

# Programatory ISP dla mainstreamowych mikrokontrolerów – przegląd praktyczny 2014

*Poprzednią edycję przeglądu programatorów dla mikrokontrolerów i układów PLD opublikowaliśmy w EP9/2011. Przez te dwa lata sytuacja na rynku uległa znaczącej zmianie, przy czym odczuli ją przede wszystkim konstruktorzy korzystający w swoich projektach z mikrokontrolerów.*

Programowanie pamięci mikrokontrolerów w systemie i możliwość debugowania ich pracy w realnych warunkach aplikacyjnych są dziś oczywiste dla wszystkich konstruktorów stosujących w swoich opracowaniach współczesne mikrokontrolery. Standardowym interfejsem wykorzystywanym przez programatory do komunikacji z logiką zaimplementowaną w mikrokontrolerze jest 5-liniowy JTAG, niektóre rodziny mikrokontrolerów (zwłaszcza wyposażone w rdzenie Cortex-M0 i do nich zbliżone) są wyposażone w 2-liniowe interfejsy SWD, których poważną zaletą jest minimalizacja liczby linii wykorzystywanych do komunikacji programatora-debugera z mikrokontrolerem.

Rok 2014 zapowiada się jako kolejny, w którym mikrokontrolery bazujące na rdzeniach Cortex firmy ARM będą wzmocniały swoją rynkową dominację. Rdzenie starszych generacji opracowane przez tę firmę (jak ARM7, ARM9 czy ARM11) odchodzą do historii, podobnie jak wszystkie starsze architektury bazujące na rdzeniach '51, AVR (8 i 32), ColdFire, PIC16/18, HC/

HCS08 itp. Zwycięskiego pochodzenia rdzenia Cortex nic już nie zatrzyma zwłaszcza, że padają potężne „bastiony” bazujące na własnych opracowaniach, jak między innymi firmy będące liderami na rynku mikrokontrolerów:

- Renesas, która – na razie – zastosowała rdzeń Cortex-A9 tylko w swoich mikroprocesorach z serii RZ/A,
- Infineon, która wdraża kolejne modele mikrokontrolerów XMC4000 (rdzeń Cortex-M4) oraz XMC1000 (rdzeń Cortex-M0),
- Freescale, która w swoich działaniach promocyjnych skupia się wyłącznie na rodzinie Kinetis (rdzenie Cortex-M4 oraz Cortex-M0+),
- Texas Instruments, która po wpadce związanej z przejęciem Luminary Micro, konsekwentnie rozwija nowe linie mikrokontrolerów bazujących na rdzeniach Cortex-M4 (rodzina Tiva),
- walkę o podtrzymanie popularności mikrokontrolerów AVR zarzuciła firma Atmel, której wysiłki wyraźnie obecnie są skierowane na wywalczenie sobie miejsca w świadomości konstruktorów korzystających z platform sprzętowych z rdzeniami Cortex (SAM D20 z Cortex-M0+, SAM3x z rdzeniem Cortex-M3, SAM4x z rdzeniem Cortex-M4).

Grono rynkowych tuzów podążających szlakiem wytyczonym przez ARM wspiera szybko rosnące grono mniejszych firm, które zarzucają własne mikrokontrolerowe pomysły i rozwiązania i przechodzą na rdzenie Cortex. W celach ilustracyjnych wymienię jako przykłady – nie są to wszystkie! – firmy: Analog Devices (ADuC-M36x z Cortex-M3 i CM4xx z Cortex-M4 ),

Spansion (firma przejęła produkcję mikrokontrolerów od Fujitsu, ma w ofercie trzy rodziny układów: FM4 z Cortex-M4, FM3 z Cortex-M3 oraz FM0+ z Cortex-M0+), Silicon Labs (przejęta od EnergyMicro rodzina EFM32 z rdzeniami Cortex-M0+, Cortex-M3 i Cortex-M4).

Dla kompletu wstępnych informacji warto jeszcze wspomnieć o firmach, które jako pierwsze wsparły pomysły firmy ARM i zastosowały opracowane przez nią rdzenie w swoich mikrokontrolerach, jak m.in. NXP czy STMicroelectronics. W wielu europejskich krajach, w tym także w Polsce, rodzina mikrokontrolerów produkowanych przez tę drugą firmę – STM32 – jest obecnie często utożsamiana z „mikrokontrolerami ARM”, co dowodzi słuszności decyzji podjętej przed laty.

Walkę z cortsowym „potopem” kontynuuje firma Microchip (w roku 2011 na 4 miejscu pod względem wartości sprzedaży mikrokontrolerów), która kilka lat temu zdecydowała się na zastosowanie w swoich 32-bitowych mikrokontrolerach rdzenia opracowanego przez firmę MIPS, który poza dużą liczbą zalet ma jedną wadę: nie podbił rynku. Konsekwencja działań Microchipsa zasługuje na szacunek, ale - w mojej ocenie – nie daje długofalowej nadziei na ekspansję rodziny PIC32.

Biorąc pod uwagę wymienione powyżej przesłanki, w prezentacji programatorów i debuggerów dostępnych na krajowym rynku, skupimy się przede wszystkim na urządzeniach o największym potencjale praktycznym w odniesieniu do ceny, obsługujących najpopularniejsze typy mikrokontrolerów. Przedstawimy także ważne elementy osprzętu programatorów oraz programatory ISP dla układów PLD.

## Programatory-debugery ISP mikrokontrolerów z rdzeniami firmy ARM





Jak wspomniałem na początku artykułu, na rynku dominują obecnie 32-bitowe

### Początki ISP

Rewolucja In System Programming (ISP) dokonywała się stopniowo, a – o czym nie wszyscy pamiętają – zaczęła się od układów PLD firmy Lattice z pierwszych serii ispLSI1000, które wyposażono w synchroniczny interfejs szeregowy o nazwie LatticeISP. Został on dość szybko zastąpiony przez JTAG (IEEE1149), który został przyjęty jako powszechny interfejs do programowania, konfigurowania i testowania w systemie przez wszystkich producentów układów PLD. Przełom w programowaniu ISP mikrokontrolerów zawdzięczamy firmie Atmel, która wyposażyła w taki interfejs pierwsze mikrokontrolery z rodziny AVR, co miało miejsce w 1996 roku. Obecnie mikrokontrolery pozbawione możliwości programowania pamięci w systemie praktycznie zniknęły z rynku.

## WYBÓR KONSTRUKTORA

Tabela 1. Zestawienie podstawowych cech mainstreamowych uniwersalnych interfejsów JTAG z USB przeznaczonych dla mikrokontrolerów z rdzeniami firmy ARM

Interfejs	Wygląd	JTAG	SWD	Obsługiwane rdzenie	Obsługiwany przez...	Uwagi	Cena brutto [PLN]
J-Link		+	+	ARM7/9/11 Cortex-A5/A8 Cortex-M0/M1/M3/M4 Cortex-R4	IAR EWARM KEIL $\mu$ Vision Rowley Crossworks CodeSourcery G++ GDB-Server	Prędkość transmisji do 1 MB/s.	ok. 1560
J-Link EDU		+	+	ARM7/9/11 Cortex-A5/A8 Cortex-M0/M1/M3/M4 Cortex-R4	IAR EWARM KEIL $\mu$ Vision Rowley Crossworks CodeSourcery G++ GDB-Server	Tania wersja J-Linka bez licencji komercyjnej. Prędkość transmisji do 0,8 MB/s.	ok. 220
ULINK2		+	+	ARM7/9 Cortex-M0/M1/M3/M4 8051 C166	Keil $\mu$ Vision IDE	Prędkość transmisji do 1,15 MB/s.	ok. 1700
ULINK-ME		+	+	ARM7/9 Cortex-M0/M1/M3/M4	Keil $\mu$ Vision IDE	Wbudowane złącze 10-pin Cortex Debug Connector. Dostępny wyłącznie z zestawami ewaluacyjnymi. Prędkość transmisji do 1,15 MB/s.	ok. 290

mikrokontrolery wyposażone w rdzenie z serii Cortex-M, standardowo wyposażane w jeden z synchronicznych interfejsów szeregowych, służących do programowania pamięci Flash i debugowania pracy układu w systemie:

### Taniej, ale czy warto?

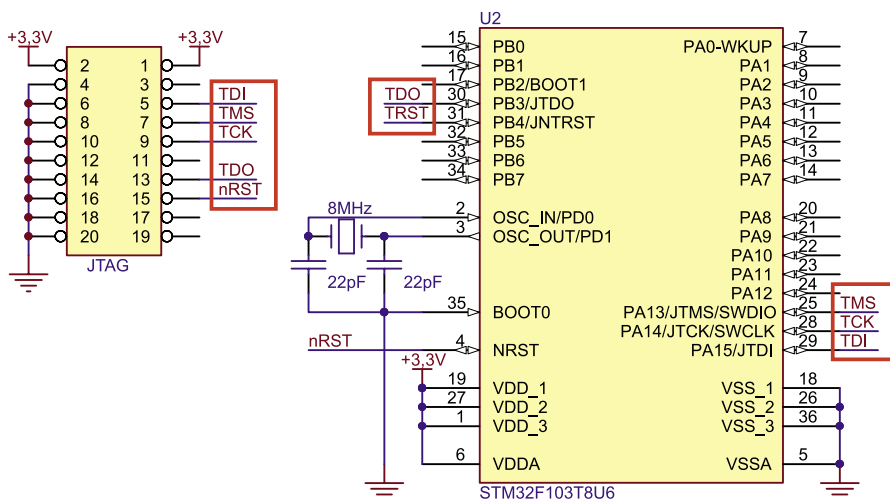
Pokusą dla początkujących konstruktorów systemów z mikrokontrolerami wyposażonymi w rdzenie firmy ARM jest samodzielne wykonanie interfejsów programująco-debugujących, na przykład bazujących na układach interfejsowych USB firmy FTDI. W Internecie można znaleźć wiele opisów kompletnych rozwiązań bazujących na GDBserver, których możliwości są wystarczające dla większości aplikacji. W naszym raporcie z września 2011 taki sposób postępowania jawił się jako rozsądna droga dla oszczędnych, obecnie sytuacja wygląda nieco inaczej: za ok. 220 PLN brutto można stać się posiadaczem jednego z najdoskonalszych interfejsów do debugowania i programowania mikrokontrolerów z rdzeniami ARM (z wbudowanym SWD) – J-Link EDU firmy Segger.



– JTAG (*Joint Test Action Group*), który jest interfejsem 5-przewodowym, opracowanym do celów testowania połączeń i wykonywania testów funkcjonalnych pomiędzy elementami zamontowanymi na PCB, który z czasem został zaadoptowany do debugowania pracy mikroprocesorów i mikrokontrolerów oraz programowania ich pamięci,

– SWD (*Serial Wire Debug*), który jest interfejsem 2-przewodowym, o funkcjonalności podobnej do JTAG, ale nieco mniejszej przepływności danych (ponieważ sterowanie pracą interfejsu – przesyłanie komend sterujących – odbywa się w slotach czasowych transmisji danych).

W zależności od producenta, niektóre mikrokontrolery są wyposażane tylko



Rysunek 1. Fragment schematu systemu z mikrokontrolerem z rodziny STM32 z interfejsem JTAG

### Zalety cortsokowego swiata

Konstruktorzy korzystajacy z mikrokontrolerow wyposazonych w rdzen ARM Cortex-Mx nie musza zmieniać przyzwyczajeni ani kupowac dodatkowych narzedzi sprzetowych, jezeli z jakichs przyczyn chca zmienic producenta mikrokontrolerow stosowanych w aplikacji. Jedyny warunek to posiadanie programatora-debuggera obslugiwanego natywnie przez srodowisko programistyczne.

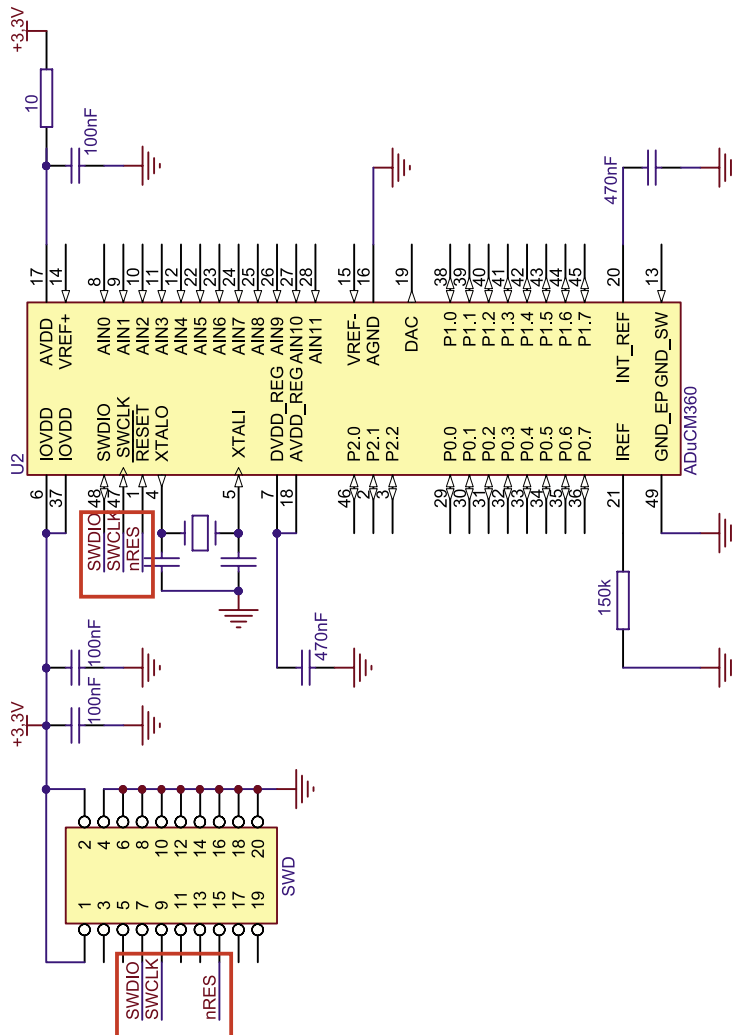
w interfejs JTAG lub SWD, sa takze układy (jak na przyklad STM32) z wbudowanymi obydwoma typami interfejsow, uzytkownik moze korzystac z nich wymiennie.

Na rysunku 1 pokazano fragment schematu systemu z mikrokontrolerem z rodziny STM32 ilustrujacy sposob dolaczenia programatora JTAG do mikrokontrolera, na rysunku 2 pokazano fragment schematu systemu z mikrokontrolerem ADuCM360 (Analog Devices), ktory wyposazono wylaczenie w interfejs SWD. W przypadku, kiedy mikrokontroler wyposazono w obydwie interfejsy (SWD i JTAG), linia sterujaca TCK interfejsu JTAG jest alternatywnie

linia SWCLK (SWD), a linia TMS – dwukierunkowa linia danych SWDIO (SWD) – rysunek 3.

Wszystkie komercyjne programatory-debuggerzy dla mikrokontrolerow obslugaja obydwie przedstawione interfejsy, dzieki czemu – w zalezności od wyposazonia mikrokontrolera i potrzeb konstruktora-programisty – mozna wygodnie korzystac z jednego interfejsu niezaleznie od typu mikrokontrolera, dla ktorego jest budowana aplikacja.

W tabeli 1 zestawiono podstawowe cechy najpopularniejszych, uniwersalnych interfejsow JTAG z USB dla mikrokontrolerow z rdzeniami ARM, przy czym pominielo niektore ich wersje, cieszace sie z roznych powodow niewielka popularnoscia oraz pracujace z systemami operacyjnymi innymi niz Windows. Znaczace roznice cen prezentowanych interfejsow wynikaja z roznej gamy ich zaawansowanych mozliwosci, ktore zazwyczaj nie sa



Rysunek 2. Fragment schematu systemu z mikrokontrolerem z rodziny ADuCM360 (Analog Devices) z interfejsem SWD

### O czym nie piszemy w artykule i dlaczego?

Uwazni Czytelnicy dostrzegaja, ze w artykule zostaly pominiete natywne interfejsy producentow, wykorzystywane wylaczenie do programowania-debugowania mikrokontrolerow zamontowanych na zestawach ewaluacyjnych, a niedostepne w postaci samodzielnych urzadzen. Z tego powodu nie piszemy w artykule o interfejsach OpenSDA, PC-Link i im podobnych.

# KAMAMI

Najwiekszy wybor narzedzi dla mikrokontrolerow z rdzeniem

# ARM

Jako autoryzowany dystrybutor firmy



oferujemy m.in. najpopularniejsza rodzine interfejsow JTAG, w tym

j-link



### Wlasciwosci:

- Programowanie i debugowanie ukladow z rdzeniem ARM 7/9/11, ARM Cortex
- Praca z popularnymi srodowiskami programistycznymi, np.: Keil MDK, IAR EWARM, Rowley CrossWorks, Atollic TrueSTUDIO
- Mozliwosc pracy w srodowiskach wykorzystujacych GDB
- Dotaczenie do komputera za pomoca USB
- Szybkosc programowania: od 800 kB/s do 3 MB/s
- Bezpłatna aktualizacja oprogramowania
- J-Link EDU - interfejs JTAG przeznaczony do zastosowan niekomercyjnych juz za

## 179 PLN netto

BTC Korporacja  
ul. Lwowska 5  
05-120 Legionowo  
tel.: 22 767 36 20  
faks: 22 767 36 33

REKLAMA











Nasza oferta jest dostepna na stronie:

[www.kamami.pl](http://www.kamami.pl)

## WYBÓR KONSTRUKTORA

Tabela 2. Zestawienie podstawowych cech najpopularniejszych interfejsów JTAG z USB przeznaczonych dla wybranych rodzin mikrokontrolerów z rdzeniami firmy ARM

Interfejs	Wygląd	JTAG	SWD	Obsługiwane rdzenie	Obsługiwany przez...	Uwagi	Cena brutto [PLN]
ST-Link v2		+	+	Cortex-M3, Cortex-M4, Cortex-M0/STM32	ST-Link Tool STVP STVD Atollic TrueSTUDIO IAR Workbench ARM-MDK	Obsługuje wyłącznie mikrokontrolery STM32 i STM8 (poprzez interfejs SWIM)	ok. 115
ZL30PRGv2		+	+	Cortex-M3, Cortex-M4, Cortex-M0/STM32	ST-Link Tool STVP STVD Atollic TrueSTUDIO IAR Workbench ARM-MDK	Obsługuje wyłącznie mikrokontrolery STM32 i STM8 (poprzez interfejs SWIM)	ok. 89
STX-RLink		+	+	ARM9 ARM7 Cortex-M3	Ride	Współpracuje z mikrokontrolerami STM32, STR9, STR7 firmy STMicroelectronics. Obsługuje także mikrokontrolery STM8, ST7 i uPSD.	ok. 400
LPC-Link 2		+	+	Cortex-M0, Cortex-M0+, Cortex-M3, Cortex-M4	J-Link by Segger CMSIS-DAP by ARMCode Red Technologies Redlink	Wymienny firmware zapewni zgodność z: Segger J-Link ARMCode CMSIS-DAP Red Technologies Redlink	ok. 220
RLink-STD		+	+	Cortex-M3		Ograniczenie maksymalnej objętości debugowanego programu do 64 kB. Obsługuje także interfejs SWIM (STM8).	ok. 550
XDS100v2		+	-	ARM9 Cortex-M3 Cortex-M4 Cortex-R4 Cortex-A8 Cortex-A9	Code Composer Studio v5.x	Dostępnych jest wiele wersji tego programatora produkowanych przez różnych producentów	ok. 360
ZL31PRG		+	-	ARM9 Cortex-M3 Cortex-M4 Cortex-R4 Cortex-A8 Cortex-A9	Code Composer Studio v5.x	Ścisły odpowiednik interfejsu XDS100v2	ok. 200
AT91SAM-ICE		+	+	Cortex-M0/M3/M4 ARM7/9	ARM RDI GDB server GNU/Eclipse IAR Workbench	Zgodny z J-Linkiem, funkcjonalność ograniczona do rdzeni implementowanych przez Atmela	ok. 500

wykorzystywane w typowych aplikacjach mikrokontrolerowych. Dobierając interfejs do własnych potrzeb warto zwrócić uwagę na fakt, że nie zawsze 20-krotnie wyższa cena oznacza proporcjonalnie większą funkcjonalność w typowych aplikacjach – cechy i parametry urządzenia i ich przydatność w realizowanych aplikacjach warto przeanalizować przed zakupem.

W tabeli 2 zestawiono najważniejsze cechy wyspecjalizowanych interfejsów-programatorów, przystosowanych do obsługi wybranych rodzin mikrokontrolerów. W tabelach nie uwzględniono dostępnych na rynku pirackich wersji oryginalnych interfejsów, które niskimi cenami zachęcają do zakupu, ale nie zawsze są w stanie spełnić pokładane w nich (techniczne) nadzieje.

W prezentowanych zestawieniach nie uwzględniono zaawansowanych możliwości debugowania oferowanych przez niektóre urządzenia (traktujemy je jako dodatek do podstawowej funkcji programatora), uwzględniono natomiast możliwości programowania ISP oferowane przez niektóre typy programatorów stacjonarnych.

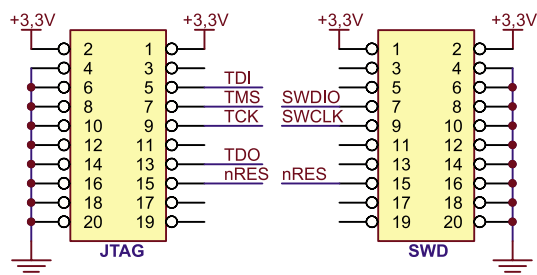
### Programatory ISP mikrokontrolerów firmy Microchip

Jak wspominałem na początku artykułu, Microchip jest jedną z niewielu firm kultuwających własne rozwiązania, w tym także korzystania do programowania pamięci Flash mikrokontrolerów za pomocą interfejsu ISP – w nomenklaturze firmy Microchip ICSP – *In Circuit Serial Programming*. Opracowany wiele lat temu dwuliniowy interfejs ICSP (rysunek 4) jest w pełni wykorzystywany we wszystkich współcześnie oferowanych mikrokontrolerach tej firmy, także dsPIC, PIC24 oraz we wszystkich wariantach PIC32. Poza programowaniem jest on także wykorzystywany do debugowania pracy mikrokontrolerów, co pozwala budować relatywnie tanie narzędzia sprzętowe wspomagające uruchamianie i testowanie systemów cyfrowych bazujących na tych układach. Wiele typów mikrokontrolerów oferowanych przez firmę Microchip wyposażono także w dwa rodzaje interfejsów JTAG, do których dostęp jest możliwy poprzez jeden zestaw linii I/O. Jeden z tych interfejsów służy do testowania prawidłowości montażu i połączeń na PCB (*boundary scan*), drugi jest alternatywnym do ICSP kanałem umożliwiającym programowania pamięci Flash i monitorowanie oraz zarządzanie pracą CPU. Z tego powodu narzędzia oferowane przez firmę Microchip „domyślnie” wykorzystują natywny interfejs ICSP, którego funkcjonalność – przy zachowaniu pełnej kompatybilności „w dół” – są

powiększane wraz z rosnącymi wymaganiami aplikacji. W zestawieniu prezentowanym w tabeli 3 uwzględniono możliwości programowania ISP mikrokontrolerów PIC i dsPIC oferowane przez niektóre typy programatorów stacjonarnych.

### Akcesoria do programatorów-debuggerów ISP

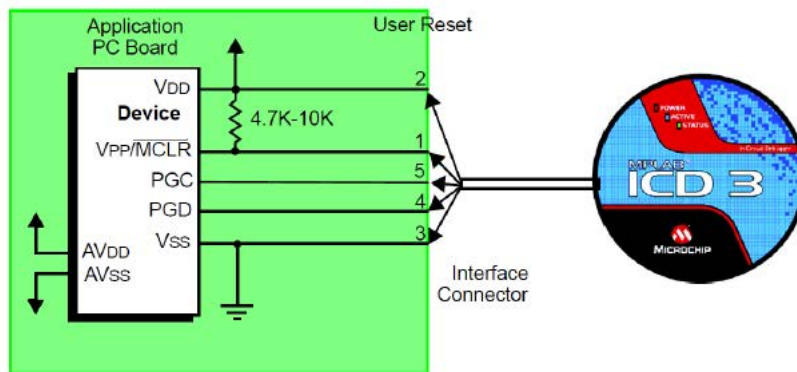
Producenci interfejsów prezentowanych w artykule tworzą wokół nich „ekosystemy”, w skład których wchodzi różnego rodzaju kable i płytki spełniające rolę przelotek pomiędzy złączem IDC20 (standardowe złącze JTAG), a innymi złączami coraz częściej stosowanymi w urządzeniach docelowych. Jednym z powodów i kierunków zmian jest miniaturyzacja złącz, czego przykładem mogą być przelotki J-Link Needle Adapter firmy Segger



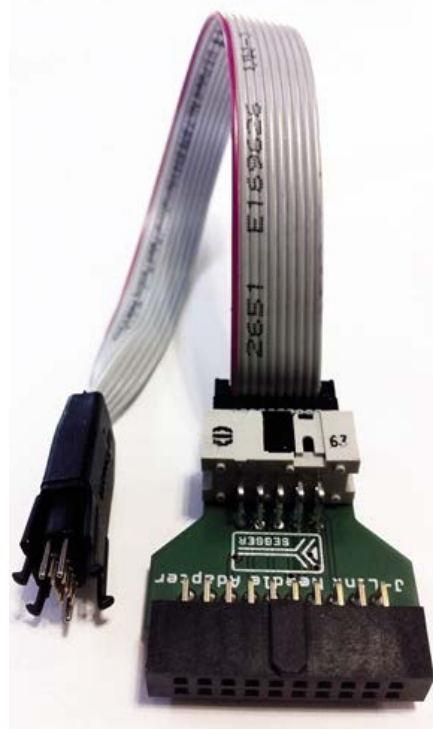
Rysunek 3. Rozmieszczenie sygnałów na złączach SWD i JTAG (IDC20)

(fotografia 5), czy Segger J-Link ARM-14 (fotografia 6), która konwertuje złącze IDC20 na IDC14. Inną grupą „przelotek” są adaptory napięciowe, które umożliwiają programowanie i debugowanie mikrokontrolerów zasilanych napięciami o wartości innej niż 3,3 V, które jest najczęściej domyślną wartością przyjmowaną przez producenta.

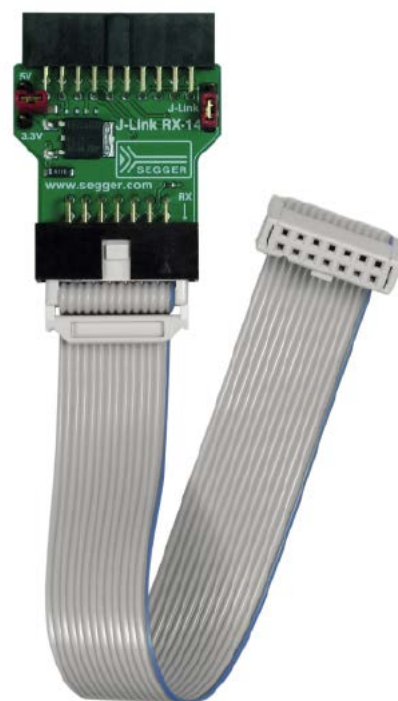
Temu podobnych rozwiązań jest bardzo wiele i są one indywidualnie dosto-



Rysunek 4. Typowy interfejs ICSP firmy Microchip



Fotografia 5. Wygląd konwertera złącz J-Link Needle Adapter firmy Segger



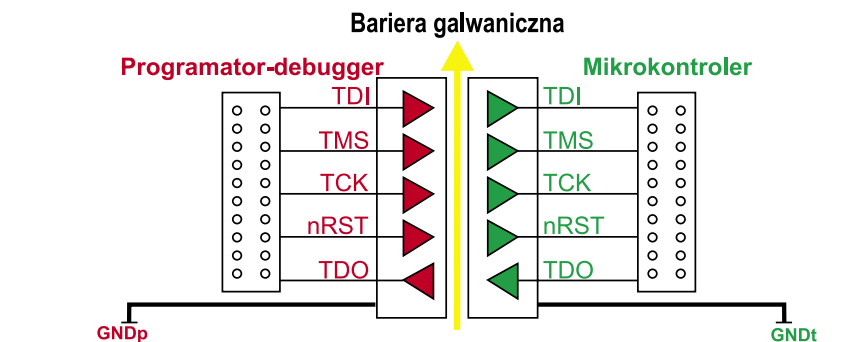
Fotografia 6. Wygląd konwertera złącz Segger J-Link ARM-14 firmy Segger

Tabela 3. Zestawienie podstawowych cech wybranych programatorów ICSP i debuggerów dla mikrokontrolerów firmy Microchip

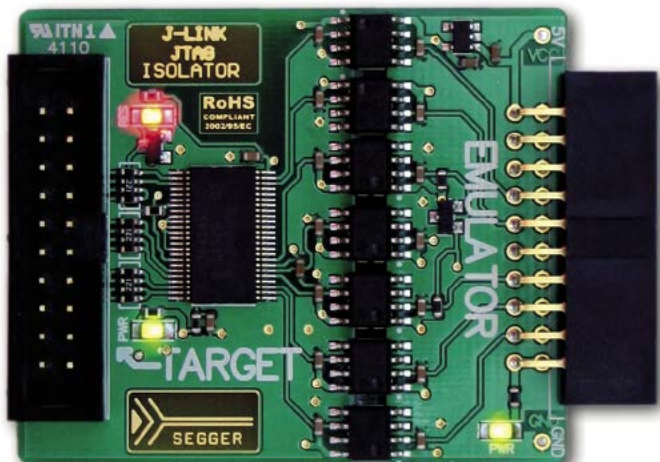
Interfejs	Wygląd	Funkcje	Obsługiwane rodziny	ICSP	Uwagi	Cena netto [PLN]
MPLAB ICD 3		Programator + debugger	PIC10F PIC12F PIC16F PIC18F PIC24F/H dsPIC PIC32	+	Możliwość zasilania programowanego mikrokontrolera. Programowe breakpoints. Zaawansowana obsługa breakpointów. Zaawansowany tracing.	ok. 900
MPLAB REAL ICE		Programator + debugger	PIC10F PIC12F PIC16F PIC18F PIC24F/H dsPIC PIC32	+	Programowe breakpoints. Linie LVDS. Zaawansowana obsługa breakpointów.	ok. 2000
PICKIT 3		Programator + debugger	PIC10F PIC12F PIC16F PIC18F PIC24F/H dsPIC	+	Możliwość zasilania programowanego mikrokontrolera. Wbudowana pamięć programowego obrazu 512 kB.	ok. 215

sowywane przez producentów interfejsów do wymogów i potrzeb klientów.

Drugą ważną grupą peryferii tworzących użyteczne otoczenie interfejsów prezentowanych w artykule są galwaniczne separatory sygnałów, których zadaniem jest galwaniczne rozdzielanie obwodów wyjściowych programatora-debuggera od docelowego układu (rysunek 7). Dzięki temu minimalizowane jest ryzyko uszkodzenia komputera, programatora lub innych elementów toru sygnałowego w wyniku braku wyrównania poziomu „0” sieci zasilającej we wszystkich urządzeniach (co często zdarza się w gniazdkach pozbawionych zerowania lub korzystania z urządzeń nieprawidłowo uziemionych). Problem jest poważnie traktowany przez wszystkich producentów programatorów-debuggerów, na przykład Segger oferuje specjalną płytkę J-Link JTAG Isolator (fotografia 8), podobne rozwiązanie o nazwie ULINK Isolation Adapter. Także producenci mikrokontrolerów dostrzegli problem i – przykładowo - Microchip oferuje specjalny interfejs separacyjny do MPLAB REAL ICE (o nazwie MPLAB REAL ICE Isolator – fotografia 9), a STMicroelectronics specjalną wersję popularnego programatora ST-LINK/V2-ISOL (fotografia 10). Galwaniczne separatory dla programatorów



Rysunek 7. Budowa standardowego separatora galwanicznego dla interfejsu JTAG



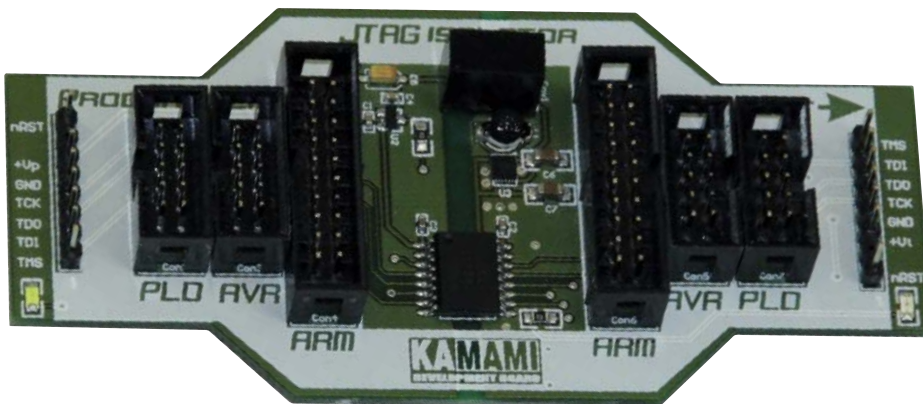
Fotografia 8. Wygląd płytki separatora galwanicznego J-Link JTAG Isolator



Fotografia 9. Wygląd separatora galwanicznego MPLAB REAL ICE Isolator firmy Microchip



Fotografia 10. STMicroelectronics oferuje wariant programatora ST-Link/V2 z wbudowanym separatorem galwanicznym (ST-LINK/V2-ISOL)



Fotografia 11. Wygląd produkowanego w Polsce separatora galwanicznego JTAG Isolator, który przy napięciu przebicia izolacji 750 VAC/1 kVDC umożliwia transfer danych via JTAG z częstotliwością TCK do 11 MHz

są dość kosztowne i w większości przypadków spowalniają ich pracę, co wynika z wykorzystania w nich jako elementy separacyjne transoptorów. Na tym tle bardzo atrakcyjnie wypada polski wyrób – JTAG Isolator firmy KAMAMI.pl (fotografia 11), który konstrukcyjnie został przygotowany do współpracy z interfejsami JTAG z sygnałem taktującym TCK o częstotliwości do 110 MHz, stosunkowo niskiej cenie i niewielkim poborze prądu (do 10 mA).

**Podsumowanie**

Przedstawiony w artykule przegląd dobrze oddaje aktualną sytuację na rynku, który krok-po-kroku jest dominowany przez mikrokontrolery z rdzeniami Cortex-M. Upraszcza to sytuację konstruktorów, którzy mają mniej narzędzi, do tego coraz tańszych, mają coraz większe możliwości diagnostyczne. Programatory stacjonarne, także te wyposażone w interfejsy ISP/ICP, stają się narzędziami serwisowymi, coraz rzadziej stosowanymi podczas projektowania i uruchamiania nowych urządzeń. Zaledwie dwa lata temu sytuacja nie była tak jednoznaczna (vide wspomniany przegląd programatorów w EP9/2011), bardzo mnie ciekawi co nam przyniosą dwa kolejne lata...

Piotr Zbysiński, EP

REKLAMA

# Dobry powód, aby kupić iPada?



Od teraz możesz czytać Elektronika z wykorzystaniem iPada.

www.elektronikaB2B.pl