

## CYFROWE STEROWANIE Z ZASTOSOWANIEM UKŁADÓW PROGRAMOWALNYCH

Krystyna Maria NOGA

Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny, 81-225 Gdynia, ul. Morska 81-87  
Katedra Automatyki Okrętowej, tel: (58) 69 01 471, fax: (58) 69 01 445, e-mail: jagat@am.gdynia.pl

**Streszczenie:** W artykule zostaną przedstawione nowe stanowiska laboratoryjne, które zostały wykonane w Katedrze Automatyki Okrętowej AM Gdynia. Są one wykorzystywane do nauki cyfrowego sterowania z wykorzystaniem układów programowalnych i języka VHDL. Zostanie przedstawiony model windy 3-biegowej, wciągarki, sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu ulicznym oraz systemu kontroli dostępu z czytnikiem kart zbliżeniowych RFID.

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

### 1. WTEP

Otoczający nas świat jest pełen urządzeń wymagających cyfrowego sterowania. Wśród pakietów oprogramowania narzędziowego dostępnych obecnie na rynku jest raczej niewiele takich, które umożliwiają realizację wszystkich etapów cyklu projektowego niezbędnego do przygotowania programu sterującego. Narzędzia tego rodzaju dostarczają między innymi producenci układów programowalnych, przykładowo firma Altera oferuje pakiety Max+ Plus Baseline oraz Quartus, a firma Xilinx pakiety Foundation ISE i WebPack IDE. Większość dostępnych programów narzędziowych wymaga od projektanta znajomości jednego ze standardowych języków programowania sprzętu HDL, tj. Veriloga lub VHDL [1].

W artykule zostaną przedstawione przykłady wykorzystania systemu projektowego Quartus oraz Max+ Plus Baseline do sterowania wybranymi modelami. Systemy te są najbardziej przyjaznym środowiskiem CAD służącym do projektowania i implementacji układów w strukturach programowalnych. W skład pakietu wchodzi między innymi edytor graficzny schematów, edytor tekstowy, graficzny edytor przebiegów, kompilator, symulator funkcjonalny i czasowy, system definiowania stylów kompilacji projektu oraz bardzo bogate biblioteki gotowych bloków funkcjonalnych. Jako obiekty sterowania w artykule zostaną przedstawione: model sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu ulicznym, windy 3-biegowej, wciągarki, oraz systemu kontroli dostępu z czytnikiem kart zbliżeniowych RFID. Modele te są wykorzystywane w laboratorium Techniki Cyfrowej w Katedrze Automatyki Okrętowej Akademii Morskiej w Gdyni.

W trakcie zajęć z Techniki Cyfrowej studenci opracowują algorytmy pracy modeli w edytorze graficznym z wykorzystaniem symboli układów cyfrowych oraz w edytorze tekstowym języka opisu sprzętu VHDL. Ocena poprawności

wykonania sterowania jest dokonywana na podstawie obserwacji pracy modelu. Ponadto studenci mają również możliwość przeprowadzenia diagnostyki, opracowanych na potrzeby dydaktyki, programów sterujących wybranymi modelami. Na podstawie analizy pracy modelu studenci określają objawy oraz przyczyny symulowanych awarii. W laboratorium możliwe jest także porównanie sterowania wybranymi modelami z wykorzystaniem techniki mikroprocesorowej oraz w technologii standardowych układów logicznych.

### 2. WYBRANE MODELE STEROWANIA

W Katedrze Automatyki Okrętowej (KAO) w ostatnim okresie zaprojektowano i wykonano kilka nowych stanowisk laboratoryjnych, które umożliwiają studentom zapoznanie się z możliwościami sterowania za pomocą układów programowalnych. Niektóre starsze modele zostały przedstawione w [2, 3, 4]. Początkowo do opracowania algorytmów sterowania był wykorzystywany edytor graficzny języka VHDL. Obecnie studenci wykorzystują również edytor tekstowy. Wykorzystanie układów programowalnych umożliwia sterowanie modelem przy pomocy sygnałów wejściowych dostępnych w danej chwili, układ sterujący jest więc układem kombinacyjnym. Możliwe jest również wykonanie kolejno kilku różnych czynności, wówczas układ sterujący jest układem sekwencyjnym.

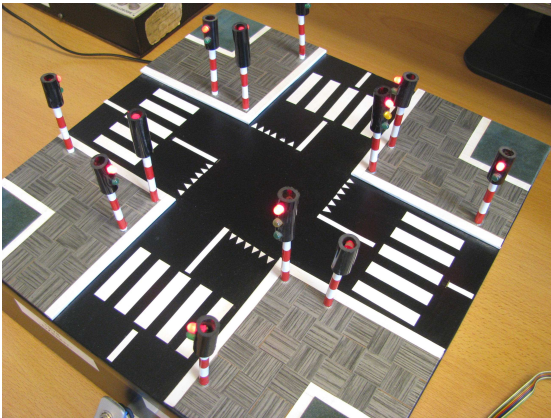
#### 2.1. Model sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu ulicznym

Zasada działania zbudowanego w KAO modelu sygnalizacji świetlnej na prostym skrzyżowaniu ulicznym (rys. 1) jest zgodna z przepisami ruchu drogowego. Model ten umożliwia sterowanie światłami w trybie dziennym oraz nocnym. W trybie dziennym można wyróżnić następujące stany:

1. uczestnicy ruchu w pionie nie mogą się poruszać, dozwolone jest poruszanie się uczestników w poziomie,
2. uczestnicy poruszający się w pionie nadal nie mogą ruszyć, ale przygotowują się do ruchu, natomiast piesi poruszający się w poziomie, poprzez zielone migające światło, są informowani o mającej nastąpić zmianie światła na czerwone, także kierowcy informowani są światłem żółtym o zmianie na czerwone,
3. uczestnicy z pozycji pionowej mogą się poruszać, a z pozycji poziomej muszą czekać,

4. piesi poruszający się z pozycji pionowej informowani są, poprzez miganie światła zielonego, o mającej nastąpić zmianie światła na czerwone. Natomiast samochody z pozycji pionowej informowani są o tym światłem żółtym. Piesi z pozycji poziomej nadal stoją i przygotowują się do przejścia.

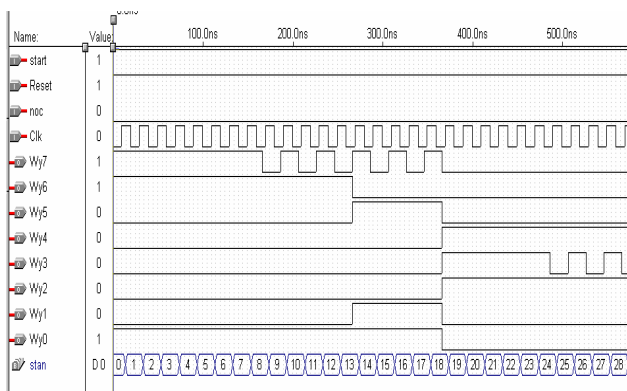
Po zakończeniu tych sekwencji następuje przejście do stanu początkowego i ponowna realizacja całego cyklu. W trybie nocnym dla skrzyżowań mało niebezpiecznych, dla polepszenia dynamiki jazdy, sygnalizacja świetlna jest wyłączona, obowiązują wówczas znaki drogowe. Sygnalizacja dla pojazdów miga światłem żółtym, co oznacza, że należy zwrócić uwagę na znaki drogowe i zachować szczególną ostrożność, natomiast światło na przejściu dla pieszych jest nieczynne.



Rys. 1. Model sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu ulicznym

Sterowanie światłami sygnalizacyjnymi na skrzyżowaniu ulicznym odbywa się za pomocą 8 wejść, przy czym każde odpowiedzialne jest za sterowanie innym światłem. Światła dla samochodów oznaczone jako Si, natomiast dla pieszych jako Pi, tj. odpowiednio: Wy7 – S1 i P1 czerwone, Wy6 – S1 żółte, Wy5 – S1 zielone, Wy4 – P1 zielone, Wy3 – S2 i P2 czerwone, Wy2 – S2 żółte, Wy1 – S2 zielone, Wy0 – P2 zielone. Model stanowiska sygnalizacji świetlnej współpracuje z zestawem uruchomieniowym, zaprojektowanym i wykonanym również w KAO, wyposażonym w układ programowalny CPLD EPM7128SLC84-15 firmy Altera [2].

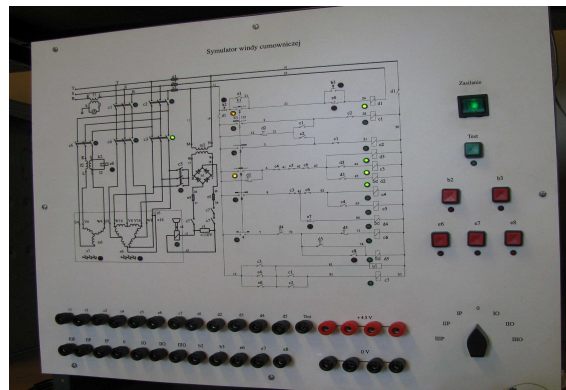
Algorytm sterowania można rozbudować o dodatkowe wejście sprawdzające sprawność wszystkich sygnalizatorów świetlnych lub wejście umożliwiające ręczne sterowanie światłami ulicznymi. Przykładowe otrzymane przebiegi czasowe dla programu pracującego w trybie dziennym przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowe przebiegi czasowe dla programu pracującego w trybie dziennym

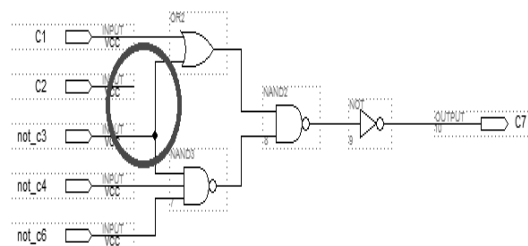
## 2.2. Model okrętowej windy 3-biegowej

Model dwukierunkowej okrętowej windy 3-biegowej (rys. 3) jest zgodny z dokumentacją techniczną napędu AN 234 opracowaną przez Zakłady Okrętowych Urządzeń Elektrycznych ELMOR [5]. Model ten współpracuje z zestawem uruchomieniowym zawierającym układ CPLD firmy Altera [2, 3]. Stan logiczny sygnałów wejściowych lub wyjściowych jest wskazywany na diodach LED, wskaźnikach siedmiosegmentowych oraz na wyświetlaczu LCD. Sterowanie modelem windy polega na symulacji załączenia styczników, które zasilają uzwojenia silnika, następuje wówczas załączanie kolejnych uzwojeń, przełączanie trójkąt – gwiazda. Sterowanie przekaźnikami czasowymi zależne jest od sygnałów wejściowych z nastawnika wyboru kierunku i biegu, zabezpieczeń termicznych oraz nadprądowych silnika. Zjawiska czasowe w układach programowalnych zostały zasymulowane za pomocą liczników taktowanych z zewnętrznego generatora.



Rys. 3. Model dwukierunkowej okrętowej windy 3-biegowej

Zadaniem studenta jest opracowanie algorytmu pracy modelu windy i implementacja tego algorytmu w układach programowalnych. Ocena poprawności wykonania projektu jest dokonywana na podstawie obserwacji pracy modelu windy. W laboratorium dostępny jest również pakiet różnych programów sterujących, opracowanych w środowisku tekstowym lub graficznym, w których celowo został błędnie zamodelowany określony blok sterowania lub człon funkcjonalny. Studenci na podstawie analizy błędnie działającego programu powinni określić objawy awarii oraz podać jej przyczyny, czyli powinni dokonać diagnostyki. Przykładowy schemat błędnego bloku sterowania hamulcem elektromagnetycznym C7 przedstawiono na rysunku 4. Dla takiego układu sterowania, niezależnie od wyboru nastaw, winda cały czas pracuje na pierwszym biegu opuszczania (załączone C3 i C2). Układ ten można zatrzymać jedynie poprzez wyłącznik awaryjny. Wejście C2, odpowiedzialne za stycznik kierunkowy opuszczania, nie zostało podłączone. Natomiast wejście bramki OR, na którą sygnał ten powinien być podłączony, zostało zwarte do sygnału 'not\_c3'.

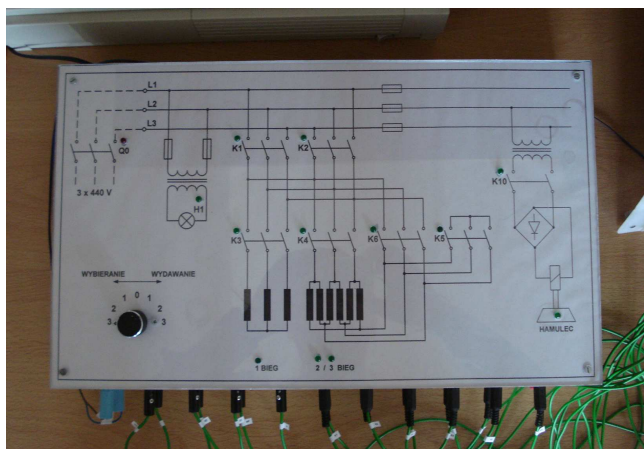


Rys. 4. Błędny blok sterowania hamulcem elektromagnetycznym

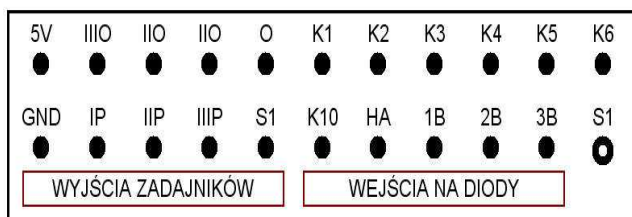
### 2.3. Model wciągarki okrętowej

Model wciągarki okrętowej jest zgodny z dokumentacją techniczną przygotowaną przez Toruńskie Zakłady Urządzeń Okrętowych TOWIMOR S.A. [6]. Rzeczywista wciągarka zawiera silnik elektryczny, hamulec, szafę stycznikową, kolumnę sterowniczą, regulator uciążu. Wyróżnia się dwa rodzaje sterowania napędem wciągarki, tj. sterowanie ręczne oraz automatyczne. Zarówno wybieranie jak i wydawanie liny odbywa się przy trzech prędkościach obrotowych silnika. Bieg pierwszy służy do zwiększania siły naciągu liny (przy pracy automatycznej), wciągnięcia kotwicy do kluzy. Drugi bieg służy do wybierania lin z prędkością znamionową, natomiast trzeci bieg służy do wybierania liny z dużą prędkością, z siłą nie przekraczającą 20% siły znamionowej  $Q_n$ . Sterowanie automatyczne, służy przede wszystkim do utrzymania siły uciążu w ustalonych granicach. Jeżeli siła ta jest zawarta w określonym przedziale, wtedy silnik nie pracuje, jest hamowany przez hamulec.

Symulator wciągarki (rys. 5) na płycie głównej posiada manetkę przełącznika S3 służącą do załączania poszczególnych biegów napędu. Diody sygnalizacyjne, znajdujące się na płycie głównej, załączane są za pośrednictwem tranzystorów. Ponadto z dołu symulatora (rys. 6) wyprowadzono gniazda służące do podłączenia sygnałów sterujących oraz wyłącznik bezpieczeństwa S1. Gniazda oznaczone jako IIIO, IIO, IO, O, IP, IIP, IIIP służą do połączenia symulatora z wejściami układu sterowania, natomiast gniazda 3B, 2B, 1B, HA, K10, K6, K5, K4, K3, K2, K1 do połączenia z wyjściami. Z lewej strony symulatora umieszczono łącznik B1 doprowadzający zasilanie. Zadaniem studenta jest również implementacja algorytmu sterowania w układach programowalnych oraz diagnostyka.



Rys. 5. Model wciągarki



Rys. 6. Rozmieszczenie gniazd podłączeniowych symulatora

### 2.4. System kontroli dostępu z czytnikiem kart zbliżeniowych RFID

System RFID (Radio Frequency Identification) oparty jest o karty transponderowe przekazujące kod za pomocą pola elektromagnetycznego [7, 8]. Takie systemy wymagają

jedynie zbliżenia karty w okolicę czytnika bez konieczności potwierdzania kodu. Identyfikator zbudowany jest z elektronicznego chipu z pamięcią oraz dołączonej anteny. Pojemność pamięci identyfikatora wynosi od kilkudziesięciu do kilku tysięcy bitów. Czytnik kart zbliżeniowych obsługuje karty UNIQUE o klasie 0, które działają na częstotliwości 125kHz. Zbudowany model czytnika kart identyfikacyjnych składa się z trzech głównych elementów zapewniających poprawną pracę systemu RFID

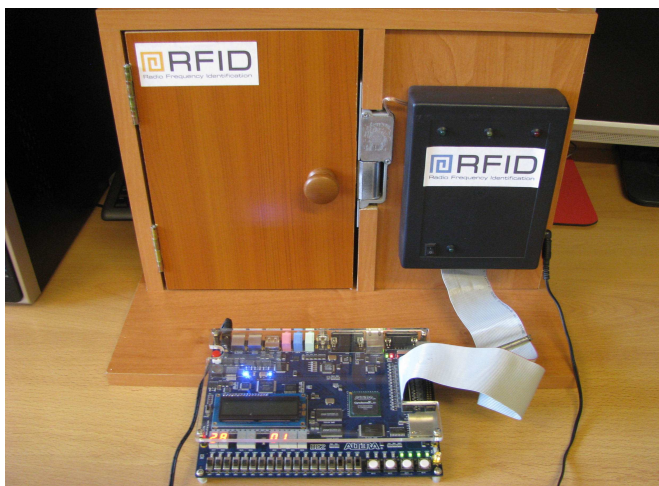
1. czytnik kart zbliżeniowych – głównym elementem jest układ scalony HTRC11001t współpracujący z układem rezonansowym, który odbiera i przesyła informacje z kart,
2. kontroler – zestaw uruchomieniowy ALTERA DE\_2 z układem programowalnym FPGA Cyclone II,
3. panel LED oraz makieta drzwi (rys. 7), symulująca pracę elektrozwojy, stosowanej we współczesnych systemach kontroli dostępu.

Zbudowany system kontroli dostępu umożliwia identyfikację użytkownika oraz wysterowanie odpowiednich wyjść. Bezstykowe karty UNIQUE są najprostszym rodzajem kart zbliżeniowych, wymagają one wyłącznie 40-bitowego, unikalnego numeru. Zawarty jest on w 64-bitowej pamięci ROM, programowanej na etapie produkcji karty, o następującej organizacji: 9 bitów nagłówka (same jedynki), 40 bitów numeru karty (z czego pierwszych 12 stanowi identyfikator nadawany konkretnemu klientowi przez producenta), podzielonego na 10 wierszy po 4 bity, 10 bitów parzystości wierszy (występują po każdym wierszu), 4 bitów parzystości kolumn (po ostatnim wierszu i jego bicie parzystości), 1 bitu stopu (zero).

Po wprowadzeniu karty w pole magnetyczne czytnika w cewce, wbudowanej w kartę, zostaje indukowane napięcie zasilające, które ładuje wewnętrzną pojemność. Gdy energia zgromadzona w kondensatorze osiągnie wymagany poziom, zasila ona wewnętrzny układ sekwencyjny i karta rozpoczyna działanie polegające na cyklicznym i nieprzerwanym wysyłaniu całej zawartości pamięci (po wysłaniu bitu stopu transmisja zaczyna się ponownie, bez jakiegokolwiek przerwania). W układzie następuje modulacja ASK amplitudy nośnej o częstotliwości 125 kHz. Wysłanie jednego bitu danych zajmuje 64 okresy fali nośnej i trwa przez 512  $\mu$ s. Układ HTRC dane odczytane z karty podaje na wyjście przy użyciu kodowania Manchester.

Do budowy systemu wykorzystano nadajnik i odbiornik zawarty w układzie scalonym HTRC11001t. Stosowany jest on do projektowania zaawansowanych urządzeń odczytu i zapisu. Wykorzystywany jest przede wszystkim w zastosowaniach przemysłowych. Urządzenie zawiera wszystkie funkcje niezbędne do zapisu oraz odczytu danych z zewnętrznych transponderów. Model czytnika umożliwia odczytywanie informacji z karty UNIQUE. W programowaniu wykorzystano komendę READ\_TAG. Komenda ta stosowana jest do odczytu zdemodulowanego strumienia bitów pochodzących z transpondera. Następnie bity te, zapisane w kodzie Manchester, są wysyłane na układ FPGA znajdujący się w zestawie uruchomieniowym DE\_2 [9], który dekoduje otrzymane dane. Podczas inicjalizacji następuje tworzenie zegara o częstotliwości 2kHz (potrzebnego przy komunikacji z HTRC), sygnału próbkowania (wykorzystywanego przy czytaniu danych pochodzących z karty), a także tworzenie rozkazu wysyłanego na HTRC w celu rozpoczęcia odczytu informacji zawartych na karcie zbliżeniowej. W czasie pracy modelu czytnika kart zbliżeniowych następuje wykrywanie preambuły, czyli odpowiedniej sekwencji bitów poprzedza-

jących właściwe dane. Dzięki niej można między innymi określić parametry kanału transmisyjnego oraz dokonać synchronizacji. W momencie znalezienia prawidłowej preambuły program rozpoczyna próbę odczytania numeru fizycznego karty, a następnie go dekoduje (z kodu Manchester na kod binarny naturalny). Program powtarza całą procedurę, aż do momentu wykrycia uprawnionej karty. Następnie następuje otwarcie drzwi.



Rys 7. Model czytnika kart identyfikacyjnych

Układ elektroniczny modelu można podzielić na dwa główne moduły:

- moduł 1 - zawiera antenę oraz układ scalony EM4095,
- moduł 2 - zawiera stabilizator napięcia LM7805, mikrokontroler Atmega 8, multiplexer/demultiplexer 4053, układy tranzystorowe do załączenia brzęczyka oraz elektrozaczepu, złącza (do przełącznika, diód, taśmy 40-pin).

Moduły wewnętrznie połączone są ze sobą przewodami. Na zewnątrz wyprowadzona jest tylko taśma 40 pin. Umieszczony dodatkowo wewnątrz obudowy mikrokontroler Atmega 8 służy do sprawdzenia działania modułu 1. W pamięci EEPROM mikrokontrolera zapisane są numery wybranych kart. Domyślnie zapisana jest karta oznaczona jako MASTER. W celu sprawdzenia działania modułu 1 należy ustawić przełącznik *SEL* w pozycji 0, a następnie przyłożyć do czytnika wcześniej zapisaną kartę. Poprawny odczyt zostanie zasygnalizowany sygnałem dźwiękowym trwającym 1 sekundę. Przełącznik *SEL* steruje wejściami adresowymi układu 4053. Należy używać go jedynie wówczas, gdy istnieje podejrzenie, że układ elektroniczny modułu 1 nie działa poprawnie. Zmiana położenia tego przełącznika w trakcie odczytu karty spowoduje, że karta zostanie odczytana błędnie.

## DIGITAL CONTROLLING USING PROGRAMMABLE DEVICES

**Key-words:** programmable logic devices, digital controlling, VHDL.

This paper presents new laboratory models which were build in Department of Ship Automation at Gdynia Maritime University, like the model of 3-running lift, hoisting winch, light signaling on street and the system of the control of access with the reader of cards RFID. There models controlled by programmable logic devices prepared with hardware description languages VHDL.

### 3. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiono nowe, wybrane stanowiska laboratoryjne, które służą do nauki cyfrowego sterowania z wykorzystaniem układów programowalnych. Zadaniem studenta jest opracowanie określonego, spełniającego założenia przedstawione przez prowadzącego zajęcia, algorytmu sterowania i jego implementacja. W przypadku „awarii” urządzenia student powinien również wykazać się znajomością zasad pracy określonych modeli, powinien zlokalizować i usunąć awarię.

### 4. BIBLIOGRAFIA

1. Zwoliński M. : Projektowanie układów cyfrowych z wykorzystaniem języka VHDL, WKiŁ, Warszawa 2002, ISBN 83-206-1452-X.
2. Noga K. M. : Nowe stanowiska dydaktyczne do nauki cyfrowego sterowania z wykorzystaniem układów programowalnych, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Nr 30, XXI Seminarium „Zastosowanie komputerów w nauce i technice 2011”, Oddział Gdański PTETiS, str. 93 – 96, ISSN 1425-5766.
3. Noga K. M., Radwański M. : Our Stations for Teaching Programmable Devices, Innovations in E-learning, Instruction Technology, Assessment and Engineering Education, edited by Magued Iskander, Polytechnic University, USA, Springer 2008, pp 268-273, ISBN 978-1-4020-8738-7 (HB), ISBN 978-1-4020-8739-4 (e-book).
4. Noga K. M., Radwański M. : Modern improvements in the digital logic laboratory, Technological Developments in Networking, Education and Automation, edited by Magued Iskander, USA, Springer 2010, pp 109 - 114, ISBN 978-90-481-9150-5 (HB), ISBN 978-90-481-9151-2 (e-book). ISSN 1425 – 5766.
5. Dokumentacja techniczna napędu AN 234. Zakłady Okrętowych Urzędzeń Elektrycznych "ELMOR", Gdańsk 1979.
6. Dokumentacja techniczna wciągarki cumowniczej, Toruńskie Zakłady Urzędzeń Okrętowych TOWIMOR S.A. – Toruń 1994.
7. <http://www.maxicard.de/plastikarten/RFIDTransponder.jpg>.
8. Bauer K. : Magnetic card reader - tracking down the ISO tracks, Elektor Electronics, nr. 6/2000, str. 35-40.
9. ALTERA - DE\_2 Development and Education Board, User Manual, version 1.4, 2006.