



**8/16/32-bit
USB MCUs**

Interfejs USB OTG

Połączenie peer-to-peer za pomocą USB

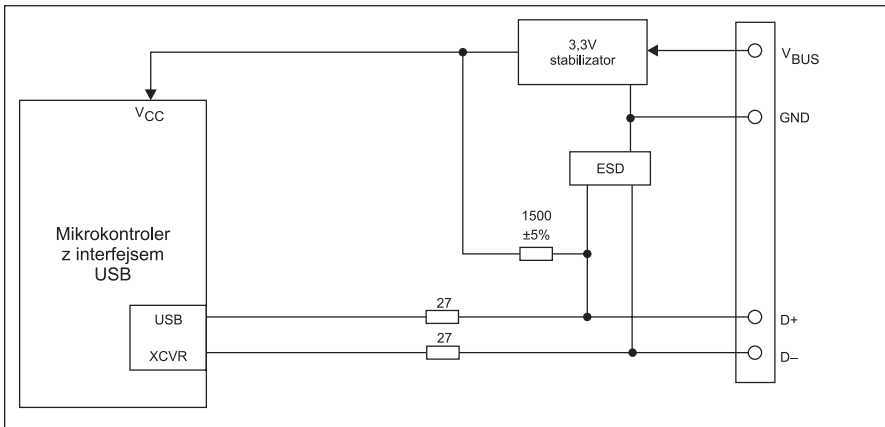
Do interfejsu USB wszyscy użytkownicy komputerów PC (i nie tylko) zdążyli się przyzwyczać. Magistrala USB jest z punktu widzenia użytkownika bardzo wygodna, bo pozwala na łatwe dołączenie urządzeń do komputera na zasadzie plug and play. System operacyjny Windows zawiera sterowniki najbardziej popularnych peryferii USB, a proces wykrywania i instalacji niezbędnego oprogramowania przebiega automatycznie.

Magistrala USB pracuje w konfiguracji master –slave. Masterem (hostem) jest najczęściej komputer, a dołączane urządzenia peryferyjne są układami slave. Komputer ma olbrzymie zasoby (pamięć, wydajny procesor) i implementacja funkcji hosta nie jest problemem. Z punktu widzenia elektronika, który ma dołączyć peryferyjne urządzenie mikroprocesorowe do komputera przez USB, taka sytuacja jest dość wygodna. Obsługa protokołu komunikacyjnego USB przez układy peryferyjne nie wymaga dużych zasobów i może być wykonywana nawet przez układy

8 bitowe. Są one teraz często wyposażane w sprzętowe układy interfejsowe wspomagające wymianę informacji z hostem.

Błyskawiczny rozwój wydajności mikrokontrolerów połączony ze spadkiem cen spowodował, że konstruktorzy zaczęli rozważać użycie magistrali USB w systemach wbudowanych (*embedded*), ale bez udziału komputera. Konieczne stało się wyposażenie takich systemów w funkcje hosta, czyli takie, które w klasycznym układzie wykonywał komputer. Do urządzenia z zaimplementowanymi funkcjami hosta można by było podłączać

urządzenia peryferyjne na przykład drukarki, klawiatury, czy pamięci zewnętrzne (np. pendrive). Możliwe byłoby też wykonanie połączenia pomiędzy dwoma systemami mikroprocesorowymi za pomocą złącza USB. Klasyczne mechanizmy, którymi dysponuje host umożliwiają podłączenie i obsługę jednoczesnej wymiany informacji z wieloma urządzeniami. Początkowo systemy wbudowane z interfejsem USB, pełniące rolę hosta, wyposażane były we wszystkie funkcje, które spełnia komputer. Z czasem, dla systemów zbudowanych w oparciu o mikrokontrolery, które z natury mają ograniczoną ilość pamięci i możliwości sprzętowe, ale też i inne wymagania, zaprojektowano odmienny sposób wymiany informacji z użyciem USB, który nazwano USB OTG (On The Go). Pozwala on komunikować się urządzeniom w standardzie USB bez udziału komputera pełniącego funkcję hosta. Za pomocą złącza USB OTG można połączyć ze sobą tylko dwa urządze-



Rys. 1. Układ peryferyjny USB

nia (peer to peer), a protokoły obsługujące funkcję hosta są inne, niż w klasycznym USB. Bardzo ważną cechą USB OTG jest to, że urządzenie w nie wyposażone może spełniać funkcję hosta, ale też można go przełączyć w tryb pracy urządzenia peryferyjnego USB. Możliwości tak zaprojektowanego interfejsu są o wiele bardziej dostosowane do potrzeb systemów wbudowanych.

Podwójna rola hosta i urządzenia peryferyjnego nakłada na warstwę sprzętową interfejsu szczególne wymagania. Na rys. 1 pokazano układy interfejsu USB pracującego jako peryferyjny. Mikrokontroler zasilany jest napięciem +3,3 V z wbudowanego stabilizatora zasilanego napięciem +5 V z magistrali (VBUS). Różnicowy sygnał danych D+ i D- przez rezystory 27 Ω podawany jest na wejście/wyjście dwukierunkowego transceivera USB. Rezystor 1,5 kΩ musi być podłączony do jednej z linii danych. Jest to sposób za-

sygnalizowania hostowi prędkości transmisji możliwej do osiągnięcia przez układ peryferyjny. Jeżeli rezystor jest podłączony do linii D+, to układ pracuje prędkością *full speed*, a jeżeli do linii D-, to z prędkością *low speed*. Zabezpieczenie ESD chroni interfejs przed uszkodzeniami w trakcie włączania i wyłączania urządzeń będących pod napięciem.

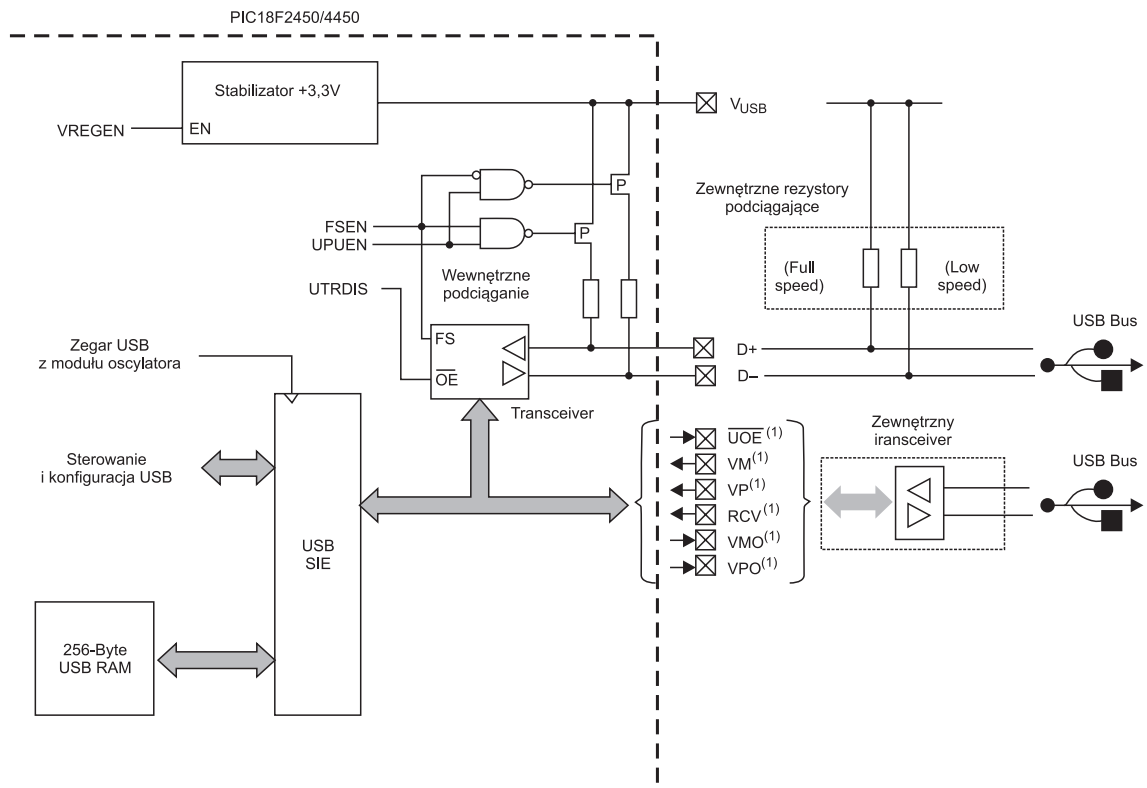
Jako przykład praktycznej realizacji interfejsu USB jest na rys. 2 pokazano moduł USB 8-bitowego mikrokontrolera PIC18F4550. Może on mieć opcjonalne podciąganie linii danych do plusa (sygnalizacja prędkości transferu danych) i chociaż ma wbudowany transceiver, to istnieje też możliwość dołączenia zewnętrznego transceivera, aby można było w razie konieczności zastosować na przykład izolację galwaniczną interfejsu. Mikrokontroler ma rozbudowany układ generowania zegara taktującego moduł USB, oraz specjalny bufor RAM o pojemno-

ści 256 B. Bufor może być zapisywany i odczytywany przez moduł USB bez konieczności użycia rdzenia mikrokontrolera – dostęp do niego może mieć z jednej strony moduł USB, a drugiej strony mikrokontroler.

Taki i podobne rozwiązania są stosowane po to, aby stosunkowo wolne 8-bitowe mikrokontrolery mogły przesyłać dane po magistrali USB w trybie *full speed*.

Interfejs USB OTG musi być uzupełniony o układy pozwalające pracować mu zarówno jako host, jak i układ peryferyjny. Pierwszą rzeczą o którą trzeba zadbać jest układ zasilania. Układ peryferyjny jest odbiornikiem zasilanym napięciem VBUS, a host jest źródłem napięcia VBUS. Wewnętrzne układy interfejsu OTG muszą przełączać linię VBUS zależnie od realizowanej funkcji. Ponieważ przełączanie napięcia zasilającego musi się odbywać tak szybko, jak to tylko możliwe, to stosowane są układy przeładowywania pojemności podłączonych do linii zasilającej VBUS.

W układzie peryferyjnym do linii danych D+ lub D- podłączane są rezystory podciągające. W hoście obie linie danych podłącza się przez rezystory 15 kΩ do masy. I znowu interfejs OTG musi mieć mechanizmy przełączania rezystorów linii danych tak, aby interfejs mógł być zarówno hostem jak i układem peryferyjnym. Na rys. 3 pokazano ogólną ideę interfejsu USB OTG z mechanizmami przełączania napięcia zasilania i rezystorów podłączanych do linii danych. Zależnie od wykonywanej funkcji układ sterujący załącza lub rozłącza klucze sterujące zasilaniem i rezystorami dołączanymi do linii danych.



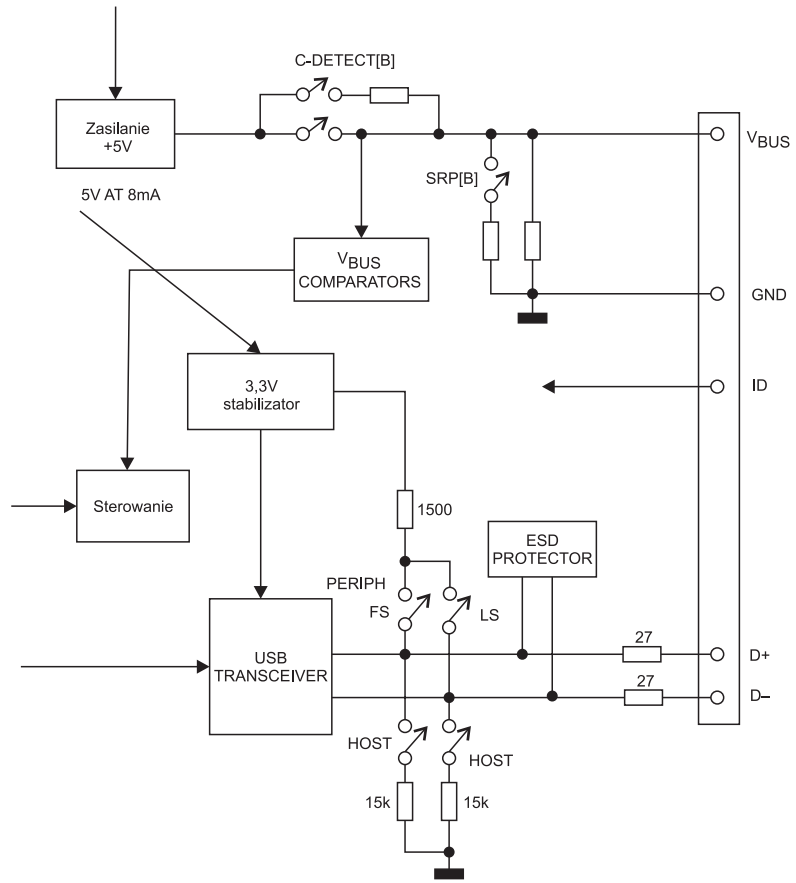
Rys. 2. Moduł peryferyjny USB na przykładzie mikrokontrolera PIC18F4550

Na rys. 4 pokazano schemat blokowy interfejsu USB OTG wbudowanego w 32-bitowe mikrokontrolery PIC32 firmy Microchip. Transzystory sterowane sygnałami SRP Charge i SRP Discharge ładują lub rozładują pojemności na linii zasilającej VBUS. Sygnały Full Speed Pull-up i Low Speed Pull-up sterują podciąganiem linii danych, kiedy interfejs pracuje jako układ peryferyjny USB. Analogicznie sygnał Host Pull-down powoduje dołączenie rezystorów 15 kΩ do masy.

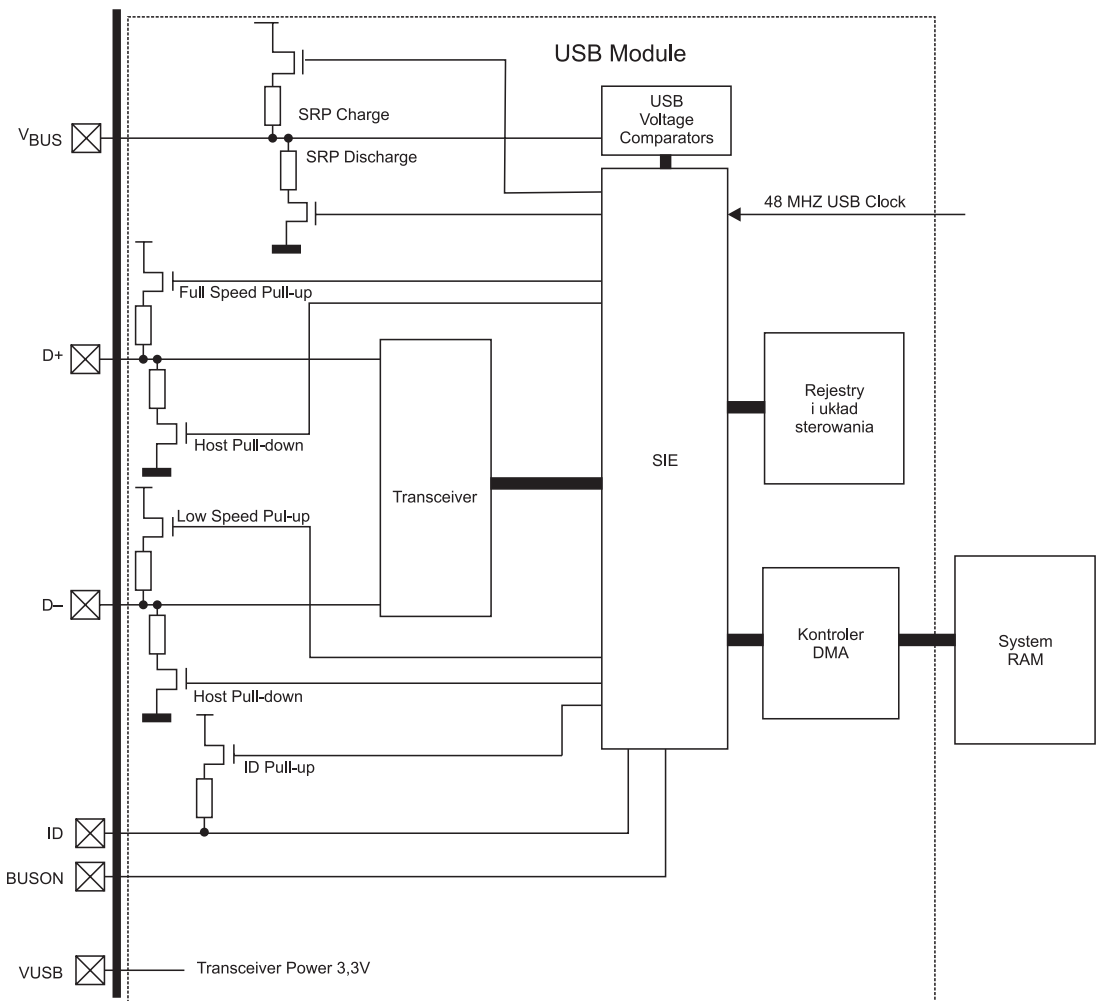
Zobaczmy teraz jak interfejs pracuje jako host OTG. Wiemy że, na doprowadzeniu VBUS musi się pojawić napięcie zasilania, a pomiędzy linią danych i masą podłączone rezystory 15 kΩ. Oprócz tej koniecznej konfiguracji sprzętowej host jako master musi wykonać sekwencję inicjalizacji, bo to on decyduje o tym, jak pakiety danych przesyłane są po magistrali. Urządzenia zewnętrzne mające w magistrali status slave nie może samo nic wysłać na magistralę. Urządzenie zewnętrzne odpowiada pakietem danych tylko na polecenie lub zapytanie przesłane przez hosta.

W klasycznym USB inicjalizacja jest prowadzona według prostych zasad: host jest zawsze hostem, peryferie peryferiami. Żeby to rozróżnienie było jeszcze bardziej wyraźne mają one inne złącza. Host ma złącze płaskie typu A, a układy peryferyjne złącze typu B. Podwójna rola (host/periferia) jaką może spełniać USB OTG wymaga stosowania mechanizmów negocjacji, w które wyposażono protokoły HNP i SRP. Wprowadzono też inny typ złącza mini USB, z dodatkowym piątym stykiem identyfikacyjnym ID, nazywane miniAB. Orientacja kabla połączeniowego wymusza role urządzeń w trakcie inicjalizacji – rys. 5. Złącze, w którym przewód identyfikacji jest połączone z masą jest złączem domyślnego hosta. W złączu od strony domyślnego urządzenia peryferyjnego przewód identyfikacji jest niepodłączony.

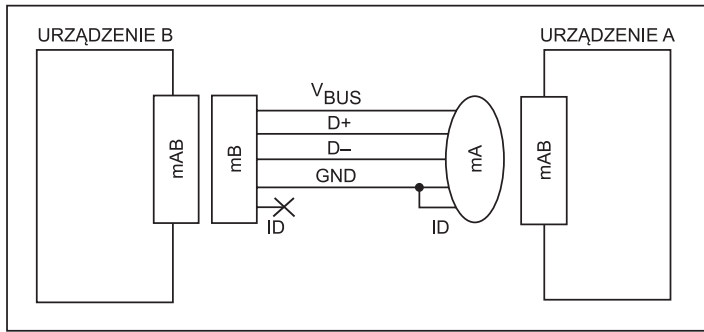
Protokół HNP (Host Negotiation Protocol) wykonuje sekwencję negocjacji niezbędnej dla określenia, jakie funkcje hosta są niezbędne przy połączeniu. Po zakończeniu negocjacji określone są też role urządzeń, to znaczy które jest hostem, a które urządzeniem peryferyjnym. Przypomnijmy, że sprzętowa identyfikacja pokazana na rys. 5 określa tylko domyślne role zaraz po



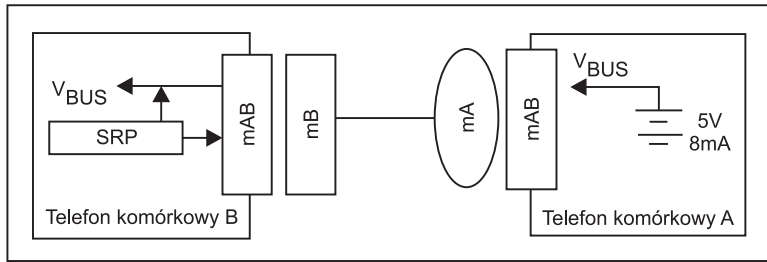
Rys. 3. Sprzętowy interfejs USB OTG



Rys. 4. Moduł USB OTG mikrokontrolera PIC32



Rys. 5. Sprzętowa konfiguracja host/peryferia USB OTG



Rys. 6. Połączenie 2 telefonów złączeniem USB OTG

połączeniu urządzeń. Jeżeli jest to konieczne, to HNP może je zamienić. Jest to bardzo istotna cecha USB OTG.

Drugi protokół to SRP (Session Request Protocol). SRP zarządza napięciem zasilającym na linii VBUS. Ponieważ oba urządzenia USB OTG mogą być hostami, to w trakcie ini-

cializacji trzeba by urządzenie B (domyślne peryferia) pozwoliło urządzeniu A (domyślny host) na wystawienie napięcia na VBUS. Co ciekawe, nawet kiedy A zostanie przełączone na funkcje peryferii przez HNP, to nadal może dostarczać napięcia VBUS podczas wymiany informacji przez urządzenia. SRP wspiera też

funkcje ograniczania pobieranej energii, co jest bardzo istotne dla urządzeń zasilanych bateryjnie. Jeżeli urządzenie A chce ograniczyć pobór energii, to wyłącza zasilanie na linii VBUS i przechodzi w stan ograniczenia pobory mocy (uśpienia). Urządzenie B wykrywa to i również przechodzi w stan uśpienia. Jednocześnie kończona jest sesja wymiany informacji.

Na rys. 6 pokazano połączenie dwóch telefonów komórkowych za pomocą USB OTG. Telefon A z racji sprzętowej konfiguracji złącza, dostarcza napięcia zasilającego magistralę. Jeżeli oba telefony nie mają potrzeby wymiany informacji, to napięcie na VBUS jest wyłączone. Ale w momencie, kiedy telefon B chce wymienić informację z telefonem A, to SRP wymusza pulsowanie napięcia na linii danych D+, a potem na VBUS. Powoduje to, że telefon A jest wybudzany ze stanu uśpienia, dołącza swoje źródło zasilania do linii VBUS i rozpoczyna sesję wymiany informacji.

SRP spełnia też inne funkcje, niż te opisane w prostym przykładzie z rys. 6. Na przykład przed włączeniem pulsowania na VBUS układ związany z SRP telefonu B musi zmierzyć napięcie na tej linii żeby się upewnić czy nie jest aktywne przesyłanie danych. Poza tym SRP wykrywa czy układ jest dołączony do innego układu USB OTG, czy do klasycznego komputera.

Tomasz Jabłoński, EP
tomasz.jablonski@ep.com.pl

R E K L A M A

Enabling Innovation

Nowe oscyloskopy serii **DPO3000** / **MSO3000** - zobacz więcej...

PRZYRZĄDY POMIAROWE
POMIARY RF
POMIARY CZĘSTOTLIWOŚCI
POMIARY TV
TELEKOMUNIKACJA

- ▶ 9" wyświetlacz o rozdzielczości WVGA
- ▶ 16 kanałów cyfrowych (wersja MSO)
- ▶ Próbkowanie do 2,5 GS/s i pamięć 5Mpkt. Niezależnie we wszystkich kanałach
- ▶ Opcjonalna analiza i wyzwalanie I2C, SPI, CAN, LIN i RS232/422/485 i UART
- ▶ Modele 100, 300, 500MHz
- ▶ 2 lub 4 kanały analogowe
- ▶ Technologia MagniVu™
- ▶ Głębokość 137mm

PROMOCJA!

Oscyloskopy z serii TDS1000/2000B z 20% rabatem*

*promocja ważna od 1 sierpnia 2009r. do wyczerpania zapasów
*promocja nie łączy się z innymi rabatami i promocjami

Siedziba Firmy: 54-413 Wrocław, ul. Klecińska 125, tel. 071 783 63 60, fax 071 783 63 61
Biuro Handlowe: 03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 74, tel. 022 675 75 42, fax 022 675 54 47
tespol@tespol.com.pl | www.tespol.com.pl

Dostępne również w sieci sprzedaży: Gdańsk - Biall, tel. 058 322 11 91, Poznań - Merazet, tel. 061 866 86 14, Warszawa - Merserwis, tel. 022 831 42 56