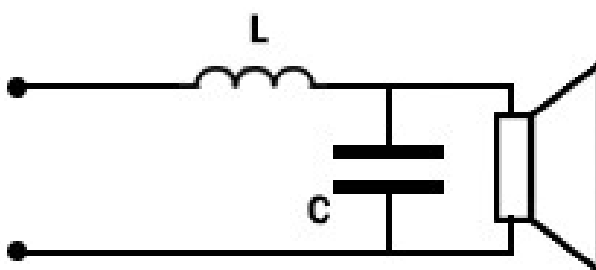
Źródło: Opracowanie własne

Kondensator C ma pojemność $4,7 \mu\text{F}$. Indukcyjność cewki L_1 wynosi $0,47 \text{ mH}$, a cewki L_2 – $0,33 \text{ mH}$. Charakterystyka częstotliwościowa uzyskanej zwrotnicy (patrz Rysunek 2.17) jest zadowalająca, zwłaszcza przy tak prostej konstrukcji.



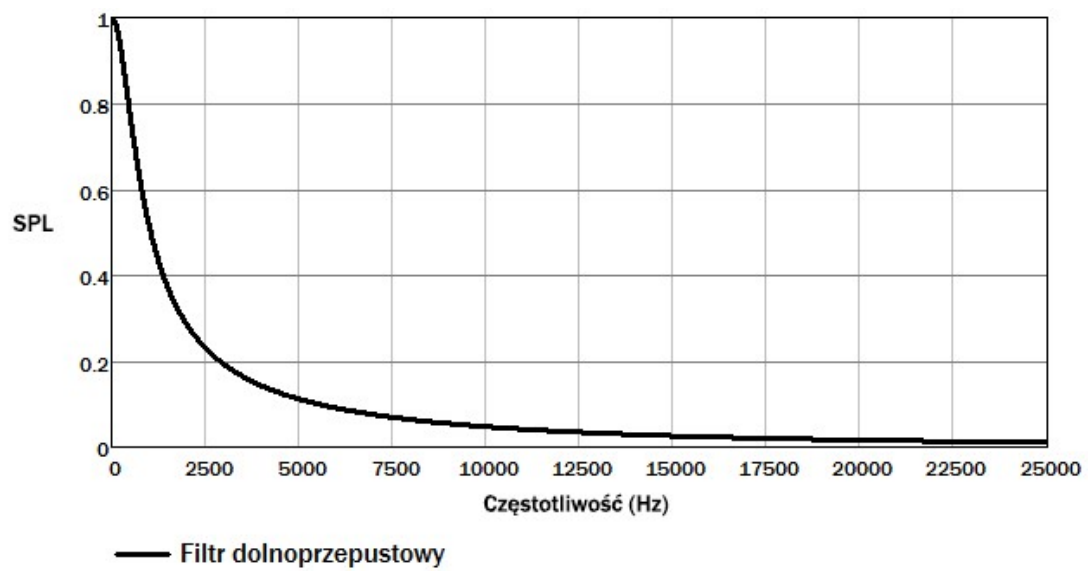
Rysunek 2.18. Charakterystyka częstotliwościowa zaprojektowanej zwrotnicy dwudrożnej
Źródło: Opracowanie własne

Zwrotnica głośnika surround to jeden filtr dolnoprzepustowy drugiego rzędu (patrz Rysunek 2.18), składający się z kondensatora o pojemności $1.5 \mu\text{F}$ i cewki o indukcyjności 2.2 mH .



Rysunek 2.19. Schemat elektryczny zwrotnicy głośnika pełnozakresowego
Źródło: Opracowanie własne

Charakterystykę częstotliwościową uzyskanej zwrotnicy przedstawia rysunek 2.19. Widać na niej, że częstotliwość graniczna leży poniżej górnej granicy pasma przenoszenia głośnika.



Rysunek 2.20. Charakterystyka częstotliwościowa zaprojektowanej zwrotnicy subwoofera.
Źródło: Opracowanie własne

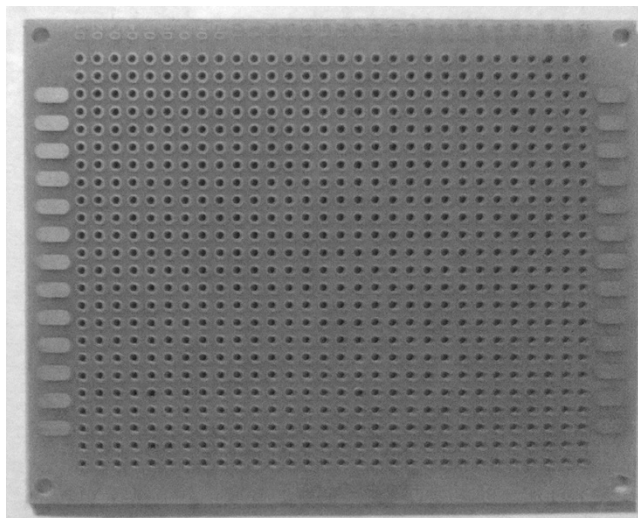
ROZDZIAŁ 3

Budowa elementów zestawu

Po zaprojektowaniu układów, cały zestaw należało zbudować. Ten rozdział omawia sposób realizacji układów elektronicznych, a także konstrukcję obudów i głośników. Wyjaśnia też pewne konstrukcyjne decyzje podjęte już w czasie projektowania układów.

3.1. Układy elektroniczne

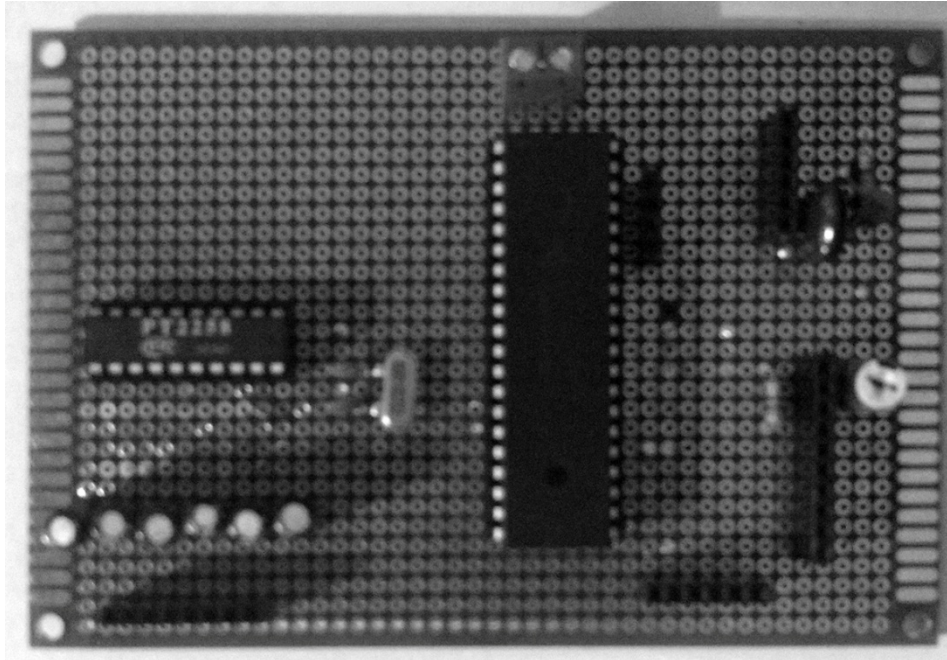
Wszystkie układy elektroniczne zostały wykonane za pomocą kilku rodzajów płytek uniwersalnych (patrz Rysunek 3.1). Pozwalają one na szybkie tworzenie układów ręcznie.



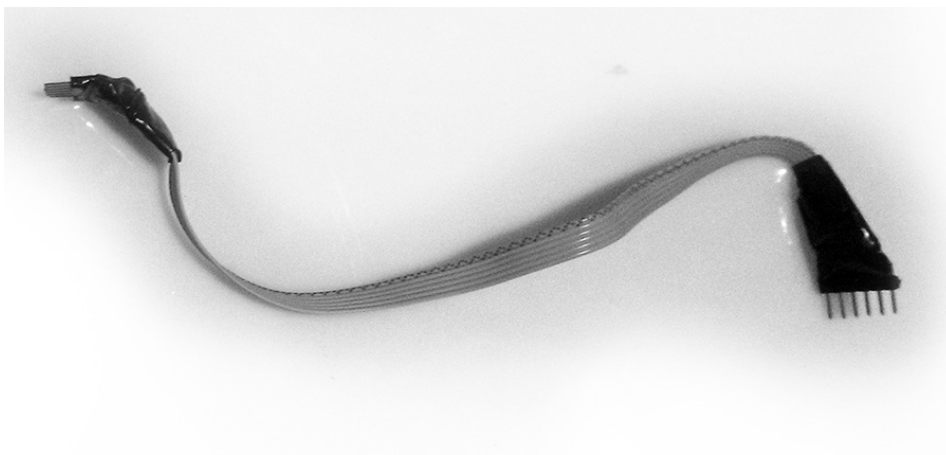
Rysunek 3.1. Płytki uniwersalne użyte w układach zwrotnic głośnikowych

Źródło: Opracowanie własne

Układy scalone zostały osadzone w podstawkach, które umożliwiają ich łatwą wymianę (patrz Rysunek 3.2). Poszczególne płytki łączą się ze sobą za pomocą odpowiednich konektorów, dzięki czemu urządzenia są modułowe, co ułatwia ewentualne naprawy. Potrzebne więc było też stworzenie odpowiednich przewodów łączących układy (patrz Rysunek 3.3).



Rysunek 3.2. Układ mikroprocesora (niekompletny) na płycie uniwersalnej
Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 3.3. Przewód łączący układ dystrybucji sygnałów z jednym z układów wzmacniających
Źródło: Opracowanie własne

3.2. Obudowy

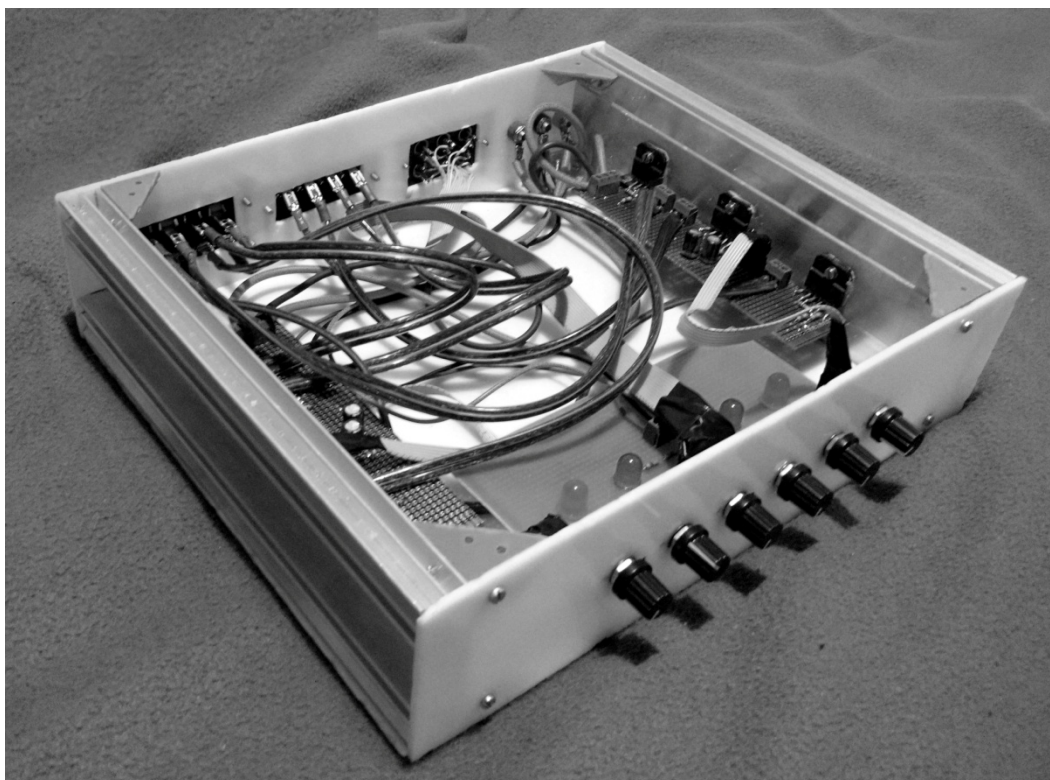
Obudowy urządzeń zostały wykonane z białej płyty pleksiglas (patrz Rysunek 3.4). Materiał ten pozwalał na łatwe pocięcie przy użyciu piły stołowej. Także wiercenie i wycinanie otworów montażowych jest w nim łatwiejsze niż na przykład w stali. Kolejnym jego plusem jest fakt, że jest prześwitujący, dzięki czemu diod LED nie trzeba wyprowadzać na zewnątrz obudowy – działa ona jak dyfuzor.



Rysunek 3.4. Obudowa zasilacza

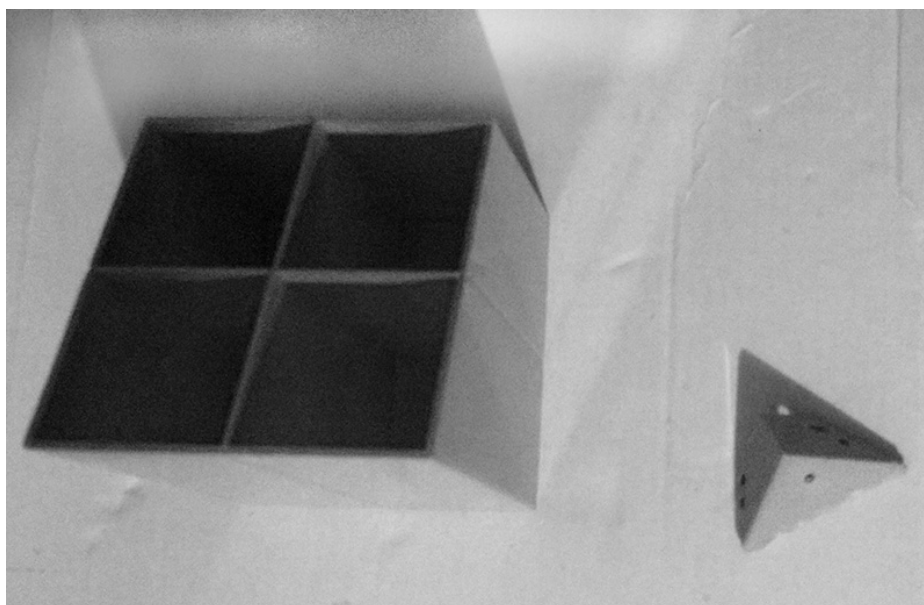
Źródło: Opracowanie własne

Szerokość obudów to 30 cm, wysokość to 8 cm, a głębokość – 26 cm. Konstrukcja wzmacniacza różni się od pozostałych tym, że jej ścianki boczne są radiatorami, do których przymocowane są końcówki mocy (patrz Rysunek 3.5). Ze względu na brak w sklepach odpowiednich kątowników, do połączenia paneli zostały użyte narożniki wycięte z pojemników na długopisy (patrz Rysunki 3.5 i 3.6). Wszystkie krawędzie elementów obudowy zostały wyszlifowane. Połączenia mechaniczne są wykonane przy pomocy śrub M3, dla których zostały wywiercone i nagwintowane odpowiednie otwory.



Rysunek 3.5. Konstrukcja wzmacniacza

Źródło: Opracowanie własne

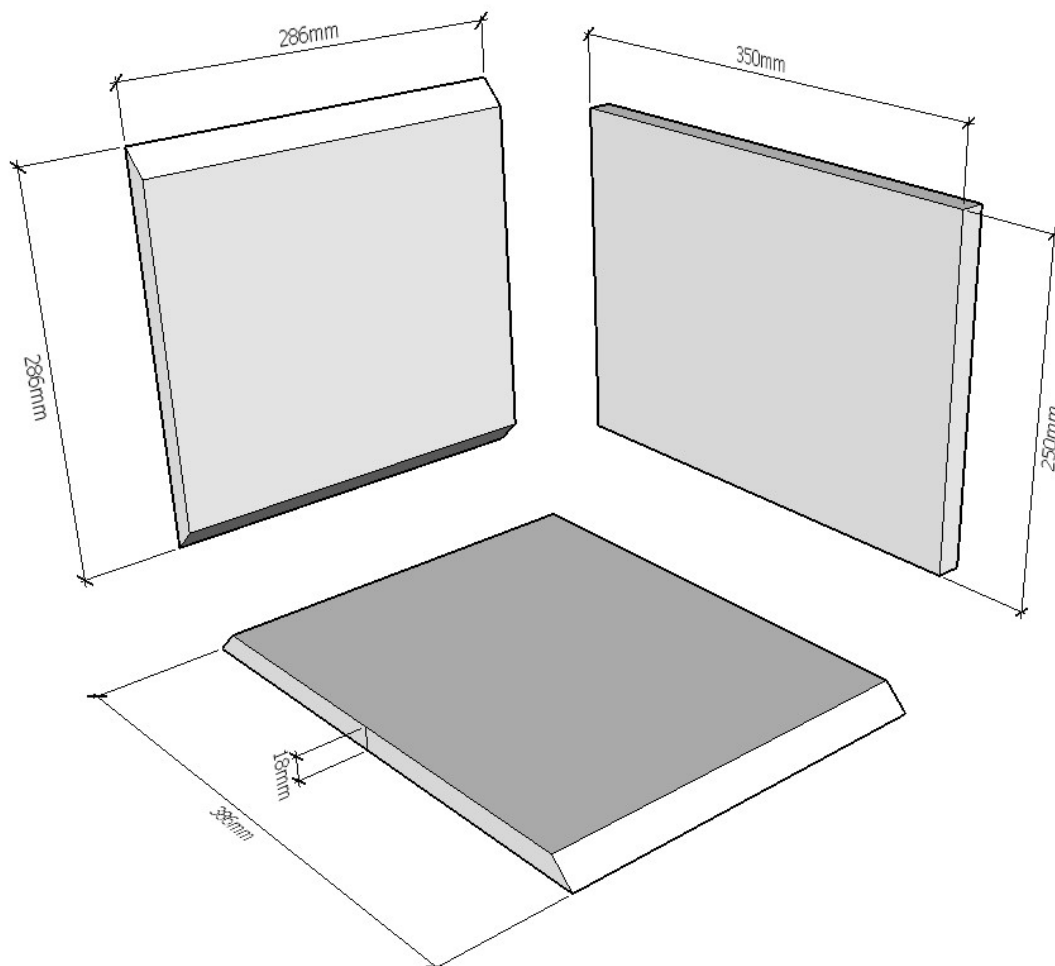


Rysunek 3.6. Jeden z pojemników użytych do wycięcia narożników oraz wykonany w ten sposób kątownik

Źródło: Opracowanie własne

3.3. Głośniki

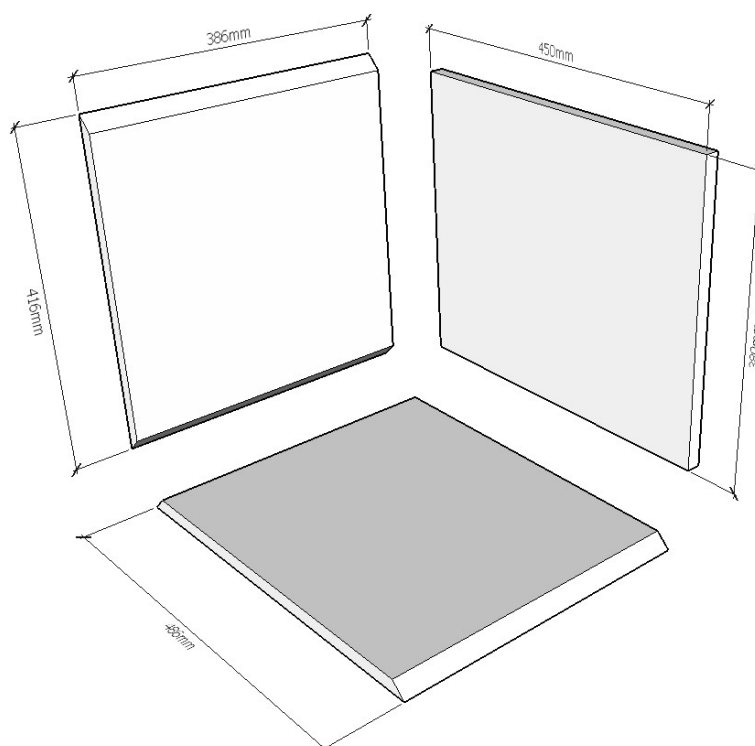
Na podstawie obliczonych objętości obudów zostały wyznaczone pożądane wymiary głośników. Ściany obudów zostały wycięte z płyty pilśniowej o grubości 18 mm., według schematu widocznego na rysunkach 3.7 i 3.8.



Rysunek 3.7. Wymiary ścian obudowy głośnika pełnozakresowego

Źródło: Opracowanie własne

Następnie zostały wycięte otwory do montażu przetworników oraz wtyków głośnikowych (patrz Rysunek 3.9). Ściany obudów zostały połączone kołkami meblowymi i klejem do drewna. Wnętrze głośników zostało wyłożone filcem. Na koniec za pomocą wkrętów do drewna zostały zamocowane zwrotnice, przetworniki i gniazda.



Rysunek 3.8. Wymiary ścian obudowy subwoofera

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 3.9. Elementy konstrukcyjne głośnika przed ostatecznym sklejeniem

Źródło: Opracowanie własne

ROZDZIAŁ 4

Programowanie mikrokontrolera i aplikacji sterującej

Ostatnim etapem tworzenia system było zaprogramowanie mikrokontrolera sterującego odbiornikiem oraz stworzenie aplikacji na system Android, która się z nim komunikuje. Ten rozdział opisuje najważniejsze funkcje i metody użyte w obu programach.

4.1. Programowanie mikrokontrolera

Mikrokontroler ma za zadanie sterowanie odbiornikiem i komunikację z jego poszczególnymi elementami. Najważniejszymi elementami kodu źródłowego są funkcje transmisji danych i interakcji z użytkownikiem. Zostaną one omówione w tym podrozdziale.

4.1.1. Obsługa wyświetlacza

Na podstawie dokumentacji użytego wyświetlacza LCD, została stworzona prosta biblioteka do jego obsługi. Dzięki temu, w części głównej programu, wyświetlenie danych jest wykonywane za pomocą jednej linii kodu (patrz Kod źródłowy 4.1). W bibliotece znajdują się funkcje pozwalające na przesuwanie kursora, wysyłanie tekstu i liczb do wyświetlacza, a także funkcja inicjująca komunikację z wyświetlaczem.

Kod źródłowy 4.1 Inicjalizacja i użycie wyświetlacza LCD

Źródło Opracowanie własne

```
lcdinit();  
gotoXy(0,0);  
LCDPrints("Glosnosc: ");
```

4.1.2. Sterowanie za pomocą enkodera obrotowego z przyciskiem

Encoder obrotowy z przyciskiem jest podłączony do portu B mikrokontrolera. Jego obrócenie wywołuje przerwanie sprzętowe, które reaguje odpowiednio na wykrytą zmianę. Kierunek obrotu jest wykrywany, dzięki zapisywaniu poprzedniego stanu styków (w kodzie ich wartości są reprezentowane przez zmienne REU i RED). Kod źródłowy 4.2 przedstawia funkcję wywoływaną przez przerwanie, która wykrywa kierunek obrotu enkodera.

Kod źródłowy 4.2 Wykrywanie kierunku obrotu enkodera

Źródło Opracowanie własne

```
void pbchange(void )  
{  
    unsigned char state;  
    static unsigned char oldstate;  
    state= RED<<1|REU; //stan styków enkodera  
  
    if (oldstate==3 && state==0) {  
        enc_down(); //encoder obrocony w lewo  
    } else if (oldstate==2 && state==1) {  
        enc_up(); //encoder obrocony w prawo  
    }  
    oldstate = state;  
    INTCONbits.RBIF=0; //wyzerowanie flagi przerwania  
}
```

4.1.3. Komunikacja z modulem Bluetooth

Komunikacja z modulem Bluetooth odbywa się poprzez port UART. Jego obsługa jest bardzo prosta i sprowadza się do odczytywania i zapisywania wartości w kilku rejestrach odpowiadających za transmisję szeregową. Kod źródłowy 4.3 Pokazuje przykładową procedurę inicjalizacji transmisji, wysłania i odebrania danych.

Kod źródłowy 4.3 Transmisja danych poprzez port UART

Źródło Opracowane na podstawie [6]

```
TXSTAbits.TXEN=1;    // włączenie możliwości wysyłania danych
RCSTAbits.SPEN=1;    // włączenie możliwości odbierania danych
while (!TRMT);       // oczekiwanie na możliwość transmisji
TXREG=send;          // wysyłanie wartości zmiennej send
while (!RCIF);       // oczekiwanie na odbiór wiadomości
recieve=RCREG;       // zapisanie odebranych informacji
```

4.1.4. Komunikacja I²C

Do obsługi komunikacji I²C zostały użyte funkcje wygenerowane przez Microchip Code Configurator. Te z kolei zostały wykorzystane do stworzenia biblioteki obsługującej układ PT2258. Dzięki niej, można łatwo zmienić głośność zestawu, a także wyciszyć i wznowić dźwięk.

Kod źródłowy 4.4 Funkcje stworzonej biblioteki do obsługi PT2258

Źródło Opracowanie własne

```
void PT2258_mute() {                                     // wyciszenie
    I2C_Master_Start();
    I2C_Master_Write(PT2258_ADDRESS);
    I2C_Master_Write(0xF8);
    I2C_Master_Stop();
}

void PT2258_unmute() {                                   //wznowienie
    I2C_Master_Start();
    I2C_Master_Write(PT2258_ADDRESS);
    I2C_Master_Write(0xF9);
    I2C_Master_Stop();
}
```

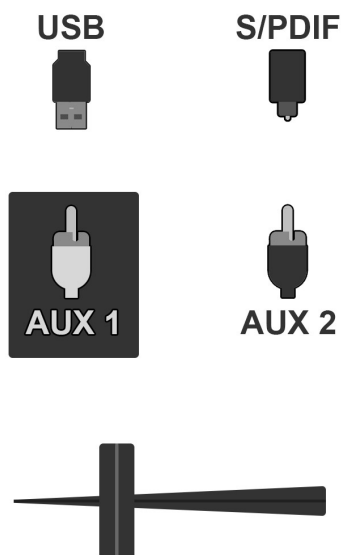
```
void PT2258_setVolume() {           //ustawianie głośności
    I2C_Master_Start();
    I2C_Master_Write(PT2258_ADDRESS);
    I2C_Master_Write(0xE0 | (volume%10));
    I2C_Master_Write(0xD0 | (volume/10));
    I2C_Master_Stop();
}
```

4.2. Tworzenie aplikacji na system Android

Do komunikacji bezprzewodowej z urządzeniem została stworzona aplikacja na urządzenia mobilne z systemem Android. Ten podrozdział omówi jej interfejs i metodę komunikacji bezprzewodowej.

4.2.1. Interfejs

Interfejs aplikacji jest bardzo prosty. Składa się z czterech przycisków wyboru źródła oraz suwaka głośności (patrz Rysunek 4.1).



Rysunek 4.1. Interfejs aplikacji sterującej zestawem

Źródło: Opracowanie własne

Po wyborze źródła, jego nazwa i ikona zmieniają kolor na jaśniejszy, a tło przycisku jest ciemne. Zarówno suwak, jak i przyciski aktualizują swój stan na bieżąco.

4.2.2. Transmisja Bluetooth

Aby skorzystać z transmisji danych poprzez Bluetooth w systemie Android, muszą być spełnione dwa warunki: adapter Bluetooth w telefonie musi być włączony, a aplikacja musi uzyskać zgodę użytkownika na jego użycie. Jeśli te warunki zostaną spełnione, aplikacja skanuje otoczenie w poszukiwaniu urządzeń, z którymi może się komunikować i wybiera moduł HC-05 na podstawie jego nazwy. Kolejnym krokiem jest utworzenie kanału komunikacji i stworzenie strumieni wyjścia i wejścia.

Kod źródłowy 4.4 Ustanowienie kanału komunikacji i wysłanie słowa „test”

Źródło Opracowanie własne

```
StreamConnection streamConnection =  
    (StreamConnection) Connector.open(hc05Url);  
OutputStream BTout = streamConnection.openOutputStream();  
InputStream BTin = streamConnection.openInputStream();  
BTout.write("test", getBytes());  
BTout.close();  
BTin.close();  
streamConnection.close();
```

Zakończenie

Standardy systemów odtwarzania dźwięku wielokanałowego rozwijają się w coraz większym tempie. Najnowsze technologie skupiają się na jak najlepszej reprodukcji informacji przestrzennych dźwięku, niezależnie od ilości głośników, którymi dysponuje sprzęt odtwarzający. Nie są to jednak jeszcze technologie powszechne wśród użytkowników domowych, u których królują zestawy sześć- lub ośmiogłośnikowe w systemach Dolby Digital i DTS.

Zaprojektowany system odtwarzania dźwięku wielokanałowego spełnia początkowe założenia, a wszystkie moduły działają prawidłowo. Nie jest jednak pozbawiony mankamentów. Konstrukcja mechaniczna zestawu pozostawia sporo do życzenia, co spowodowane jest głównie brakiem doświadczenia i narzędzi. W kilku miejscach zostały wykorzystane gotowe moduły, ponieważ pozyskanie odpowiednich komponentów sprawiało duży kłopot. Kolejnym problemem jest największy transformator zasilacza, który z powodu swojej wysokiej mocy ma tendencję do mechanicznego drgania, co wywołuje ciche „buczenie”. Ostatecznie jednak najważniejsza jest jakość odtwarzanego dźwięku, a ta jest na bardzo wysokim poziomie. Szumy są praktycznie niesłyszalne, a dźwięk wydobywający się z głośników jest czysty i bez zniekształceń.

Modułowa budowa systemu stwarza potencjał na dalszą rozbudowę, a także ulepszenie już gotowych elementów. Warto byłoby go rozbudować o dodatkowe filtry, które pozwoliłyby na dokładniejszą kontrolę nad brzmieniem zestawu. Przydatnym dodatkiem byłaby też możliwość ekstrakcji ścieżek dźwiękowych z sygnału HDMI, która zapewniłaby większą kompatybilność z nowoczesnym sprzętem audio-video.

Bibliografia

- [1] Fleischmann M.: Practical Home Theater: A Guide to Video and Audio Systems. Quiet River Press LLC, Nowy Jork, 2011.
- [2] The evolution of home theater – big tech of the small screen, <http://filmmakeriq.com/lessons/the-evolution-of-home-theater-big-tech-of-the-small-screen>, 2015
- [3] Chrzęszcz S.: Hi-Fi i kino domowe. Instytut Wydawniczy Kreator, Białystok, 2004.
- [4] Alsadair A.: Make: Bluetooth: Bluetooth LE Projects with Arduino, Raspberry Pi, and Smartphones. Maker Media, San Francisco, 2015.
- [5] Wright M.: HC-05 Bluetooth + Arduino: Includes the ZS-040, Seattle, 2016.
- [6] Verle M.: PIC Microcontrollers - Programming in C. MikroElektronika, Belgrad, 2009.
- [7] Nota katalogowa PIC16F877A, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>, 2003.
- [8] Nota katalogowa LM3886, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3886.pdf>, 2013.
- [9] Nota katalogowa PT2258, <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/PrincetonTechnologyCorporation/mXuvtvz.pdf>, 2000.
- [10] Nota katalogowa MC21605J6W-FPTLW, <http://www.farnell.com/datasheets/2021823.pdf>, 2012.
- [11] Instrukcja obsługi. HC-05. Guangzhou HC Information Technology, Kanton, 2007.
- [12] Instrukcja obsługi. Projektor 253AR. Bell and Howell. Chicago 1954.
- [13] Owning mahowny (kaseta VHS). Sony Pictures. Culver City 2003.

Spis tabel

Tabela 1.1. Najważniejsze parametry mikrokontrolera PIC16F877A	23
Tabela 1.2. Najważniejsze parametry modułu Bluetooth z układem HC-05.....	24
Tabela 1.3. Najważniejsze parametry Dekodera Audio Gear 5.1	25
Tabela 1.4. Najważniejsze parametry karty Audiotrak Maya	26

Spis rysunków

Rysunek 1.1. Strona z instrukcji obsługi domowego projektora taśmy 8 mm z lat pięćdziesiątych	10
Rysunek 1.2. Logo informujące o ścieżce Hi-Fi stereo przed filmem na kasecie VHS	10
Rysunek 1.3. Rozmieszczenie głośników w systemie kwadrofonicznym	11
Rysunek 1.4. Rozmieszczenie głośników w systemie surround 5.1	12
Rysunek 1.5. Rozmieszczenie głośników w systemie surround 7.1	13
Rysunek 1.6. przykładowa zależność przebiegu sygnału analogowego od kształtu fali akustycznej	14
Rysunek 1.7. Wtyczki typu jack (mono) i RCA	15
Rysunek 1.8. Schemat blokowy kodera Dolby Surround	16
Rysunek 1.9. Schemat blokowy kodera Dolby Surround	17
Rysunek 1.10. Sygnał analogowy i odpowiadający mu sygnał PCM	18
Rysunek 1.11. Wtyki najczęściej stosowanych interfejsów przesyłania cyfrowych sygnałów audio	19
Rysunek 1.12. Logo Dolby Digital, umieszczane na kompatybilnym sprzęcie i materiałach zawierających ścieżki Dolby Digital	19
Rysunek 1.13. Logo DTS, umieszczane na kompatybilnym sprzęcie i materiałach zawierających ścieżki DCA	20
Rysunek 1.14. Loga dwóch najpopularniejszych standardów dźwięku 3D	21
Rysunek 1.15. Schemat blokowy typowego toru przetwarzania sygnału wielokanałowego	22
Rysunek 1.16. oznaczenia pinów mikrokontrolera PIC16F877A	23
Rysunek 1.17. Moduł Bluetooth z układem HC-05	24
Rysunek 1.18. Dekoder Audio Gear 5.1	25
Rysunek 1.19. Karta dźwiękowa Audiotrak Maya U5	26
Rysunek 1.20. Oznaczenia pinów końcówki mocy LM3886	27
Rysunek 1.21. Typowy schemat wzmacniacza z układem LM3886	28
Rysunek 1.22. Okno startowe programu MPLAB X	29
Rysunek 1.23. Konfiguracja przetwornika analogowo-cyfrowego za pomocą modułu MCC	30
Rysunek 1.24. Programator ICD3	30
Rysunek 1.25. Interfejs programu Mathcad	31
Rysunek 1.26. Interfejs programu Android Studio	32
Rysunek 1.27. Logo standardu Bluetooth	33
Rysunek 2.1. Schemat połączenia elementów zestawu	36
Rysunek 2.2. Schemat blokowy zasilacza	37
Rysunek 2.3. Schemat elektryczny zasilacza wzmacniacza	38

Rysunek 2.4. Schemat elektryczny zasilacza układów analogowych	39
Rysunek 2.5. Schemat elektryczny zasilacza układów cyfrowych	40
Rysunek 2.6. Schemat elektryczny układu zabezpieczającego zasilacza.	41
Rysunek 2.7. Schemat elektryczny układów wzmacniających	42
Rysunek 2.8. Schemat elektryczny układu dystrybucji sygnałów.....	43
Rysunek 2.9. Schemat elektryczny układu diod zasilania	43
Rysunek 2.10. Schemat blokowy odbiornika	44
Rysunek 2.11. Schemat elektryczny układu mikroprocesora	45
Rysunek 2.12. Schemat elektryczny układu wyboru źródła dźwięku.....	46
Rysunek 2.13. Schemat podłączenia układu PT2258 z jego karty katalogowej	47
Rysunek 2.14. Przetwornik elektroakustyczny Yasaki YS 9 KH.....	48
Rysunek 2.15. Przetwornik elektroakustyczny Eastech C6741.....	48
Rysunek 2.16. Przetwornik elektroakustyczny STX W30.200.8.MC	49
Rysunek 2.17. Schemat elektryczny zwrotnicy głośnika pełnozakresowego.....	50
Rysunek 2.18. Charakterystyka częstotliwościowa zaprojektowanej zwrotnicy dwudrożnej	51
Rysunek 2.19. Schemat elektryczny zwrotnicy głośnika pełnozakresowego	51
Rysunek 2.20. Charakterystyka częstotliwościowa zaprojektowanej zwrotnicy subwoofera	52
Rysunek 3.1. Płytki uniwersalne użyte w układach zwrotnic głośnikowych.....	53
Rysunek 3.2. Układ mikroprocesora (niekompletny) na płytce uniwersalnej	54
Rysunek 3.3. Przewód łączący układ dystrybucji sygnałów z jednym z układów wzmacniających	54
Rysunek 3.4. Obudowa zasilacza	55
Rysunek 3.5. Konstrukcja wzmacniacza.....	56
Rysunek 3.6. Jeden z pojemników użytych do wycięcia narożników oraz wykonany w ten sposób kątownik.....	56
Rysunek 3.7. Wymiary ścian obudowy głośnika pełnozakresowego.....	57
Rysunek 3.8. Wymiary ścian obudowy subwoofera	58
Rysunek 3.9. Elementy konstrukcyjne głośnika przed ostatecznym sklejeniem	59
Rysunek 4.1 Interfejs aplikacji sterującej zestawem.....	62

Spis kodów źródłowych

Kod źródłowy 4.1 Inicjalizacja i użycie wyświetlacza LCD	60
Kod źródłowy 4.2 Wykrywanie kierunku obrotu enkodera.....	60
Kod źródłowy 4.3 Transmisja danych poprzez port UART.....	61
Kod źródłowy 4.4 Funkcje stworzonej biblioteki do obsługi PT2258	61