




Bezprzewodowy sterownik prezentacji



Sterownik jest urządzeniem klasy HID dołączanym do interfejsu USB komputera. Umożliwia zdalną obsługę np. programu Power Point, co znacznie ułatwia jego użycie podczas prezentacji.

Rekomendacje: urządzenie przydatne wszystkim, których charakter pracy wymaga przedstawiania prezentacji.

Większość dostępnych w sprzedaży prezynterów ma budowę i zasadę działania zbliżoną do opisywanej w artykule. Składają się one z dwóch modułów. Pierwszy, który nazwać można mobilnym, realizuje funkcje sterowania. Jest to nadajnik wyposażony w przyciski lub inne manipulatory, których aktualny stan jest przesyłany bezprzewodowo. Drugim jest odbiornik stacjonarny, ponieważ w trakcie pracy jest dołączony do gniazda USB komputera PC. Jest modulem wykonawczym, gdyż odbiera sygnał od modułu sterującego i przesyła odpowiednie komendy do komputera. Ważnymi cechami użytkowymi urządzeń tego rodzaju są: niski

pobór prądu przy zasilaniu bateryjnym, małe gabaryty oraz możliwość współpracy z systemami operacyjnymi Windows i Linux.

Spełnienie powyższych założeń projektowych wymaga starannej selekcji podzespołów elektronicznych. Głównymi komponentami są mikrokontrolery (jeden w module sterującym a drugi w module wykonawczym) oraz układy do transmisji bezprzewodowej (również po jednym w każdym z modułów).

Mikrokontroler powinien przede wszystkim:

- cechować się odpowiednią wydajnością obliczeniową gwarantującą szybkie przetwarzanie danych,

AVT-5265 w ofercie AVT:
AVT-5265A – płytka drukowana

Podstawowe informacje:

- Płytko o wymiarach 61×22 mm (moduł sterujący)
- Płytko o wymiarach 43×22 mm (moduł wykonawczy)
- Zasilanie z baterii CR2032 (moduł sterujący)
- Zasilanie z USB (moduł wykonawczy)
- Radiowa transmisja danych na częstotliwości 2,4 GHz
- Układ mikroprocesorowy ARM Cortex-M3 z rodziny STM32 (STM32F103C8T6) firmy ST Microelectronics
- Komunikacja USB w trybie HID z połączeniem Plug and Play

Dodatkowe materiały na CD i FTP:

- <ftp://ep.com.pl>, user: 12089, pass: 776m3t3q
- wzory płytek PCB
 - karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w wykazie elementów kolorem czerwonym

Projekty pokrewne na CD i FTP:

- (wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)
- AVT-2892 Fly Track (EdW 2/2009)
 - AVT-2872 Wirtualna myszka PC (EdW 7/2008)
 - AVT-862 Myszka komputerowa dla osób niepełnosprawnych (EP 4-6/2000)

Wykaz elementów

Rezystory:

R1, R7, R8, R11, R13...R22: 10 kΩ (0805)
 R2, R10: 1 MΩ (0805)
 R3: 1,5 kΩ (0805)
 R4, R5: 22 Ω (0805)
 R6, R9, R12: 150 Ω (0805)

Kondensatory:

C1...C5, C11...C15, C18...C25: 100 nF (0805)
 C6, C7, C16, C17: 22 pF (0805)
 C8: 10 μF/10 V (tantalowy, A)
 C9, C10: 1 μF (0805)

Półprzewodniki:

IC1, IC4: STM32F103C8T6
 IC2: MCP1802T-33
 IC3, IC5: TLX2401

Inne:

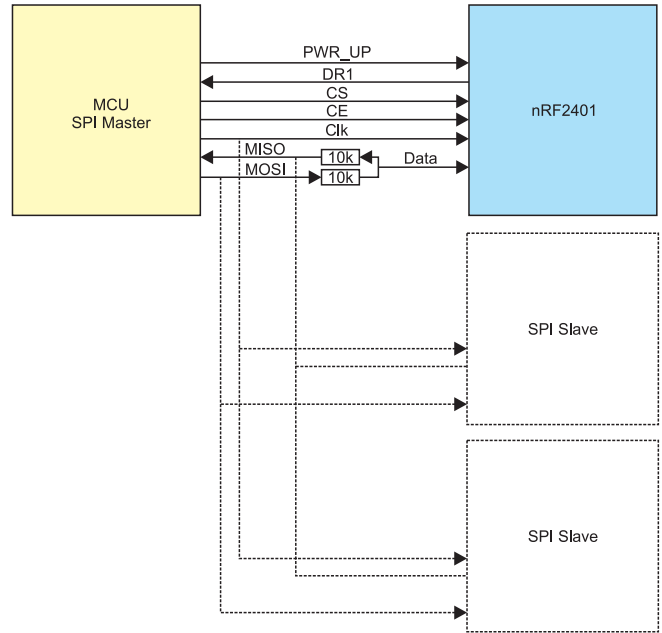
Q1, Q2: 8 MHz (SMD)
 LED1...LED3: dioda LED (0805)
 BATT: Podstawka pod baterie CR2032
 S1: przełącznik suwakowy
 S2, S3: przycisk TACT-SWITCH, kątowy
 S4...S9: przycisk TACT_SWITC
 SV2: wtyk USB typ A
 SV1, SV3: gniazdo IDC10 proste

interfejs USB do wymiany danych z komputerem.

Wymagania te nie są wygórowane, dlatego jest wiele układów spełniających je. Mogą to być 8-bitowe mikrokontrolery AVR lub PIC, jak również bardziej wydajne, np. Coldfire lub inne bazujące na rdzeniach ARM. Na potrzeby projektu wybrano STM32F103C8T6 z rdzeniem ARM Cortex-M3 z podgrupy Performance Line. Wybrany mikrokontroler może być taktowany z częstotliwością do 72 MHz, ma napięcie zasilania 2,0...3,6 V,

- charakteryzować się szerokim zakresem napięcia zasilania w celu umożliwienia zasilania go wprost z baterii,
- mieć zaimplementowane tryby pracy o niskim poborze prądu, aby można było efektywnie zarządzać poborem energii,
- być wyposażony w podstawowe interfejsy komunikacyjne do sterowania układem transmisji bezprzewodowej oraz

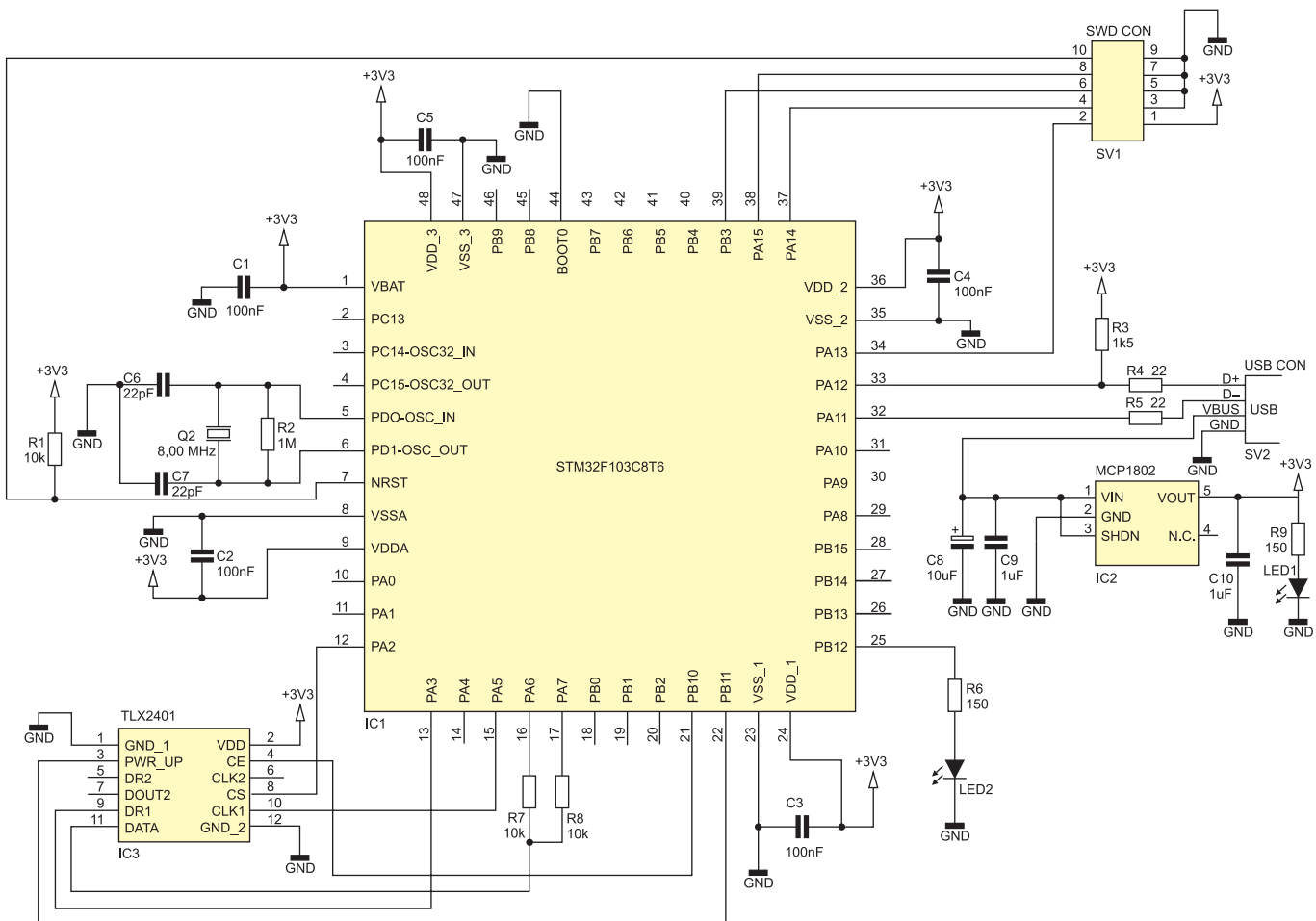
może pracować w różnych trybach (RUN, SLEEP, STOP, STANDBY) oraz wyposażono go w liczne interfejsy komunikacyjne (SPI, I²C, USART, CAN, USB). Jego interfejs USB może przysyłać dane w trybie Full Speed (12 Mbit/s) [13]. Dodatkowymi zaletami mikrokontrolera są: interfejs programowania/debugowania SWD z małą liczbą wyprowa-



Rysunek 1. Połączenie mikrokontrolera z układem komunikacji radiowej NRF2401 za pomocą interfejsu SPI [10]

dzeń, niska cena, dostępność, duże zasoby pamięci FLASH i SRAM umożliwiające łatwą rozbudowę urządzenia, niewielka obudowa LQFP48, liczne narzędzia programistyczne wraz z przykładowymi kodami źródłowymi.

Drugim z układów, który należy wybrać jest układ do transmisji bezprzewodowej. Ze względu na przeznaczenie urządzenia,



Rysunek 2. Schemat ideowy modułu wykonawczego (stacjonarnego)



najodpowiedniejszymi są transceivery pracujące w paśmie ISM. Asortyment układów pracujących w tym zakresie jest bardzo duży, przy czym mogą się znacznie różnić: interfejsem komunikacyjnym, obudową, poborem prądu, napięciem zasilania, częstotliwością pracy, liczbą kanałów komunikacyjnych, rodzajem stosowanej modulacji, szybkością transmisji, mocą wyjściową, czułością itp. Szczegółowy opis oraz zestawienie parametrów wielu znanych układów radiowych zamieszczono w EP 5/2009 i 6/2009.

Układem radiowym zastosowanym w zrealizowanym urządzeniu jest nRF2401A firmy Nordic Semiconductor. Układ ten to wielokanałowy transceiver służący do dwukierunkowej transmisji danych w paśmie 2,4 GHz. Ma on zintegrowane w strukturze wszystkie niezbędne do transmisji radiowej elementy].

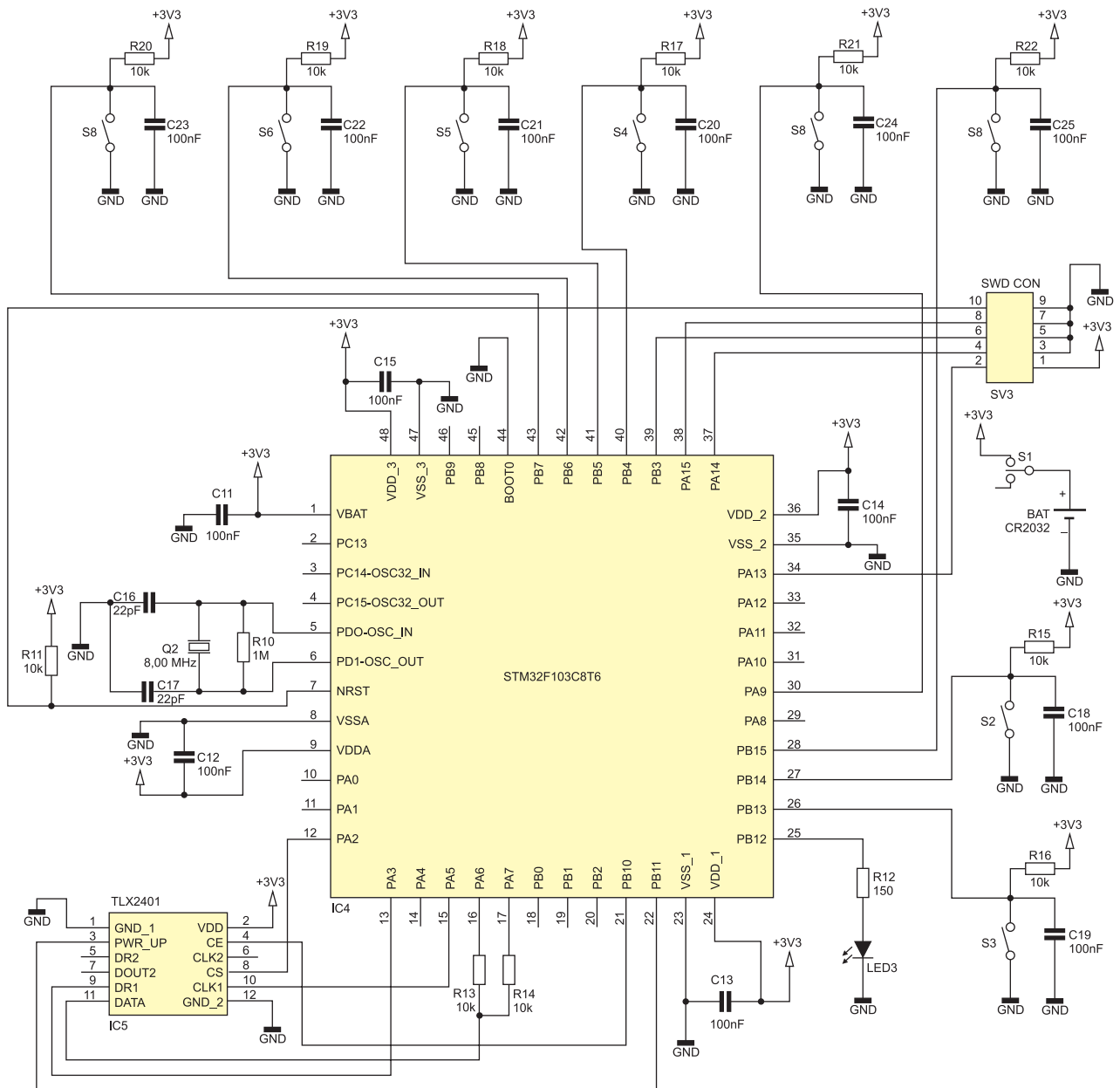
Transmisja danych pomiędzy układem, a sterującym go mikrokontrolerem odbywa

się za pomocą 6-przewodowego interfejsu zrealizowanego programowo w mikrokontrolerze (4 linie sterujące, dwukierunkowa linia danych, linia sygnału zegarowego) lub 7-przewodowego zbudowanego z użyciem interfejsu SPI (4 linie sterujące, MISO, MOSI, SCK) [10]. Drugi sposób połączenia mikrokontrolera z układem nRF2401A zilustrowano na rysunku 1.

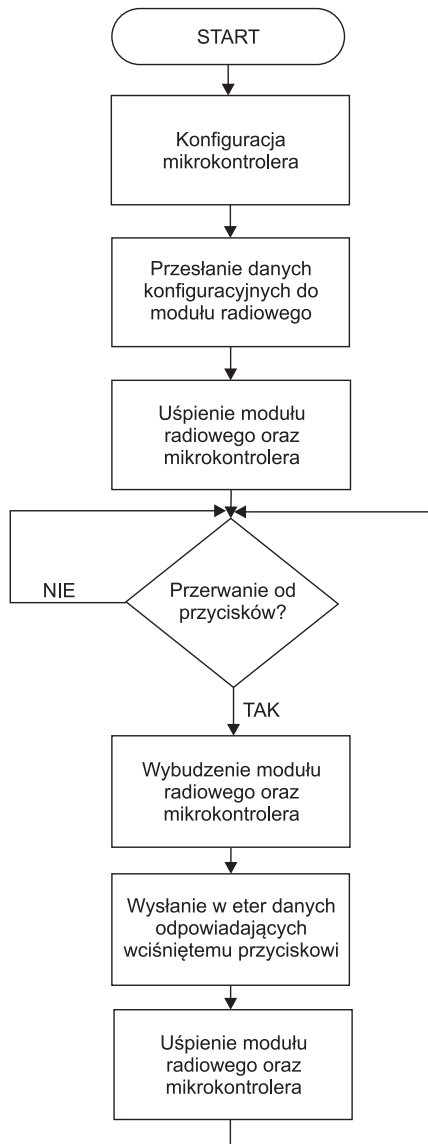
Układy nRF2401 pracują w zakresie 2400...2524 MHz, który podzielono na 125 kanałów. Łatwo zauważyć, że kolejne kanały leżą w odstępach 1 MHz. Nadajnik wysyła dane tylko w pojedynczym kanale, natomiast odbiornik może odbierać sygnał z dwóch kanałów częstotliwościowych, co umożliwia odbiór z dwóch źródeł bez ryzyka kolizji. W układzie zastosowano modulację typu GFSK, w której logiczna „1” jest reprezentowana przez dodatnie odchylenie częstotliwości nośnej, a „0” przez ujemne. Dodatkowo wygładzanie zboczy impulsów

jest przeprowadzane za pomocą filtra Gaussa, wskutek czego następuje zmniejszenie szerokości widma sygnału.

Układy firmy Nordic cechuje prostota realizacji transmisji danych torem radiowym, natomiast znacznie trudniej zrealizować ją sprzętowo. Układ dostępny jest tylko w obudowie QFN24, co utrudnia amatorski montaż. Ponadto, do prawidłowego działania transceivera jest wymagane właściwe połączenie go dodatkowymi elementami zewnętrznymi. Z tego powodu zdecydowano się na zastosowanie gotowego modułu typu TLX2401 firmy eMOD. Płytkę zawiera wszystkie elementy niezbędne do pracy, w tym antenę. Wyprocedowania do dołączenia zasilania oraz interfejsu mikrokontrolera zrealizowano w postaci dwurzędowego złącza szpilkowego. Zasięg modułów TLX2401 wynosi do około 100 metrów w terenie otwartym i do kilkunastu metrów w pomieszczeniach przy prędkości transmisji do 1 Mbit/s.



Rysunek 3. Schemat ideowy modułu sterującego (mobilnego)



Rysunek 4. Schemat blokowy programu modułu sterującego

Układem scalonym zastosowanym w urządzeniu do budowy zasilacza jest stabilizator napięcia. Wartość napięcia dostępnego na złączu USB wynosi 5 V, natomiast napięcie zasilania elementów układu wykonawczego 3,3 V. W związku z tym jest wymagany stabilizator o szacunkowej obciążalności do 100 mA. Wybrano układ MCP1802T-33 firmy Microchip. Do jego zalet można zaliczyć: obudowę SOT23, niewielką liczbę zewnętrznych elementów, mały prąd upływności, wbudowany ogranicznik poboru prądu oraz mała wartość współczynnika PSRR świadczącego o małym wpływie zmian napięcia wejściowego na napięcie wyjściowe.

Moduł wykonawczy

Moduły nadawczy i wykonawczy są do siebie zbliżone pod względem konstrukcyjnym. Obydwa zawierają jednakowe elementy, jakimi są mikrokontrolery oraz moduły do transmisji bezprzewodowej uzupełnione o elementy dodatkowe umożliwiające realizację funkcji zgodnych z ich przeznaczeniem

(baterię i przyciski w przypadku modułu sterującego oraz wtyk USB i stabilizator napięcia w przypadku modułu wykonawczego).

Schemat ideowy modułu wykonawczego przedstawiono na **rysunku 3**. Jego głównym elementem jest mikrokontroler STM32F103C8T6. Układ jest zasilany poprzez wyprowadzenie VBAT, parę wyprowadzeń VDDA-VSSA oraz trzy pary VDD1...3-VSS1...3. Do pinów zasilających doprowadzono napięcie 3,3 V. Między każde wyprowadzenie o potencjale dodatnim i masy (możliwie blisko układu) dołączono ceramiczne kondensatory filtrujące C1...C5 o pojemności 100 nF.

Mikrokontroler jest taktowany sygnałem o częstotliwości uzyskiwanym z generatora PLL z zewnętrznym rezonatorem kwarcowym Q1 (8 MHz). Dodatkowymi elementami generatora są kondensatory C6, C7 (22 pF) oraz rezystor R2 (1 MΩ).

Programowanie układu i debugowanie jego programu odbywa się za pomocą interfejsu SWD, którego linie sygnałowe są wyprowadzone na gniazdo SV1. W wersji uproszczonej interfejs ten wymaga zaledwie dwóch linii – sygnału zegarowego i danych. Dodatkowo, do gniazda doprowadzono linię zerowania mikrokontrolera, na której panuje stan ustalony przez rezystor podciągający R1.

Wyprowadzenie BOOT0 mikrokontrolera służy do wyboru rodzaju pamięci programu. Jest ona połączona z masą, dzięki czemu mikrokontroler wykonuje program z wewnętrznej pamięci Flash.

Linie sygnałowe USB D+ oraz USB D- są dołączone poprzez rezystory R4 i R5 do odpowiadających im pinów mikrokontrolera (odpowiednio: PA12, PA11). Do prawidłowego działania interfejsu USB konieczne jest podłączenie do jednej z linii sygnałowych rezystora podciągającego, wskutek czego kontroler USB w komputerze jest informowany o prędkości transmisji USB. Aby zapewnić kompatybilność ze standardem *Full Speed* (dla *High Speed* jest analogicznie) rezystor podciągający R3 jest dołączony do linii USB D+ (w przypadku trybu *Low Speed* rezystor powinien być dołączony do linii USB D-).

Napięcie wejściowe stabilizatora jest pobierane z gniazda USB. Prawidłowa praca jest sygnalizowana przez świecenie zielonej diody LED.

Mikrokontroler komunikuje się z modułem do transmisji radiowej TLX2401 przez interfejs SPI. Ponieważ SPI ma wejście (MISO) i wyjście danych (MOSI), natomiast moduł pojedynczą, dwukierunkową linię do ich transmisji, to konieczne było połączenie ze sobą MOSI (PA7) i MISO (PA6) [10]. Aby linie nie zakłócały się wzajemnie, szeregowo z każdą z nich włączono rezystory R7 i R8. Interfejs SPI łączący mikrokontroler z modułem TLX2401 ma linię zegarową CLK (PA5) oraz wyboru CS (PA2).

Podczas transmisji musi być obsługiwanych kilka dodatkowych wyprowadzeń

sterujących transceivera, do których należą: PWR UP (PB11) umożliwiające przejście układu w stan uśpienia, DR1 (PA3) sygnalizujące gotowość danych do odbioru, CE (PB10) pozwalające na wybór trybu działania (praca normalna lub tryb konfigurowania).

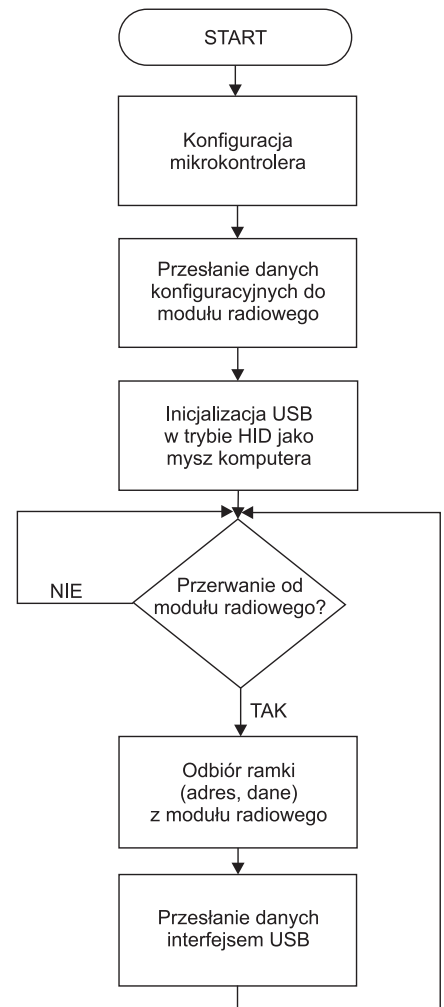
Modułu sterujący

Schemat ideowy modułu sterującego zamieszczono na **rysunku 3**. Podobnie jak w przypadku modułu wykonawczego, jego najważniejszym elementem jest mikrokontroler STM32F103C8T6.

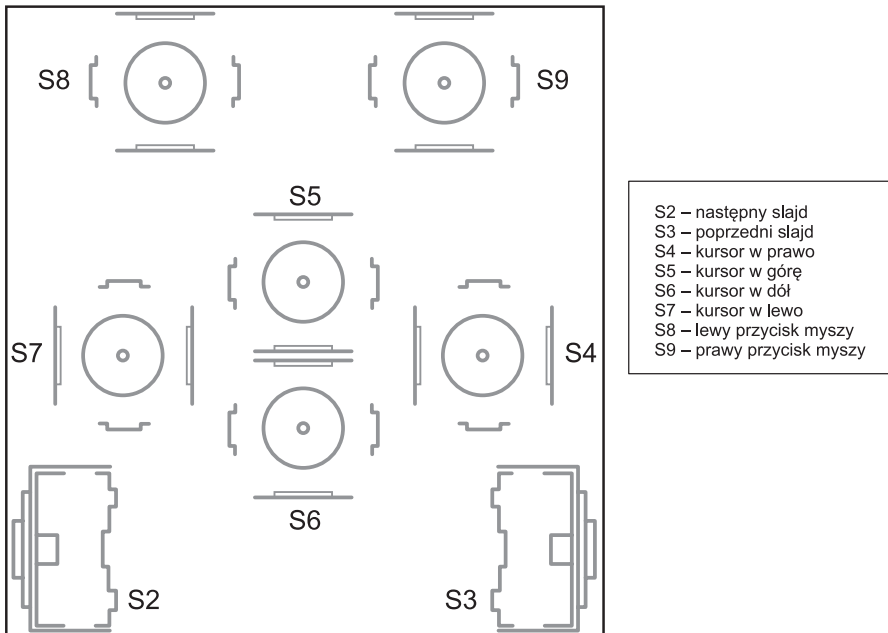
Podobieństw między modułem sterującym i modułem wykonawczym jest więcej. Oprócz takiego samego mikrokontrolera, identyczny jest również moduł do transmisji radiowej i sposób jego dołączenia. Na płytce modułu zamontowano przyciski, które służą do sterowania kursorem myszy (kliknięcia myszy, ruch kursora) oraz zmiany slajdów. Z uwagi na jego mobilny charakter zmieniono zasilanie – wszystkie elementy są zasilane z 3 V baterii CR2032.

Działanie i obsługa

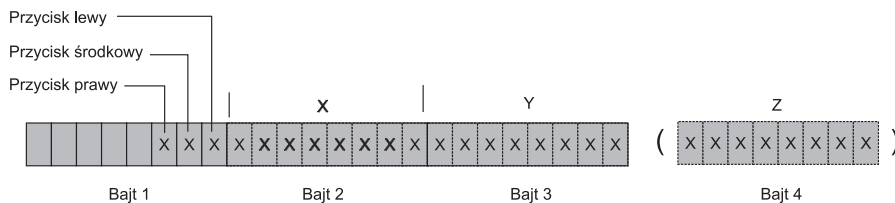
Ponieważ prezydent składa się z dwóch niezależnych modułów, więc podczas jego



Rysunek 5. Schemat blokowy programu modułu wykonawczego



Rysunek 6. Rozmieszczenie klawiszy na module sterującym i przyporządkowane im funkcje

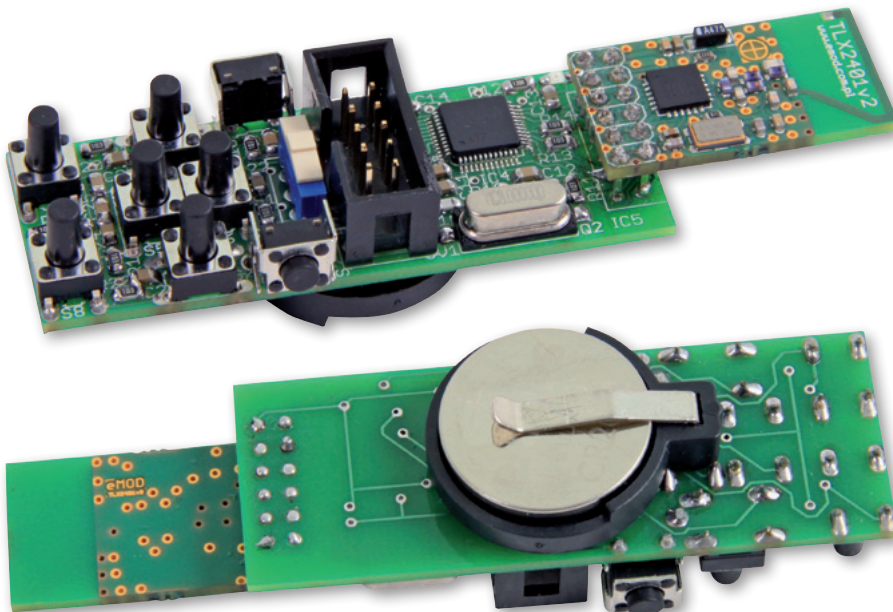


Rysunek 7. Struktura raportu zgodna z protokołem wymiany danych dla myszy HID, z której korzysta urządzenie prezentera

użytkownika każdy z modułów musi być włączony. Ważna jest też właściwa odległość pomiędzy modułami, która nie może być większa od zasięgu transmisji. Schemat budowy algorytmów działania modułu sterującego zamieszczono na **rysunku 4**, a wykonawczego na **rysunku 5**.

Początkowe działanie mikrokontrolera sprowadza się do konfigurowania: zegarów (taktowanie z generatora z zewnętrznym

oscylatorem kwarcowym częstotliwością zwielokrotnią pętlą PLL do 16 MHz), pinów (doprowadzeń przycisków oraz modułu radiowego), peryferiów (kontrolery przerwań EXTI oraz NVIC, interfejs SPI). Następnie jest inicjowany moduł radiowy, do którego zostają przesłane nastawy trybu nadawania ShockBurst. Po tym moduł zostaje wprowadzony w tryb uśpienia, z którego mikrokontroler wybudza go gdy trzeba wysłać dane.



Po wykonaniu tych operacji moduł sterujący jest gotowy do pracy.

Zastosowany tryb *SLEEP* jest podstawowym trybem o obniżonym poborze prądu w układach rodziny STM32 i innych z rdzeniem ARM. Pobór prądu w tym trybie zależy od częstotliwości sygnału zegarowego oraz liczby włączonych peryferiów i waha się w granicach 0,5...15 mA. W tym trybie rdzeń zostaje wyłączony, natomiast wszystkie pozostałe bloki funkcjonalne są w stanie aktywnym. Dzięki temu współpracuje z urządzeniami w oparciu o przerwanie, gdyż umożliwia wybudzenie układu zdarzeniami zewnętrznymi. Nadajnik prezentera jest wybudzany przerwaniem od przycisków.

Rozmieszczenie przycisków na płytce oraz ich funkcje zostały zilustrowane na **rysunku 6**. Oprócz podstawowej funkcji zmiany slajdów prezentacji, przewidziano sterowanie ruchem kursora oraz lewym i prawym przyciskiem myszy.

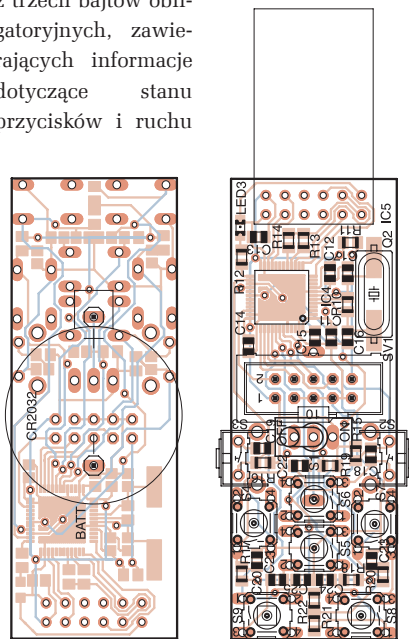
Przyciśnięcie dowolnego przycisku powoduje generowanie zbocza opadającego, co wywołuje przerwanie i uruchamia mikrokontroler. Wybudzony identyfikuje linię – źródło przerwania, a następnie za pomocą modułu radiowego wysyła odpowiedni pakiet danych do modułu wykonawczego. Czynność ta jest sygnalizowana krótkotrwałym świeceniem diody LED. Po obsłużeniu przerwania mikrokontroler oraz moduł radiowy wracają do trybu uśpienia.

Na podstawie wykonanych pomiarów stwierdzono, że moduł sterujący podczas pracy w trybie czuwania pobiera około 2,5 mA, natomiast w trybie aktywnym (podczas obsługi wciśniętego przycisku i transmisji radiowej) pobór prądu wzrasta do około 13 mA.

Moduł wykonawczy rozpoczyna działanie po dołączeniu go do gniazda USB. Pierwsza faza działania jest podobna do operacji wykonywanych przez moduł sterujący. Następnie konfigurowanie mikrokontrolera, po czym przesłane są nastawy do modułu radiowego i jest włączany odbiornik. Następnie jest inicjowany interfejs USB, który zostaje uruchomiony w trybie HID (*Human Interface Device*).

Klasa HID opisuje grupę urządzeń peryferyjnych służących do wprowadzania różnego typu danych do komputera. Każde urządzenie identyfikowane jest za pomocą tak zwanych deskryptorów raportu, które są zbiorem informacji opisujących ich cechy i parametry. W specyfikacji urządzeń klasy HID pewne standardowe grupy urządzeń (np. klawiatury) są predefiniowane i mają wspólny deskryptor, dzięki czemu korzystają z jednego sterownika w komputerze, który jest wbudowany w system operacyjny. Zaletą tego rozwiązania jest brak konieczności instalowania dodatkowych sterowników do obsługi urządzenia. Jest ono przygotowane do pracy z komputerem natychmiast po przyłączeniu do niego.

Dzięki temu urządzenie prezentera jest rozpoznawane przez komputer jako mysz i dlatego jest mu udostępniona możliwość kontroli kursora, przycisków i rolki używanej do zmiany slajdów w prezentacjach Power Point. Urządzenia klasy HID komunikują się z komputerem poprzez struktury danych zwane raportami, z wykorzystaniem kontrolnych lub przerwaniowych transferów danych. Są to pakiety złożone z kilku bajtów danych, w których przekazywane są informacje użytkowe. Przykładowy raport charakterystyczny dla myszy komputerowej, z którego korzysta urządzenie prezentera, przedstawiono na **rysunku 7**. Składa się on z trzech bajtów obli-gatoryjnych, zawierających informacje dotyczące stanu przycisków i ruchu



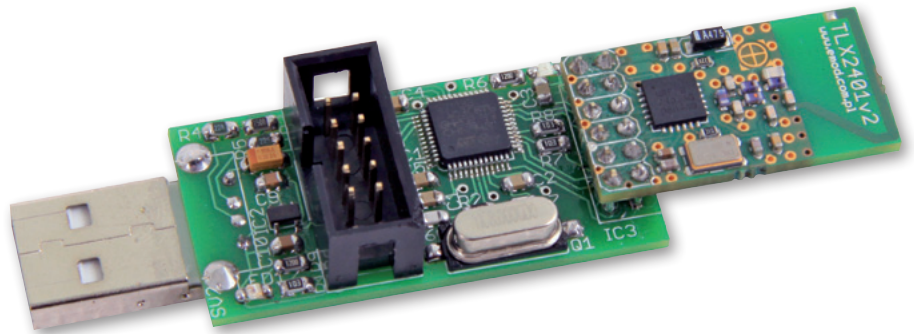
Rysunek 8. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej modułu sterującego

muszy w obu płaszczyznach oraz jednego bajtu nieobowiązkowego, w którym przechowywana jest informacja o ruchu rolki.

Moduł wykonawczy obsługuje transmisję radiową (odbior ramki z modułu sterującego) i komunikację USB w trybie urządzenia myszy klasy HID. Pozwala to na przekazywanie informacji o przyciskach modułu sterującego do komputera (odbierane są tam jako ruch kursora, przyciski myszy oraz zmiana pozycji rolki), co umożliwi kontrolowanie zmiany slajdów w prezentacjach.

Montaż

Schemat montażowy modułu sterującego przedstawiono na **rysunku 8**, natomiast modułu wykonawczego na **rysunku 9**. Ze



względu na niewielką liczbę elementów, montaż nie jest skomplikowany. Warto zaopatrzyć się w pęsetę, plecionkę oraz topnik, dzięki którym montaż przebiegnie szybko oraz będzie estetyczny.

W pierwszej kolejności w obu modułach należy przylutować mikrokontrolery. Najlepiej zacząć od przytwierdzenia układów do płytek drukowanych, przylutowując ich dwa skrajne wyprowadzenia. Następnie, mając już układy w odpowiedniej pozycji, można przystąpić do pokrycia pozostałych pinów cyną. W ostatnim kroku jest korzystnie zdjąć nadmiar cyny za pomocą plecionki. Cały proces lutowania mikrokontrolerów należy przeprowadzić uważnie, gdyż raster między sąsiednimi pinami wynosi tylko 0,5 mm.

Po zakończeniu lutowania mikrokontrolerów można przejść do montażu pozostałych elementów SMD. Jako pierwszy montujemy stabilizator napięcia, następnie diody LED i rezonatory, a w ostatniej kolejności elementy bierne – rezystory i kondensatory. Lutując kondensator C8 należy zwrócić uwagę na jego polaryzację.

W ostatniej fazie montażu należy przytwierdzić największe elementy, do których należą: przyciski, wtyk USB, gniazda IDC10, przełącznik suwakowy, podstawka pod baterię oraz moduły radiowe TLX2401.

Po podłączeniu modułów do napięcia zasilania należy sprawdzić napięcia zasilające. Prawidłowe wartości to: 3,3 V dla modułu wykonawczego oraz 3 V dla modułu sterującego. Po tej kontroli można przystąpić do zaprogramowania mikrokontrolerów. Do tego celu można użyć np. programatora RLink oraz środowiska Raisonance RIDE7, w którym został napisany program. Prawidłową pracę mikrokontrolera można sprawdzić odczytując jego numer ID.

Podsumowanie

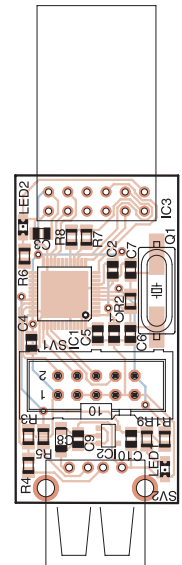
Na podstawie przeprowadzonych testów urządzenia, polegających na jego długotrwałym użytkowaniu można stwierdzić, że

działa ono prawidłowo. Możliwy jest rozwój tego projektu. Dotyczyć on może dodania nowych funkcji (np. obsługa wyświetlacza, dołączenie wskaźnika laserowego) oraz optymalizacji budowy.

Szymon Panecki
szymon.panecki@pwr.wroc.pl

Bibliografia

- [1] Daniluk A. „USB Praktyczne programowanie z Windows API w C++”, 2009
- [2] EP 5/2009 „Partnerstwo bezprzewodowe. Układy do transmisji w paśmie ISM”
- [3] EP 6/2009 „Partnerstwo bezprzewodowe. Moduły do transmisji w paśmie ISM”
- [4] EP Plus 1/2007 „Moduły radiowe firmy eMOD”
- [5] Mielczarek W. „USB Uniwersalny interfejs szeregowy”, 2005
- [6] Yin J. „The Definitive Guide to the ARM Cortex-M3”, 2007
- [7] www.arm.com „SWD – Serial Wire Debug”
- [8] www.emod.com.pl TLX2401 datasheet
- [9] www.microchip.com MCP1802 datasheet
- [10] www.nordicsemi.com „Interfacing nRF2401 with SPI”
- [11] www.nordicsemi.com „nRF2401 product specification”
- [12] www.pl.wikipedia.org „Modulacja FSK”
- [13] www.st.com „STM32F10xxx hardware development: getting started”



Rysunek 9. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej modułu wykonawczego

R E K L A M M A

forum.ep.com.pl