

Nr 98/2017, 210–216  
ISSN 1644-1818  
e-ISSN 2451-2486

## ZASTOSOWANIE UKŁADÓW PROGRAMOWALNYCH I JĘZYKA VHDL W NAUCZANIU STEROWANIA CYFROWEGO

### USE OF PROGRAMMABLE DEVICES AND LANGUAGE VHDL IN THE TEACHING OF DIGITAL CONTROL

**Krystyna Maria Noga**

Akademia Morska w Gdyni, Morska 81–87, 81-581 Gdynia, Wydział Elektryczny,  
Katedra Automatyki Okrętowej, e-mail: k.noga@we.am.gdynia.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono przykładowe zagadnienia i modele sterowane cyfrowo z wykorzystaniem układów programowalnych i języka VHDL. Zagadnienia te są omawiane na zajęciach laboratoryjnych z techniki cyfrowej na Wydziale Elektrycznym Akademii Morskiej w Gdyni dla kierunku *elektrotechnika*.

**Słowa kluczowe:** układy programowalne, cyfrowe sterowanie, język VHDL, symulacje.

**Abstract:** The article presents some examples of laboratory exercises of programmable logic devices and VHDL language which are used in teaching digital technique on Electrical Engineering Faculty in Gdynia Maritime University.

**Keywords:** digital programmable devices, digital controlling, language VHDL, simulation.

## 1. WSTĘP

Studenci Wydziału Elektrycznego Akademii Morskiej w Gdyni kierunku *elektrotechnika* układy programowalne PLD (*Programmable Logic Devices*) poznają w czasie zajęć laboratoryjnych z techniki cyfrowej (TC). Zajęcia te na studiach dziennych magisterskich i inżynierskich realizowane są odpowiednio na 2. i 3. semestrze, w wymiarze 15 i 30 godzin. Natomiast na studiach niestacjonarnych zajęcia laboratoryjne odbywają się na studiach inżynierskich i magisterskich na 4. semestrze, w wymiarze odpowiednio 15 i 10 godzin. Na studiach inżynierskich studenci wykorzystują edytor graficzny, a na studiach magisterskich edytor tekstowy. Poznają zasady sterowania cyfrowego, zasady tworzenia algorytmów, zapoznają się z dostępnym w laboratorium oprogramowaniem, tworzą własne programy, które następnie implementują w strukturach układów PLD.

Struktura funkcjonalna systemu projektowania obejmuje trzy zasadnicze etapy, tj. wprowadzenie specyfikacji projektu, przetwarzanie wprowadzonego projektu (kompilacja) oraz weryfikację i programowanie. Studenci korzystają ze środowiska *Max Plus Baseline* lub *Quartus* i języka programowania sprzętu VHDL (*Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language*). Język ten umożliwia łatwe i zwięzłe formułowanie oraz korygowanie funkcji projektowanego układu, a także modyfikowanie wcześniej utworzonego opisu.

W pierwszym etapie studenci przygotowują opis działania projektowanego układu, do czego wykorzystują edytor tekstowy lub graficzny. Edytor tekstowy umożliwia przygotowanie opisu projektowanego układu w języku specyfikacji sprzętu, nie tylko w VHDL, ale również np. w Verilogu. Język ten pozwala formułować i korygować funkcje układu oraz modyfikować i korygować wcześniej utworzony opis. Natomiast edytor graficzny służy do konstruowania schematów logicznych, pozwala wykorzystywać bibliotekę standardowych bloków funkcjonalnych i makrofunkcji. W celu uproszczenia i zwiększenia czytelności schematów możliwe jest także stosowanie tzw. magistral.

Drugi etap projektowania systemu związany jest z kompilacją i weryfikacją opracowanego projektu. Efektem końcowym tego etapu jest optymalna konstrukcja systemu i jej rozmieszczenie w wybranej strukturze układu programowalnego, przy czym do dyspozycji studentów są układy CPLD i FPGA firmy Altera.

W trzecim etapie następuje ocena poprawności opracowanej konstrukcji pod względem funkcjonalnym oraz jej analiza w dziedzinie czasu. Taka weryfikacja polega na przeprowadzeniu symulacji w języku przebiegów czasowych. Polega ona na wprowadzeniu informacji o sygnałach wejściowych układu, które następnie są automatycznie przetwarzane na informacje o sygnałach wyjściowych. W efekcie końcowym projekt, który został pozytywnie zweryfikowany, można w procesie programowania zrealizować w wybranym układzie programowalnym.

W artykule przedstawiono przykładowe zagadnienia i modele sterowane cyfrowo, omawiane i wykorzystywane w laboratorium TC.

## 2. WYBRANE ZAGADNIENIA I MODELE

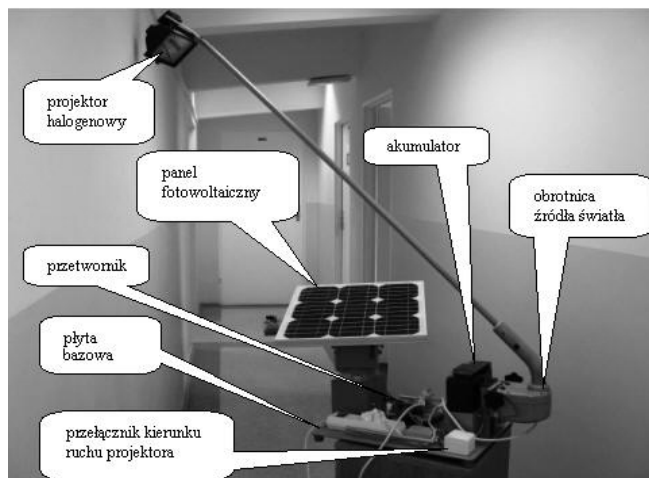
W ostatnim okresie w Katedrze Automatyki Okrętowej (KAO) w Gdyni powstało sporo modeli sterowanych cyfrowo, m.in. model przenośnika taśmowego, wielozadaniowego pojazdu, wciągarki okrętowej, windy cumowniczej, domu mieszkalnego, świateł ulicznych, robota krocącego, skarbcza, systemu kontroli dostępu z czytnikiem kart zbliżeniowych RFID [Noga i Radwański 2010; Noga 2011, 2014, 2015]. W laboratorium TC wykorzystywane są także modele – zabawki dziecięce, np. model dźwigu, koparki, sztaplarki, modele różnych aut. Ich zasilanie i sterowanie przerobiono na potrzeby zajęć dydaktycznych. Studenci poznają zasady sterowania kombinacyjnego oraz sekwencyjnego z wykorzystaniem różnych

struktur edytora graficznego i tekstowego języka VHDL. Wykorzystują m.in. bloki arytmetyczne, komutacyjne, liczniki, struktury typu *Entity*, *Architecture*, *Package*, *Component*, *Procedure* oraz instrukcje warunkowe. Poznają także zasady tworzenia algorytmów, zapoznają się, jak wspomniano, z dostępnym w laboratorium oprogramowaniem, tworzą własne programy, które następnie implementują w strukturach układów PLD.

## 2.1. Urządzenie do śledzenia słońca

Jednym z nowych modeli zbudowanych w ramach pracy dyplomowej [Grabe i Mueller 2013] jest urządzenie do śledzenia słońca, które umożliwi ładowanie akumulatora (rys. 1). Do sterowania wykorzystano zestaw dydaktyczny DE\_2 z układem programowalnym FPGA rodziny *Cyclone* oraz edytor tekstowy środowiska *Quartus* firmy Altera. Przygotowany program steruje obrotnicą panelu fotowoltaicznego. Do symulacji słońca zastosowano żarnik halogenowy, umocowany do wysięgnika obrotnicy naśladowującej ruch słońca. Śledzenie słońca odbywa się dzięki czujnikom fotorezystancyjnym, które zostały umieszczone w ramie nośnej wraz z panelem fotowoltaicznym.

Podstawowym elementem stanowiska laboratoryjnego jest układ nadążny, który steruje ruchem baterii fotowoltaicznej. Jako czujnik położenia źródła światła zastosowano cztery fotorezystory. Do pozycjonowania panelu zastosowano obrotnicę do kamer telewizyjji przemysłowej. Do budowy stanowiska wykorzystano także akumulator żelowy. Studenci w czasie zajęć poznają poszczególne elementy budowy stanowiska, zasady sterowania, mają również możliwość modyfikacji dostępnego w laboratorium oprogramowania.



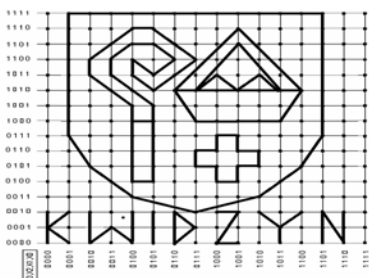
**Rys. 1.** Urządzenie do śledzenia słońca

**Fig. 1.** The solar tracker

## 2.2. Sterowanie pracą plotera

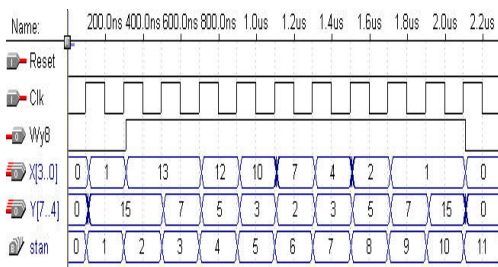
W laboratorium TC studenci wykorzystują również przemysłowy ploter, który został przerobiony na potrzeby sterowania układami programowalnymi. W czasie zajęć należy uruchomić program, którego celem jest wykreślenie odpowiedniego elementu graficznego w układzie współrzędnych X Y, przy czym na obu osiach współrzędne przedstawia się na czterech bitach. Tematyka graficzna jest narzucona z wyprzedzeniem, przykładowo należy przedstawić reklamę Akademii Morskiej, swoje miasto, swoje hobby, swoją pracę. Stanowisko to cieszy się znacznym zainteresowaniem. Studenci w tym przypadku mogą wykazać się własną inwencją, własnymi zainteresowaniami. Przygotowanie studentów do wykonania ćwiczenia pozwala na określenie ich zaangażowania w zdobywanie wiedzy, które, niestety, w ostatnim okresie nie zawsze jest zadowalające. Studenci przygotowują projekty o różnej skali trudności, wśród których bywają także projekty mniej ambitne. Na szczęście pojawiają się też ambitne i interesujące propozycje graficzne, szczególnie z wykorzystaniem edytora tekstowego. Jednym z nich był rysunek prezentujący herb miasta Kwidzyn – miasta rodzinnego studenta (rys. 2). Herb ten przedstawia laskę i infulę biskupią oraz krzyż, które odwołują się do początków miasta.

Przykładowe przebiegi czasowe uzyskane w procesie projektowania przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 2. Herb miasta Kwidzyn

Fig. 2. The coat of arms of the city Kwidzyn



Rys. 3. Przykładowe przebiegi czasowe

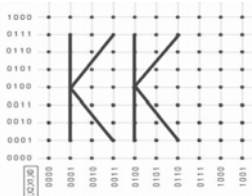
Fig. 3. Examples of waveform

Przygotowanie sterowania ploterem z wykorzystaniem edytora graficznego wymaga nieco więcej czasu niż w edytorze tekstowym, w którym w zasadzie należy jedynie odpowiednio zakodować współrzędne X i Y poszczególnych punktów rysowanego elementu. W przypadku edytora graficznego studenci mogą wykorzystać m.in. multipleksery, demultipleksery, dowolne bramki i liczniki.

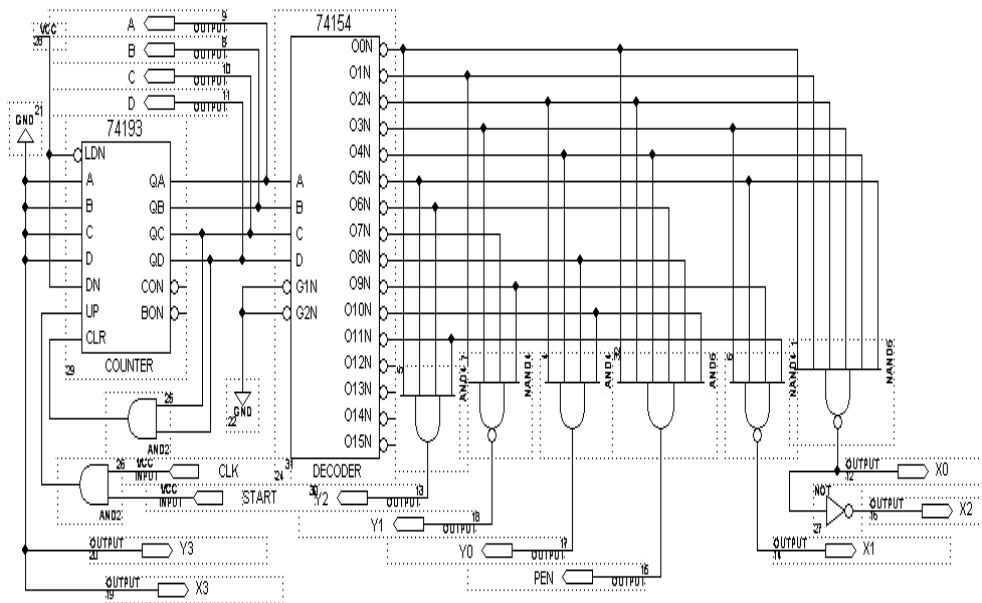
Przykład układu sterującego pracą plotera, wykreślającego literki KK (rys. 4), został przedstawiony na rysunku 5. Wydaje się, że nie jest to zbyt skomplikowane zadanie. Wymaga jedynie zdefiniowania wartości określających współrzędne X, Y

oraz funkcji sterującej ruchem pisaka, co najprościej można zapisać w postaci tabeli stanów. W omawianym przypadku realizowane funkcje można zapisać (w celu uproszczenia zapisu pominięto zależność każdej funkcji wyjściowej od sygnałów wejściowych) jako:

$$\begin{aligned}
 PEN &= \Pi(0, 2, 4, 6, 8, 10), & Y3 &= X3 = 0, & Y2 &= \Pi(0, 5, 6, 11), \\
 X2 &= \Pi(0, 1, 2, 3, 4, 5) = \overline{X0}, & Y1 &= \Pi(1, 3, 7, 9), & X1 &= \Pi(3, 5, 9, 11), \\
 Y0 &= \Pi(2, 4, 8, 10), & X0 &= \Pi(0, 1, 2, 3, 4, 5).
 \end{aligned}$$



**Rys. 4.** Przykładowy element graficzny wykreślony przez ploter  
*Fig. 4. Example of graphic element drawn through the plotter*



**Rys. 5.** Układ logiczny sterujący pracą plotera  
*Fig. 5. The logical circuit controlling the plotter operation*

### 2.3. Sterowanie modelem pojazdu

W czasie zajęć dydaktycznych w laboratorium TC wykorzystywane są także różne modele zabawek dziecięcych, którymi sterowanie wymaga opracowania i zaimplementowania odpowiedniego algorytmu. Są to różne modele samochodów osobowych, model wywrotki, sztaplarki, koparki, dźwigu. Przykładowo nowy model koparki (rys. 6) posiada pięć niezależnych silników, które sterują pracą gąsienicy prawej i lewej, obrotem wieży, ruchem łyżki oraz ruchem pługu. Częstotliwość nośna sygnału sterowania radiowego pomiędzy pilotem a koparką wynosi 27 MHz. Dodatkowo model został wyposażony w układ separacji galwanicznej, który zrealizowano za pomocą transoptorów. Dostępne w laboratorium oprogramowanie umożliwia pracę w trybie sekwencyjnym lub kombinacyjnym. Sterowanie odbywa się z wykorzystaniem zestawu DE\_2. Informacja o kierunku ruchu jest wyświetlana na wyświetlaczach 7-segmentowych i wyświetlaczu LCD zestawu DE\_2. Student ma możliwość poznania przykładowego oprogramowania, które może wykorzystać do stworzenia własnej propozycji sterowania modelem.

W ramach zajęć laboratoryjnych z TC studenci przygotowują także oprogramowanie sterujące modelem wywrotki (rys. 7), który jest również sterowany zdalnie. Model posiada dwa silniki prądu stałego odpowiadające za cztery podstawowe ruchy, tj. jazda do przodu i do tyłu oraz podnoszenie i opuszczanie naczepy. Aby silniki te mogły pracować w układzie nawrotnym, model został wyposażony w układ zbudowany z tranzystorów, które odwracają odpowiednio polaryzację. Przekazywanie sygnałów sterujących przebiega drogą radiową w pasmie 27 MHz. Model współpracuje z zestawem DE\_2, nadajnikiem i odbiornikiem radiowym oraz zrealizowanym na potrzeby sterowania układem zbudowanym z przekaźników, którego zadaniem jest separacja galwaniczna. Przygotowane oprogramowanie umożliwia sterowanie ręczne oraz automatyczne zgodne z zaprogramowaną sekwencją ruchów. Informacja o rodzaju pracy pojawia się na wyświetlaczu LCD. Również i w tym przypadku studenci na podstawie oprogramowania dostępnego w laboratorium przygotowują własne propozycje sterowania.



**Rys. 6.** Model koparki

**Fig. 6.** The model of the excavator



**Rys. 7.** Model wywrotki

**Fig. 7.** The model of the tipping-lorry

### 3. PODSUMOWANIE

Przedstawione modele są wykorzystywane w laboratorium TC w Katedrze Automatyki Okrętowej do nauki TC, zasad przygotowania, testowania oraz implementowania algorytmów cyfrowego sterowania w strukturach układów programowalnych. W czasie zajęć laboratoryjnych z TC w ramach studiów inżynierskich student wykorzystuje również wiadomości z elektrotechniki i elektroniki. Ponadto na studiach magisterskich dodatkowo są niezbędne wiadomości z cyfrowego przetwarzania sygnałów. Modele dostępne w laboratorium cieszą się sporym zainteresowaniem studentów. Możliwe jest przygotowanie różnych wersji oprogramowania o zróżnicowanej skali złożoności, o różnej formie „dialogu” pomiędzy operatorem i układem sterowania. Przedstawione modele oraz dostępne przykłady sterowania nie wyczerpują oferty dostępnej w laboratorium TC. Istnieje także możliwość rozbudowy wzorcowego oprogramowania dostępnego w laboratorium.

### LITERATURA

- Grabe, J., Mueller, J., 2013, *Projekt oraz budowa urządzenia do śledzenia słońca wykorzystywanego do ładowania akumulatorów*, praca dyplomowa inżynierska, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia.
- Noga, K.M., 2011, *Nowe stanowiska dydaktyczne do nauki cyfrowego sterowania z wykorzystaniem układów programowalnych*, Zeszyty Naukowe WEiA Politechniki Gdańskiej, nr 30, Gdańsk, s. 93–96.
- Noga, K.M., 2014, *Cyfrowe sterowanie z zastosowaniem układów programowalnych*, Zeszyty Naukowe WEiA Politechniki Gdańskiej, nr 40, Gdańsk, s. 73–76.
- Noga, K.M., 2015, *Modele sterowane cyfrowo*, Zeszyty Naukowe WEiA Politechniki Gdańskiej, nr 46, Gdańsk, s. 81–84.
- Noga, K.M., Radwański, M., 2010, *Modern Improvements in the Digital Logic Laboratory*, Technological Developments in Networking, Education and Automation, Iskander, M. (ed.) Springer, s. 109–114.