

# Mikroprocesorowy moduł mówiący

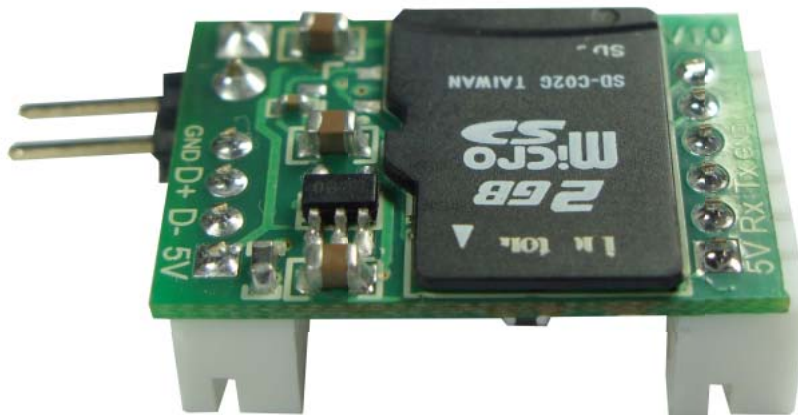
## Moduł odtwarzacza komunikatów i muzyki w formacie WAV

**AVT  
5369**

Głosowy interfejs użytkownika może być atrakcyjnym dodatkiem do urządzenia. Na łamach EP przedstawiono między innymi „Mówiący dalmierz” oraz „Mówiący zegar z DCF77”. W tych urządzeniach elementem odpowiedzialnym za przechowywanie i odtwarzanie komunikatów były specjalizowane układy scalone z serii ISD. Mają one miały wbudowaną stosunkowo niewielką pamięć oraz niską częstotliwość próbkowania. Te cechy powodują, że używa się ich głównie do odtwarzania prostych komunikatów głosowych. Aby poprawić jakość odtwarzania oraz zwiększyć długość zapisanych komunikatów, zaprojektowano w oparciu o mikrokontroler moduł odpowiadający funkcjonalnie układowi ISD.

**Rekomendacje:** mówiący interfejs użytkownika może przydać się do wielu zastosowań, na przykład może być częścią składową urządzeń budowanych dla osób niepełnosprawnych.

Mikroprocesorowy moduł mówiący ma niewielkie wymiary wynoszące 16 mm×21 mm, porównywalne z wymiarami obudowy układów ISD1400. Jest zasilany napięciem pojedynczym o wartości 5 V. Sterowanie odtwarzaniem odbywa się za pomocą interfejsu UART. Moduł zawiera nieulotną pamięć, cyfrowy potencjometr oraz monofoniczny wzmacniacz głośnikowy o mocy 2 W. Może współpracować z układami zasilanymi napięciem 5 V lub 3,3 V. Układ odtwarza pliki muzyczne zapisane w formacie Wave z częstotliwością próbkowania do 44,1 kHz i rozdzielczością do 16 bitów. Za jego pomo-



cą bardzo łatwo jest zrealizować układ elektronicznej pozytywyki lub wzbogacić własne urządzenie o możliwość wygłaszania komunikatów lub odtwarzania muzyki.

Dostępne na rynku układy scalone ISD mogą odtwarzać i zapisywać sygnał akustyczny z maksymalną częstotliwością próbkowania równą 8 kHz. Pojemność ich nieulotnej pamięci, w której w istocie pamiętane są wartości napięć poszczególnych próbek, ogranicza maksymalną długość nagrania do około 16...20 sekund. Mają one jednak niezbędne bloki funkcjonalne pozwalające zarówno nagrywać jak i odtwarzać sygnał akustyczny. Projektując własny moduł ISD postanowiono przede wszystkim znacznie wydłużyć czas trwania przechowywanych nagrań oraz poszerzyć pasmo pracy toru analogowego do minimum 12 – 16 kHz (próbkowanie 24 -32 KHz). Ponadto, aby poprawić stosunek sygnału do szumu, umożliwiono zapisywanie próbek z rozdzielczością 16-bitową. Nagrywanie komunikatów przez mikrofon zastąpiono przez umożliwienie bezpośredniego zapisu utworów w pamięci urządzenia.

### Dobór podzespołów

Wysokie wymagania w zakresie jakości sygnału powodują gwałtowny wzrost zapotrzebowania na pamięć nieulotną potrzebną do przechowywania jego próbek. Już przy częstotliwości próbkowania 12 kHz i 8 bitach na próbkę minuta utworu zajmuje 720 kB pamięci. Oczywiście, można pokusić

**W ofercie AVT\***  
AVT-5369 A

#### Podstawowe informacje:

- Dwustronna płytka drukowana o wymiarach 16 mm×21 mm.
- Wymiary modułu porównywalne z wymiarami obudowy układów ISD1400.
- Zasilany napięciem pojedynczym o wartości 5 V.
- Sterowanie odtwarzaniem za pomocą interfejsu UART.
- Moduł zawiera nieulotną pamięć, cyfrowy potencjometr oraz monofoniczny wzmacniacz głośnikowy o mocy 2 W.
- Możliwość współpracy z układami zasilanymi napięciem 5 V lub 3,3 V.
- Odtwarzanie plików muzycznych w formacie Wave z częstotliwością próbkowania do 44,1 kHz i rozdzielczością do 16 bitów.

#### Dodatkowe materiały na CD/FTP:

<ftp://ep.com.pl>, user: 18231, pass: 5awm8742

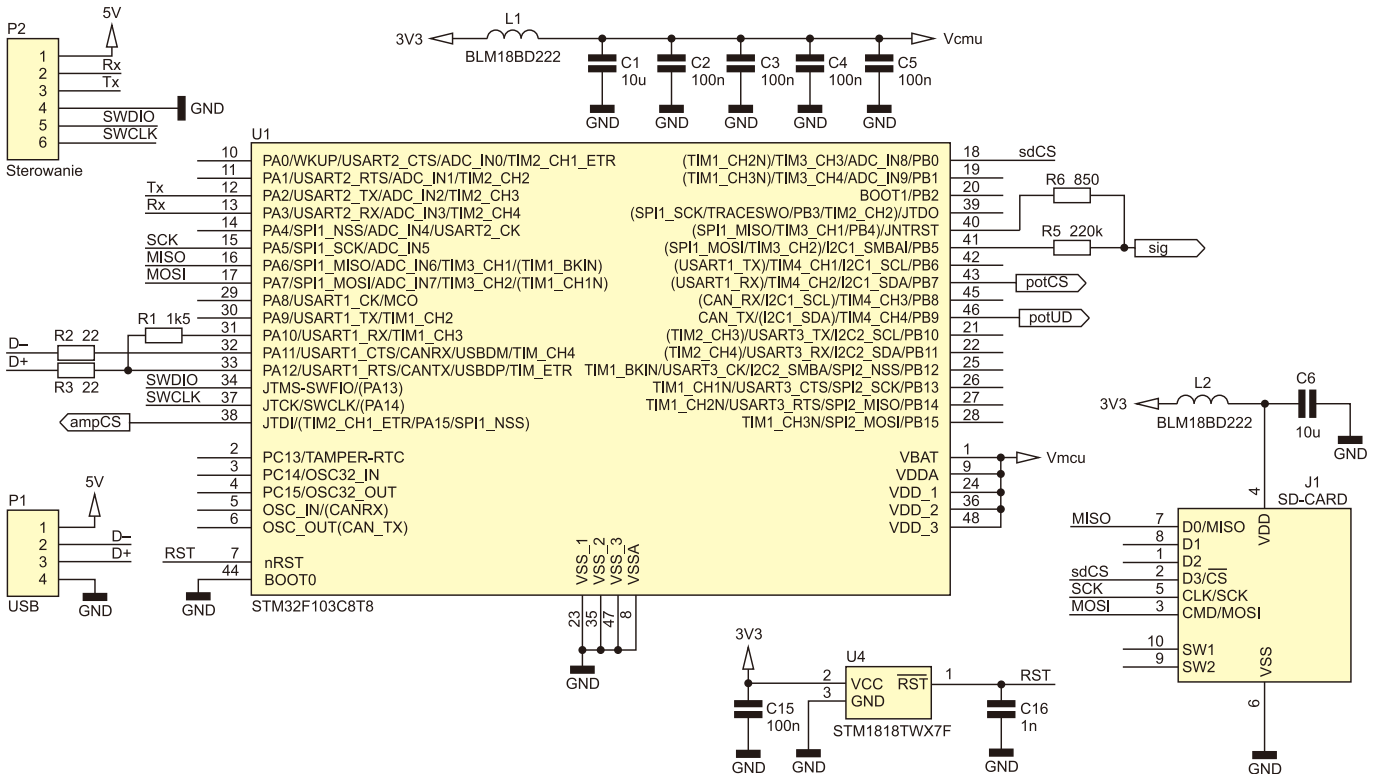
- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

#### Projekty pokrewne na CD/FTP:

- (wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)
- AVT-1305 Cyfrowa nagrywarka audio (EP 5/2001)
- AVT-1700 Magnetofon cyfrowy z układem ISD17xx (EP 12/2008)
- AVT-487 Nagrywarka dla układów ISD2500 (EP 1/1999)
- AVT-2045 Pozytywka - ISDOFON (EdW 11/1997)

\* Uwaga:  
Zestawy AVT mogą występować w następujących wersjach:  
AVT xxxx UK - zaprogramowany układ. Tylko i wyłącznie. Bez elementów dodatkowych.  
AVT xxxx A - płytka drukowana PCB (lub płytki drukowane, jeśli w opisie wyraźnie zaznaczono), bez elementów dodatkowych.  
AVT xxxx A+ - płytka drukowana i zaprogramowany układ (czyli połączenie wersji A i wersji UK) bez elementów dodatkowych.  
AVT xxxx B - płytka drukowana (lub płytki) oraz komplet elementów wymienionych w załączniku pdf.  
AVT xxxx C - to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wylutowane w PCB. Należy mieć na uwadze, że o ile nie zaznaczono wyraźnie w opisie, zestaw ten nie ma obudowy ani elementów dodatkowych, które nie zostały wymienione w załączniku pdf.  
AVT xxxx CD - oprogramowanie (nieczęsto spotykana wersja, lecz jeśli występuje, to niezbędne oprogramowanie można скачать, klikając w link umieszczony w opisie kitu).  
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! (UK, A, A+, B lub C). <http://sklep.avt.pl>

się o zastosowanie kompresji (np. do formatu mp3), ale wówczas stopień skomplikowania układu znacząco wzrośnie. Ponadto, nawet zapisując utwory w postaci skompresowanej szybko przekroczymy pojemność pamięci Flash popularnych procesorów czy też zewnętrznych pamięci dołączanych poprzez



Rysunek 1. Schemat ideowy części cyfrowej modułu mówiącego

interfejs SPI czy I<sup>2</sup>C. W projekcie jako pamięć nieulotną zdecydowano użyć kartę microSD. Aby wykluczyć możliwość wysunięcia się karty ze złącza została ona przylutowana do płytki drukowanej. Od pojemności karty zależy sumaryczny czas trwania przechowywanych nagrań i komunikatów. Obecnie, już za kilkanaście złotych można nabyć karty o pojemności 2 GB, co nawet przy zapisie 16-bitowym z próbkowaniem 44,1 kHz pozwoli na przechowywanie ponad 6 godzin nagrań.

Dostęp do zawartości pamięci odbywa się poprzez interfejs USB modułu ISD. Po dołączeniu modułu do komputera jest on widziany jako dysk wymienny. Takie rozwiązanie wymusiło użycie w projekcie mikrokontrolera z interfejsem USB. Wybrano

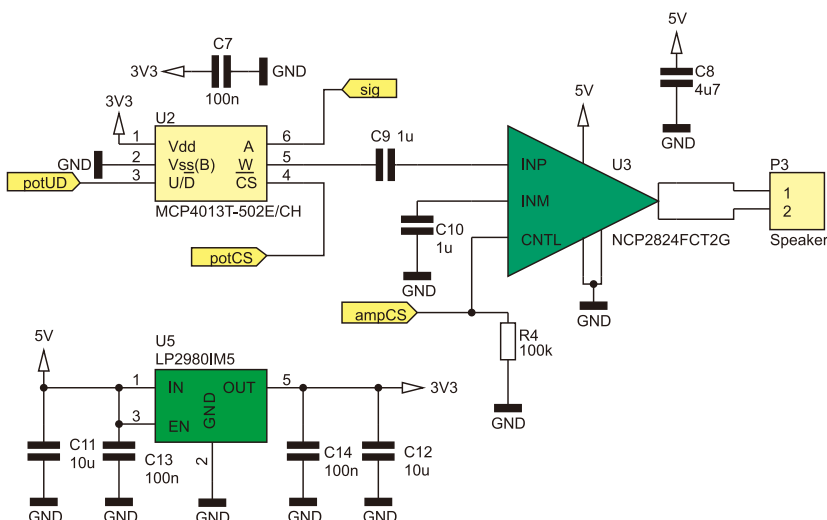
układ firmy STMicroelectronic oznaczony jako STM32F103C8T8. Jest to jeden z najmniejszych (i najtańszych) mikrokontrolerów z rodziny STM32 z interfejsem USB. Do wzmocnienia sygnału użyto miniaturowego i wysokosprawnego wzmacniacza klasy D. Wybrany został układ NCP2824 firmy ON Semiconductor, głównie ze względu na małe wymiary oraz atrakcyjną cenę. Wzmacniacz ten nie wymaga dołączenia z zewnątrz żadnych dodatkowych elementów. Układ ma dodatkowo prosty jednoprzewodowy interfejs służący do ustalania wzmocnienia, włączania lub wyłączania układów automatycznej kontroli wzmocnienia i monitorowania napięcia zasilania. Przy zasilaniu napięciem 5 V moc oddawana na obciążeniu o impedancji 4 Ω wynosi 2,4 W.

**Budowa**

Schemat ideowy cyfrowej części modułu ISD przedstawiono na **rysunku 1**. Zawiera on mikrokontroler (U1), kartę pamięci (J1) oraz złącza USB (P1) i sterowania (P2). W trybie wymiany zawartości karty pamięci moduł jest zasilany z portu USB. Docelowo w układzie jest on dołączony do złącza P2 za pomocą czterech styków. Aby nie pomylić złącza USB i sterującego, to ostatnie rozszerzono o sygnały SWD mikrokontrolera. Są one przydatne podczas modyfikowania oprogramowania modułu. Dla poprawienia odporności na zaburzenia dodano zewnętrzny monitor napięcia (U4) zerujący mikrokontroler, gdy napięcie spadnie poniżej 3 V.

Zastosowany mikrokontroler nie ma układu peryferyjnego SDIO, dlatego kartę dołączono za pomocą interfejsu SPI. W tak małym mikrokontrolerze zabrakło również przetworników DAC i generowanie sygna-

REKLAMA



Rysunek 2. Schemat ideowy części analogowej modułu mówiącego

## Wykaz elementów

## Rezystory: (SMD 0402)

R1: 1,5 kΩ  
 R2, R3: 22 Ω  
 R4: 100 kΩ  
 R5: 220 kΩ  
 R6: 850 Ω (0603)

## Kondensatory: (SMD)

C1, C6, C11, C12: 10 μF (0805)  
 C2...C5, C13...C15: 100 nF (0402)  
 C7: 100 nF (0603)  
 C8: 4,7 μF (0805)  
 C9, C10: 1 μF (0603)  
 C16: 1 nF (0402)

## Półprzewodniki:

U1: STM32F103C8T8 (LQFP48)  
 U2: MCP4013T-502E/CH (SOT-23/6)  
 U3: NCP2824FCT2G (WCSP-9)  
 U4: STM1818TWX7F (SOT-23)  
 U5: LP2980IM5 (SOT-23/5)

## Inne:

J1: karta micro SD np. 2 GB  
 L1, L2: dławik BLM18BD222 (0603)  
 P1: wtyk USB (WS-04S)  
 P2: złącze WS-06S (sterowania)  
 Głośnik np. 4 Ω/3 W

Na CD: karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w wykazie elementów kolorem czerwonym



lu analogowego trzeba było zrealizować za pomocą kanałów PWM. Przyjęto dla nich rozdzielczość 8-bitową. 16-bitową rozdzielczość odtwarzania uzyskano sumując wagowo sygnał z dwóch kanałów za pomocą rezystorów R5 oraz R6. Jeden z nich jest w przybliżeniu 256 razy większy od drugiego. Kanał 1 (TIM 3) jest ładowany bardziej znaczącym bajtem próbki, a kanał 2 bajtem mniej znaczącym. Użycie jednego kanału PWM w trybie 16-bitowym jest niemożliwe z tego powodu, że przy próbkowaniu sygnału 44,1 kHz kanał ten musiałby być taktowany sygnałem o częstotliwości prawie 3 GHz. Zastosowany mikrokontroler można taktować jedynie z częstotliwością 72 MHz. Jest to jednak możliwe tylko przy dołączeniu zewnętrznego rezonatora. W module ISD zabrakło dla niego miejsca i mikrokontroler taktowany jest z wewnętrznego oscylatora. W tym wypadku maksymalnie można ustawić częstotliwość jego pracy na 64 MHz. Z kolei dla interfejsu USB częstotliwość sygnału zegara systemowego powinna być równa 72 MHz lub 48 MHz (podzielnik 1 lub 1,5). Jako kompromis częstotliwość wewnętrznego sygnału zegarowego ustalono na 48 MHz.

Schemat części analogowej modułu pokazano na **rysunku 2**. Zawiera on stabilizator dostarczający napięcie 3,3 V dla mikrokontrolera (U5), potencjometr cyfrowy (U2) oraz wzmacniacz głośnikowy (U3). Sygnał generowany przez kanały PWM mi-

krokontrolera w pierwszej kolejności jest poddawany ograniczeniu amplitudy w potencjometrze cyfrowym (U2). Dzięki temu komendami wysyłanymi przez UART można sterować nie tylko odtwarzaniem utworów, ale również poziomem amplitudy. Następnie sygnał jest wzmacniany w układzie U3 i podawany na głośnik.

## Oprogramowanie

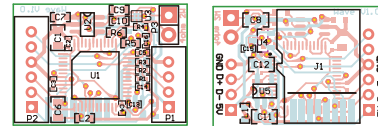
Oprogramowanie modułu podzielono na dwie główne części. Odpowiadają one trybom pracy modułu: wymiana zawartości pamięci oraz odtwarzanie.

Dostęp do zawartości karty microSD zrealizowano z użyciem interfejsu USB mikrokontrolera. Pracuje on w klasie MSD (*Mass Storage Device*) i nie wymaga instalowania żadnych sterowników. W projekcie prototypowym wykorzystano VID firmy ST (0xC251), a PID ustalono na wartość 0x2003, aby nie był identyczny z PID programatora STlink. Mikrokontroler po zerowaniu zanim jeszcze uaktywni interfejs USB, konfiguruje linię PA10 jako wejście podciągnięte do zasilania. Jeżeli moduł dołączono do komputera, to wymusi on na linii D+ poziom niski. Wtedy linia PA10 przełączana jest w tryb wyjściowy i poziomem wysokim rozpoczyna proces enumeracji urządzeń USB.

Jeżeli moduł ISD nie został dołączony do komputera, rozpoczyna pracę jako odtwarzacz plików zapisanych na karcie pamięci. W tym trybie inicjowane są w pamięci mikrokontrolera dwie kolejki FIFO. Pierwsza z nich przechowuje komendy otrzymywane przez UART i ma pojemność 128 bajtów. Opróżnianiem tej kolejki zajmuje się wywoływany w pętli głównej proces interpretacji komend sterujących. Drugi bufor FIFO zawiera próbki odczytywane przez moduł obsługi plików w formacie Wave. Opróżnianie tego bufora następuje w przerwaniu od timera odmierzającego czas pomiędzy kolejnymi próbkami. Moduł odtwarzacza oprócz zawartości bufora z próbkami otrzymuje również parametry sygnału odczytane z nagłówka pliku Wave. Dzięki temu jest możliwe odtwarzanie plików zapisanych z różnymi częstotliwościami próbkowania oraz różną rozdzielczością.

## Montaż

Jednym z kluczowych założeń podczas projektowania modułu ISD było zmniejszenie jego wymiarów. Między innymi z tego powodu karta microSD została bezpośrednio przylutowana do płytki drukowanej.



Rysunek 3. Schemat montażowy modułu mówiącego

Elementy dyskretnie użyte w projekcie są w większości w rozmiarze 0402. Również użyty wzmacniacz akustyczny spełnia założenia miniaturyzacji, gdyż został umieszczony w obudowie BGA9 o wymiarach 1,5 mm×1,5 mm.

Schemat montażowy modułu zamieszczono na **rysunku 3**. Prototyp wykonano na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 16 mm×21 mm i grubości 0,8 mm. Nietypowa grubość płytki drukowanej była podyktowana wyłącznie względami estetycznymi. Pomimo stosowania technologii SMD, elementów biernych w obudowach 0402 oraz montażu BGA, moduł ISD można z powodzeniem zmontować i uruchomić w warunkach domowych. Niezbędne jest jednak posiadanie dwufunkcyjnej stacji lutowniczej (grot + hot air) oraz doświadczenia w montażu układów SMD.

Montaż dobrze jest rozpocząć od przylutowania mikrokontrolera. Sposobów jego lutowania jest kilka (grotem, minifalą lub na pastę) – wybór pozostawiam Czytelnikom. Następnie płytkę mocujemy w imadle stolowym i przecieramy preparatem odtłuszczającym miejsce montażu wzmacniacza. Jeżeli płytka drukowana jest już pocynowana w procesie produkcji, to do montażu nie używamy w ogóle cyny. Można jedynie przetrzeć pady na płytce topnikiem w żelu. Należy jednak zwrócić uwagę, żeby pozostawić go jak najmniej (dosłownie wycisnąć na chusteczkę lub pędzelek i przetrzeć). Wyjęty z opakowania układ ustawiamy teraz na swoim miejscu. Należy oczywiście dokładnie sprawdzić, który z rogów oznaczony został przez producenta jako kulka A1. Właściwy montaż polega na powolnym podgrzaniu okolicy wzmacniacza gorącym powietrzem (minimalny wydmuch). Zalecana temperatura to ok. 360 stopni. Po kilkunastu sekundach powinniśmy zaobserwować, że skrajne kulki układu łączą się z polami płytki. Niekiedy obserwuje się tzw. wskoczenie układu (delikatne jego poruszenie) spowodowane napięciem powierzchniowym cyny. Układ podgrzewamy nie dłużej niż 10 sekund i niczym nie dotykamy ani nie dociskamy. Po ostygnięciu (powolnym i samoistnym) w silnym

<http://www.ep.com.pl>

Tabela 1. Lista komend sterujących

Składnia	Opis działania
PLAY abc.wav	Odtwarza plik o nazwie abc.wav
VOL xx	Ustawia głośność odtwarzania (xx z zakresu 00-20)
?VOL	Zwraca aktualnie ustawioną głośność w formacie VOL xx
?DIR	Wyświetla listę plików znajdujących w pamięci modułu
?	Wyświetla listę dostępnych dla modułu komend sterujących

świecie można zaobserwować przestrzenie pomiędzy kulkami zamontowanego układu.

Kartę pamięci również wygodnie jest przylutować za pomocą gorącego powietrza. Wcześniej jednak należy pobielić jej styki. W miejscu gdzie karta nie ma styków warto położyć skrawek kleju termotopliwego. Podczas podgrzewania rozplynie się usztywniając dodatkowo połączenie.

Montaż kończymy przylutowaniem stabilizatora, potencjometru cyfrowego oraz pozostałych elementów dyskretnych. Otwory złącz USB oraz sterującego przewidziano do bezpośredniego wlutowania przewodów lub zamontowania złącz WS-04S i WS-06S. Głośnik jest wygodnie dołączyć do wlutowanych szpilek 2,54 mm.

### Sterowania pracą modułu

Moduł ISD po dołączeniu za pomocą złącza P1 do portu USB komputera

powinien zostać rozpoznany jako dysk wymienny. Moduł pracuje wtedy w trybie wymiany zawartości pamięci i nie odtwarza komunikatów ani nie przyjmuje komend. Prędkość transferu plików ograniczona jest głównie przez szybkość pracy interfejsu USB mikrokontrolera i wynosi około 350 kB/s. Nazwy plików umieszczanych w pamięci mogą zawierać polskie znaki i mieć długość do 255 znaków (wraz z rozszerzeniem).

Po umieszczeniu w pamięci modułu niezbędnych plików należy odłączyć go od komputera i połączyć w docelowym układzie. W tym celu używa się pierwszych czterech styków złącza P2. Na zaprojektowanej płytce piny te zostały odpowiednio opisane. Do złącza P2 (oprócz zasilania) należy podłączyć przewód od pinu Tx urządzenia sterującego do szpilki Rx modułu ISD. Takie połączenie wystarczy, jeśli urządzenie sterujące pracą modułu zna nazwy plików przechowy-

wanych na karcie i nie chce odbierać od modułu ISD żadnych informacji zwrotnych. Parametry pracy złącza UART to 115200, 8, n, 1.

Listę komend sterujących modulem ISD umieszczono w **tabeli 1**.

Wysłanie komendy skutkuje natychmiastowym jej wykonaniem, jeżeli nie jest w danej chwili odtwarzany żaden utwór. Rozpoczęcie odtwarzania rozkazem PLAY, a następnie wysłanie ciągu innych komend spowoduje, że ich interpretacja odbędzie się po zakończeniu odtwarzania. W ten sposób urządzenie sterujące może składać komunikaty z pojedynczych plików. Przykładem może być poinformowanie o godzinie 12:34, wysłane do modułu jako ciąg rozkazów:

```
PLAY dwunasta.wav
PLAY trzydzieści.wav
PLAY cztery.wav
```

Rozkazy można wysłać jeden po drugim, co zwalnia system sterujący z konieczności monitorowania stanu modułu ISD (komendy pytania o stan nie zaimplementowano). Wysłanie ciągu znaków, których moduł nie rozpoznaje lub komendy z niewłaściwym parametrem skutkuje zwróceniem odpowiedzi INVALID COMMAND lub INVALID PARAMETR.

**Marek Sawicki**