

Odtwarzacz audio z Raspberry Pi (3)



Komputerek Raspberry Pi stał się wygodnym źródłem cyfrowego audio. Można na nim uruchomić specjalizowane darmowe oprogramowanie odtwarzacza muzycznego, na przykład Volumio lub podobny, oraz ma interfejs I²S przeznaczony do przesyłania danych audio między innymi do przetworników cyfrowo-analogowych. Raspberry Pi może też wysłać dane audio przez port USB lub sygnał S/PDIF (AES3). Pozostaje dołączyć przetwornik analogowo-cyfrowy i możemy cieszyć się muzyką. Tematem prezentowanego projektu jest właśnie taki przetwornik, gwarantujący odtwarzanie dźwięku w wysokiej jakości. W trzeciej, ostatniej części artykułu omówimy czynności montażowe i uruchomieniowe oraz opiszemy działanie i obsługę odtwarzacza.

Montaż układu

Płytki przetwornika

Płytki przetwornika został pokazana na rysunku 12. Użyte elementy do montażu powierzchniowego nie powinny nasręcać problemów montażowych średnio wprawnemu elektronikowi. Najmniejszy raster wyprowadzeń ma przetwornik. Najlepiej rozpocząć od lutowania rezystorów, układów TL431, potem przetwornika, układu ICS570, stabilizatora 3,3 V i wzmacniaczy operacyjnych. Potem kondensatory elektrolityczne, kondensatory foliowe w filtrze. Na koniec listwy goldpin i największe złączki do podłączenia zasilania. **Uwaga** – nie montujemy oporników R33 i R34 w obwodzie konfiguracji powielacza częstotliwości ICS570B, bo dla współczynnika

powielania 6× wejścia konfiguracyjne powinny być niepodłączone.

Przetworniki audio dla Raspberry Pi zazwyczaj są wykonywane w formie nakładki, mającej gniazdo 40-pinowe, wtykane do złącza I/O. Powstaje wtedy coś w rodzaju „kanapki” z dwóch płytek, jedna nad drugą. Celowo zrezygnowałem tutaj z takiego rozwiązania. Płytki komputerka i przetwornika są umieszczone obok siebie, połączone za pomocą krótkiego kabla 40-pinowego, zakończonego z dwu stron wtykami AWP40 (fotografia 1). Kabel powinien być tak krótki, jak to tylko możliwe. Sygnały I²S nie są przystosowane do przesyłania na większe odległości i długi kabel może spowodować nieprawidłowe działanie.

Płytki przetwornika jest zasilana z osobnego modułu zasilacza. Zawsze w takim

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-5811

Podstawowe parametry:

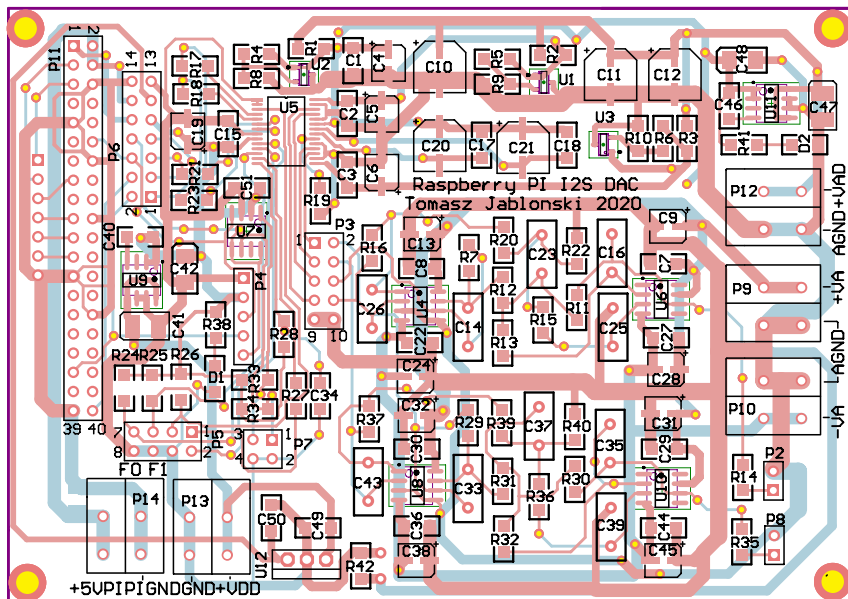
- współpracuje ze specjalizowanym darmowym oprogramowaniem odtwarzacza muzycznego, na przykład Volumio,
- przetwornik DAC typu PCM1794A firmy Texas Instruments,
- zakres dynamiki 127 dB dla sygnału stereo, zniekształcenia THD+N 0,0004%, rozdzielczość 24 bity,
- przesyłanie danych audio z odtwarzacza cyfrowego do przetwornika poprzez interfejs I²S,
- układ przetwornika i komputerka z osobnymi zasilaczami liniowymi.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

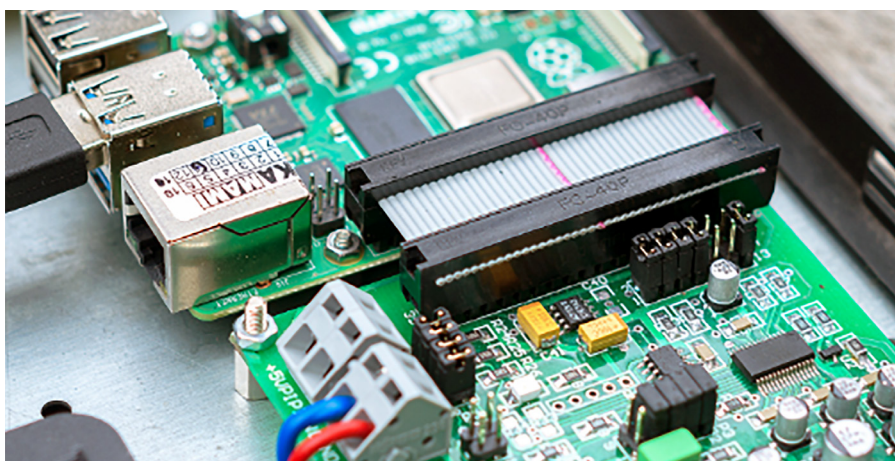
----	Kieszonkowy Linux (EP 9/2020)
AVT-5776	Miniaturowa czujka ruchu dla Raspberry Pi, Arduino i nie tylko (EP 6/2020)
AVT-5770	Arduino i nie tylko (EP 5/2020)
AVT-5761	Czterokanałowy moduł przełącznikowy sterowany I ² C (EP 4/2020)
AVT-5739	Zasilacz buforowy z superkondensatorami dla Raspberry Pi (EP 1/2020)
AVT-5689	Storage na Raspberry Pi (EP 9/2019)
AVT-5688	Budżetowy interfejs USB-I ² S (EP 7/2019)
AVT-5680	Sensor smogu z technologią Bluetooth Low Energy (EP 4/2019)

Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

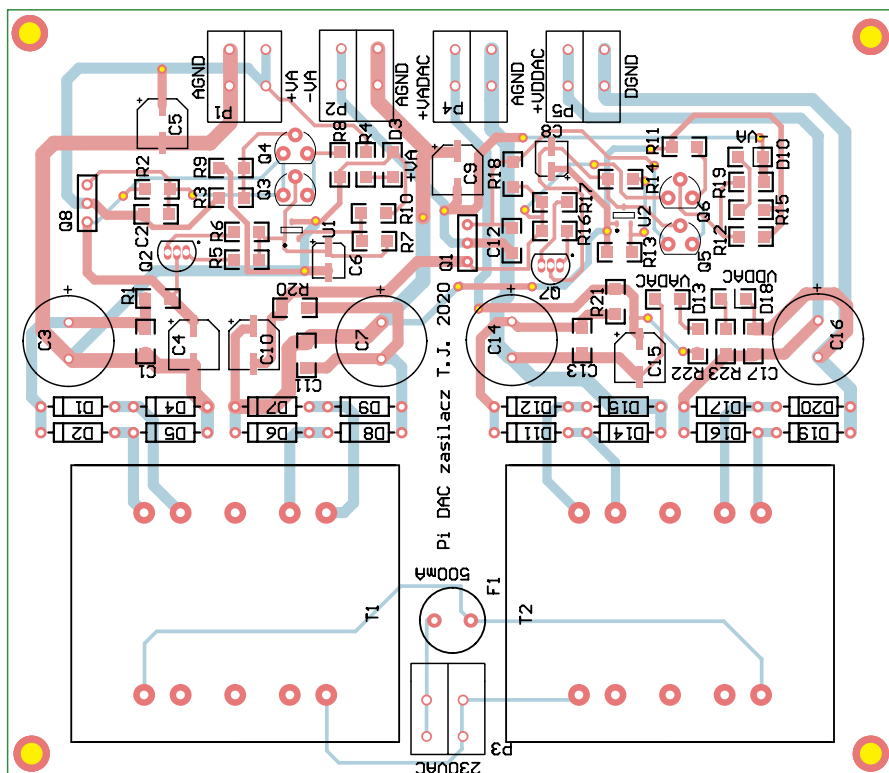
Wymagana umiejętność lutowania!
Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wzlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:
• wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wzlutowane w płytkę PCB)
• wersja [A] – płytki drukowane bez elementów i dokumentacji
Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
• wersja [A*] – płytki drukowane [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
• wersja [UK] – zaprogramowany układ
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!
<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Rysunek 12. Płytką przetwornika



Fotografia 1. Połączenie Raspberry Pi z płytką przetwornika



Rysunek 13. Płytką modułu zasilacza

przypadku powstaje problem pewnego połączenia zasilacza z płytką przetwornika. Przyznam, że preferuję umieszczanie kompletnych układów zasilania na płytce przetwornika, bo gwarantuje to krótkie i niezawodne połączenia. Z zewnątrz podłączane są tylko napięcia przemienne z transformatora. W tym rozwiązaniu jest inaczej i dlatego zastosowałem sprężynowe złączki Wago do druku. To bardzo szybko i pewne połączenie dzięki silnej sprężynie złączki. Alternatywą może być polutowanie kabli zasilających przez punkty lutownicze przeznaczone do złączek Wago. Na płytce przetwornika jest wyprowadzenie zasilania +5 V, którym można zasilać Raspberry Pi przez złącze I/O napięciem +5 V, ale ma to pewne wady. Zasilanie przez USB-C jest zabezpieczone przed odwrotną polaryzacją i zbyt wysokim napięciem zasilającym. Ostatecznie, w prototypie podłączyłem zasilanie przez USB-C.

Wyjściowe sygnały audio dla kanału lewego i prawego są wyprowadzone do dwu podwójnych goldpinów. W prototypie do tych wyprowadzeń są przyłutowane przewody ekranowane, prowadzące do złączy cinch.

Przetwornik można w pewnym zakresie konfigurować sprzętowo za pomocą zworek na płytce:

- Na złączu P6, w celu podłączenia sygnałów I²S z Raspberry Pi do PCM1794A (fotografia 2). Uwaga – nie zwieramy pinów 9 i 10 oraz 11 i 12 przeznaczonych do zasilania opcjonalnego separatora sygnałów I²S;
- Na złączu P5 są zwarte wszystkie piny. Pin 1 zwarty z pinem 2 wymusza sygnał MUTE, dla braku prawidłowego sygnału cyfrowego na wejściu przetwornika (ZERO). Zwarcie pinu 2 i 4 wyłącza preemfazę. Zwarcie pinu 5 i 6 oraz 7 i 8 wymusza stan 00 na wejściu FMT0 i FMT1, ustawiając format danych wejściowych I2S;
- Jeżeli jest używany układ konwerterów I/U i filtra na płytce przetwornika, to trzeba zewrzeć piny złącza P3, podając prądowe sygnały różnicowe na wejście konwerterów I/U.

Moduł zasilacza

Płytką zasilacza została pokazana na rysunku 13. Są na niej umieszczone wszystkie elementy łącznie z dwoma transformatorami w obudowach, z wyprowadzeniami przeznaczonymi do zamontowania na płytce drukowanej. Montaż nie powinien nastręczać żadnych trudności. Tak jak na płytce przetwornika, do podłączenia napięć wyjściowych zastosowałem złączki sprężynowe Wago. Transystor wykonawczy dla układu napięć ujemnych powinien mieć mały radiator, bo obciążenie w obwodzie napięć ujemnych jest wyższe niż w obwodzie napięć dodatnich. Zmontowany układ pokazano na fotografii 3.

Zasilacz Raspberry Pi

Moduł zasilacza 5 V, 5 A dla Raspberry Pi zmontowałem na kawałku uniwersalnej płytki drukowanej. Stabilizator LM1084 został przykręcony do sporego radiatora. W trakcie normalnej pracy komputerka, pod kontrolą programu Volumio, z podłączonym

przez USB dyskiem HDD o pojemności 1 TB, radiator jest tylko lekko ciepły. Zmontowany zasilacz został pokazany na **fotografii 4**.

Napięcie +5 V jest doprowadzone do złączy Wago, gdzie podłączone są przewody przyłutowane do gniazda USB-A, przeznaczonego do montażu powierzchniowego.

Do podłączenia zasilania Raspberry Pi użyłem przewodu USB-A w wtykiem USB-C. Przewód ten miał być w założeniu dobrej jakości, co sugerowała jego cena. Po wielu godzinach użytkowania nie było problemu z zasilaniem, więc jakość jest wystarczająca.

Uruchomienie układu

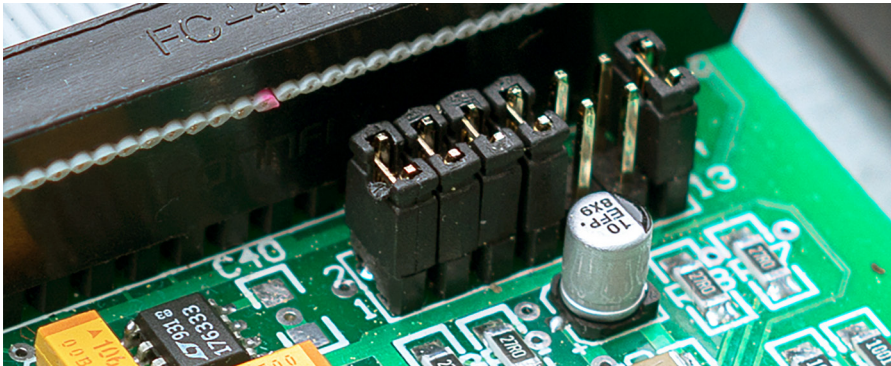
Wszystkie zmontowane moduły należy połączyć ze sobą. Prototypowy odtwarzacz został zamontowany w starej obudowie po zniszczonym tunerze FM (**fotografia 5**). Połączenia pomiędzy modulem zasilacza i przetwornika, zostały wykonane z użyciem giętkich przewodów o przekroju 0,75 mm² (**fotografia 6**). Oprócz modułów komputerka, przetwornika i zasilacza, znalazło się tam miejsce na przenośny dysk HDD z interfejsem USB. Na dysku tym zostały zapisane pliki, przegrane z części moich płyt CD.

Po wykonaniu połączeń sprawdzamy, czy wszystkie napięcia są poprawne. Jeżeli tak, to można przejść do testowania odtwarzania plików muzycznych. Do tego celu potrzebne jest odpowiednie oprogramowanie komputerka. Wybrałem aplikację Volumio, ale są też inne równie dobrze spełniające swoją funkcję. Volumio jest zoptymalizowaną aplikacją Linuksową, przeznaczoną tylko do odtwarzania muzyki. Po włączeniu zasilania uruchamia się automatycznie i przejmuje kontrolę nad Raspberry Pi. Ma to swoje zalety, bo nie musimy uruchamiać programu ręcznie, na przykład z poziomu Raspbiana.

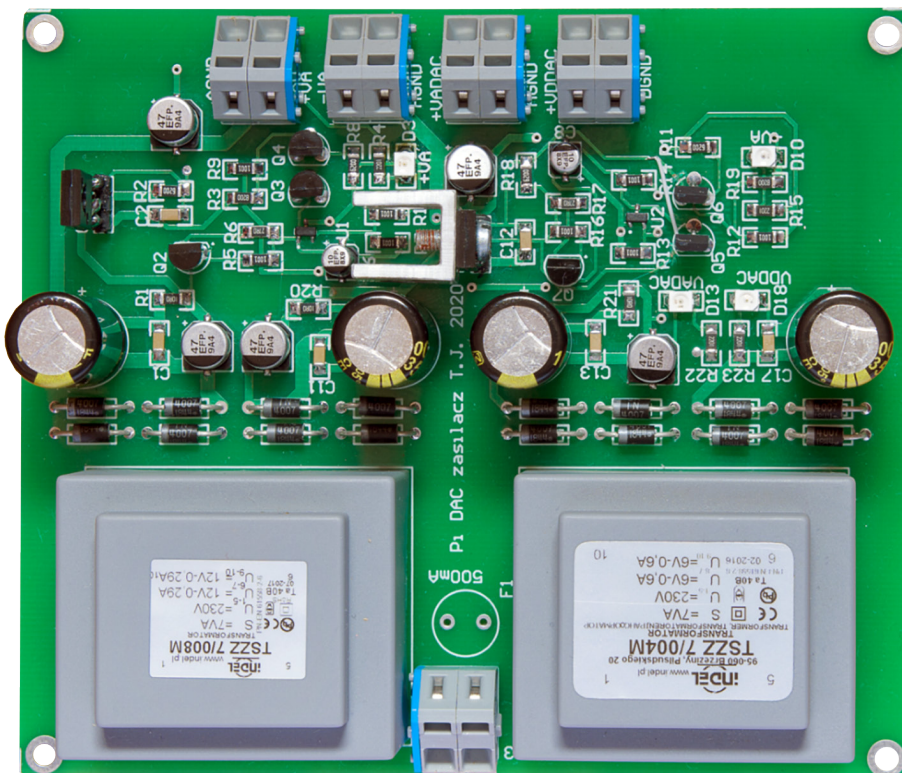
Aplikacja Volumio

Volumio pobieramy ze strony volumio.org, w postaci spakowanego pliku z rozszerzeniem *.zip*. Po rozpakowaniu mamy do dyspozycji plik obrazu systemu *.iso*, który należy nagrać na karcie SD, przeznaczonej dla Raspberry Pi. Obraz systemu trzeba nagrywać na karcie za pomocą specjalnego programu. Ja do tego celu użyłem aplikacji *Etcher*. Po nagraniu obrazu systemu wkładamy kartę do złącza Raspberry Pi i włączamy zasilanie.

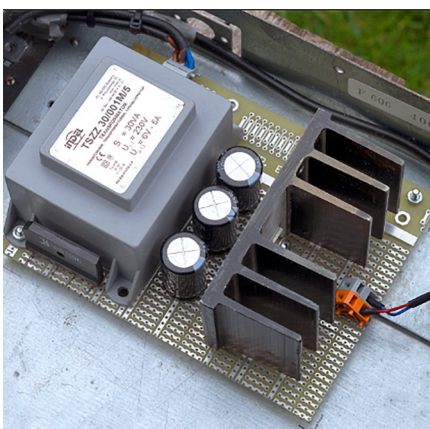
Aplikacja domyślnie nie obsługuje żadnego lokalnego interfejsu użytkownika,



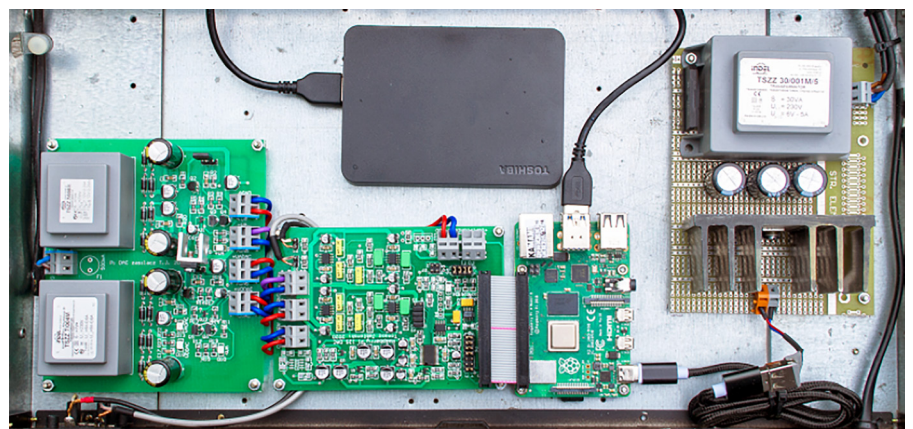
Fotografia 2. Umieszczenie zworek konfiguracyjnych – złącze P6



Fotografia 3. Zmontowany moduł zasilacza



Fotografia 4. Prototyp zasilacza 5 V, 5 A



Fotografia 5. Wszystkie moduły odtwarzacza zamontowane w obudowie

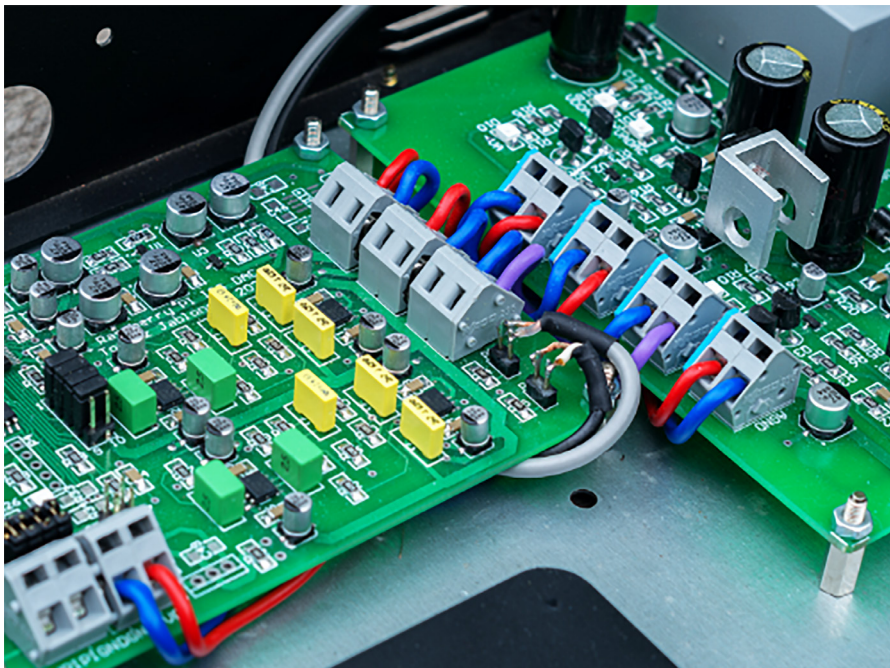
zbudowanego na przykład z monitora i myszki lub ekranu dotykowego. Volumio ma za to wbudowany serwer WWW i za jego pomocą można urządzenie konfigurować oraz sterować jego pracą. Przy pierwszym uruchomieniu Raspberry Pi z Volumio trzeba go podłączyć do routera sieci lokalnej LAN za pomocą kabla Ethernet. Router przydzieli Volumio adres w sieci lokalnej i można się z nim łączyć za pomocą standardowej przeglądarki www urządzenia (komputer, smartfon), połączonego do tej samej sieci LAN. Według autorów aplikacji najlepiej, kiedy jest to przeglądarka Chrome. W przeglądarce wpisujemy volumio/local i powinna pojawić się strona interfejsu użytkownika.

W przypadku dowolnego komputera pracującego pod kontrolą Windows tak się dzieje, ale u mnie nie zadziałało z przeglądarką Chrome, uruchomioną w smartfonie pod systemem Android. Przez stronę WWW konfiguracji routera podejrzewałem, jaki adres został przydzielony Volumio. W moim przypadku, po wpisaniu 192.168.1.6, strona się otworzyła, ale nie drążyłem dalej tego problemu.

Smartfon jest bardzo wygodnym elementem sterującym i spełnia funkcję inteligentnego pilota. Po pierwszym uruchomieniu można w konfiguracji wybrać swoją sieć Wi-Fi i połączyć się z nią po wpisaniu klucza. Nie musimy używać interfejsu Ethernet do połączenia z routerem, ale trzeba pamiętać, że adres IP, przy połączeniu przez Wi-Fi, będzie najprawdopodobniej inny niż przy połączeniu przez Ethernet. U mnie dla Ethernet ustawione było 192.168.1.6, a dla Wi-Fi – 192.168.1.3. Połączenie Raspberry Pi przez Wi-Fi jest bardzo wygodne. Pozwala umieścić odtwarzacz w dowolnym miejscu zasięgu domowego Wi-Fi. Jeśli chcemy, aby poziom zakłóceń EMI generowany przez Raspberry Pi był jak najmniejszy, to lepszym rozwiązaniem jest połączenie przez Ethernet i wyłączenie Wi-Fi. Moduł radiowy pracujący bardzo blisko układów audio może być przyczyną dodatkowych zakłóceń. Ethernet jest też lepszym wyjściem, kiedy źródłem danych audio są serwery plików czy dyski sieciowe.

W trakcie użytkowania odtwarzacza okazało się też, że podłączenie lokalnego dysku HDD do interfejsu USB 3.0 skracało wyraźnie zasięg Wi-Fi. Najlepiej, gdy dysk był połączony przez interfejs USB 2.0, w pełni wystarczający do poprawnego transferu danych audio. Trudno powiedzieć, czy jest to przypadłość komputerka, czy raczej zastosowanego sposobu zasilania albo umiejscowienia, w co prawda otwartej, ale metalowej obudowie. Tak czy inaczej, jeżeli jest taka możliwość, to powinno się wyłączyć Wi-Fi z poziomu ustawień Volumio.

Nie będę szczegółowo opisywał konfiguracji sieci czy konfiguracji interfejsu katalogowania i wyszukiwania nagrań. Interfejs jest



Fotografia 6. Połączenia pomiędzy modułem zasilacza i przetwornika

w miarę intuicyjny, a w przypadku wątpliwości można poczytać instrukcję. Skupimy się na skonfigurowaniu interfejsu audio I²S tak, by Volumio działało z naszym przetwornikiem. W zakładce *Ustawienia* → *Opcje odtwarzania* są cztery panele:

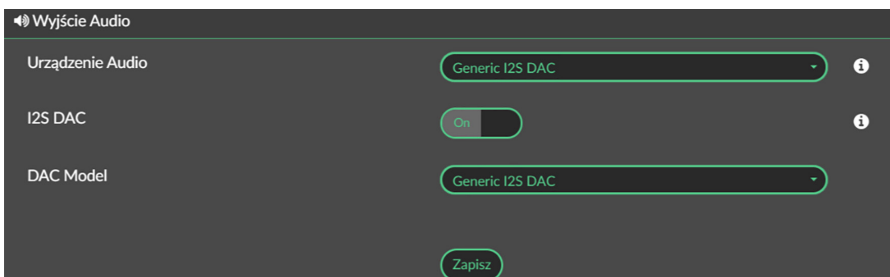
- wyjście audio,
- opcje odtwarzania,
- opcje głośności,
- audio resampling.

Najpierw trzeba w panelu *Wyjście Audio* włączyć interfejs I²S i z menu wybrać typ przetwornika. Na liście jest sporo różnych typów. O ile mi wiadomo, aplikacja może

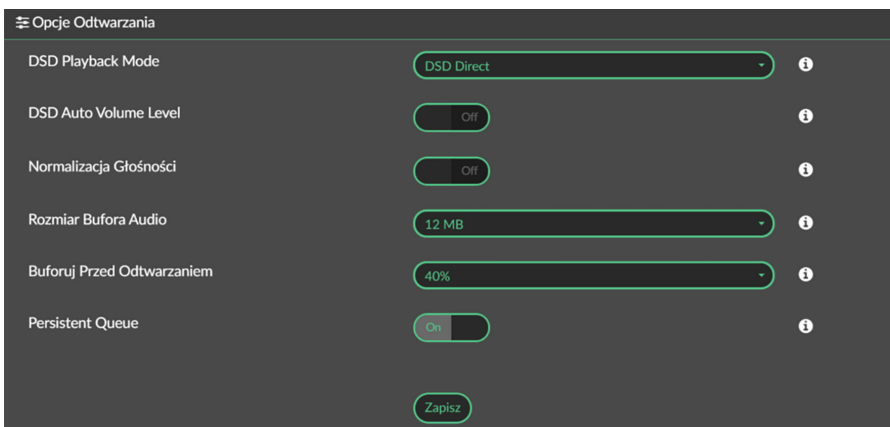
obsługiwać, oprócz samego interfejsu I²S, różne funkcje dodatkowe, na przykład cyfrową regulację w układzie przetwornika za pomocą jakiegoś interfejsu szeregowego, choćby SPI. W naszym przypadku potrzebujemy tylko sygnału I²S, bo nasza konstrukcja nie przewiduje funkcji dodatkowych. Wybieramy Generic I²S DAC. Ustawienia wyglądają następująco:

- urządzenie audio: Generic I²S DAC,
- I²S DAC – ON,
- DAC Model Generic I²S DAC.

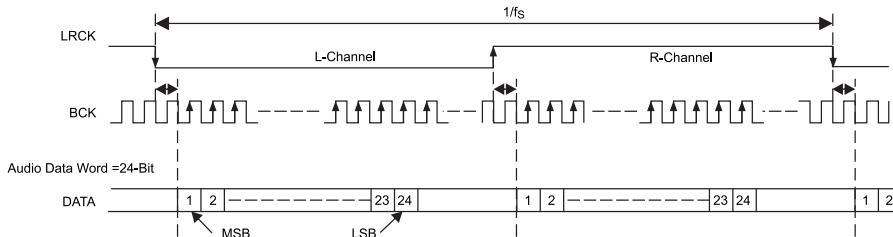
Klikamy na *Zapisz*. Powyższą konfigurację pokazuje **rysunek 14**.



Rysunek 14. Konfiguracja wyjścia I²S



Rysunek 15. Opcje odtwarzania



Rysunek 16. Przykład przesyłania danych 24-bitowych przez I²S

Można eksperymentalnie wybrać inne przetworniki i odtwarzacz powinien działać. Kolejnym ustawieniem są opcje odtwarzania (rysunek 15):

- DSD Playback Mode – przyznam, że nie rozumiem tego ustawienia. W instrukcji jest napisane, że jeżeli DAC nie obsługuje bezpośrednio DSD, to trzeba strumień danych przesyłać przez jakiegoś typu konwersję na PCM. W moim przypadku odtwarzanie działało przy obu ustawieniach i zostawiłem DSD Direct;
- DSD Auto Volume Level i Normalizacja głośności – nasz przetwornik nie obsługuje żadnych z tych opcji i zostały one wyłączone;
- Rozmiar bufora Audio – tu definiuje się, jaka jest pojemność bufora w pamięci RAM na dane audio. Im większy bufor, tym mniej transferów danych z dysku lub sieci. W miarę możliwości wybieramy największą wartość;
- Buforuj przed odtwarzaniem – procent zapelnienia bufora przed rozpoczęciem odtwarzania.

W panelu *Opcje głośności* można włączyć programowy mixer. Programowa modyfikacja cyfrowego sygnału audio jest dość prosta w implementacji. Możemy regulować głośność, filtrować pasmowo (equalizer) itp. Jednak każda z tych modyfikacji powoduje, że tracimy jakąś część jakości sygnału wejściowego. Z mojego doświadczenia wynika, że regulacje poziomu sygnału najlepiej jest robić po konwersji w torze analogowym. Dlatego mixer programowy wyłączyłem, ale dla zabawy można go włączyć i sprawdzić, czy dobrze działa.

Przechodzimy do ostatniego panelu *Audio Resampling*. Zagorzali audiofile chcieliby, żeby odtwarzacz spełniał wymagania tak zwanego bit perfect, czyli że cyfrowy

sygnał wejściowy nie powinien być w ogóle modyfikowany. To oczywiście w przetwornikach typu PCM1794A nie jest możliwe, bo wejściowy strumień danych jest i tak poddawany 8-krotnemu nadpróbkowaniu przed konwersją C/A. Przyjmuje się, że odpowiednio wykonany resampling, czyli zmiana częstotliwości próbkowania, go nie degradowuje, tak jak na przykład cyfrowa regulacja poziomu sygnału (głośności). Teoretycznie, również sztuczne zwiększanie rozdzielczości sygnału wejściowego jest zabiegiem obojętnym. Dlaczego o tym piszę? Bo pojawił się problem, którego rozwiązaniem było włączenie opcji resamplingu i porzucenie idei bit perfect już na wejściu przetwornika.

Na płytach kompaktowych CD materiał dźwiękowy ma parametry: słowo 16-bitowe i częstotliwość próbkowania 44,1 kHz. Pliki .wav o takich parametrach nie były przez przetwornik w ogóle odtwarzane. Początkowo przy uruchamianiu urządzenia trudno było zrozumieć przyczynę. Okazało się jednak, że Volumio odtwarza takie pliki w ciekawy sposób.

Jak wiemy, w interfejsie I²S sygnał LRCK ma częstotliwość równą częstotliwości próbkowania. W czasie połowy okresu LRCK przesyłane są 32 bity jednego kanału, a w czasie drugiej połowy okresu – kolejne 32 bity drugiego kanału. 32 bity na kanał jest przyjęte nadmiarowo, żeby w przyszłości, kiedy pojawią się pliki o większych rozdzielczościach, nie trzeba było projektować i stosować nowego standardu. Sygnał BCK, w czasie całego okresu LRCK, taktuje przesłanie 64 bitów, czyli ma częstotliwość równą 64 fs (rysunek 16).

W przypadku danych z płyt CD o długości 16 bitów Volumio robi coś dziwnego. LRCK ma częstotliwość 44,1 kHz, na linii danych jest przebieg z danymi, lecz słowo danych dla

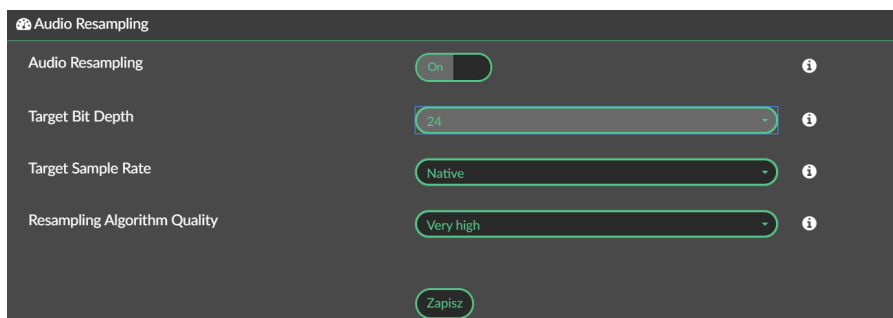
jednego kanału ma długość 16 bitów, a nie 32 bitów. Z tego powodu, w czasie przesyłania danych dla dwu kanałów, są przesyłane 32 bity i BCK ma częstotliwość 32 fs. PCM1794A nie rozumie takiego formatu wejściowego i blokuje konwersję. Przetwornik nie działa i brak jest sygnału na wyjściu. Jednym rozwiązaniem, które znalazłem, jest włączenie modułu *Audio Resampling* i zwiększenie w ustawieniach *Target Bit Depth* formatu do 24 bitów (więcej niż 16 bitów). Operacja zwiększenia długości słowa polega na dopisaniu ośmiu zer na najmłodszych ośmiu pozycjach słowa danych. Nie powinno to mieć żadnego znaczenia dla odtwarzania, ale na wejściu przetwornika jest jednak zmodyfikowany sygnał danych. Po ustawieniu opcji wszystko zaczęło działać. Można zostawić 44,1 kHz albo najlepiej opcję *native*, bo wtedy resampler nie zmienia częstotliwości próbkowania sygnału wejściowego. Przykład ustawienia panelu *Audio Resampling* pokazuje rysunek 17.

W czasie testów ustawiałem różne *Target Sample Rate*, od *native*, przez 48 kHz do 88,4 kHz. Nie usłyszałem jakiejś wyuczwalnej różnicy w działaniu przetwornika. Nie były to zbyt dogłębne testy i nie należy z nich wyciągać ostatecznych wniosków. Jakość algorytmu ustawiamy na najwyższą *Very High*. Po tych zmianach sygnał I²S na wyjściu Raspberry Pi pod kontrolą Volumio wyglądał tak jak na rysunku 16.

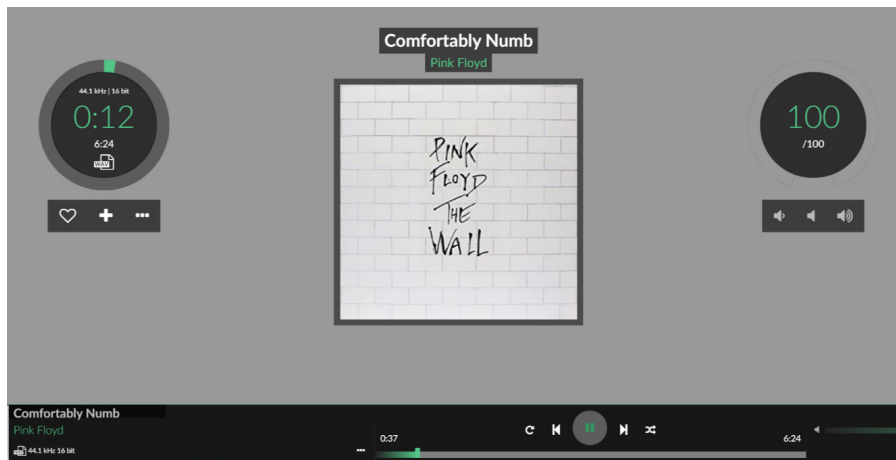
Robiłem testy także ze zwiększeniem długości do 24 bitów słowa danych, w trakcie zgrywania plików z płyty poprzez *Nero*. Takie pliki były również odtwarzane prawidłowo, tylko że niepotrzebnie miały, co zrozumiałe, sporo większą objętość. Co ciekawe, w Internecie nie ma żadnych informacji o tym problemie, więc być może jest jakieś inne wyjście zapewniające odtwarzanie bit perfect, którego nie znalazłem.

Ekran odtwarzania wyświetlany na komputerze jest wygodny i przejrzysty (rysunek 18). Z lewej strony jest umieszczona kontrolka czasu odtwarzania, czas całkowity oraz parametry pliku utworu (format pliku .wav, częstotliwość próbkowania 44,1 kHz, długość słowa danych pliku 16 bitów). Pośrodku jest umieszczona okładka albumu i nazwa odtwarzanego utworu (jeżeli jest zapiana w postaci pliku graficznego w katalogu utworu), a z prawej strony – nieaktywna kontrolka regulacji głośności (ta funkcja została wyłączona). Pasek na dole ekranu powiela informację o pliku (nazwa utworu i parametry próbkowania), pasek postępu odtwarzania i kontrolki PLAY, PAUSE, STOP, następny/poprzedni utwór, odtwarzanie w pętli i odtwarzanie losowe.

Praca ze stroną WWW na komputerze jest dość komfortowa, ale komputer niezbyt się sprawdza w roli mobilnego pilota do sterowania. Lepszy w tej roli jest smartfon. W sklepie



Rysunek 17. Ustawienia panelu Audio Resampling



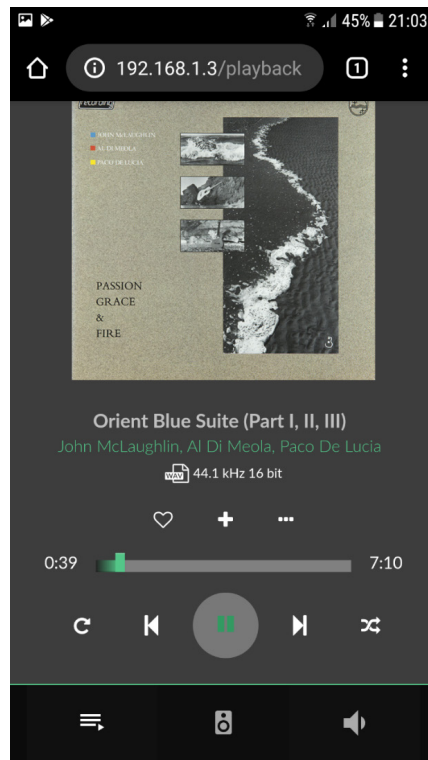
Rysunek 18. Ekran odtwarzania komputera z systemem Windows

Google Play jest dostępna płatna aplikacja Volumio, ale jej nie używałem. Do sterowania pracą odtwarzacza zupełnie wystarczy przeglądarka Chrome, uruchomiona na smartfonie połączonym przez Wi-Fi z lokalną siecią LAN, do której też jest połączone Volumio. Jak wspominałem wcześniej, na smartfonie trzeba w pasku adresu wpisać adres IP, przydzielony Volumio przez router. Po połączeniu, dostępne są wszystkie funkcje ustawień, wyszukiwania i odtwarzania utworów. Co prawda nie jest to takie komfortowe jak w przypadku komputera, ale smartfon doskonale spełnia funkcję inteligentnego pilota zdalnego sterowania odtwarzaczem, podłączonym do lokalnej sieci LAN przez Wi-Fi lub Ethernet, umieszczonego w dowolnym miejscu mieszkania. To bardzo wygodne rozwiązanie, bo odtwarzacz można schować na przykład w szafce i nie musi mieć atrakcyjnej obudowy. Na **rysunku 19**

pokazano typowy ekran sterowania odtwarzaniem utworu.

Podsumowanie

Testowałem przetwornik w dwóch zestawach. Pierwszy z bardzo dobrym wzmacniaczem DIY i słuchawkami Bayerdynamic DT880PRO. Zestaw pozwala z jednej strony na usłyszenie wszelkich niedociągnięć przetwornika, a z drugiej, ze względu na jakość toru, pozwala na uzyskanie jak najlepszej jakości odtwarzanej muzyki. Drugi zestaw to wzmacniacz lampowy TU-8200 japońskiej firmy Elekit i kolumny Tannoy o efektywności 92 dB. W **bardzo subiektywnej ocenie** jest to jeden z najlepiej brzmiących przetworników, jakie słyszałem. Rewelacyjna separacja kanałów, połączona z detalicznością i świetną lokalizacją źródeł na scenie muzycznej. Do tego wiele powietrza i przestrzeni. Słuchanie muzyki przez dłuższy



Rysunek 19. Ekran smartfonu sterowana odtwarzaniem utworu przez Volumio

czas sprawia wiele przyjemności i nie jest absolutnie męczące. Nie bez znaczenia jest możliwość łatwego wyboru odtwarzanego materiału muzycznego, z większej lub mniejszej własnej biblioteki muzycznej, oferowanej przez oprogramowanie komputera Raspberry Pi. Nie można tej wygody porównać do odtwarzania płyt w typowym odtwarzaczu CD.


Tomasz Jabłoński, EP

REKLAMA



KITy AVT na wideo: [HTTP://BIT.LY/2SCLZTY](http://bit.ly/2SCLZTY)

O KIT-ach AVT przeczytasz również na Facebooku: [HTTP://BIT.LY/2BJVMN7](http://bit.ly/2BJVMN7)

 AVTEDU634 - MigoLEDki 0:25	 AVTEDU631 - Wskaźnik kierunku LED 0:38	 AVTEDU635 - Minipianino 0:36	 AVTEDU621 - Stroboskop policyjny LED 0:34	 AVTEDU630 - TermoEmotek 1:06	 AVT1996 - Bedlight - sterownik oświetlenia... 0:42
 AVT3144 - Klaskacz - przełącznik akustyczny 0:26	 AVT3250 - Bombka LED dla każdego - montaż 2:06	 AVT3165 - Odstraszacz kretów 0:28	 AVT5599 - Zdalnie sterowany włącznik 4-kanałowy 0:37	 AVT5596 - Wskaźnik temperatury silnika 0:26	 AVT5595 - Mieszacz kolorów RGB 0:40
 AVT1960 - Termometr z termoparą i alarmem 0:34	 AVT777 - Sterownik miniwiertarki modelarskiej 0:34	 AVTMOD01 - Uniwersalny regulator impulsowy 5A 0:42	 AVT5554 - Gra elektroniczna SNAKE 0:30	 AVT478 - Regulator obrotów wentylatorów 12V 0:30	 AVT720 - Błkitno-biały mrygacz 0:32