

Red Pitaya – platforma pomiarowa open source

O Red Pitaya – otwartej platformie pomiarowej dystrybuowanej przez RS Components pisaliśmy w sierpniu 2014 r. Ta platforma jest nadal rozwijana przy wsparciu RS Components oraz szerokiego grona jej użytkowników. Otrzymaliśmy od dystrybutora nowe informacje, które prezentuje ten artykuł.

Przedsiębiorstwo Red Pitaya powstało jako odgałęzienie uznanej firmy Instrumentation Technologies, która projektuje oraz wytwarza przyrządy kontrolne i pomiarowe wysokiej klasy przeznaczone na przykład do śledzenia procesów akceleracji cząstek w Wielkim Zderzaczach Hadronów w położonym w Szwajcarii ośrodku CERN oraz w ośrodku Diamond Light Source w brytyjskim hrabstwie Oxfordshire. Początkowo projekt platformy Red Pitaya był finansowany przez internetową społeczność Kickstarter. Celem

pomysłodawców było zebranie 50 tys. USD z przeznaczeniem na skonstruowanie i założenie firmy produkującej rodzaj uniwersalnego przyrządu pomiarowego. Ostatecznie zebrano aż 256 tys. USD, co potwierdziło duże zainteresowanie, potencjał i innowacyjność koncepcji.

Platforma Red Pitaya jest bazą dla urządzeń kontrolno – pomiarowych, charakteryzującą się zwartą, ekonomiczną konstrukcją, dzięki czemu może być oferowana w atrakcyjnej cenie. Nie bez znaczenia jest

również otaczający ją ekosystem zawierający oprogramowanie *open source*, wśród którego można znaleźć takie aplikacje, jak generator, sterownik PID, miernik charakterystyki częstotliwościowej, oscyloskop czy analizator widma a przy tym oferujący wsparcie licznych użytkowników oraz dodatkowe akcesoria.

Platforma RedPitaya jest zbudowana w oparciu o SoC Xilinx 7010 Zynq zawierający blok FPGA i dwurdzeniowy procesor Cortex A9. Pracuje pod kontrolą systemu operacyjnego GNU/Linux, dzięki czemu oprogramowanie dla niej można wykonywać z użyciem różnych języków, między innymi HDL, C/C++, Java oraz skryptów Linux. Oparte na protokole HTML interfejsy internetowe zapewniają dostęp do funkcji platformy Red Pitaya z poziomu większości

„Platforma Red Pitaya budzi ogromny entuzjasm inżynierów z branży kontrolno-pomiarowej. Żaden inny produkt na rynku oprzyrządowania nie zapewnia takiej funkcjonalności i elastyczności w cenie, która jest atrakcyjna nawet w przypadku dysponowania najskromniejszym budżetem.”

Philip Dock, Dyrektor ds. Globalnego Zarządzania Produktem i Dostawcami w firmie RS Components

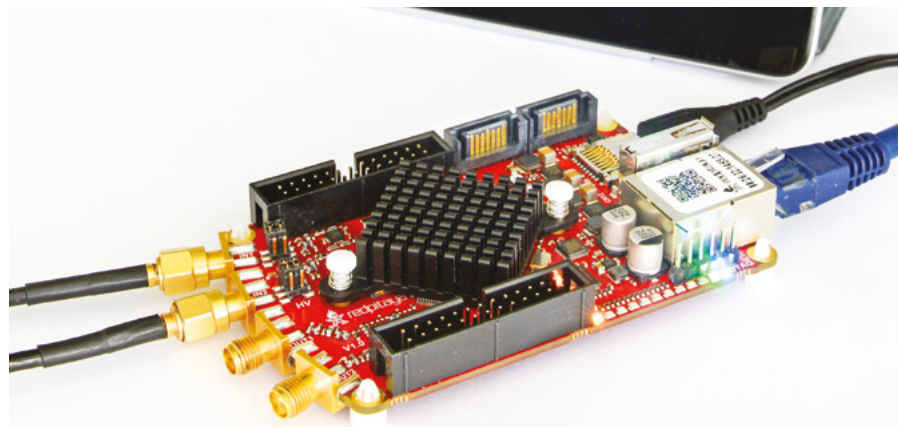
przeglądarek internetowych, w które są wyposażone smartfony, tablety i komputery osobiste. Urządzenie jest niewiele większe od karty kredytowej, dzięki czemu doskonale nadaje się do zabrania ze sobą i może służyć jako przenośny, wielofunkcyjny przyrząd pomiarowy.

Standardowe aplikacje *open source* są dostępne za pośrednictwem strony internetowej Bazaar (<http://bazaar.redpitaya.com>). Dodatkowo, w repozytorium Backyard umieszczono właśnie opracowywane, nowe oprogramowanie *open source* i narzędzia umożliwiające jego tworzenie oraz inspirowane do współpracy w ramach społeczności inżynierów, która dynamicznie rozwija się, czego wynikiem jest rosnąca liczba udostępionych aplikacji, których przykładami są wersje niestandardowe aplikacji oficjalnych, a także aplikacje do konkretnych zastosowań, takie jak przepływomierz.

Rodzina SoC Zynq 7000 została opracowana z myślą o połączeniu najlepszych rozwiązań z dziedzin programowania sprzętu oraz mikrokontrolerów. Dzięki temu powstała niedroga, energooszczędna platforma łącząca w sobie szybkość reakcji układów programowalnych z elastycznością rdzenia ARM. Dzięki temu tworząc na przykład aplikację do rejestrowania i akwizycji danych mamy możliwość użycia szybkiej platformy FPGA, natomiast tworząc prezentując zgrupowane przez nią dane, transmitując je do innych urządzeń oraz komunikując się z użytkownikiem ułatwimy sobie zadanie korzystając z możliwości systemu operacyjnego Linux (pod kontrolą, którego pracuje „część mikrokontrolerowa”) i dostępnych dla niego narzędzi. Podstawowe parametry SoC Xilinx Zynq 7010 umieszczono w **tabeli 1**.

Tabela 1. Podstawowe parametry Xilinx Zynq 7010 SoC zastosowanego w platformie Red Pitaya

Procesor	Dwurdzeniowy ARM Cortex A9
Koprocesor	Układ NEON A o pojedynczej i podwójnej precyzji operacji zmiennoprzecinkowych
Pamięć podręczna poziomu 1	32 kB na instrukcje i 32 kB na dane dla każdego rdzenia
Pamięć podręczna poziomu 2	512 kB
Pamięć na strukturze	256 kB
Interfejsy pamięci	DDR3, DDR3L, DDR2, LPDDR2, 2 x Quad-SPI, NAND, NOR
Interfejsy	2×USB 2.0 (OTG), 2×Gigabit Ethernet (trzy tryby), 2×SD/SDIO
Platforma FPGA	Zynq 7010
Liczba komórek logicznych	28 tys.
Pamięć RAM	240 kB



Fotografia 1. Wygląd platformy Red Pitaya

Płytką drukowaną Red Pitaya ma wielkość zbliżoną do karty kredytowej (**fotografia 1**). Charakterystyczną cechą jej wyglądu jest umieszczony centralnie radiator układu SoC. Dzięki złączom rozmieszczonym wzdłuż krawędzi płytki, może ona współpracować z licznymi urządzeniami peryferyjnymi. Na krótszej krawędzi płytki umieszczono złącze zasilające *micro USB* (+5 V/2 A DC, typowy pobór prądu <0,9 A) oraz złącza związane z funkcjami komunikacyjnymi (interfejsami) obsługiwanymi przez rdzeń ARM. Są to:

- Gniazdo *micro USB* umożliwiające dostęp do konsoli systemu Linux.
- Gniazdo USB 2.0 przeznaczone do przyłączenia urządzeń zewnętrznych, takich jak *pendrive*, karta Wi-Fi itp.
- Gniazdo karty pamięci *micro SD* o pojemności do 32 GB.
- Gniazdo RJ45 interfejsu Gigabit Ethernet.

Na przeciwległej krawędzi płytki zamontowano cztery złącza SMA, w tym dwa wejścia i dwa wyjścia analogowe. Mają one następujące parametry:

- Wejścia analogowe:
 - Szerokość pasma analogowego: DC...50 MHz (przy spadku 3 dB).
 - Częstotliwość próbkowania: 125 MS/s.
 - Rozdzielczość przetwornika A/C: 14 bitów.
 - Poziom szumu wejściowego: poniżej 119 dBm/Hz.

- Impedancja wejściowa: 1 MΩ, pojemność 10 pF.
- Napięciowe zakresy pomiarowe: 2 V_{pp} lub 46 V_{pp} (po ustawieniu zworki w pozycji małego wzmocnienia).
- Maksymalne napięcie wejściowe: 30 V (zabezpieczenie ESD 1,5 kV). Zabezpieczenie za pomocą diod.
- Błąd offsetu DC: <5% FS (G).
- Błąd wzmocnienia: <3% po ustawieniu zworki w pozycji dużego wzmocnienia, <10% po ustawieniu zworki w pozycji małego wzmocnienia.
- Typowa separacja kanałów wejściowych: 65 dB przy 10 kHz, 50 dB przy 100 kHz, 55 dB przy 1 MHz, 55 dB przy 10 MHz, 52 dB przy 20 MHz, 48 dB przy 30 MHz, 44 dB przy 40 MHz, 40 dB przy 50 MHz.
- Harmoniczne: przy 3 dB_{FS} < 45 dBc, przy 20 dB_{FS} < 60 dBc.
- Składowe częstotliwości pasożytnicze: typowo <90 dB_{FS}.
- Typ złącza: SMA.
- Regulowana charakterystyka częstotliwościowa.
- Wyjścia analogowe:
 - Szerokość pasma: DC...50 MHz (przy spadku 3 dB).
 - Częstotliwość próbkowania: 125 MS/s.

Tabela 2. Połączenia diod LED

Diody LED	Wyprowadzenie FPGA	Wewnętrzny sygnał FPGA
Żółty 0	F16	IO_L6P_T0_35
Żółty 1	F17	IO_L6N_T0_VREF_35
Żółty 2	G15	IO_L19N_T3_VREF_35
Żółty 3	H15	IO_L19P_T3_35
Żółty 4	K14	IO_L20P_T3_AD6P_35
Żółty 5	G14	IO_0_35
Żółty 6	J15	IO_25_35
Żółty 7	J14	IO_L20N_T3_AD6N_35
Żółty 8	E6	PS_MIO0_500
Czerwony	D8	PS_MIO7_500
Zielony	K18	
Niebieski	R11	DONE_0

- Rozdzielczość przetwornika C/A: 14 bitów
- Impedancja obciążenia: 50 Ω.
- Prędkość narastania napięcia wyjściowego: 200 V/μs.
- Typ złącza: SMA.
- Błąd offsetu DC: <5% FS.
- Błąd wzmocnienia: <5%.
- Moc sygnału wyjściowego: >9 dBm.
- Harmoniczne: typowe wartości (przy 8 dBm): 51 dBc przy 1 MHz, 49 dBc przy 10 MHz, 48 dBc przy 20 MHz, 53 dBc przy 45 MHz.

Obok złącza Ethernet zamontowano diody LED, z których część jest przeznaczona do sygnalizowania statusu urządzenia, natomiast część może mieć funkcję definiowaną przez użytkownika i być kontrolowana przez aplikację. W tabeli 2 umieszczono wykaz połączeń diod LED z wyprowadzeniami układu SoC.

Wzdłuż dłuższych krawędzi płytki zamontowano dwa złącza *daisy chain* oraz dwa wtyki IDC-26. Wszystkie wyprowadzenia pracują w zgodzie ze standardem CMOS 3,3 V. W tabelach 3 i 4 umieszczono wykaz wyprowadzeń złącz z odpowiadającymi im portami/sygnałami układu SoC.

Do złącza E2 doprowadzono:

- Sygnały interfejsów do komunikacji szeregowej I²C i SPI.
- 4 wejścia (przetwornika A/C).
- 4 wyjścia analogowe (przetwornika C/A).
- 2 zewnętrzne sygnały zegarowe interfejsu LVDS.
- Napięcie zasilania 3,3 V i 5 V, masę (GND).

Wejścia przetworników analogowo – cyfrowych mają następujące parametry:

- Liczba kanałów: 4.
- Częstotliwość próbkowania: 100 kS/s.
- Rozdzielczość: 12 bitów.
- Złącze: wyznaczone wyprowadzenia złącza IDC-26/E2 (styki: 13...16).
- Zakres napięcia wejściowego: 0...3,5 V.
- Sprzężenie wejścia: DC

Wyjścia przetworników analogowo – cyfrowych mają następujące parametry:

- Liczba kanałów: 4.
- Typ wyjścia: PWM z filtrem dolnoprzepustowym.
- Rozdzielczość PWM: 4 ns (1/250 MHz).
- Złącze: wyznaczone wyprowadzenia złącza IDC-26/E2 (styki: 17...20).

„Gdy rozpoczynaliśmy pracę nad projektem Red Pitaya chcieliśmy umożliwić wszystkim klientom stosowanie technologii, które wcześniej były dostępne tylko w specjalistycznych laboratoriach badawczych oraz instytucjach przemysłowych. Dzisiaj cieszymy się bardzo z reakcji użytkowników i jesteśmy pełni uznania dla ich kreatywnych pomysłów. To prawdziwa moc platformy Red Pitaya.”
 Borut Baričević, współzałożyciel projektu Red Pitaya oraz Menedżer Produktu

- Zakres napięcia wyjściowego: 0...1,8 V.
- Sprzężenie wyjścia: DC.

Dwa złącza *daisy chain* zamontowane obok złącza karty SD zapewniają dostęp do czterech par sygnałów cyfrowych, co umożliwi synchronizowanie i przesyłanie danych pomiędzy urządzeniami z prędkością do 500 Mb/s.

Dla platformy takiej, jak Red Pitaya oczywistym wyborem jest uzyskiwanie dostępu do funkcji za pomocą połączenia opartego na przeglądarce internetowej. Możliwe jest też jednak nawiązanie połączenia z platformą Red Pitaya na inne sposoby – za pośrednictwem sieci, terminala zdalnego lub konsoli szeregowej. W trybie pracy w sieci domowej z dostępem do Internetu, oprócz połączenia za pomocą kabla Ethernet, dostępne są następujące możliwości:

- Połączenia z płytką z poziomu urządzeń przenośnych, takich jak smartfon czy tablet.
- Przydzielenie płytce statycznego adresu IP.
- Włączenie płytki do sieci domowej za pomocą Wi-Fi.

Łączenie się z płytką za pośrednictwem przeglądarki urządzenia przenośnego jest bardzo łatwe. Wystarczy włączyć płytkę do sieci, załączyć jej zasilanie, nadać automatycznie lub ręcznie adres IP

i uruchomić wybraną aplikację. Gdy jest już znany adres IP platformy Red Pitaya, można wprowadzić go bezpośrednio na pasku adresu URL w przeglądarce.

Platformę Red Pitaya można zamówić za pośrednictwem strony internetowej firmy RS Components dostępnej pod adresem www.rs-online.com/redpitaya.

RS Components

Tabela 3. Wyprowadzenia złącza GPIO – E1 (IDC-26, sygnały cyfrowe)

Numer wyprowadzenia	Nazwa sygnału	Port FPGA	Wewnętrzny sygnał FPGA
1	3V3		
2	3V3		
3	DIO0_P	G17	IO_L16P_T2_35
4	DIO0_N	G18	IO_L16N_T2_35
5	DIO1_P	H16	IO_L13P_T2_MRCC_35
6	DIO1_N	H17	IO_L13N_T2_MRCC_35
7	DIO2_P	J18	IO_L14P_T2_AD4P_SRCC_35
8	DIO2_N	H18	IO_L14N_T2_AD4N_SRCC_35
9	DIO3_P	K17	IO_L12P_T1_MRCC_35
10	DIO3_N	K18	IO_L12N_T1_MRCC_35
11	DIO4_P	L14	IO_L22P_T3_AD7P_35
12	DIO4_N	L15	IO_L22N_T3_AD7N_35
13	DIO5_P	L16	IO_L11P_T1_SRCC_35
14	DIO5_N	L17	IO_L11N_T1_SRCC_35
15	DIO6_P	K16	IO_L24P_T3_AD15P_35
16	DIO6_N	J16	IO_L24N_T3_AD15N_35
17	DIO7_P	M14	IO_L23P_T3_35
18	DIO7_N	M15	IO_L23N_T3_35
19	NC		
20	NC		
21	NC		
22	NC		
23	NC		
24	NC		
25	GND		
26	GND		

Tabela 4. Opis wyprowadzeń złącza rozszerzenia – E2 (IDC-26, sygnały mieszane)

Numer wyprowadzenia	Nazwa sygnału	Port FPGA	Wewnętrzny sygnał FPGA	Poziom napięcia
1	+5 V			
2	-3V3 (50 mA)			
3	SPI (MOSI)	E9	PS_MIO10_500	3,3 V
4	SPI (MISO)	C6	PS_MIO11_500	3,3 V
5	SPI (SCK)	D9	PS_MIO12_500	3,3 V
6	SPI (CS#)	E8	PS_MIO13_500	3,3 V
7	UART (TX)	C8	PS_MIO08	3,3 V
8	UART (RX)	C5	PS_MIO09	3,3 V
9	I2C (SCL)	B9	PS_MIO50_501	3,3 V
10	I2C (SDA)	B13	PS_MIO51_501	3,3 V
11	Modo com.			GND (domyślnie)
12	GND			
13	ADC 0			0...3,5 V
14	ADC 1			0...3,5 V
15	ADC 2			0...3,5 V
16	ADC 3			0...3,5 V
17	DAC 0			0...1,8 V
18	DAC 1			0...1,8 V
19	DAC 2			0...1,8 V
20	DAC 3			0 → 1,8 V
21	GND			
22	GND			
23	CLK+ zewn. ADC			LVDS
24	CLK- zewn. ADC			LVDS
25	GND			
26	GND			