

Płytkka ewaluacyjna dla STM32F2/F4/F7 do celów SDR i nie tylko

Przeznaczeniem opisywanego zestawu jest przetwarzanie sygnałów IQ z radia programowego SDR, jednak zbudowano go w sposób na tyle uniwersalny, że z powodzeniem może być używany do innych celów. Dobrze sprawdzi się w zastosowaniach audio, jako platforma przeznaczona do komunikacji w sieci Ethernet, a wyświetlacz umożliwia tworzenie zaawansowanych interfejsów do komunikacji z użytkownikiem. Autor również planuje wykorzystać to rozwiązanie jako platformę referencyjną dla systemu ISIX.

Rekomendacje: zestaw przyda się wszystkim budującym aplikacje z zastosowaniem mikrokontrolerów STM32.

Mikrokontrolery STM32 zdobyły znaczącą popularność, a w parze z tym idzie duża dostępność zestawów ewaluacyjnych. Największą popularnością cieszą się zestawy produkowane przez STMicroelectronics, które – z uwagi na promocyjny charakter – są niejednokrotnie tańsze niż pojedynczy mikrokontroler zakupiony w sklepie detalicznym. Jeśli chcemy zapoznać się z rodziną STM32, są one dobrym wyborem. Jeśli myślimy o wykorzystaniu zestawu w roli bazy dla własnych produktów, nie jest to najlepszy

pomysł, ponieważ w przyszłości możemy mieć problem z ich dostępnością. Nie zawsze też zestaw proponowanych peryferii odpowiada naszym potrzebom. Z tej przyczyny zrodziła się idea zbudowania własnego zestawu dla mikrokontrolerów STM32, opartego na łatwo dostępnych komponentach.

Pierwotnym przeznaczeniem proponowanego zestawu jest przetwarzanie sygnałów IQ z radia programowego SDR, jednak został on zbudowany w sposób na tyle ogólny, że z powodzeniem może być wykorzystany do innych celów. Z uwagi na dobry przetwornik A/C i C/A znakomicie sprawdzi się w zastosowaniach audio. Dzięki układowi PHY sprawdzi się doskonale jako platforma przeznaczona do komunikacji w sieci Ethernet. Wyświetlacz TFT LCD o rozdzielczości 320×240 px stanowi świetne uzupełnienie zestawu, umożliwiając budowanie zaawansowanych interfejsów do komunikacji z użytkownikiem. Układ generatora PLL umożliwia uzyskanie 3 niezależnych dowolnych sygnałów zegarowych o częstotliwościach od 2,5 kHz do 200 MHz, które są dostępne na zewnętrznym złączu. W zestawie zastosowano bogaty zestaw peryferii, tak aby jak najlepiej wykorzystać możliwości procesora. Budując własną płytkę, nie musimy jednak montować wszystkich układów dodatkowych. W skrajnym przypadku na cały zestaw może się składać jedynie procesor oraz układ zasilania. Autor również planuje wykorzystać to rozwiązanie jako platformę referencyjną dla systemu ISIX.

Budowa

Schemat ideowy zestawu zamieszczono na rysunku 1. Można go zasilac z zewnętrznego zasilacza napięcia stałego o napięciu od 9 do 24 V, dołączanego za pomocą typowego gniazda DC (P1) lub złącza ARK2 (P2). Tranzystor T1 zabezpiecza płytkę przed odwrótną polaryzacją napięcia zasilającego.

Zasilacz napięcia 3,3 V zrealizowano z użyciem regulatora impulsowego step-down MCP16301 (U1), który może być obciążony prądem o natężeniu do 1 A. Pracuje on ze stosunkową dużą częstotliwością 500 kHz, dzięki czemu można było zastosować cewkę L1 o niewielkich wymiarach. Dioda świecąca D3 informuje o poprawności napięcia zasilającego.

Sercem zestawu jest mikrokontroler STM32 w obudowie TQFP144 (U4). Wybór mikrokontrolera w obudowie o 144 wyprowadzeniach był podyktowany dostępnością wielu linii GPIO, zewnętrznej magistrali FSMC, Ethernet (RMII) oraz kompatybilnością pomiędzy różnymi układami z rodziny. Zależnie od potrzebnej mocy obliczeniowej, bez zmian w projekcie płytki, możemy zastosować modele z rdzeniem Cortex-M3 np. STM32F207, STM32F427 z rdzeniem Cortex-M4, aż po najbardziej wydajne układy

STM32F765 z rdzeniem Cortex-M7. Mikrokontroler jest taktowany za pomocą wewnętrznego generatora HSI, stabilizowanego rezonatorem kwarcowym X2, natomiast do taktowania zegara RTC zastosowano typowy, zegarkowy rezonator kwarcowy 32,768 kHz (X1). Podtrzymanie zegara RTC oraz pamięci BKP zrealizowano za pomocą układu z superkondensatorem o pojemności 1,5 F (obwód C79, R60, D11). Układ jest nieco droższy od rozwiązania ze zwykłą baterią litową, ale zajmuje mniej miejsca i nie trzeba pamiętać o konieczności wymiany baterii (płytki ewaluacyjna może przeleżeć wiele miesięcy w szufladzie, zanim z niej skorzystamy). Zasilanie części analogowej procesora VDDA (układy przetworników A/C i C/A) jest dostarczane za pośrednictwem filtra LC zrealizowanego z użyciem elementów kondensatorów C65, C76, C24, C25 i indukcyjności L8, L3.

Zerowanie mikrokontrolera zrealizowano standardowo, z użyciem obwodu RC (kondensator C33, rezystor R23). Do programowania i debugowania zestawu służy jednorzędowe złącze P6 o rastrze 2,54 mm, na które wyprowadzono sygnały interfejsu SWDIO oraz szeregowego UART1. Interfejs SWDIO służy do programowania układu docelowego z użyciem zaledwie 2 linii danych. Rezygnacja ze złącza JTAG umożliwiła zastosowanie wolnych linii GPIO jako interfejsu I²S. Linie TXD i RXD interfejsu szeregowego wyprowadzone na złączu programującym można wykorzystać jako konsolę szeregową, np. do debugowania programu za pomocą instrukcji *printf* lub do programowania mikrokontrolera.

Układy peryferyjne i złącza zestawu

DIODY LED I KLAWIATURA. Zwykle pierwszym przykładem realizowanym z użyciem zestawu uruchomieniowego jest sterowanie diodami LED. W zestawie zastosowano 4 pomarańczowe diody LED (D7...D10) przyłączone do portów PE7...PE10 mikrokontrolera. Prąd diod jest ograniczany do około 3,5 mA za pomocą rezystorów R31...R34. Klawiaturę stanowią 4 przyciski SW2...SW5 dołączone do portów PF12...PF15.

ENKODER OBROTOWY. Sterowanie poziomem głośności w urządzeniach audio lub kontrola częstotliwości w urządzeniach krótkofalarskich za pomocą przycisków nie są zbyt wygodne. Od wielu lat jesteśmy przyzwyczajeni do potencjometrów obrotowych i w urządzeniach takie sterowanie wydaje się dla nas najbardziej naturalne. Ponieważ jedną z podstawowych funkcjonalności zestawu jest zastosowanie w aplikacjach audio i radiowych, do układu dołączono enkoder obrotowy PEC11 (SW1), który od strony interfejsu użytkownika zachowuje się jak potencjometr. Sygnały wyjściowe A/B z enkodera

DODATKOWE MATERIAŁY NA FTP:

<ftp://ep.com.pl>

USER: 97325, PASS: 6yfwxr8q

W ofercie AVT*

AVT-5574

Podstawowe informacje:

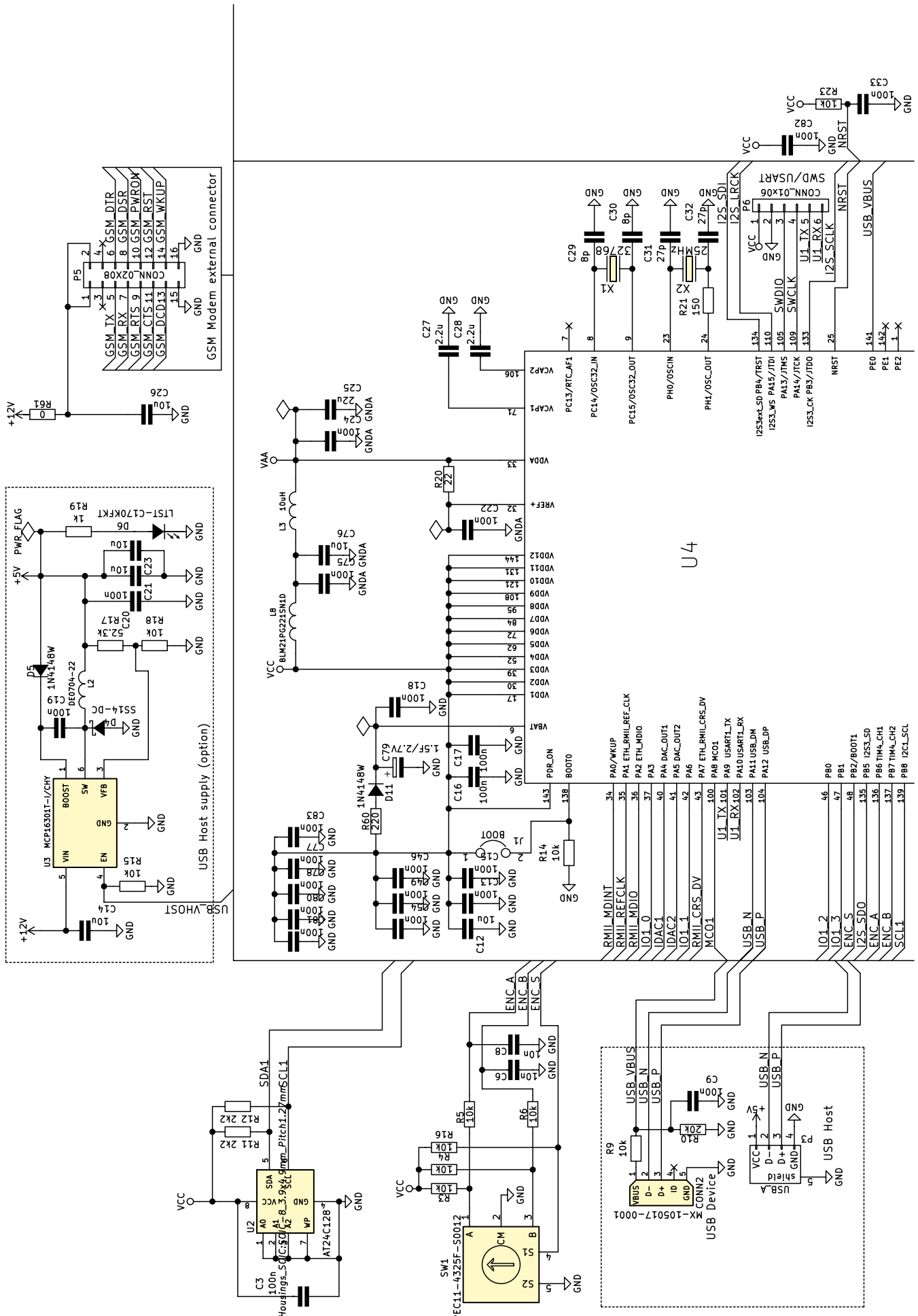
- Zasilanie z zasilacza zewnętrznego 10...24 V DC.
- Przystosowana do mikrokontrolerów ST-M32F205/F207/F407/F427/F765 w obudowie TQFP144.
- Wyświetlacz TFT o rozdzielczości 320×240 pikseli o 16-bitowej głębi koloru, dołączony do magistrali FSMC.
- Interfejs Ethernet 100BaseT.
- 24-bitowy układ kodeka audio WM8731: próbkowanie 96 kHz, zintegrowany wzmacniacz mikrofonowy, słuchawkowy, wejście i wyjście liniowe. Układ zawiera również potencjometry cyfrowe służące do regulowania wzmocnienia.
- Układ programowalnej pętli PLL pozwalający na uzyskanie 3 niezależnych przebiegów o częstotliwości od 3,5 kHz do 200 MHz.
- Pamięć EEPROM (AT24C128, 16 kB) do przechowywania konfiguracji.
- 4 przyciski, enkoder obrotowy, 4 diody LED.
- Złącze USBDEVICE oraz USBHOST z układem zasilania urządzenia USB.
- Gniazdo karty SD pracującej w natywnym trybie SDIO.
- Złącze do modemu zewnętrznego GSM (może być również wykorzystane jako dodatkowe 10 linii GPIO).
- 20 dodatkowych linii GPIO (w tym 2 wejścia ADC + 2 wyjścia DAC).
- Podtrzymanie działania zegara RTC z wykorzystaniem superkondensatora.

Projekty pokrewne na FTP:

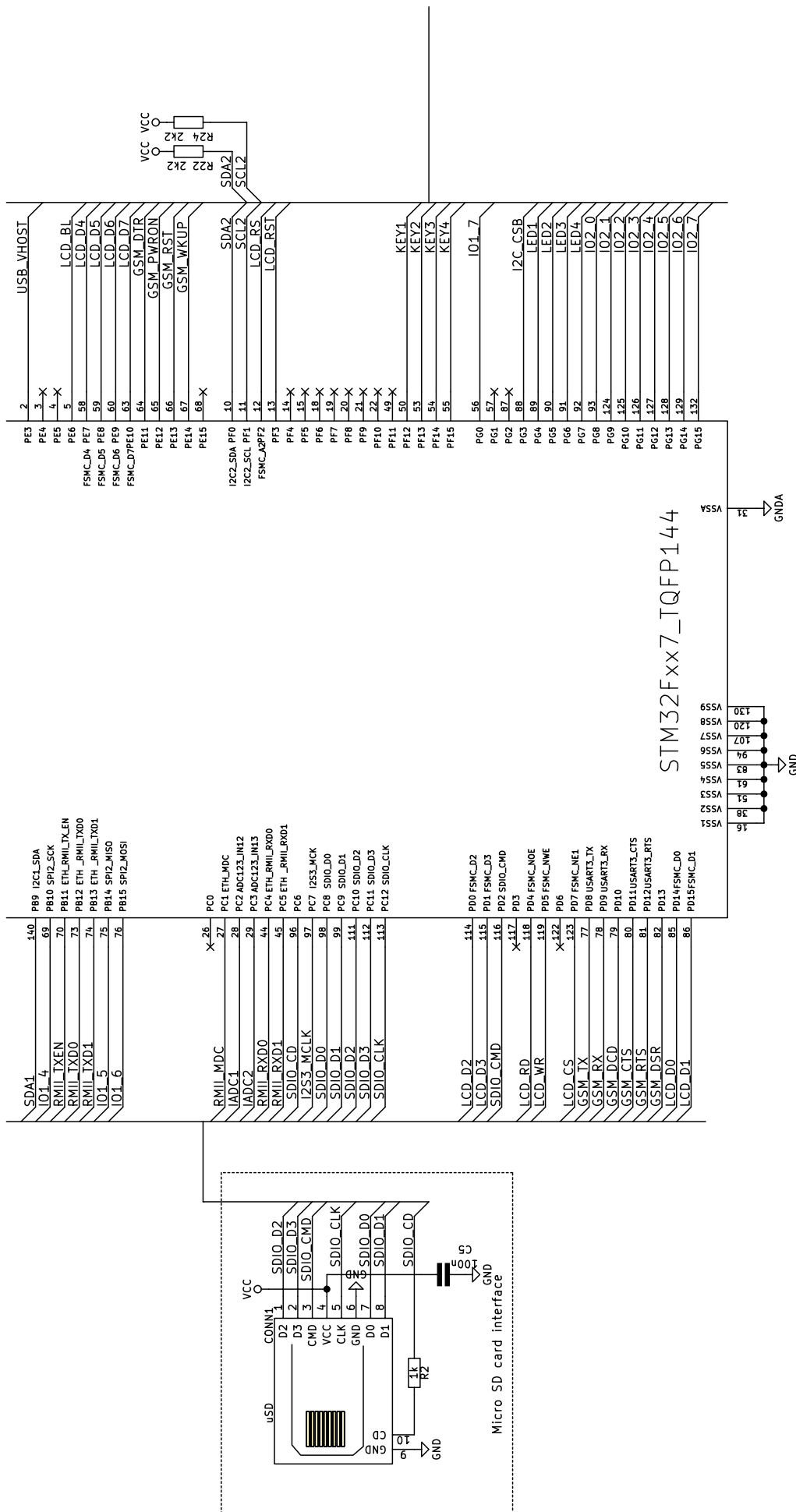
(wymienione artykuły są w całości dostępne na FTP)

AVT-5529	Zestaw uruchomieniowy z mikrokontrolerem ATXMega256A3U (EP 2/2016)
AVT-1875	Kieszonkowa płytki prototypowa (EP 8/2015)
AVT-1772	Płytki uruchomieniowa z mikrokontrolerem Precision32 (EP 9/2013)
AVT-1675	STM32duino – kompatybilna z Arduino płytki z STM32F103C8T6 (EP 5/2012)
AVT-5311	ZEAVR – Płytki ewaluacyjna dla mikrokontrolerów Atmega8 i Atmega32 (EP 9/2011)
AVT-1620	Cortexino – Kompatybilna z Arduino płytki z LPC1114 (EP 5/2011)
AVT-5288	Zestaw ewal. dla FPGA (EP 4/2011)
AVT-1610	Minimoduł z ATTiny 2313 (EP 3/2011)
AVT-5275	ZEPIC – Zestaw ewaluacyjny dla mikrokontrolerów PIC (EP 2/2011)
AVT-2975	STM32 DSP Kit (EdW 1/2011)

* Uwaga:
Zestawy AVT mogą występować w następujących wersjach:
AVT xxxx UK to zaprogramowany układ. Tylko i wyłącznie. Bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx A płytki drukowana PCB (lub płytki drukowane, jeśli w opisie wyrażone są inaczej), bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx AT płytki drukowana i zaprogramowany układ (czyli połączenie wersji A i wersji UK) bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx B płytki drukowana (lub płytki) oraz komplet elementów wymienionych w załączniku pdf.
AVT xxxx C to nic innego jak zamontowany 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 pobrać, 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>



Rysunek 1. Schemat ideowy płytki ewaluacyjnej SDR z mikrokontrolerem STM32



Rysunek 1. cd.

są podawane na filtr RC, a następnie na linii PB6 i PB7, które stanowią wejścia kanałów 1 i 2 układu czasowo-licznikowego TIM4. W STM32 zawierają one interfejs sprzętowy do obsługi enkodera, zatem jego obsługa może odbywać się praktycznie bez udziału jednostki centralnej.

ZŁĄCZA USB HOST I DEVICE.

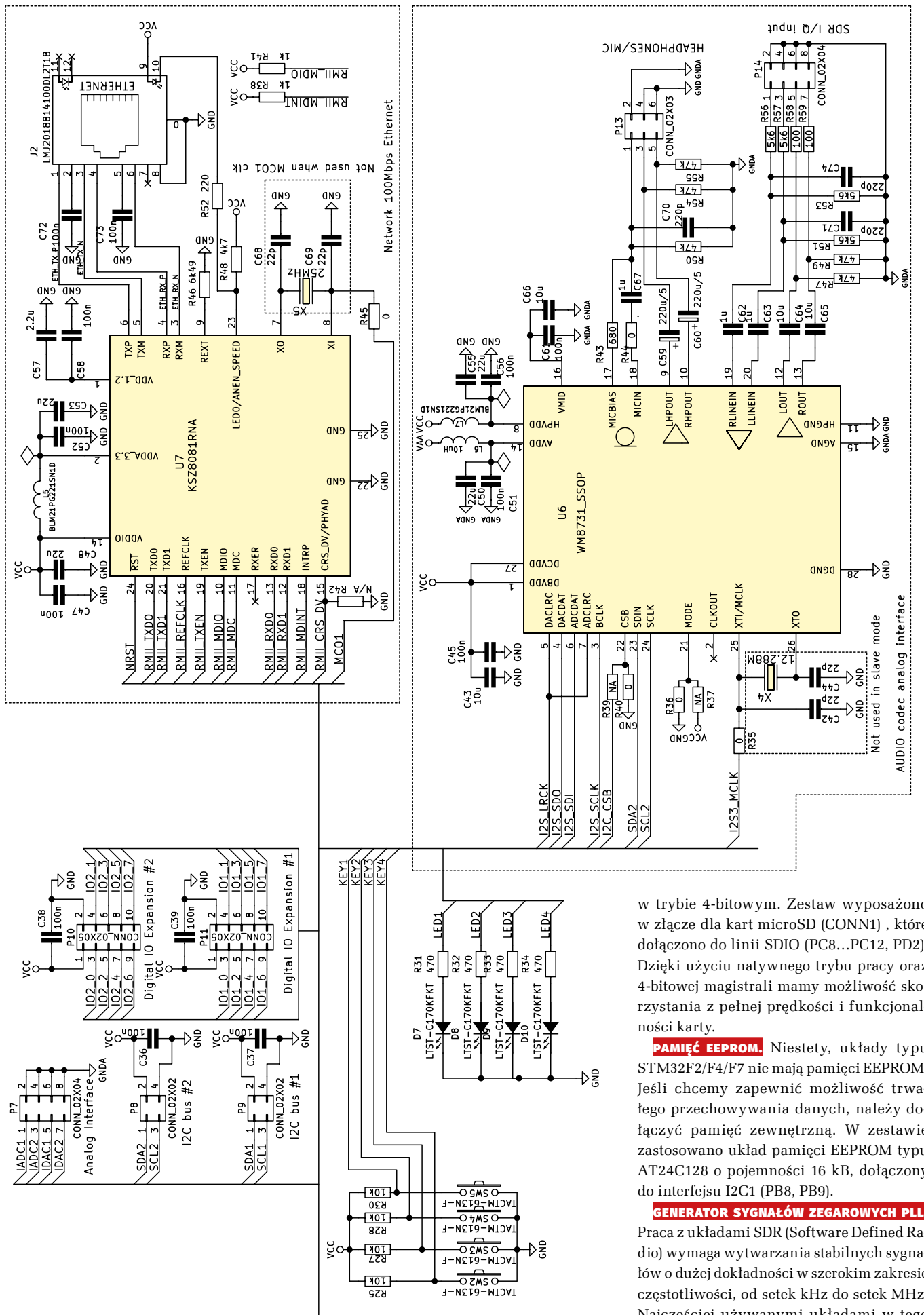
Mikrokontroler STM32 ma zintegrowany kontroler USB-OTG wraz z wewnętrznym układem PHY full-speed, który w zależności od konfiguracji może pracować w trybie hosta lub urządzenia peryferyjnego. Jako podstawowe gniazdo można było zastosować jedno złącze OTG i przejściówkę OTG → Typ A. Ze względu na wygodę użyto jednak dwóch oddzielnych złączy:

1. Złącza typu A (P3) dla urządzeń USB (tryb host).
2. Złącza MICROUSB (CONN2) do pracy w trybie urządzenia peryferyjnego.

Porty PA11, PA12 będące sygnałami D+ i D- interfejsu USB dołączono równolegle do linii danych obu złączy. Napięcie V_{BUS} złącza MICRO-USB doprowadzono do linii portu PE0 i służy do wykrywania przyłączenia kabla USB w trybie *device*. Ponieważ napięcie dostarczane przez hosta nie jest używane do zasilania zestawu, mamy do czynienia z urządzeniem USB typu *self-powered*. Jeśli kontroler USB-OTG pracuje jako host, po stronie zestawu spoczywa obowiązek dostarczenia zasilania dla urządzenia USB o napięciu +5 V i prądzie 0,5 A. Do tego celu użyto odrębnego zasilacza z drugim układem MCP16301 (U3). Jest to układ bliźniaczo podobny do zasilacza głównego. Jedyną różnicą to dobór elementów pod kątem zasilania +5 V oraz dołączenie linii sterującej zasilaniem EN do wyjścia PE3 mikrokontrolera. Dołączony do masy dodatkowy rezystor R15 powoduje, że domyślnie zasilanie gniazda USB-A jest wyłączone. Do sygnalizacji aktywności zasilania +5 V służy dioda świecąca D6.

ZŁĄCZE KARTY SD.

Jednym z najtańszych nośników pamięci są karty SD. Mikrokontrolery z rodziny STM32 mają wbudowany kontroler natywnego protokołu SDIO, który może pracować



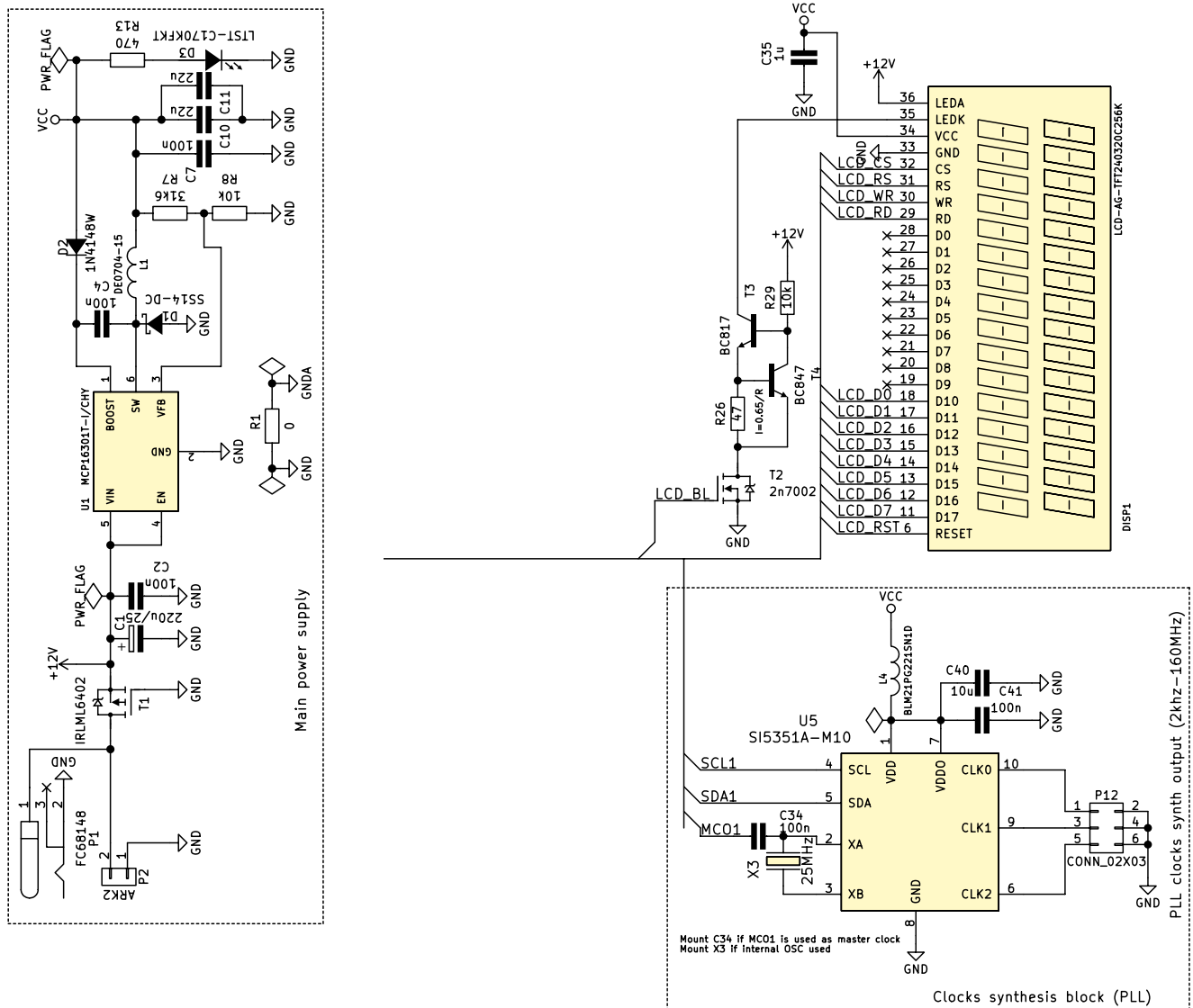
Rysunek 1 cd.

w trybie 4-bitowym. Zestaw wyposażono w złącze dla kart microSD (CONN1), które dołączono do linii SDIO (PC8...PC12, PD2). Dzięki użyciu natywnego trybu pracy oraz 4-bitowej magistrali mamy możliwość skorzystania z pełnej prędkości i funkcjonalności karty.

PAMIĘĆ EEPROM. Niestety, układy typu STM32F2/F4/F7 nie mają pamięci EEPROM. Jeśli chcemy zapewnić możliwość trwałego przechowywania danych, należy dołączyć pamięć zewnętrzną. W zestawie zastosowano układ pamięci EEPROM typu AT24C128 o pojemności 16 kB, dołączony do interfejsu I2C1 (PB8, PB9).

GENERATOR SYGNAŁÓW ZEGAROWYCH PLL.

Praca z układami SDR (Software Defined Radio) wymaga wytwarzania stabilnych sygnałów o dużej dokładności w szerokim zakresie częstotliwości, od setek kHz do setek MHz. Najczęściej używanymi układami w tego typu zastosowaniach są syntezery DDS firmy



Rysunek 1. cd.

Analog Devices. Pomimo szeregu zalet ich największą wadą jest stosunkowo wygórowana cena. Alternatywą są układy z serii SI535x firmy Silicon Labs, których działaniem jest oparte na wielokrotnych pętlach PLL, co umożliwia uzyskanie dowolnej częstotliwości w zakresie od 3 kHz do 200 MHz z jednego sygnału wzorcowego o częstotliwości 25 lub 27 MHz.

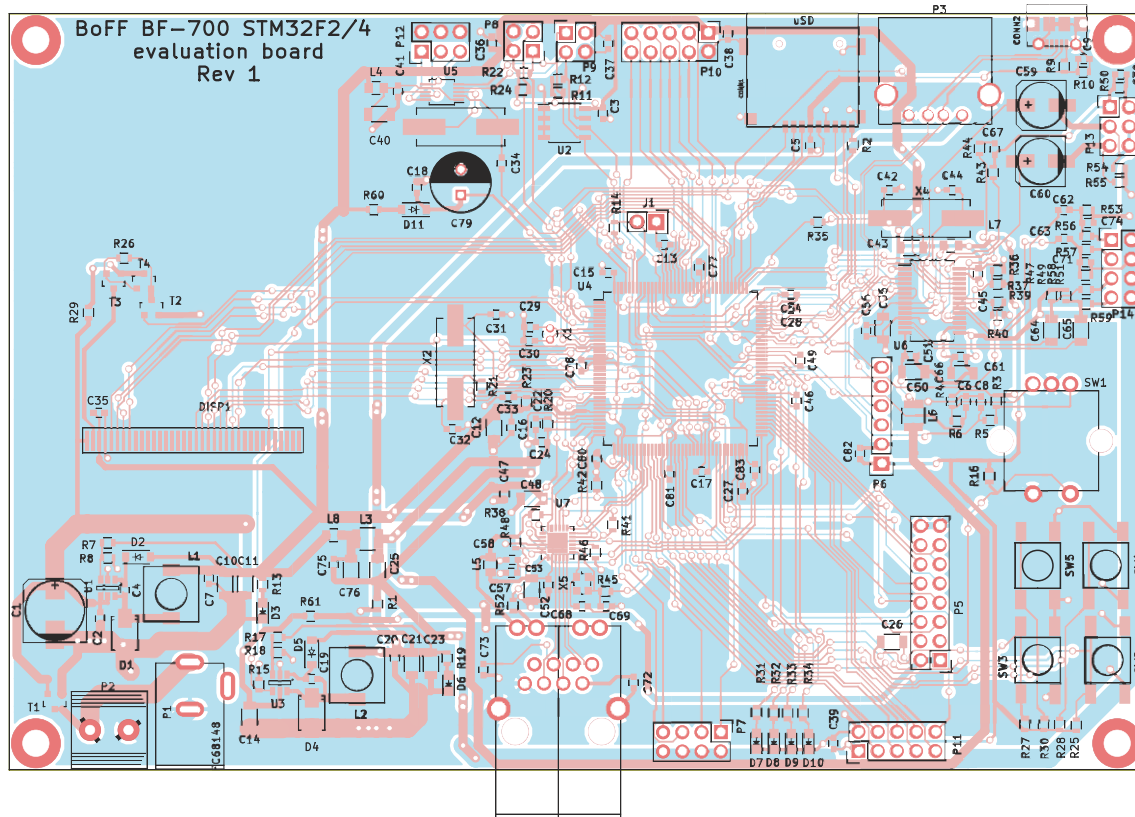
W zastosowanym w zestawie układzie SI5351A mamy do dyspozycji 3 niezależne wyjścia sygnału w standardzie CMOS 3,3 V, które można dowolnie programować w podanych zakresach częstotliwości. Wyjścia sygnałów wyprowadzono na złącze zewnętrzne P12 i mogą one być wykorzystane do dowolnych celów, np. do wysterowania mieszacza. Sygnał wzorcowy dla syntezy PLL o częstotliwości 25 MHz doprowadzono do wejścia XA1 za pomocą kondensatora C34 z wyjścia sygnału zegarowego MCO1 mikrokontrolera. Alternatywnie, na płytce przewidziano możliwość zastosowania odrębnego rezonatora X3. Programowanie syntezy odbywa się z użyciem magistrali I²C, którą dołączono do kontrolera I2C1 w STM32.

WYŚWIETLACZ LCD-TFT. Współczesne urządzenia muszą nie tylko dobrze działać, ale również dobrze się prezentować. Z tego powodu, zamiast typowego wyświetlacza, zdecydowano się na zastosowanie wyświetlacza kolorowego. Znalezienie wyświetlacza TFT dostępnego w sprzedaży detalicznej w rozsądnej cenie było zadaniem trudnym, ale udało się znaleźć stosunkowo niedrogi wyświetlacz z kontrolerem ILI9341, o przekątnej 2,8", rozdzielczości 320×240 pikseli i 16-bitowej głębi kolorów. Wyświetlacz został skonfigurowany przez producenta do pracy w trybie 8-bitowym, z magistralą zgodną z i8080. Wymaga połączenia z mikrokontrolerem za pomocą magistrali 12-przewodowej. Najłatwiejszym sposobem sterowania wyświetlaczem jest użycie linii GPIO, jednak jest to rozwiązanie stosunkowo wolne. Aby przyspieszyć transfer danych oraz odciążać jednostkę centralną, wyświetlacz dołączono do równoległej magistrali kontrolera FSMC. Linie danych D0...D8 doprowadzono do linii FSMC_D0...FSMC_D7. Linie wyboru trybu RS dołączono do linii adresowej FSMC_A2.

Linie wyboru układu CS dołączono do linii FSMC_NE1. Sygnały WR/RD doprowadzono do linii FSMC_NOE oraz FSMC_NWE. Dzięki dołączeniu układu do FSMC mamy możliwość zaprogramowania kontrolera DMA, aby transfer danych odbywał się automatycznie, bez udziału jednostki centralnej.

Podświetlenie tła wyświetlacza stanowią 3 połączone szeregowo, białe diody LED, dlatego do jego zasilania jest potrzebne źródło prądowe o napięciu $E_g > 10$ V i prądzie o natężeniu ok. 15 mA. Z założenia płytka jest zasilana z zasilacza o napięciu powyżej 10 V, więc układ podświetlenia zrealizowano jako źródło prądowe zbudowane na dwóch tranzystorach BC817/BC847 (T3/T4). Podświetlenie tła wyświetlacza może być kontrolowane programowo poprzez linię PE6, którą dołączono do bramki tranzystora T2.

ETHERNET 100BASET. Dołączenie mikrokontrolera do sieci otwiera przed nami szereg możliwości, zwłaszcza w modnej ostatnio dziedzinie IoT. Mikrokontrolery STM32F2/F4/F7 mają zintegrowany kontroler MAC, który do uruchomienia wymaga zewnętrznego układu PHY. Układ PHY łączymy



Rysunek 2. Schemat montażowy płytki ewaluacyjnej SDR z mikrokontrolerem STM32

z mikrokontrolerem za pomocą specjalnej magistrali MII lub RMII.

Magistrala RMII charakteryzuje się mniejszą liczbą potrzebnych linii (2 bity TX+2 bity RX), zwalniając nieużywane piny do innych celów, więc zdecydowano się na to rozwiązanie. W zestawie zastosowano układ PHY typu KSZ8081RNA (U7) w obudowie QFN24. Umożliwia on pracę w sieciach o prędkości transmisji 10 Mb/s oraz 100 MB/s oraz zapewnia automatyczne wykrywanie kolejności par. Wbudowana pętla PLL $\times 2$ umożliwia uzyskanie wewnętrznego sygnału zegarowego o częstotliwości 50 MHz, potrzebnego do działania układu. Wyjście różnicowe sygnału TXP/TXM RXP/RXM dołączono do gniazdka z transformatorem separującym RJ45 (J2). Sygnał taktujący układ PHY o częstotliwości 25 MHz jest dostarczany z wyjścia MCO1 mikrokontrolera lub alternatywnie – po wylutowaniu zwory R45, wlutowaniu rezonatora kwarcowego X5 i kondensatorów C68, C69 – może być uzyskany z generatora wewnętrznego.

KODEK AUDIO. Mikrokontroler STM32 ma wbudowane 12-bitowe przetworniki A/C i C/A, jednak do przetwarzania sygnałów audio wymagają one zastosowania zewnętrznych wzmacniaczy i filtrów antyaliasingowych. Lepszym rozwiązaniem jest użycie specjalizowanego kodeka audio, który zawiera przetworniki A/C jak i C/A oraz wzmacniacze sygnałów, zintegrowane w jednym układzie. Z uwagi na to, że układy tego typu są powszechnie używane w sprzęcie audio, można je kupić za stosunkowo

niewygórowaną cenę. W zestawie zastosowano układ WM8731 (U6) zawierający podwójny przetwornik A/C i C/A o rozdzielczości 24 bitów i maksymalnej częstotliwości próbkowania 96 kHz.

Sygnał wejściowy o nominalnym poziomie wejściowym $1 V_{rms}$ dla przetworników A/C może pochodzić ze stereofonicznego wejścia LINEIN (złącze P14) lub z monofonicznego wejścia mikrofonowego MICIN (P13). Wejście mikrofonowe zawiera dodatkowy przedwzmacniacz o wzmacnieniu 20 dB oraz układ polaryzacji mikrofonu elektretowego. Sygnał wyjściowy z przetwornika C/A jest dostępny na wyjściu LINEOUT (P14) oraz – po wzmacnieniu przez wewnętrzny wzmacniacz słuchawkowy – na wyjściu HPOUT (P13). Do wyjścia słuchawkowego możemy przyłączyć słuchawki o impedancji 32 Ω . Układ oprócz wzmacniaczy zawiera potencjometry cyfrowe i przełączniki sygnału, które mogą być kontrolowane programowo. Komunikacja kodeka z mikrokontrolerem odbywa się za pośrednictwem dwóch kanałów: transmisji sygnału audio oraz kanału kontrolno-sterującego. Sygnał audio jest transmitowany za pomocą interfejsu I²S, która od strony mikrokontrolera jest obsługiwana przez układ peryferyjny SPI3. Transmisja danych sterujących odbywa się za pomocą 2-przewodowej magistrali I²C, dołączonej do kontrolera I2C_2 (linie PF0, PF1).

Transmisja danych za pomocą magistrali I²S może odbywać się w trybie master, wówczas mikrokontroler generuje sygnał

zegarowy lub w trybie slave, a wtedy kodek odpowiada za generowanie sygnału zegarowego. Domyślnie kodek pracuje w trybie podrzędnym, jednak na płytce przewidziano dodatkowe opcje konfiguracyjne (rezystory R35, R36, kondensatory C42, C44, rezonator X4) umożliwiające pracę kodeka w trybie master.

ZŁĄCZE MODEMU GSM. W zestawie przewidziano dodatkowe złącze P5, na które wyprowadzono wszystkie sygnały łącza RS232, które jest dołączone do portu USART3 mikrokontrolera. Zasilanie modemu jest pobierane bezpośrednio z zasilania głównego, zatem układ modemu należy wyposażać w odrębną stabilizator.

ZŁĄCZA MAGISTRAL I²C. Magistrale I2C1 oraz I2C2 zostały wyprowadzone na zewnętrzne złącza P8 oraz P9. Dołączając dodatkowe układy, należy pamiętać, że na magistrali I2C1 adres 0xA0 jest zajęty przez pamięć EEPROM, natomiast adres 0xC0 jest zajęty przez generator PLL (SI5351). W wypadku magistrali I2C2, do komunikacji z kodekiem audio jest wykorzystany jedynie adres 0x1A.

ZŁĄCZA SYGNAŁÓW ANALOGOWYCH. Na złączu P7 wyprowadzono wejścia ADC123_IN12 i ADC123_IN13 wewnętrznego przetwornika A/C oraz wyjścia DAC_OUT1 i DAC_OUT2 wewnętrznych przetworników C/A. Jeśli nie korzystamy z tej funkcjonalności, linii możemy jako GPIO.

ZŁĄCZA SYGNAŁÓW CYFROWYCH. Na złączach P10 oraz P11 wyprowadzono dodatkowe 16 linii GPIO z mikrokontrolera. Można ich użyć do sterowania dowolnymi układami.

Wykaz elementów:**Rezystory:** (SMD 0603)

R1, R35, R36, R40, R44, R45, R61: 0 Ω (zwora)
 R2, R19, R38, R41: 1 kΩ
 R3...R6, R9, R14...R16, R23, R25, R27...R30:
 10 kΩ
 R8, R18: 10 kΩ/1%
 R7: 31,6 kΩ/1%
 R10: 20 kΩ
 R11, R12, R22, R24: 2,2 kΩ
 R13, R31...R34: 470 Ω
 R17: 52,3 kΩ/1%
 R20: 22 Ω
 R21: 150 Ω
 R26: 47 Ω
 R43: 680 Ω
 R46: 6,49 kΩ/1%
 R47, R49, R50, R54, R55: 47 kΩ
 R48: 4,7 kΩ
 R51, R53, R56, R57: 5,6 kΩ
 R52, R60: 220 Ω
 R58, R59: 100 Ω

Kondensatory: (SMD 0603)

C2...C5, C7, C9, C13, C15...C20, C22, C24, C33,
 C34, C36...C39, C41, C45...C47, C49, C51, C52,
 C54, C56, C58, C61, C72, C73, C75, C77, C78,
 C80...C83: 100 nF
 C6, C8: 10 nF
 C27, C28, C57: 2,2 μF/6,3 V
 C29, C30: 8 pF
 C31, C32: 27 pF
 C35, C62, C63, C67: 1 μF/6,3 V
 C42*, C44*: 22 pF (kodek w trybie master)
 C68*, C69*: 22 pF (tylko w wersji STM32F207)
 C70, C71, C74: 220 pF
 C10, C11, C25, C48, C50, C53, C55: 22 μF/6,3 V
 (SMD 1206)
 C12, C14, C21, C23, C26, C40, C43, C64, C65,
 C66, C76: 10 μF/6,3 V (SMD 1206)
 C1: 220 μF/25 V (SMD 8×10 mm)
 C59, C60: 220 μF/5 V (SMD 6,3×7,7 mm)
 C79: 1,5 μF/2,7 V

Półprzewodniki:

D1, D4: SS14

D2, D5, D11: 1N4148
 D3, D6...D10: LTST-C170KFKT
 T1: IRLML6402 (SOT23)
 T2: 2N7002 (SOT23)
 T3: BC817 (SOT23)
 T4: BC847 (SOT23)
 U1, U3: MCP16301T-I/CHY
 U2: AT24C128 (SO8)
 U4: STM32F207ZET6 lub STM32F407ZET6,
 lub STM32F427ZIT6, lub STM32F765ZIT6
 (TQFP144)
 U5: SI5351A-M10
 U6: WM8731SEDS/V
 U7: KSZ8081RNACA
Inne:
 L1: DE0704-15 (15 μH, SMD)
 L2: DE0704-22 (22 μH SMD)
 L3, L6: 10 μH (SMD 1210)
 L4, L5, L7, L8: BLM21PG221SN1D (SMD 0805)
 X1: 32,768 kHz (zegarkowy)
 X2: 25 MHz (SMD HC49S)
 X3*: 25 MHz (SMD HC49S, tylko dla
 STM32F2)
 X4*: 12,288 MHz (HC49S, opcja dla trybu I2S
 Master)
 X5*: 25 MHz (SMD 2520, tylko dla STM32F2)
 DISP1: LCD-AG-TFT240320C256K (wyświetlacz
 LCD TFT)
 CONN1: MCSP-Q1-08-A-SG (złącze microSD,
 SMD)
 CONN2: MX-105017-0001 (gniazdo
 microUSB)
 J1: zworka 2,54 mm
 J2: LMJ2018814100DL2T1B (gniazdo Ether-
 net z transformatorem)
 P1: FC68148 (gniazdo zasilające)
 P2: złącze typu ARK2
 P3: gniazdo USB-A (przewlekane)
 P3, P5...P14: goldpiny dwurzędowe 2,54 mm
 SW1: PEC11-4325F-S0012 (enkoder obroto-
 wy Bourns)
 SW2...SW5: TACTM-613N-F (mikroprzycisk
 SMD)

Montaż i uruchomienie

Dla zestawu zaprojektowano i wykonano płytkę z dwustronną metalizacją otworów, której schemat montażowy przedstawiono na **rysunku 2**. Nieliczne elementy przewlekane to: złącza zestawu, elementy mechaniczne oraz superkondensator. W urządzeniu w większości zastosowano elementy SMD w obudowach 0603. Jest to jeden z najmniejszych rodzajów obudów, które jeszcze można montować w warunkach warsztatu domowego.

Pewną trudność może sprawić montaż układu KSZ8081, ze względu na obudowę QFN24, która jest pozbawiona wyprowadzeń zewnętrznych. Układy tego typu najwygodniej montować z użyciem lutownicy na gorące powietrze oraz pasty lutowniczej Sn62Pb36Ag2. Najpierw należy nanieść niewielką ilość pasty na pola lutownicze PCB, ustawić układ w odpowiednich miejscach na polach lutowniczych, a następnie zbliżyć głowicę HotAir. Napięcie powierzchniowe pasty lutowniczej powinno ustawić układ na właściwym miejscu. Jeśli nie

dysponujemy lutownicą na gorące powietrze, przy odrobinie wprawy układ da się również zmontować z zastosowaniem zwykłej lutownicy i topnika. Szczegółowy opis montażu układów QFN za pomocą lutownicy wraz z ilustracjami przedstawiony był na łamach EP w numerze 3/2008 na stronie 46.

Montaż wyświetlacza sprowadza się do przylutowania taśmy bezpośrednio do pól lutowniczych płytki, a następnie odgięcia taśmy i przyklejenia wyświetlacza bezpośrednio do PCB za pomocą taśmy dwustronnej. Dla własnej wygody warto zachować kolejność montażu od elementów najniższych (rezystory i kondensatory), do elementów najwyższych (gniazda oraz enkoder obrotowy).

W zależności od zapotrzebowania na moc obliczeniową płytkę możemy zmontować w wariację z mikrokontrolerami: STM32F207ZET6, STM32F407ZET6, STM32F427ZIT6, STM32F765ZIT6 (lub innymi, podobnymi w obudowie TQFP144). Wszystkie wersje występujące w tym rodzaju obudowy są ze sobą kompatybilne i mogą być stosowane zamiennie.

Układy z rodziny STM32F207 nie mają dodatkowej pętli PLL taktującej kontroler USB-OTG i nie jest możliwe uzyskanie 48 MHz z 25-megahercowego sygnału generatora HSE. Jeśli zdecydowaliśmy się na płytkę w tym wariantcie, zamiast rezonatora X2 (25 MHz) należy zamontować rezonator o częstotliwości 8 MHz, a sygnały 25 MHz taktujące układ PHY oraz układ PLL trzeba wytworzyć bezpośrednio za pomocą generatorów wbudowanych w te układy. W związku z tym nie należy montować rezystora R45 i kondensatora C34, a zamiast tego zamontować rezonatory X3, X5 o częstotliwości 25 MHz oraz kondensatory C68, C69.

W wypadku wyboru mikrokontrolera z rodziny F4 lub F7 należy zamontować rezonator kwarcowy X2 (25 MHz) oraz elementy R45 i C34. Sygnał taktujący układ PHY oraz generator PLL jest pobierany z mikrokontrolera, z wyjścia MCO1.

Po zmontowaniu układu i upewnieniu się, że nie popełniliśmy błędów w montażu, możemy przystąpić do uruchomienia. Do złącza zasilającego P1 lub P2 należy dołączyć zasilacz 12 V i zmierzyć pobór prądu, który nie powinien przekraczać 100 mA. Kolejną czynnością jest sprawdzenie głównego napięcia, które powinno mieć wartość zbliżoną do 3,3 V. Jeśli napięcie zasilające znacząco odbiega od wartości zadanej, możemy skorygować wartości elementów dzielnika rezystancyjnego R7/R8 w pętli sprzężenia zwrotnego zasilacza. Należy również sprawdzić napięcie wyjściowe zasilacza wewnętrznego układu PHY, które powinno wynosić 1,2 V. Można to zrobić, mierząc napięcie bezpośrednio na kondensatorze C57. Jeśli znacząco odbiega ono od wartości zadanej, najprawdopodobniej oznacza to, że montaż układu w obudowie QFN nie jest poprawny.

Aby ułatwić weryfikację działania urządzenia, przygotowano program testujący wszystkie układy peryferyjne zestawu o nazwie *breffboard.hex*. Program testowy możemy zaprogramować z użyciem interfejsu SWD lub za pomocą bootloadera. Aby wejść do bootloadera, należy przy wyłączonym zasilaniu trzymać wciśnięty enkoder SW1, a następnie włączyć zasilanie. Po zaprogramowaniu mikrokontrolera na wyświetlaczu powinno zostać wyświetlone menu graficzne, po którym możemy przemieszczać się za pomocą przycisków SW2...SW5. Jeśli do zestawu dołączymy mikrofon ze słuchawkami, to w słuchawkach powinien być słyszalny ton 2 kHz oraz wzmocniony sygnał z mikrofonu. Istnieje również możliwość przetestowania poprawności działania złącza Ethernet, ponieważ program testowy odpowiada na żądania ICMP ECHO skierowane na adres 192.168.16.222.

Lucjan Bryndza, EP