

doi:10.15199/48.2021.12.42

## Zdalne nauczanie Techniki Cyfrowej w obliczu pandemii COVID\_19

**Streszczenie.** Obecne pokolenia w każdym aspekcie swojego życia uzależnione są od mediów cyfrowych. Skuteczność tego medium zmieniła system edukacji. Technika cyfrowa odgrywa ważną rolę w systemie nauczania na studiach inżynierskich, takich jak elektrotechnika. W artykule przedstawiono propozycje wykorzystania środowiska Multisim do nauczania techniki cyfrowej z uwzględnieniem szczególnych warunków wynikających z ograniczonego dostępu do zajęć stacjonarnych, a przede wszystkim do zajęć laboratoryjnych. Zaprezentowano przykłady wykorzystania programu Multisim do wyznaczania charakterystyk statycznych i dynamicznych bramek logicznych. W artykule przedstawiono także wirtualny, cyfrowy układ sterowania pracą windy ładunkowej, jako przykład wykorzystania środowiska Multisim do budowy bardziej zaawansowanych projektów.

**Abstract.** The current generations of people are depended on the digital medium in every aspect of their life. The effectiveness of the digital medium has changed the education system. Digital logic is typically a course offered in engineering degree programs, such as electrical engineering. It plays a key role in the hardware curriculum system. The article presents proposals for using the Multisim software to teaching digital logic, taking into account the specific conditions resulting from the limited access to classroom classes, and above all to laboratory classes. Examples of the use of the Multisim software to determine the static and dynamic characteristics of logic gates have been presented. The article also presents a virtual, digital control system for the ship's cargo lift, as an example of using the Multisim to build more advanced projects.. (**Remote learning Digital Logic in conditions of the COVID\_19 pandemic**).

**Słowa kluczowe:** technika cyfrowa, charakterystyki statyczne, dynamiczne bramek logicznych, symulacje, winda ładunkowa, cyfrowe sterowanie, nauczanie.

**Keywords:** digital technology, electronics, static and dynamic characteristics of logic gates, simulations, ship's cargo lift, digital control, simulations, teaching.

### Wstęp

Do marca 2020 roku żyliśmy w czasach, w których nowe technologie wywarły ogromny postęp w dziejach ludzkości. Automatyka, układy elektroniczne, cyfrowe były obecne prawie w każdej dziedzinie życia. Niestety nikt nie przewidział, że pojawi się drobny, ale bardzo groźny wirus COVID-19 i wyrzuci nasze życie do góry nogami. Brakowało niestety wielu urządzeń, sprzętu nie tylko w służbie zdrowia, ale również w edukacji. W marcu 2020 r. brak było sprawdzonych metod nauczania na odległość, środków do przekazywania wiedzy. Problemy wystąpiły na wielu etapach nauki i kształcenia. Z dnia na dzień należało cały proces nauczania przeorganizować. Całe szczęście, że jest łączność komórkowa, są komputery, Internet. Wszystko to między innymi dzięki rozwojowi elektroniki, techniki cyfrowej, cyfrowemu przetwarzaniu sygnałów. Nauczanie i kształcenie przeniosło się do Internetu. Wykłady, ćwiczenia tablicowe, część zajęć laboratoryjnych odbywają się zdalnie lub hybrydowo. Przedmioty realizowane na Wydziale Elektrycznym (WE) Uniwersytetu Morskiego w Gdyni (UMG) podlegające STCW powinny być zrealizowane zgodnie z Konwencją i Kodeksem STCW. Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) i Międzynarodowa Organizacja Pracy (MOP) dla wybranych przedmiotów określa ilość godzin niezbędnych do przeprowadzenia w warunkach stacjonarnych. Zmiany w przepisach prawnych dotyczących żegluga morskiej oraz w wyposażeniu jednostek pływających, dokonane w 2010 r., znowelizowały programy szkoleń załóg jednostek pływających [1]. W marcu 2020 r. z powodu pandemii niezbędne było odpowiednie zorganizowanie zajęć, przygotowanie dodatkowych materiałów dydaktycznych. Było to spore wyzwanie szczególnie w odniesieniu do zajęć laboratoryjnych, część z nich należało w znacznym zakresie przeorganizować, tak aby mogły odbywać się zdalnie.

Na Wydziale Elektrycznym UMG studenci specjalności Elektrotechnika zajęcia wykładowe oraz ćwiczenia z Techniki Cyfrowej (TC) na poziomie inżynierskim realizują w drugim semestrze, natomiast ćwiczenia laboratoryjne w trzecim semestrze. Celem przedmiotu jest zdobycie wiedzy o elementach i układach cyfrowych, aparaturze wspomagającej proces projektowania, budowania i testowania ukła-

dów cyfrowych. Na studiach inżynierskich omawiane są podstawowe zagadnienia z zakresu układów kombinacyjnych (bramki, synteza układów, układy arytmetyczne, komutacyjne) oraz układów sekwencyjnych (przerzutniki, liczniki, rejestry), układy uzależnień czasowych) [2–6]. Na wykładzie omawiane zagadnienia są ilustrowane wirtualnymi przykładami opracowanymi w środowisku Multisim, Max Plus Baseline. Jednak ze względu na dosyć szeroki zakres zagadnień oraz niezbyt dużą liczbę godzin (30 h) nie wszystkie zagadnienia omawiane na wykładzie można zobrazować przy pomocy układów wirtualnych. W ramach ćwiczeń tablicowych z TC studenci poznają zasady analizy i projektowania układów cyfrowych na różnym poziomie trudności. Mają również możliwość przygotowania własnych układów. W dobie pandemii COVID\_19 znaczne zmiany w zakresie wykładów lub ćwiczeń nie nastąpiły. Zmieniła się przede wszystkim forma prowadzenia tych zajęć, w zdecydowanej większości czasu były one prowadzone z wykorzystaniem platformy Teams. Według oceny autorki artykułu platforma ta okazała się bardzo przydatna, zdecydowanie lepsza niż platforma ZOOM. Dużym udogodnieniem dla prowadzącej zajęcia oraz studentów jest serwer TC, na którym dla studentów pojawiały się materiały do wykładu i ćwiczeń, uwagi odnośnie prac studentów. Tutaj studenci umieszczali również swoje prace kontrolne, prace zaliczeniowe oraz sprawozdania laboratoryjne. Serwer ten w Katedrze Automatyki Okrętowej (KAO) UMG działa już więcej niż 20 lat. W dobie pandemii zdał on egzamin, odciążył powszechnie wykorzystywaną platformę Teams.

Z analizy literatury wynika, że do symulacji układów cyfrowych oraz ich komputerowej analizy wykorzystywane są również inne narzędzia, np. PSpice A/D będący częścią pakietu OrCAD oraz Electronics Workbench (wcześniejsza wersja programu Multisim) [7]. Oferta narzędzi przydatnych w nauczaniu innych przedmiotów jest również bogata. Przykładowo w nauczaniu techniki światłowodowej, do projektowania i modelowania właściwości układów transmisji cyfrowej, wykorzystywany jest program OptiSystem [8].

Wprowadzone w marcu 2020 r. zasady nauczania w trybie zdalnym, które objęły także część zajęć laboratoryjnych, wymusiły aktualizację doboru treści przedmiotu. W

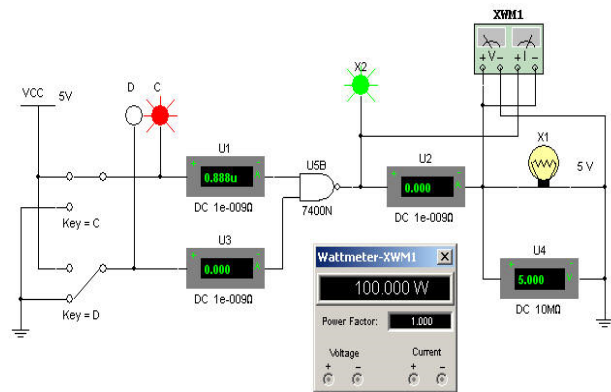
artykule przedstawiono propozycje wykorzystania środowiska Multisim do nauczania techniki cyfrowej z uwzględnieniem szczególnych warunków wynikających z ograniczonego dostępu do zajęć stacjonarnych, a przede wszystkim do zajęć laboratoryjnych. W warunkach bez pandemii studenci w ramach zajęć laboratoryjnych między innymi dokonywali pomiarów charakterystyk statycznych i dynamicznych bramek logicznych. Zbudowane wirtualne układy pomiarowe w środowisku Multisim w dużym zakresie zrekompensowały studentom brak dostępu do laboratorium i brak kontaktu z układami rzeczywistymi. W artykule przedstawiono także wirtualny, cyfrowy układ sterowania pracą windy ładunkowej, jako przykład wykorzystania środowiska Multisim do budowy bardziej zaawansowanych projektów. Udostępnienie studentom tego projektu powinno ułatwić zrozumienie pracy modelu rzeczywistego dostępnego w laboratorium. Należy zaznaczyć, że w Multisimie są dostępne liczne przyrządy pomiarowe, np. amperomierze, woltomierze, watomierze, oscyloskopy, analizator przebiegów cyfrowych. Są także elementy umożliwiające wyświetlanie informacji o sygnałach wejściowych i wyjściowych, np. diody, wskaźniki siedmiosegmentowe. Zestaw tych elementów jest bardzo bogaty, przewyższa on czasami wyposażenie standardowego laboratorium.

### Wyznaczanie charakterystyk bramek logicznych

Omówienie zagadnień teoretycznych i praktycznych z zakresu szeroko rozumianej elektroniki i techniki cyfrowej znajduje się w pracy [2]. Praca ta zawiera także wyczerpujący opis pakietu Multisim 8, który umożliwia zdobycie wiedzy nie tylko z techniki cyfrowej, ale również z teorii obwodów, elektrotechniki, automatyki. Według opinii autorki artykułu możliwości pakietu w zakresie prezentacji zagadnień teoretycznych i praktycznych omawianych na wykładzie i ćwiczeniach tablicowych są znaczne. Wszystko zależy od pomysłowości prowadzącego zajęcia, czasu poświęconego na przygotowanie wirtualnych układów oraz ich opisu. Jednak samo przygotowanie i zaprezentowanie nie wystarcza. Należy również zmobilizować odbiorców do skorzystania z tych pomocy. I to również okazało się w dobie pandemii problemem. Czasami udział studenta w zajęciach prowadzonych na platformie Teams ograniczał się jedynie do dołączenia do grupy.

Z powodu pandemii do wykonania ćwiczeń laboratoryjnych z zakresu obejmującego syntezę układów kombinacyjnych, badania charakterystyk statycznych i dynamicznych bramek logicznych, badania generatorów astabilnych i monostabilnych zostały opracowane dodatkowe materiały. Materiały te są szczególnie przydatne w trybie zdalnym, przy braku możliwości przeprowadzenia zajęć w laboratorium, gdzie badane są między innymi charakterystyki bramek rzeczywistych. Charakterystyki uzyskane w wyniku pomiarów parametrów elektrycznych rzeczywistych układów scalonych zawierających bramki logiczne dobrze opisują sposób ich pracy.

Programy komputerowe służące do symulacji układów elektronicznych pomijają rzeczywiste parametry elektryczne statyczne i dynamiczne bramek i układów logicznych. Traktują je jako idealne klucze cyfrowe, które zmieniają stan na wyjściu pomiędzy zerem (niski stan logiczny) i jedynką (wysoki stan logiczny). Najczęściej niski stan logiczny jest traktowany jako zwarcie z masą, a stan wysoki jest równy napięciu zasilania danego układu z idealnego źródła napięciowego  $V_{CC}$  dla technologii TTL lub  $V_{DD}$  dla układów CMOS. Na rysunku 1 przedstawiono schemat z układem UCY 7400 (4 bramki NAND dwuwejściowe), który bez problemu zapala żarówkę o mocy 100 W. Takie połączenie rzeczywistego układu UCY 7400 spowodowałoby jego zniszczenie z powodu zbyt małej rezystancji na wyjściu układu cyfrowego.



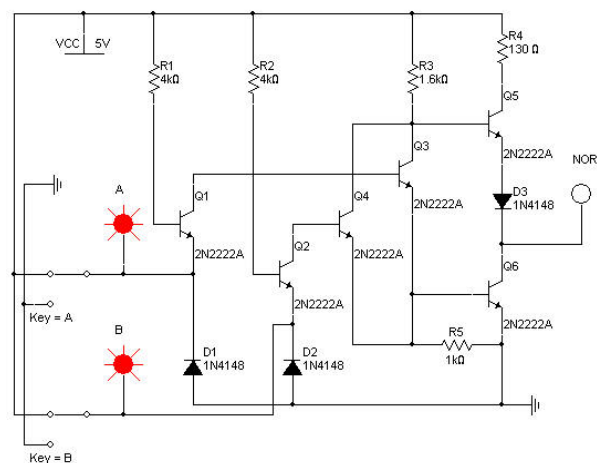
Rys. 1. Bramka NAND zasilająca żarówkę

### Bramki TTL i CMOS

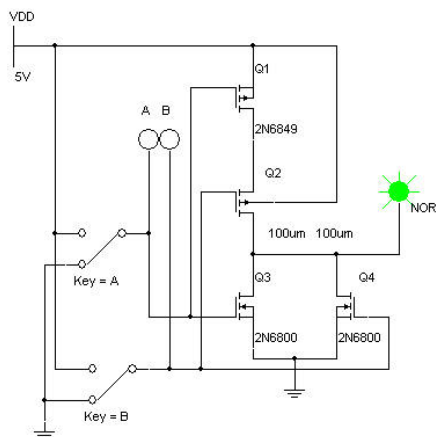
Bramki logiczne zbudowane są z tranzystorów, diod i rezystorów, które są zawarte w strukturze układu scalonego [2, 11]. Aby zbudować ich model z elementów dyskretnych konieczna jest znajomość ich schematu wewnętrznego. Takie schematy dostępne są w literaturze przedmiotu i w katalogach wydanych przez producentów układów scalonych. Na bazie tych wiadomości w środowisku Multisim zbudowano, z modeli rzeczywistych elementów dyskretnych (tranzystorów i diod), modele bramek TTL i CMOS. Zbudowane modele prawidłowo odtwarzają parametry elektryczne przyrządów półprzewodnikowych. Przykładowy model bramki NOR TTL został przedstawiony na rysunku 2. Model ten umożliwia wirtualne zbadanie charakterystyk bramki NOR bez wystąpienia błędów w trakcie symulacji. Na bazie tego modelu można uzyskać następujące charakterystyki bramki:

- przełączania (przejściową) jako  $U_O = f(U_I)$ ,
- poboru prądu jako  $I_{CC}(t) = f[U_I(t)]$ ,  $I_{DD}(t) = f[U_I(t)]$ ,
- wyjściową w stanie L i w stanie H,
- wejściową jako wartość napięcia na dodatkowym rezystorze w obwodzie wejścia.

W przypadku bramek CMOS należy postąpić podobnie jak dla bramek TTL. Należy jednak pamiętać o tym, że bramki CMOS mogą być zasilane różnymi napięciami, co należy uwzględnić przy ustawianiu parametrów sygnałów wejściowych. Maksymalna wartość sygnału wejściowego powinna być równa aktualnemu napięciu zasilania  $V_{DD}$  modelu bramki. Modele różnych bramek zostały przedstawione w pracy [2]. Na rysunku 3 został przedstawiony model bramki NOR CMOS.



Rys. 2. Model bramki NOR TTL



Rys. 3. Model bramki NOR CMOS

Na stronie internetowej autorki artykułu [11] zawarte są wybrane wirtualne modele różnych bramek logicznych wraz z przykładami układów pomiarowych, w których otrzymywane są określone charakterystyki. Do uzyskania charakterystyk niezbędne jest ustawienie w środowisku Multisim parametrów symulacji w sposób zapobiegający błędom symulatora. W opcji Simulate/Interactive Simulation Settings... należy ustawić następujące parametry:

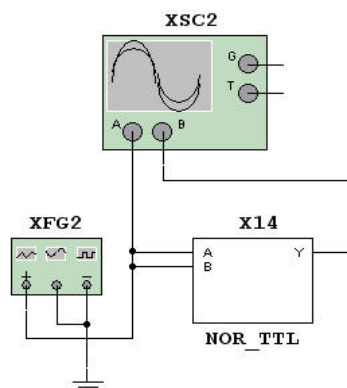
- zerowe warunki początkowe – Initial conditions / Set to zero,
- czas symulacji End time (TSTOP) odpowiednio do częstotliwości sygnału wejściowego, tak aby zarejestrować odpowiedź na pojedynczy przebieg pobudzenia, np. dla charakterystyki przełączania,
- krok symulacji Set maximum time step (TMAX) na 10-4 s, przy występowaniu błędów nawet 10-3 s.

### Statyczne parametry bramek

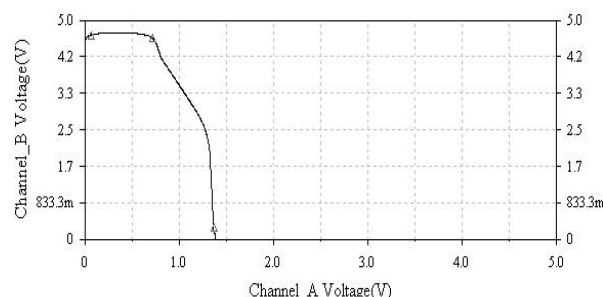
#### Charakterystyka przełączania bramki NOR TTL

Charakterystykę przełączania (przejściową) określa zależność  $U_O = f(U_I)$ . Jej przebieg można uzyskać wykorzystując wirtualny oscyloskop dwukanałowy. Jako pobudzenie generujące napięcie wejściowe w zakresie 0–5 V w laboratorium TC stosowany jest regulowany generator napięcia stałego. Jego wirtualnym odpowiednikiem w środowisku Multisim jest generator funkcji (Function Generator), w którym należy odpowiednio ustawić parametry wejściowe: tj.: wybrać jako źródło sygnału wejściowego przebieg trójkątny, ustawić niską częstotliwość wejściową, np. 1 Hz, składową stałą - 2,5 V (wówczas generator posiada na wyjściu przebieg symetryczny). Można też zastosować generator programowalny Piecewise\_Linear\_Voltage. W celu zwiększenia przejrzystości, schemat modelu bramki można przedstawić jako podobwód (rys. 4). Sposób tworzenia podobwodu został opisany w pracy [2].

Podstawowym trybem pracy oscyloskopu jest obserwacja przebiegów czasowych. W funkcji  $U_O = f(U_I)$  opisującej charakterystykę przełączania czas nie występuje. Oscyloskopy umożliwiają również wyświetlanie przebiegów w trybie X/Y (B/A w Multisimie). Zastosowanie tego trybu spowoduje wykreślenie badanej charakterystyki. Czas symulacji równy 0,5 s i częstotliwość generatora równa 1 Hz zostały tak dobrane, aby uzyskać jeden przebieg procesu przełączania bramki dla zakresu napięcia wejściowego 1–5 V. Otrzymana charakterystyka (rys. 5) jest zbliżona do teoretycznej podanej w materiałach katalogowych oraz w literaturze przedmiotu.



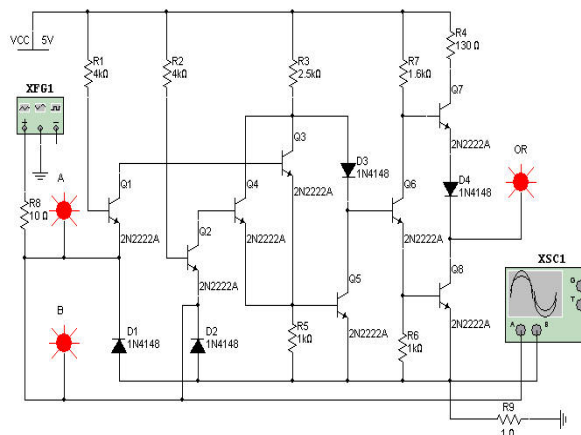
Rys. 4. Schemat do wyznaczania charakterystyki przełączania bramki NOR



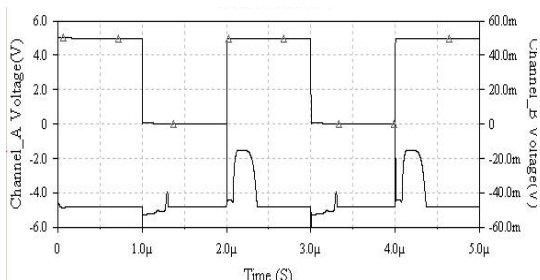
Rys. 5. Charakterystyka przełączania dla bramki NOR

#### Charakterystyka poboru prądu bramki OR TTL

Symulator środowiska Multisim nie posiada narzędzi do rejestracji przebiegu wartości natężenia prądu w określonej gałęzi obwodu. Jednak uwzględniając prawo Ohma można przebieg prądu przedstawić jako przebieg czasowy napięcia na rezystorze jednostkowym 1 Ω wpiętym w obwód zasilania modelu bramki. Dodany do modelu bramki rezystor 1 Ω nie wpływa na jego działanie. Schemat do wyznaczania charakterystyki poboru prądu dla bramki OR TTL został zaprezentowany na rysunku 6. Nie należy zamykać modelu bramki w podobwodzie gdyż ta czynność uniemożliwi dołączenie rezystora do gałęzi zasilania. Aby zaobserwować zjawiska występujące w momencie przełączania bramki częstotliwość generatora sygnału wejściowego powinna być odpowiednio wysoka (setki kHz). Sygnał pobudzający może być falą prostokątną albo przebiegiem trójkątnym, można porównać reakcję bramki na oba przebiegi. Otrzymana charakterystyka została przedstawiona na rysunku 7.



Rys. 6. Schemat do wyznaczania charakterystyki poboru prądu bramki OR TTL



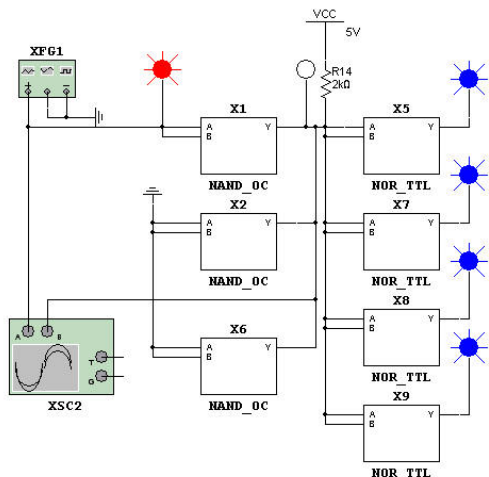
Rys. 7. Charakterystyka poboru prądu bramki OR TTL

### Bramka TTL z otwartym kolektorem

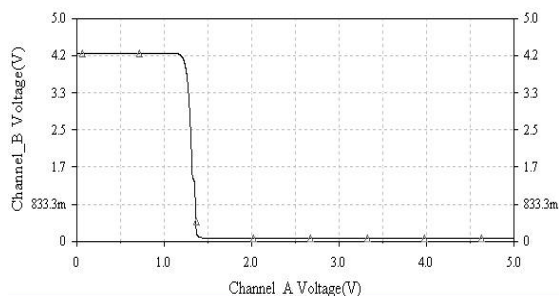
Model bramki z otwartym kolektorem OC (Open Collector) umożliwia przeprowadzenie różnych symulacji [5]. Można między innymi uzyskać charakterystykę przełączania  $U_O = f(U_i)$  bramki OC w sposób podobny jak dla pojedynczej bramki TTL lub CMOS. Dla przejrzystości układu modele bramek zostały również zamknięte w podobwodach. Badania symulacyjne układu można przeprowadzić dla różnej liczby bramek OC oraz bramek obciążających. W ten sposób można określić wpływ rezystora obciążającego R14 (rys. 8) na charakterystykę przełączania.

Jako przykład zostanie przedstawiony układ do pomiaru charakterystyki przełączania bramki OC przedstawiony na rysunku 8. Układ zawiera 3 bramki OC zawarte w podobwodach NAND\_OC oraz 4 dwuwejściowe bramki NOR. Bramki OC wymagają podłączenia ich wyjść do zewnętrznego rezystora  $R_0=R_{14}$ . Jego wartość jest uzależniona od liczby wspólnie podłączonych bramek OC oraz liczby bramek obciążających. Wartości graniczne rezystora  $R_{0min}$  i  $R_{0max}$  należy wyznaczyć na podstawie zależności dostępnych w literaturze przedmiotu, w Internecie, np. [10]. W celu zminimalizowania czasu przeznaczanego na obliczenia, studentom został udostępniony plik przygotowany w środowisku Excel, który umożliwia określenie wartości granicznych  $R_0$  dla różnej liczby wyjść bramek OC dołączonych do wspólnego rezystora oraz różnej liczby wejść bramek obciążających.

Do symulacji, jako źródło sygnału wejściowego, można wykorzystać generator Waveforms, przy czym powinien to być przebieg liniowo narastający/opadający, np. przebieg trójkątny. W układzie jak na rys. 8 wykorzystano generator fali trójkątnej (przy czym wykorzystano „pół przebiegu”), dzięki czemu uzyskano płynną zmianę napięcia wejściowego w zakresie 0–5 V. Na rysunku 9 przedstawiono przykładową charakterystykę przejściową bramki OC dla  $R_0=2\text{ k}\Omega$  uzyskaną w oknie modułu Grapher środowiska Multisim. Moduł Grapher umożliwia również bezpośredni eksport danych do programów Excel, MathCad albo LabView.



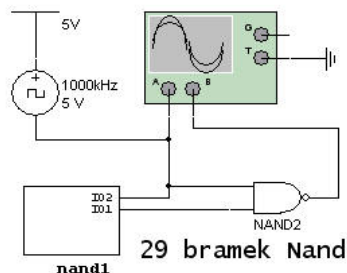
Rys. 8. Układ do pomiaru charakterystyki przełączania bramki NAND z otwartym kolektorem



Rys. 9. Charakterystyka przełączania bramki NAND OC w oknie modułu Grapher dla  $R_0 = 2\text{ k}\Omega$

### Dynamiczne parametry bramek

Podstawowymi parametrami układów cyfrowych są także szybkość działania, odporność na zakłócenia, moc pobierana. Opóźnienie sygnału w bramce nazywamy czasem propagacji sygnału. Czas ten jest podstawowym czynnikiem decydującym o szybkości działania bramki oraz układów zbudowanych z bramek. Typowa wartość czasu propagacji dla układów TTL wynosi 10 ns. Dodatkowo w Multisimie są dostępne bramki idealne, dla których czas ten został ustalony jako 1 ns. Układ do pomiaru czasu propagacji został przedstawiony na rysunku 10, przy czym w układzie tym zastosowano 30 bramek NAND (29 z nich umieszczonych jest w podobwodzie). Z analizy uzyskanych przebiegów wynika, że zmierzony czas propagacji wynosi  $t_p=0,9\text{ ns}$ , pojawił się więc niewielki błąd odczytu wyniku, przy czym wykorzystano bramki dla których  $t_p = 1\text{ ns}$ .



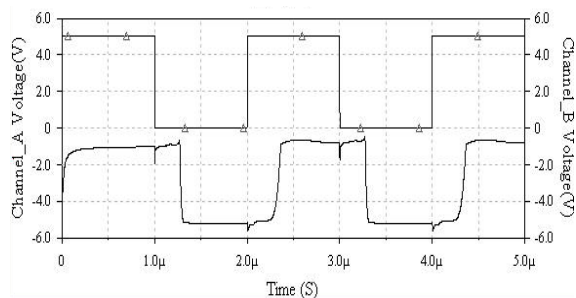
Rys. 10. Układ do pomiaru czasu propagacji

W celu wyznaczenia dynamicznej charakterystyki przełączania modelu bramki należy zaobserwować przebiegi napięć wejściowego i wyjściowego jako funkcje czasu. Pobudzenie powinno być przebiegiem prostokątnym o odpowiednio wysokiej częstotliwości, aby zjawiska dynamiczne były wyraźnie widoczne.

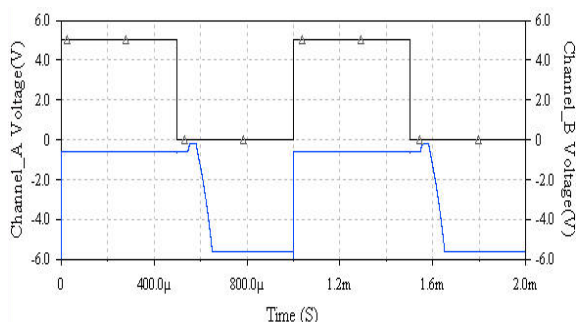
Modele bramek zawarte w bibliotece programu Multisim są uproszczone. Bramki idealne zawarte w układach scalonych mają określony tylko czas narastania i opadania odpowiedzi na wyjściu bramki, przez co kształt tej odpowiedzi jest idealnym trapezem. W rzeczywistych układach można zaobserwować poszczególne etapy załączenia i wyłączenia bramki, w których należy uwzględnić czas niezbędny na załączenie poszczególnych tranzystorów, czas narastania odpowiedzi, oscylacje i czas potrzebny na wyłączenie tranzystorów. Przykładowo bramka OR przedstawiona na rysunku 6 jest zbudowana z tranzystorów i diod małej mocy, w związku z czym parametry czasowe nie odpowiadają bramce TTL, ale kształt odpowiedzi jest poprawny. Badania symulacyjne przeprowadzone w celu obserwacji zjawisk dynamicznych w bramce OR TTL oraz CMOS wykonano dla wysokiej częstotliwości sygnału wejściowego (500 kHz), a przebieg sygnału wejściowego i wyjściowego przedstawiono na oscyloskopie (rys. 11, 12). W związku z wysoką częstotliwością sygnału wejściowego i krótkim czasem trwania zjawisk, w obwodzie należało ustawić większą pre-



czyżę czasową symulacji, np. co 1 ns. Proces przełączania w bramce OR wykonanej w technologii CMOS nie jest w pełni zgodny z rzeczywistością, bramka załącza się natychmiast, a czas wyłączenia wskazywany przez symulator (około 100  $\mu$ s) jest znacznie dłuższy niż w rzeczywistości.



Rys. 11. Proces przełączania w bramce OR TTL



Rys. 12. Proces przełączania w bramce OR CMOS

### Symulacja układu cyfrowego

Multisim oprócz biblioteki gotowych elementów i układów cyfrowych oferuje także dodatkowe przyrządy wirtualne do ich analizy [2, 10]. Do pobudzenia układu cyfrowego realizującego prostą funkcję można wykorzystać 32-bitowy generator słów logicznych (Word Generator), natomiast do rejestracji przebiegów 16-bitowy analizator logiczny (Logic Analyzer). W Word Generatorze kolejne słowa są umieszczane w oknie w zapisie szesnastkowym, dziesiętnym, binarnym lub ASCII, zależnie od wybranej opcji. Generowane słowa można wprowadzić ręcznie lub można skorzystać z gotowych wzorców, np. licznika zliczającego w górę i w dół oraz rejestrów przesuwanych.

Analizator stanów logicznych wyświetla czas wskazywany przez dwa przesuwne kursory oraz określa szesnastkową wartość sygnałów wskazywanych przez kursory. Do poprawnej pracy analizatora konieczny jest prawidłowy dobór częstotliwości próbkowania w stosunku do częstotliwości z jaką pracuje badany układ cyfrowy. W Multisimie dostępny jest także konwerter logiczny (Logic Converter), który umożliwia analizę obwodów cyfrowych poprzez wskazanie zależności sygnału wyjściowego od maksymalnie ośmiu sygnałów wejściowych. Podczas symulacji z wykorzystaniem konwertera konieczne jest odłączenie innych sygnałów pobudzających (generatora słów, stałych sygnałów wejściowych). Po podłączeniu konwertera do obwodu i wybraniu dodatkowych dostępnych opcji możliwe jest uzyskanie: tablicy prawdy analizowanego układu zawierającej wszystkie kombinacje pobudzeń i zapis wyjścia, zapis równania logicznego opisującego dany układ, zapis zminimalizowanej funkcji. Istnieje również możliwość odwrotnego procesu. Po wpisaniu równania logicznego i uaktywnieniu odpowiedniej opcji, pojawia się tablica prawdy zdefiniowanej funkcji. Możliwe jest także wygenerowanie na ekranie monitora schematu logicznego badanej funkcji z wykorzystaniem dowolnych bramek lub złożonego tylko z bramek NAND [2].

Omówione przyrządy wirtualne w dobie pandemii były przez studentów chętnie wykorzystywane. Ułatwiają one syntezę i analizę układów cyfrowych. Szczególnym zainteresowaniem cieszył się konwerter logiczny. Studenci w ramach zajęć tablicowych i laboratoryjnych projektowali rewersyjne liczniki synchroniczne, które pracują według określonego grafu, np. utworzonego z cyfr występujących w dacie urodzenia studenta oraz numerze jego indeksu. Liczniki te studenci budują z wykorzystaniem przerzutników JK, T, D oraz RS oraz z różnymi pętlami sprzężeń zwrotnych. Do budowy pętli możliwe jest wykorzystanie multiplexerów, demultiplexerów oraz różnych bramek logicznych. Najbardziej pracowitym jest projekt z wykorzystaniem w pętli sprzężenia tylko bramek. W tym przypadku dla każdego wejścia informacyjnego przerzutnika niezbędna jest minimalizacja realizowanej funkcji, zastosowanie konwertera logicznego znacznie przyspiesza proces tworzenia projektu licznika.

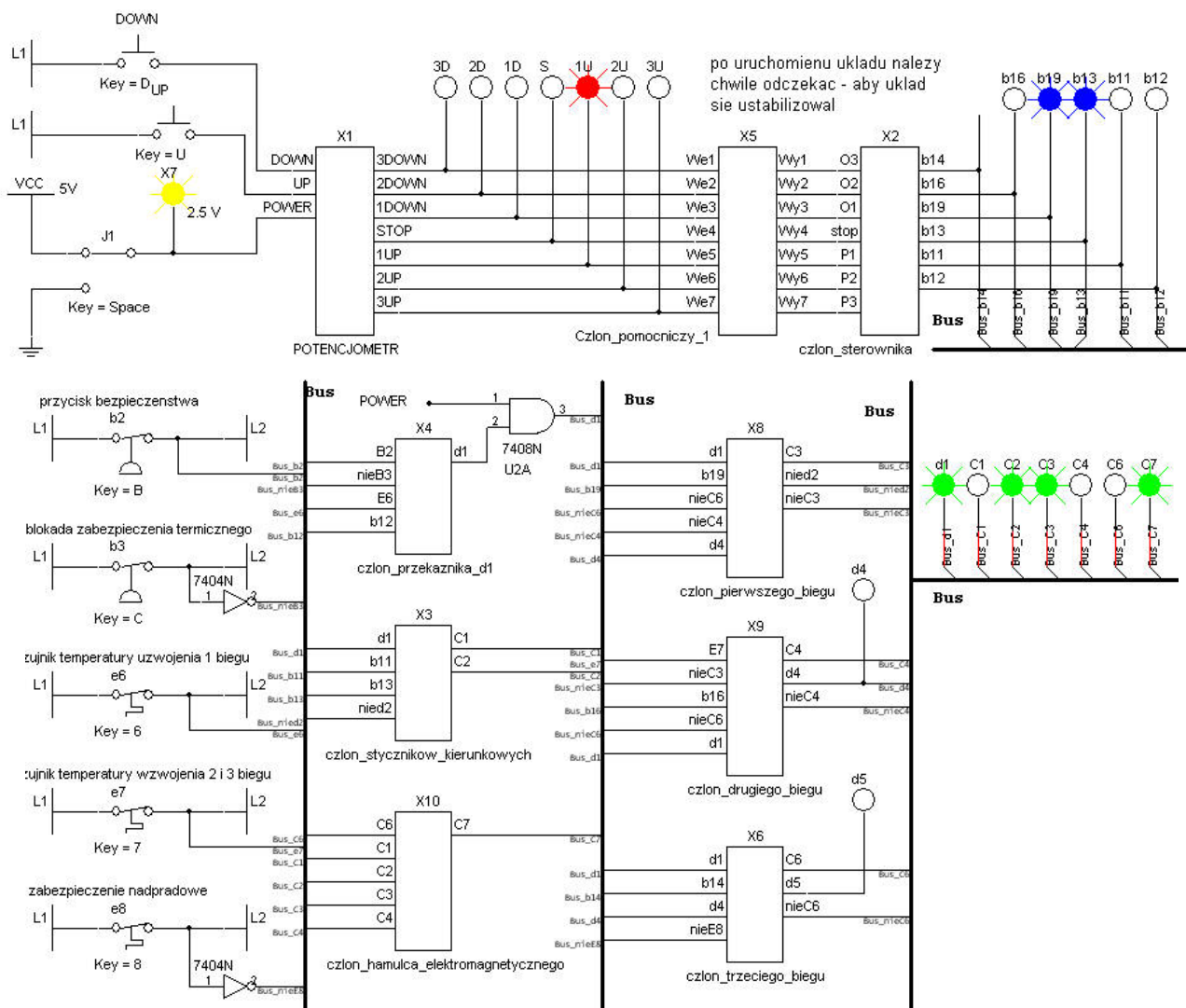
### Układ sterowania pracą windy ładunkowej

Konwencja STCW określa zakres kompetencji i wymagań dla członków załogi jednostek pływających. Do obowiązków elektryka, automatyka lub elektronika należy między innymi zarządzanie pracą układów kontrolnych wyposażenia elektrycznego i elektronicznego, zarządzanie wykrywaniem i usuwaniem usterek oraz przywracaniem do stanu eksploatacyjnego wyposażenia automatycznego, elektrycznego i elektronicznego [1]. W programie nauczania TC dla specjalności Elektrotechnika uwzględniono wymagania konwencji STCW. Studenci w ramach zajęć laboratoryjnych mają między innymi możliwość poznania układu sterowania pracą windy ładunkowej. Poznają sterowanie wykonane w technologii TTL oraz z wykorzystaniem układów programowalnych PLD (Programmable Logic Devices) i języka programowania sprzętu VHDL. W obu przypadkach poznają nie tylko zasady sterowania, ale także zasady diagnostyki i testowania układów cyfrowych. Oba stanowiska laboratoryjne umożliwiają zasymulowanie awarii, zadaniem studenta jest wykrycie awarii, wskazanie objawów oraz błędnie działającego bloku. W warunkach nauki zdalnej studentom został udostępniony wirtualny model sterowania pracą windy ładunkowej opracowany w środowisku Multisim. Jest on zgodny z modelem dostępnym w laboratorium i z opisem przedstawionym na stronie internetowej autorki artykułu [10]. Przedstawiony układ sterowania jest zgodny ze stycznikowo – przekaźnikowym układem sterowania windy 3-biegowej. Posiada on odpowiednie zabezpieczenia, silnik jest zabezpieczony czujnikami temperaturowymi, występuje także zabezpieczenie nadprądowe. Ze względu na duży stopień złożoności omawianego układu, poszczególne jego człony zostały przedstawione jako podobwoły. Układ napędu windy jest symetryczny dla opuszczania i podnoszenia. Dla obu kierunków posiada on trzy stopnie prędkości.

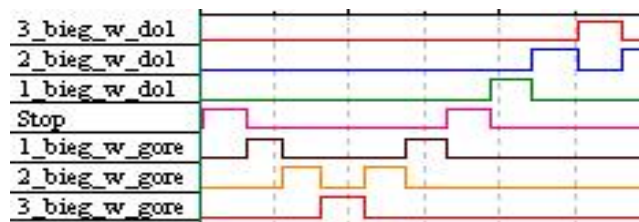
Dostępny w laboratorium TC fizyczny model windy ładunkowej posiada potencjometr siedmiopozycyjny, który symuluje stany położenia manetki sterownika odpowiedzialnego za wybór trybu pracy windy (po trzy biegi w kierunku opuszczania i podnoszenia oraz pozycja STOP). Baza elementów programu Multisim nie zawiera elementu, który mógłby wprost zastąpić ten potencjometr. W celu konstrukcji potencjometru wykorzystano rewersyjny licznik modułu 16. Stany wyjściowe licznika odpowiadają za wybór odpowiedniego położenia wirtualnego potencjometru. W układzie wprowadzono ograniczenia zliczania licznika, a także odpowiednie sterowanie jego wejściami. Dodatkowo uwzględniono sygnał POWER (rys. 13), który powoduje wybranie stanu STOP. Wyboru trybu pracy windy można dokonać przy pomocy wejść UP oraz DOWN. Podczas bu-

dowy wirtualnego potencjometru pojawił się problem związany ze zjawiskiem hazardu, który wyeliminowano poprzez zastosowanie dodatkowego układu pełniącego rolę pamięci. Blok odpowiedzialny za wybór trybu pracy windy jest jedynym

elementem w układzie sterowania, który został zbudowany inaczej niż w modelu fizycznym. Układ sterowania pracą windy został przedstawiony na rysunku 13.



Rys. 13. Układ sterowania pracą windy ładunkowej



Rys. 14. Przykładowe przebiegi czasowe dla potencjometru

Na rysunku 14 przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe (z analizatora stanów logicznych) dla podobodu *potencjometr*. Na podstawie przedstawionych przebiegów czasowych można stwierdzić poprawne działanie układu. Zaprezentowane modyfikacje projektu układu sterującego pracą windy ładunkowej umożliwiły przeprowadzenie symulacji w programie Multisim. Przedstawiony układ może być wykorzystany w celu komputerowej prezentacji działania rzeczywistego modelu, co w warunkach nauki zdalnej odgrywa istotną rolę. Jednak po uruchomieniu układu należy chwilę odczekać, tak aby układ sterowania się ustabilizo-

wał. Ponadto ze względu na złożoność układu sterowania stany potencjometru należy zmieniać powoli, gdyż zbyt szybka zmiana może spowodować zawieszenie komputera. Wyklucza to jednocześnie próbę poznania zachowania układu dla niektórych sytuacji występujących w modelu rzeczywistym, np. dla przypadku szybkiej zmiany położenia sterownika z pozycji trzeciego biegu opuszczania na trzeci bieg podnoszenia.

### Wnioski końcowe

Celem przedmiotu TC jest zdobycie wiedzy o elementach i układach cyfrowych, aparaturze wspomagającej proces projektowania, budowania i testowania układów cyfrowych. Wprowadzone w marcu 2020 r. zasady nauczania w trybie zdalnym wymusiły aktualizację doboru treści i formy prezentacji przedmiotu. Przedstawiona w artykule przykłady świadczą o przydatności środowiska Multisim w dydaktyce, przy czym może on być z powodzeniem stosowany nie tylko do nauki techniki cyfrowej. Zaprezentowane przykłady umożliwiają poznanie przykładowych rozwiązań, ponadto mogą być inspiracją do poznania kolejnych projektów, zagadnień. Multisim jest dobrym narzędziem do projektowa-

nia, analizy i symulacji różnych układów, a przede wszystkim cyfrowych. Istotnym czynnikiem przeprowadzonych analiz oraz wyników symulacji jest możliwość zaobserwowania różnych niepożądanych efektów występujących w cyfrowych układach rzeczywistych, np. zjawiska hazardu. Program ten może pełnić rolę wirtualnego laboratorium techniki cyfrowej.

W pracy [12] autor omówił wyniki eksperymentu dydaktycznego dotyczącego nauczania podstaw techniki cyfrowej. W eksperymencie zrezygnowano z użycia technologii e-learningowych z uwagi na brak czasu niezbędnego do przygotowania interaktywnych materiałów edukacyjnych. W marcu 2020 r. nie było zbyt dużo czasu na przygotowanie nowych materiałów dydaktycznych. Były one często tworzone na bieżąco, również z uwzględnieniem pojawiających się pytań i problemów zgłaszanych przez studentów. Czy liczne wirtualne układy, schematy pomiarowe opracowane w środowisku Multisim pomogły studentom na zrozumienie zagadnień z zakresu techniki cyfrowej? Dzisiaj jeszcze chyba za szybko na jednoznaczną ocenę. Autorka artykułu ma nadzieję, że potwierdzi się opinia wyrażona w pracy [13], że interaktywne materiały edukacyjne umożliwiają studentowi naukę i wielokrotne powtarzanie materiału w dogodnym dla niego czasie i w określonym tempie dostarczania wiedzy.

W artykule [14] przedstawiono opis wykładów wideo online poświęconych technice cyfrowej. Na podstawie wstępnej ankiety autorzy stwierdzili, że większość studentów to wzrokowcy, którzy powinni skutecznie się uczyć z zastosowaniem metod wizualnych. Autorzy, na podstawie przeprowadzonej oceny wyników nauczania, stwierdzili, że studenci mają trudności ze zrozumieniem podstawowych pojęć dotyczących techniki cyfrowej. Dlatego udostępnili studentom nagrania z wykładami. Opinie studentów potwierdziły, że dostęp do nagranych wykładów ułatwił im zrozumienie omawianych zagadnień. Czy zdalnie prowadzone zajęcia z TC, które każdy ze studentów mógł ewentualnie nagrywać, spełniły podobną rolę, czas pokaże.

Niektórzy studenci UMG do prowadzonych zajęć z TC wykazali się nieco innym stosunkiem niż studenci biorący udział w zajęciach omówionych w pracy [13]. W pracy tej autor stwierdził, że formy aktywne spotkały się z bardzo dobrym przyjęciem studentów i wpłynęły korzystnie na osiągnięcie założonych efektów kształcenia. W KAO w UMG na zajęciach z TC były omawiane zasady projektowania różnych układów cyfrowych, począwszy od tych prostych do bardziej złożonych. Student otrzymał każdy omawiany projekt w postaci wirtualnego układu. Zaangażowanie studentów w przygotowanie własnego układu nie zawsze było zadowalające. Dalsze wzbogacanie procesu nauczania w kolejne wirtualne układy zależy od pomysłowości prowa-

dzącego zajęcia, aktywności i zainteresowania studentów. Oczywiście należy w tym przypadku uwzględnić również czynnik czasu oraz program nauczania przedmiotu TC, które warunkują ilość prezentowanych zagadnień.

**Autorzy:** dr inż. Krystyna Maria Noga, Uniwersytet Morski w Gdyni, Katedra Automatyki Okrętowej, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, E-mail: k.noga@we.umg.edu.pl.

## LITERATURA

- [1] Wawruch R., Zakres nowelizacji Konwencji i Kodeksu STCW w 2010 roku, prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni, nr 26, 97–116, 2011
- [2] Noga K. M., Pakiet Multisim - zaawansowane przykłady zastosowań w dydaktyce, *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej*, 28/2010, 113-118, ISSN 1425-5766
- [3] K. M. Noga K. M., Zajęcia laboratoryjne z Techniki Cyfrowej w Akademii Morskiej, *Zeszyty Naukowe WEiA Politechniki Gdańskiej*, 46/2015, 85-88, ISSN 1425-5766
- [4] Noga, K. M., Radwański M., Our experiences in teaching of digital logic, *Innovations in E-learning, Instruction Technology, Assessment and Engineering Education*, Polytechnic University, USA, Springer 2007, 237-242
- [5] Noga K. M., Zastosowanie komputerowej symulacji w środowisku Multisim w procesie kształcenia inżyniera, *Zeszyty Naukowe WEiA Politechniki Gdańskiej*, 65/2019, 105–110, ISSN 2353-1290, doi: 10.32016/1.65.17
- [6] Noga K. M., Nauczanie Techniki Cyfrowej na kierunku Elektrotechnika w Uniwersytecie Morskim w Gdyni, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 95, 12/2019, 276–281, ISSN 0033-2097, doi: 10.15199/48.2019.12.62
- [7] Górecka M., Górecki K., Porównanie wybranych narzędzi do komputerowej analizy układów cyfrowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 94, 11/2018, 72-75
- [8] Dąbrowski J., Łaziński J., Zastosowanie programu OptiSystem w modelowaniu oraz prezentacji właściwości układów i systemów światłowodowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 97, 2/2021, 11–15, ISSN 0033-2097, doi: 10.15199/48.2021.02.03
- [9] Noga K. M., Radwański M., Multisim. Technika cyfrowa w układach. *Wydawnictwo BTC*, Legionowo 2009, ISBN 978-83-60233-48-1
- [10] <http://atol.am.gdynia.pl/tc>
- [11] <http://atol.am.gdynia.pl/tc/ksiazka/ksiazka.html>
- [12] Dębiec P., Active Teaching and Learning as a Remedy for Engineering Education Problems, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 95, 11/2019, 1-4, ISSN 0033-2097, doi: 10.15199/48.2019.11.01
- [13] Dębiec P., Zorientowane na studenta nauczanie podstaw techniki cyfrowej, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 94, 9/2018, 117–120, doi:10.15199/48.2018.09.28
- [14] Abidin H. Z., Hussin H., Ali M., Muhamad M., Husaini Y., Online video lecture series for digital logic fundamental courses blended learning, *IEEE 9th International Conference on Engineering Education (ICEED)*, 2017, 228-232, doi:10.1109/ICEED.2017.8251198