

LogicMaster

– płytka prototypowa dla CPLD

Chciałbym zaproponować Czytelnikom budowę niezbyt skomplikowanej płytki testowej dla układów CPLD. Pozwoli ona zapoznać się z układem programowalnym XC9572XL firmy Xilinx. Wybór tego układu scalonego był podyktowany trzema bardzo ważnymi zaletami, jakie się z nim wiążą: dostępność w polskich sklepach internetowych (w ilościach detalicznych), darmowe narzędzia i dobrze udokumentowany, prosty programator. Kombinacja tych trzech czynników pozwoliła stworzyć, przy małym nakładzie środków, funkcjonalne urządzenie do pracy z CPLD. W dalszej części artykułu przedstawię budowę i sposób działania prezentowanego modułu, aby Czytelnicy mogli prowadzić własne eksperymenty. Dużym ułatwieniem będzie na pewno integracja programatora. Wgranie własnego oprogramowania ograniczy się jedynie do podłączenia komputera przez standardowy port LPT (potrzebny będzie przewód dostępny w sklepach komputerowych).

Urządzenie łączy w sobie zalety symulatora obwodów elektronicznych (rysowanie połączeń, biblioteka elementów, możliwość bezproblemowej modyfikacji) z zestawem uruchomieniowym, pozwalającym obejrzeć efekty pracy w rzeczywistości. Daje to nieograniczone możliwości budowania i uruchamiania własnych projektów na zaproponowanej platformie sprzętowej.

Być może u niektórych pojawi się nurtujące pytanie: po co właściwie budować kolejny moduł uruchomieniowy, skoro można bez problemu znaleźć kilka propozycji w sklepach internetowych? Jednym z powodów jest możliwość dostosowania takiej konstrukcji do własnych potrzeb i dodanie wielu elementów,

jakich nie spotyka się w gotowych rozwiązaniach (np. odbiornik podczerwieni, przełącznik, tranzystor dużej mocy, etc.). Drugi powód to kurs, którego pierwszy odcinek znajdzie się w następnym numerze EdW. Będzie on oparty na opisanej płytce testowej i przedstawi sposób obsługi zawartych na niej elementów, posługiwane się środowiskiem WebPACK ISE itp. – szczególnie za miesiąc, w pierwszym odcinku kursu.

Pozostaje mi zachęcić Czytelników do zapoznania się z przygotowanym materiałem, który, mam nadzieję, utrzyma poziom dotychczasowych tego typu publikacji – będzie przystępny i pokaże praktyczne aspekty związane z CPLD.

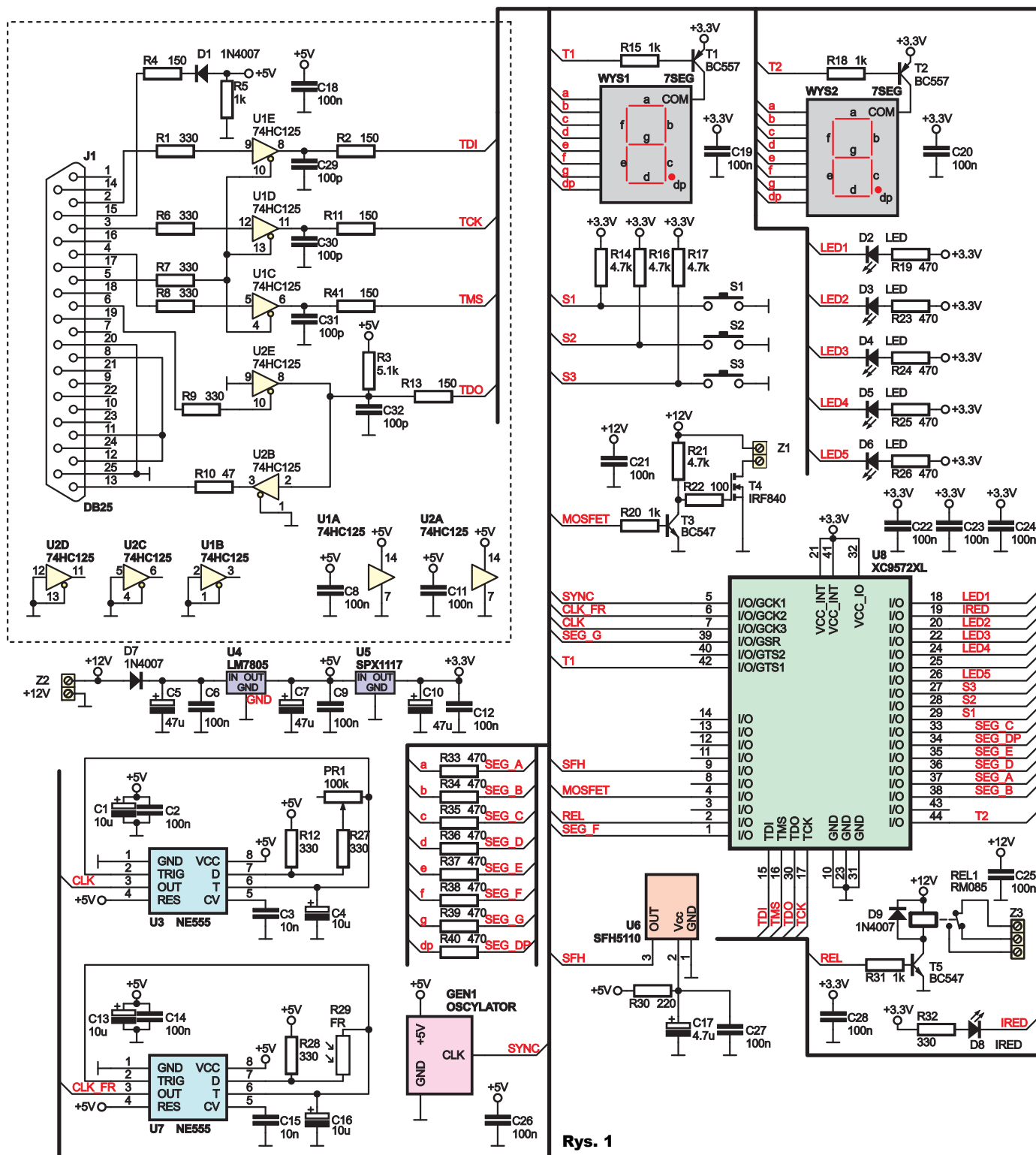
Budowa płytki prototypowej

Schemat płytki prototypowej pokazany jest na **rysunku 1**. Najważniejszym elementem jest układ programowalny U8. Ma on 72 makrokomórki logiczne, co przekłada się na około 1600 bramek logicznych. Zasoby te są wystarczające do przygotowania niezbyt złożonych projektów i całkowicie wystarczą na potrzeby niniejszego kursu.

Urządzenie jest zasilane przez złącze Z2 napięciem stabilizowanym 12V, które jest wymagane do zasilenia przełącznika. Konieczne jest dalsze jego obniżenie, tak aby uzyskać napięcie 3,3V, niezbędne dla układu programowalnego. Dokonuje tego scalony stabilizator U5. Niestety niektóre podzespoły wymagają napięcia 5V, więc konieczny był dodatkowy stabilizator U4. Dioda D7 stanowi zabezpieczenie części cyfrowej przed odwrotną polaryzacją, która mogłaby prowadzić do zniszczenia urządzenia.

Diody D2...D6 są prostym interfejsem użytkownika. Dołączono je do portów wejścia-wyjścia za pomocą rezystorów R19, R23...R26, których zadaniem jest ograniczenie płynącego prądu. Diodę LED można włączyć poprzez wystawienie stanu niskiego na stosowny port.

Do dyspozycji Czytelnika są również dwa wyświetlacze 7-segmentowe. Jak łatwo zauważyć, do obu wyświetlaczy doprowadzone są te same sygnały (a, b, c, d, e, f, g, dp), które przez rezystory ograniczające są podłączone do układu programowalnego. Konstrukcja urządzenia jest tak pomyślana, że dla danej kombinacji tych sygnałów na obu wyświetlaczach pojawia się identyczny symbol. Pozwala to zaoszczędzić sporo pracy, gdyż nie ma potrzeby definiowania dwóch różnych zestawów kodów do wyświetlania cyfr. Gdyby połączenia były doprowadzone do wyświetlacza w różny sposób, to zaświecenie np. segmentu *a* w pierwszym powodowałoby zaświecenie np. segmentu *dp* w drugim. Nie oznacza to jednak, że na obu wyświetlaczach trzeba wyświetlać zawsze to samo. Do układu programowalnego doprowadzone są sygnały T1 oraz T2 sterujące włączeniem danego wyświetlacza. Dzięki obecności prostych kluczy złożonych z tranzystorów T1 i T2 można włączać i wyłączać oba wyświetlacze niezależnie. Chcąc wyświetlić różne cyfry na wyświetlaczach, można włączyć pierwszy tranzystor sterujący WYS1, podać kod żądanej cyfry na linie sterujące (*a...dp*), odczekać chwilę, wyłączyć WYS1, zmienić kombinację sygnałów sterujących na odpowiadającą drugiej cyfrze i włączyć WYS2. Po chwili proces ten zaczyna się od początku,



Rys. 1

tzn. od wystawienia kodu pierwszej cyfry i włączenia WYS1. Taki sposób sterowania wyświetlaczem nazywa się sterowaniem multipleksowanym.

Na interfejs użytkownika składają się także przyciski S1, S2, S3, które po naciśnięciu podają na port I/O stan niski. Przycisk puszczone wymusza na porcie stan wysoki ze względu na obecność rezystorów podciągających R14, R16, R17.

Do złącza Z1 będzie można podłączyć urządzenie zasilane napięciem 12V

i sterować jego pracą. W założeniu ma to być mała wiertarka modelarska, którą być może Czytelnik stosuje do wykonywania otworów w płytkach drukowanych. W dalszej części kursu będzie lekcja poświęcona budowie generatora PWM (modulacja szerokości impulsu), dzięki czemu będzie możliwe sterowanie prędkością obrotową takiej wiertarki. Warto zauważyć, że bramka tranzystora T4 nie może być bezpośrednio podłączona do układu programowalnego.

Po pierwsze, konieczny jest rezystor, który ograniczy prąd bramki. Co prawda tranzystory MOSFET są sterowane napięciem, jednakże bramka oddzielona jest od podłoża cienką warstwą izolatora i w efekcie tworzy się kondensator o stosunkowo dużej pojemności (1,3nF). W momencie zmiany stanu na bramce należy go przeładować, czemu towarzyszy duży impuls prądowy mogący prowadzić do uszkodzenia układu – stąd obecność rezystora R22.

Napięcie pełnego otwarcia tranzystora MOSFET może sięgnąć 4V, a układ programowalny dostarcza jedynie 3,3V. W niektórych wypadkach układ działałby bez problemu, a w innych nie. Kupowanie kilku tranzystorów i wybieranie odpowiedniego mija się z celem, więc konieczne było inne rozwiązanie. Jest nim tranzystor bipolarny T3. Kiedy jest on zatkany, bramka T4 jest podciągana do +12V przez rezystory R21 i R22. Napięcie jest większe od granicznej wartości 4V, więc tranzystor jest w pełni otwarty. Po wprowadzeniu T3 w stan nasycenia (stan wysoki na porcie wyjściowym dołączonym do R20) następuje dołączenie masy do rezystorów R21 i R22. Bramka T4 jest dołączona do masy poprzez rezystor R22 i następuje zatkanie tranzystora MOSFET.

Kolejnym modułem zaimplementowanym na płycie prototypowej jest przekaźnik REL1 służący do włączania i wyłączania np. żarówki. Pozwoli to w przyszłości zbudować prosty układ automatyki do sterowania światła. Wysterowanie przekaźnika również nie jest możliwe bezpośrednio z portu układu programowalnego, więc konieczne było zastosowanie tranzystora T5 w roli klucza.

Na płycie obecny jest moduł toru podczerwieni, który pozwoli wykonać takie urządzenia, jak bariera podczerwieni czy licznik przechodzących osób. Dioda nadawcza podczerwieni D8 umożliwi wysyłanie wiązki podczerwieni, która będzie następnie odbierana przez scalony odbiornik typu SFH (U6). Rezystor R32 ogranicza prąd płynący przez diodę, aby uszkodzeniu nie uległ port ani sama dioda IR. Elementy R30, C17, C27 tworzą prosty filtr zapobiegający przedostawaniu się zakłóceń do odbiornika podczerwieni po szynie zasilania.

Układ programowalny z natury rzeczy jest synchroniczny, więc w wielu przypadkach do jego poprawnej pracy będzie potrzebny sygnał zegarowy. Dodatkowo konieczne będzie wygenerowanie sygnału 36kHz do sterowania diodą IR. Do tego celu zastosowano generator kwarcowy GEN1. Zapewnia on sygnał synchronizacyjny i po podzieleniu przez dzielniki utworzone wewnątrz układu programowalnego możliwe będzie wysterowanie diody IR. Generator ten musi być zasilany napięciem 5V, podczas gdy układ CPLD zasilany jest z napięcia 3,3V. W normalnym przypadku konieczne jest użycie układu konwer-

sji napięcia, który dostosuje je do poziomu, jakim zasilany jest układ cyfrowy. W tym przypadku nie było to konieczne, gdyż producent, czyli firma Xilinx, wbudował stosowne zabezpieczenia w układ CPLD, dzięki czemu akceptuje on sygnały o napięciu 5V.

Do układu programowalnego dołączony jest sygnał CLK, pochodzący od układu U3, którym jest popularna kostka NE555. Pracuje ona w typowej konfiguracji i pełni rolę przestrajanego generatora sygnału prostokątnego. Umożliwia ustawienie częstotliwości wyjściowej w zakresie od około 1Hz do 100Hz za pomocą potencjometru PR1. Rozwiązanie takie pozwoli np. taktować liczniki sygnałem o niskiej częstotliwości i obserwować ich pracę.

Na schemacie znajduje się jeszcze jeden układ NE555, oznaczony symbolem U7. Pracuje on w identycznej konfiguracji, z tą różnicą, że częstotliwość sygnału prostokątnego zmienia się wraz ze zmianą rezystancji fotorezystora R29. Otrzymano w ten prosty sposób możliwość pomiaru oświetlenia zewnętrznego. Jest to drugi element (po przekaźniku), który będzie wymagany do implementacji prostego sterownika oświetlenia.

Zamiast obchodzenia problemu pomiaru oświetlenia przez wykorzystanie układu U7, można byłoby wstawić przetwornik ADC, jednakże uznałem, że proste rozwiązanie z NE555 będzie w zupełności wystarczające. Uniknięto w ten sposób niepotrzebnej komplikacji płytki drukowanej oraz podniesienia kosztu urządzenia.

Wszystkie sygnały zegarowe (CLK, CLK_FR, SYNC) zostały doprowadzone do wejść GCKn, które są przeznaczone do tego celu.

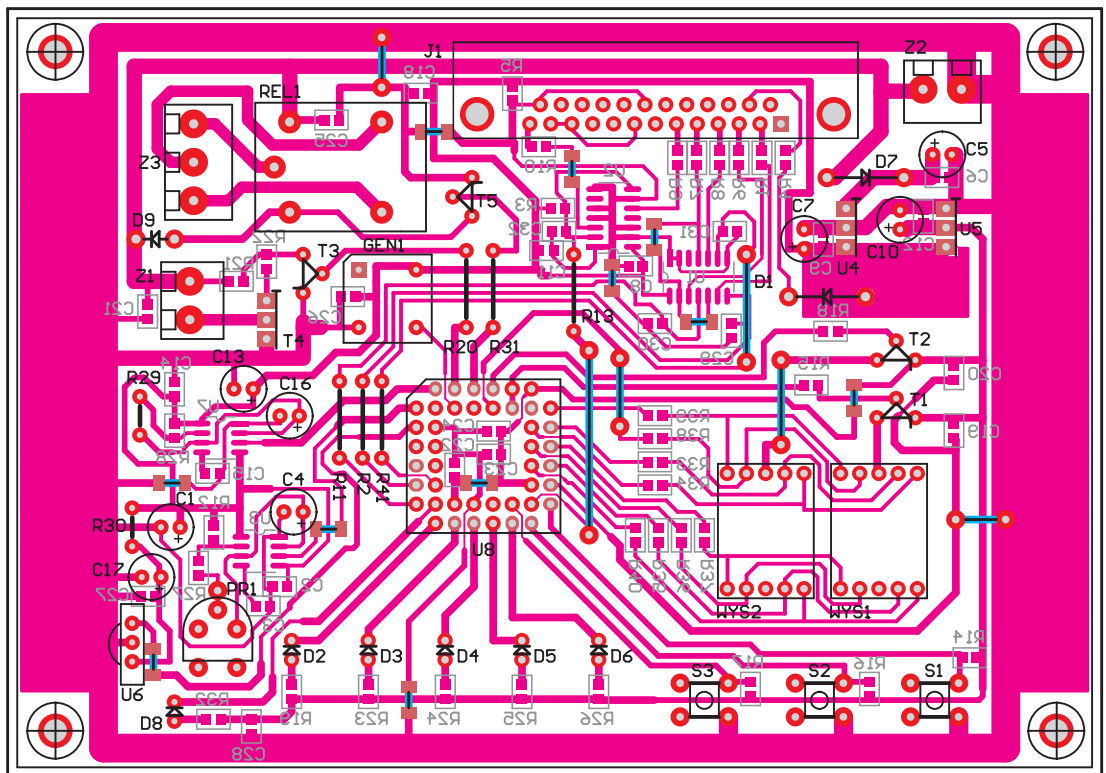
Na schemacie, oprócz omówionych powyżej elementów, znajduje się jeszcze moduł otoczony przerywanymi kreskami. Nietrudno się domyślić, że jest to programator JTAG zintegrowany z płytką prototypową. Dzięki integracji tego układu, programowanie CPLD sprowadza się do uruchomienia programu iMPACT (omówiony zostanie później) i przesłania pliku konfiguracyjnego przez przewód LPT (standardowy przewód). Płytkę prototypową można wykorzystać w przyszłości również jako programator – po umieszczeniu układu XC9536XL lub XC9572XL w podstawce można wgrać program i przełożyć układ do innego urządzenia. W oparciu o fragment zaznaczony przerywaną kreską można wykonać płytkę drukowaną i stworzyć dedykowany programator do swoich opracowań. Jego zaletą będzie możliwość programowania układów CPLD w systemie.

W tym miejscu pragnę wspomnieć, że zaznaczony fragment nie jest moim opracowaniem i pochodzi z materiałów firmy Xilinx (JTAG Parallel Download Cable). Moja rola sprowadziła się w tym miejscu do przerysowania tego schematu i zaprojektowania do niego druku.

Testowanie poprawności montażu

Układ można zmontować na płycie drukowanej pokazanej na rysunku 2. Przed przystąpieniem do wykonywania ćwiczeń, które rozpoczną się w przyszłym miesiącu, należy bardzo dokładnie przetestować urządzenie. Jeżeli na dalszym etapie

Rys. 2

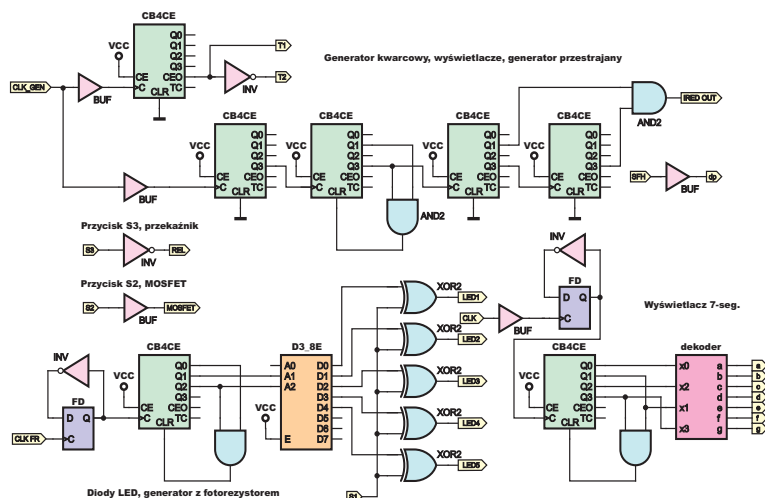


pojawiają się błędy, będziesz miał Czytelniku, pewność, że wynikają one z błędów w implementacji, a nie z powodów czysto sprzętowych. Jeżeli zaniedbasz sprawdzenie poprawności montażu, takiej gwarancji nie będzie i ustalenie, co jest odpowiedzialne za błędy w pracy (sprzęt czy implementacja), będzie znacznie trudniejsze i czasochłonne.

Przed rozpoczęciem testowania należy zastanowić się w jaki sposób wgrać test do układu CPLD. W tym odcinku pominięta zostanie kwestia, JAK zbudować taki test, gdyż wykorzystamy gotowy test dostępny na Elportalu (aczkolwiek niecierpliwymi i ambitnymi Czytelnikami znajdują tam również pliki źródłowe testu, które można otworzyć w środowisku WebPACK ISE, obejrzeć, zmienić itp.). Implementacją projektów zajmować się będziemy w kolejnych częściach. Schemat tego testu widać na **rysunku 3**.

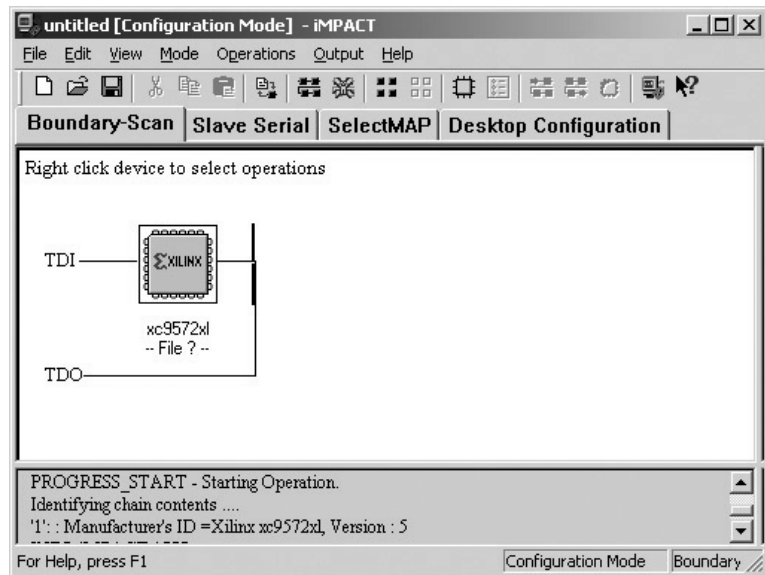
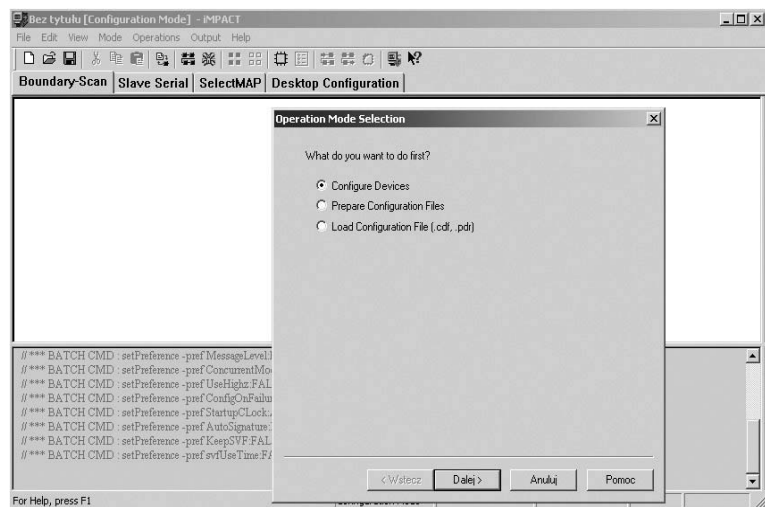
Wgranie testu rozpoczniemy od wybrania *Start->Programy->Xilinx ISE 6->Accessories->iMPACT*. Uruchomiony zostanie program widoczny na **rysunku 4**. Zanim zaczniesz klikać *Dalej*, upewnij się, że płytka prototypowa jest zasilana napięciem +12V i jest podłączona do portu LPT za pomocą stosownego przewodu. Kiedy już tak będzie, klikaj *Dalej* w kolejnych czterech okienkach. Jeżeli na płytce nie ma błędów montażowych, w podstawce znajduje się układ CPLD, układ jest zasilany i podłączony do portu, to powinien ukazać się znaleziony przez program układ (**rysunek 5**). Klikając dwukrotnie na ikonkę układu CPLD, otworzy okno wyboru pliku, w którym należy odnaleźć pobrany uprzednio z Elportalu plik z testem (*test_pcb.jed*) i wybrać z menu *Operations* pozycję *Program*. W otwartym oknie zaznaczamy jedynie *Erase Before Programming* i klikamy OK. Test zostanie załadowany. Prześledźmy teraz pracę poszczególnych bloków razem z sugestiami, co może być uszkodzone, jeśli nie pracują, tak jak powinny.

Zacznijmy od diod LED. Po zakończeniu programowania diody powinny zaświecać się kolejno, tzn. najpierw pierwsza, potem druga, trzecia, czwarta, piąta i znowu pierwsza. Jeżeli któraś z diod się nie świeci (lub jest włączona cały czas), to należy poszukać przerwy lub zwarcia



Rys. 3

Rys. 4



Rys. 5

na płytce. Możliwe również, że przy rezystorach występuje zimny lut – trzeba to sprawdzić omomierzem. Szybkość przeszukiwania jest zależna od częstotliwości generatora zbudowanego

trafi na odbiornik i w efekcie włączy się kropka – tak wygląda prawidłowa praca toru podczerwieni. Jeżeli kropka na wyświetlaczu w ogóle się nie włącza, poszukiwania przyczyny

wanego na U7, więc po osłonięciu ręką fotorezystora lub silniejszym jego oświetleniu (np. lampką) powinna się zmienić. Jeżeli tak się nie dzieje (lub diody w ogóle się nie zapalają), to należy sprawdzić czy generator pracuje, a nie zmienia się częstotliwość, czy nie ma zimnych lutów przy R29 i czy jego rezystancja ulega zmianie (po odłączeniu zasilania należy podłączyć omomierz). Przy braku oświetlenia rezystancja powinna być w granicach 50k.

Po naciśnięciu S1 stan diod LED powinien ulec zanegowaniu, tzn. tylko jedna dioda powinna być wyłączona, a pozostałe świecić. Po puszczeniu przycisku ponownie tylko jedna dioda się świeci. Gdy tak się nie dzieje, należy sprawdzić, czy na przycisku S1 jest masa oraz czy w miejscu łączenia rezystora R14 z S1 stan zmienia się między 0V a 3,3V.

Następnym krokiem jest sprawdzenie działania toru podczerwieni, czyli diody nadawczej IR i odbiornika SFH5110. Jeżeli tor pracuje prawidłowo, tzn. następuje przejście sygnału od diody do odbiornika z częstotliwością 36kHz, to na wyświetlaczach 7-segmentowych włączona zostanie kropka. Wielce prawdopodobne jest, iż kropka będzie włączona cały czas, należy nasunąć na diodę IR kawałek czarnej rurki termokurezliwej – wtedy kropka zgaśnie. Zbliżenie ręki do wylotu rurki sprawi, że wiązka światła ulegnie odbiciu,

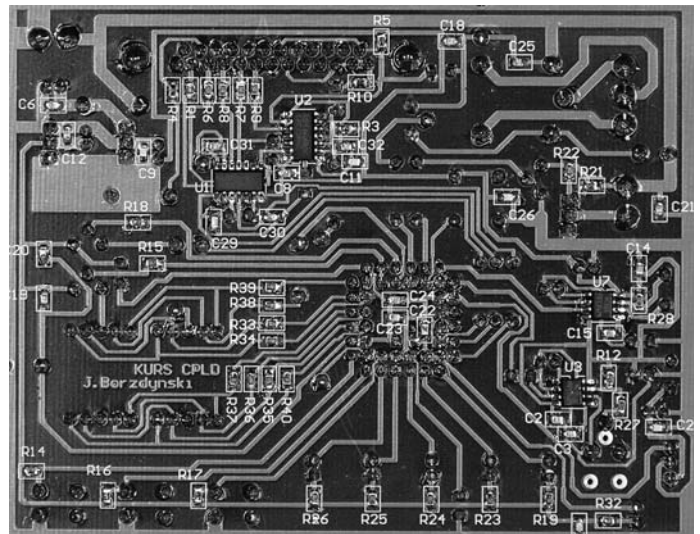
należy zacząć od podania na odbiornik wiązki podczerwieni z dowolnego pilota i obserwacji kropki – jeżeli zostanie włączona, to odbiornik pracuje prawidłowo, jeżeli nie – należy poszukać błędów na płytce (zimne luty, przerwy, etc.) lub w ostateczności wymienić odbiornik. Przyczyna może również tkwić w ścieżce łączącej układ programowalny z segmentem kropki w wyświetlaczu. Sam odbiornik można sprawdzić za pomocą diody LED z rezystorem 1k, przyłączając je do +5V oraz wyjścia układu. **UWAGA!!!** Nie należy stosować odpowiedników układu odbiorczego podczerwieni (np. TSOP1736), gdyż mają one inny rozkład wyprowadzeń. Chyba że Czytelnik uwzględni te różnice przy wlotowywaniu układu – po szczygóły odsyłam do noty katalogowej.

Po stwierdzeniu, że to nie odbiornik jest winny, pozostają następujące ewentualności: błędy montażowe diody LED (zwarcia, przerwy na druku, zimny lut albo odwrotnie wlotowana dioda) lub uszkodzony generator kwarcowy. Generator kwarcowy jest wykorzystywany również do obsługi wyświetlaczy, więc poprawność jego pracy można ocenić także na podstawie następnego testu. Jeżeli nie jest winny generator, pozostaje sprawdzić, czy dioda nie została wlotowana odwrotnie, czy nie pomyłono rezystora R32 lub w ostateczności wymienić diodę IR.

Kolejny test sprowadza się do obserwacji wyświetlaczy 7-segmentowych. Po uruchomieniu układu wskazania na obu wyświetlaczach powinny być identyczne i zmieniać się od 0 do 9. Należy zwrócić uwagę, czy świecą się wszystkie segmenty oraz czy któryś nie jest włączony na stałe. Jeżeli wyświetlacz nie pracuje zgodnie z tym opisem, pozostaje skontrolować, czy nie ma zimnych lutów przy rezy-

storach R33...R40 oraz przy samych wyświetlaczach. Jeżeli nie włącza się jeden z wyświetlaczy, odpowiedzialny za to jest uszkodzony tranzystor, przerwa na ścieżkach, lub generator kwarcowy, który odpowiada za przełączanie wyświetlaczy. Jednak jego działanie zostało sprawdzone przed chwilą. Działanie tranzystora najłatwiej jest sprawdzić łącząc rezystorem 1k bazę tranzystora do masy – powinien się wtedy włączyć dołączony do niego wyświetlacz.

Sprawdzenie przekaźnika jest bardzo proste i sprowadza się do wciśnięcia przycisku S3 – powinno być słychać jego przełączenie. Dla pewności można posłużyć się omomierzem i sprawdzić, czy odpowiednie zestyki są zwierane i rozwierane po puszczeniu przycisku. W przypadku nieprawidłowości tok postępowania jest standardowy – sprawdzenie płytki pod kątem przerwanych ścieżek, zimnych lutów itp. Należy sprawdzić również podciąganie do plusa portu 27. Przyczyną uszkodzenia może być również tranzystor – po dołączeniu jego bazy do +3,3V przez rezystor 1k powinno nastąpić przełączenie przekaźnika. Warto również zmierzyć napięcie – na jednym z wyprowadzeń cewki przekaźnika musi być napięcie +12V.



Sprawdzenie tranzystora MOSFET wygląda podobnie. Zaczynamy od podłączenia woltomierza do złącza Z1 i sprawdzenia, czy następuje zmiana napięcia z 0V na 12V po naciśnięciu przycisku S2. Jeżeli nie – pozostaje wyeliminować przyczyny takie jak zimne luty, przerwy etc. Jeżeli nie uda się w ten sposób znaleźć błędów, pozostaje sprawdzenie tranzystorów, zaczynając od MOSFET-a. Pozostawiając dołączone woltomierz do złącza Z1, należy dołączyć bramkę T4 do +12V a potem do masy poprzez rezystor 100Ω i obserwować zmianę napięcia wskazywaną przez woltomierz. Jeżeli taka zmiana nie nastąpi, pozostaje wymiana tranzystora MOSFET na sprawny. Należy się też upewnić, czy wlotowany został właściwy typ tranzystora. Po stwierdzeniu, że T4 pracuje prawidłowo, należy sprawdzić działanie T3, dołączając jego bazę do +3,3V oraz masy poprzez rezystor 1k i obserwować napięcie na woltomierzu. Gdy nie ulega ono zmianie – tranzystor jest do wymiany.

Na koniec pozostaje mi wspomnieć o pewnej zastanawiającej rzeczy, jaka pojawiła się na etapie uruchamiania prototypu niniejszej płytki testowej. Mianowicie z nieznanymi mi powodów port 40 oraz 43 nie pracowały prawidłowo, tzn. nie dawało się na nich wymusić logicznego zera. Można podejrzewać, że układ CPLD uległ uszkodzeniu. Zastanawiające jest jednakże, iż drugi egzemplarz zachowywał się identycznie... Jak wspomniałem, nie udało mi się ustalić przyczyny tego stanu rzeczy pomimo zapytań na forum firmy Xilinx. Pozostało mi jedynie obejść ten problem, co sprowadziło się do podłączenia T1 oraz segmentu F do innych wyprowadzeń. Stąd moja sugestia: jeżeli zdarzyłoby się tak, że pomimo bardzo starannej kontroli nie uda się zmusić układu do pracy, jest na to prosta i brutalna rada: przeciąć ścieżkę i dolutować ją za pomocą przewodu do innego, wolnego portu. Mam nadzieję, że nie będzie to jednak konieczne...

Wykaz elementów

Rezystory

R1,R6,R7-R9,R12,R27,R28,R32	330Ω (0805)
R3	5,1kΩ (0805)
R4	150Ω (0805)
R5,R15,R18	1kΩ (0805)
R10	47Ω (0805)
R14,R16,R17,R21	4,7kΩ (0805)
R19,R23, R24-R26,R33-R40	470Ω (0805)
R2,R11,R13,R41	150Ω
R20,R31	1kΩ
R22	100Ω (0805)
R29	FR 16kΩ...33kΩ
R30	220Ω
PR1	PR 100kΩ

Kondensatory

C1,C4,C13,C16	10μF
C17	4,7μF
C2,C6,C8,C9,C11,C12,C14,C18-C28	100nF (0805)
C29-C32	100pF (0805)
C3,C15	10nF (0805)
C5,C7,C10	47μF

Półprzewodniki

D1,D7	1N4007
D2-D6	LED
D8	IREC
D9	1N4007
T1,T2	.BC557
T3,T5	.BC547
T4	IRF840
U1,U2	74HC125 (SMD - S014)
U3,U7	NE555 (SMD - S08)
U4	LM7805
U5	.SPX1117u330617L
U6	.SFH5110
U8	.XC9572XL (PLCC44)
WYS1,WYS2	wyśw. 7-seg. wsp. anoda

Pozostałe

GEN1	24MHz
J1	.DB25 M, do druku
REL1	RM085
S1-S3	uSwitch
Z1,Z2	.ARK2
Z3	.ARK3
Podstawa PLCC44	

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2875

Jakub Borzdynski
jakub.borzdynski@elportal.pl