

Przegląd rozwiązań stanowisk laboratoryjnych stosowanych podczas nauki zdalnej

Michał Raczyński, Andrzej Biedka

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin

Streszczenie: W artykule zaprezentowano szereg praktycznych rozwiązań, które zastosowano by przekształcić stacjonarne stanowiska laboratoryjne (stosowane w ramach dydaktyki szeroko rozumianej elektroniki analogowej, cyfrowej oraz techniki mikroprocesorowej i systemów wbudowanych) do nauki zdalnej. Zastosowane rozwiązania umożliwiły pracę w warunkach możliwie najbardziej zbliżonych do standardowych zajęć stacjonarnych – z wykorzystaniem rzeczywistych układów i przyrządów pomiarowych, a nie jedynie symulacji komputerowej. Przykłady uruchomionych stanowisk laboratoryjnych to: obsługa silnika krokowego, generowanie sygnału PWM, obsługa elementów stykowych, obsługa magistral SPI i I²C, badanie parametrów dynamicznych bramek logicznych, badanie filtrów aktywnych, badanie parametrów dynamicznych klucza tranzystorowego. Cechą charakterystyczną opisanych rozwiązań jest niski nakład kosztów oraz możliwość szybkiego dostosowania stanowiska stacjonarnego do pracy zdalnej i odwrotnie, co było szczególnie istotne w warunkach pandemii koronawirusa w ostatnich latach i dynamicznych zmian formy zajęć (czasami z tygodnia na tydzień). Zaprezentowany zbiór opisów stanowisk laboratoryjnych może być szczególnie przydatny dla pracowników prowadzących zajęcia na uczelniach technicznych, gdzie kwestia przekazania studentom praktycznych umiejętności jest kluczowa.

Słowa kluczowe: nauka zdalna, układy elektroniczne, systemy wbudowane, mikrokontrolery

1. Wstęp

Kwestia praktycznego rozwiązania problemu, jakim jest prowadzenie zajęć zdalnych dla studentów nabrała szczególnego znaczenia w ostatnich latach naznaczonych pandemią koronawirusa. Dzięki powszechnemu dostępowi do Internetu możliwe stało się prowadzenie spotkań on-line np. za pomocą platform takich jak MS Teams, Google Meet, czy Discord. Dało to możliwość skutecznego (w sensie technicznym, pomijając aspekty psychologiczno-społeczne, które nie są tematem niniejszej pracy) prowadzenia wykładów. Wymienione platformy umożliwiały także tworzenie interaktywnych testów, zadań, przesyłania sprawozdań, oraz wystawiania ocen wraz z komentarzami. Dzięki temu techniczna realizacja klasycznych ćwiczeń rachunkowych (audytoryjnych) stała się stosunkowo łatwa. Oczywiście osobnym zagadnieniem pozostaje kwestia oceny studentów i przeprowadzenia miarodajnego sprawdzenia ich wiedzy.

Autor korespondujący:

Michał Raczyński, rm23892@zut.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 10.08.2022 r., przyjęty do druku 23.01.2023 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

Grupą zajęć najtrudniejszą do przeprowadzenia w formie zdalnej są niewątpliwie praktyczne ćwiczenia laboratoryjne pozostające istotą studiów inżynierskich. Oczywiście również w tej grupie spektrum zajęć pozostaje bardzo szerokie – nawet po zawężeniu do jednej dyscypliny naukowej. Stosunkowo proste do realizacji wydają się być przedmioty wymagające do ich przeprowadzenia jedynie komputera z odpowiednim oprogramowaniem (które często jest darmowe albo posiada darmową dystrybucję do celów edukacyjnych).

Problemy pojawiają się, gdy do zrealizowania zajęć wymagany jest specjalistyczny sprzęt (badane elementy i układy, przyrządy pomiarowe). Najprostszym rozwiązaniem tego zagadnienia jest dokonanie samych pomiarów przez prowadzącego zajęcia i udostępnienie studentom danych pomiarowych w celu ich dalszej obróbki i analizy. Takie podejście pozbawia ich możliwości praktycznej nauki obsługi sprzętu i dokonywania pomiarów, a rolę studenta ogranicza do analizy metrologicznej i wyciągnięcia wniosków (co jest trudne, jeżeli nie pracowało się i nie widziało rzeczywistego urządzenia). Nieco lepszym podejściem jest zarejestrowanie filmu prezentującego proces dokonywania pomiarów i zawierającego np. wskazania przyrządów pomiarowych. Takie rozwiązanie, choć w ograniczonym stopniu daje studentowi pogląd na to, jak wygląda praktyczna strona realizowanego przez niego ćwiczenia.

W wielu przypadkach stosuje się programy symulacyjne do analizy numerycznej badanych układów. W przypadku układów elektronicznych należy wymienić PSpice lub LTSpice. Korzystając z profesjonalnych pakietów obliczeniowych (np. MATLAB)

możliwa jest także analiza obwodów elektronicznych (i innych obiektów, urządzeń, układów). Zagadnienia dotyczące stosowania symulacji (jako powszechnego dzisiaj narzędzia wykorzystywanego podczas projektowania nowych rozwiązań) często i tak wchodzą w zakres przedmiotów realizowanych w standardowej, stacjonarnej formie [1]. Nie dają one jednak możliwości nauki dokonywania pomiarów i obsługi przyrządów pomiarowych. Przykładowo: dokonanie analizy częstotliwościowej obwodu sprowadza się jedynie do podania początkowej i końcowej częstotliwości, kroku symulacji, oraz charakteru zmian (logarytmiczny bądź liniowy) i uruchomienia symulacji. W rezultacie otrzymuje się gotowe wykresy z charakterystykami amplitudowymi i fazowymi. Poznanie zasad zdejmowania charakterystyk z rzeczywistych układów elektronicznych z wykorzystaniem generatora i oscyloskopu nie jest w takiej formie nauki możliwe.

W przypadku nauki programowania mikrokontrolerów sytuacja wydaje się jeszcze trudniejsza. Wykorzystanie symulatora (np. dla mikrokontrolerów AVR zawartego w środowisku Microchip Studio) jest w zasadzie ograniczone do zasobów wewnętrznych mikrokontrolera. Problematiczne jest poprowadzenie zajęć dotyczących obsługi zewnętrznych układów (np. układy stykowe, silniki, sterowanie multiplexowe wyświetlaczem siedmiosegmentowym itd.).

Najbardziej atrakcyjną propozycją rozwiązania tego problemu jest stworzenie zdalnych laboratoriów (ang. *remote laboratories*), które umożliwiają studentowi pracę na rzeczywistym sprzęcie. Laboratoria takie dotyczą różnych dziedzin (np. z fizyki [3]) i znane są już od dłuższego czasu, ale ich rola znacząco wzrosła w okresie nauki zdalnej.

W literaturze można odnaleźć znaczną liczbę opracowań systemów zdalnych laboratoriów do nauki układów elektronicznych.

W pracy [4] zaproponowano ciekawy system wykorzystujący komputer jednopłytkowy Raspberry Pi umożliwiający przeprowadzanie eksperymentów z różnych dziedzin np. robotyki, ale także badania układów elektronicznych. Opisane tam systemy laboratoriów zdalnych wykorzystują specjalizowane oprogramowanie (a także sprzęt), co ogranicza ich dostępność. Nieco podobne rozwiązanie przedstawiono w [8].

Zagadnieniu zdalnych laboratoriów, niewymagających dużego nakładu finansowego, poświęcona była praca [5]. Zasadniczą częścią opracowanego systemu była kontrolowana przez połączenie internetowe uniwersalna przełączalna matryca połączeń (ang. *switching matrix*). Zawierała ona 32 przełączniki umożliwiające przełączanie podłączonych do nich elementów stanowiących badany układ elektroniczny (np. kondensatory i rezystory pasywnego filtra). Oprócz matrycy system zawierał przyrządy pomiarowe (oscyloskop) i źródła sygnału (generator) również kontrolowane przez sieć internetową. Całość bazuje na popular-

nej płytce rozwojowej ARDUINO MEGA wraz z rozszerzeniem umożliwiającym wykorzystanie złącza RJ45. Jako kolejną zaletę opisanego systemu można podać, że nie wymaga on stosowania komputera PC do kontroli jego pracy.

W pracy [7] rolę generatora, oscyloskopu, regulowanego źródła napięcia i in. pełni autorski system mikroprocesorowy (w zależności od wersji oparty na mikrokontrolerze STM lub AVR) z możliwością komunikacji z komputerem. Zaproponowano tam formę „domowego laboratorium”, w którym student otrzymał płytkę prototypową ze wspomnianym systemem pomiarowym. Dzięki zastosowaniu połączenia wirtualnej sieci prywatnej VPN (ang. *virtual private network*), dane pomiarowe mogły być wymieniane między studentami a nauczycielem. Zastosowanie popularnych platform mikrokontrolerowych obniżyło znacznie koszty w stosunku do sytuacji, gdy do pomiarów wykorzystywaliby się komercyjne przyrządy pomiarowe. Dostarczenie płytek dużej liczbie studentów wydaje się być jednak sporą trudnością.

Mniej jest opracowań opisujących dostosowanie do nauki zdalnej stanowisk do programowania mikrokontrolerów. Ciekawe rozwiązanie laboratoriów (dla mikrokontrolerów rodziny STM) było opisane w [2]. Autorzy proponują tam „odwrotną wersję” laboratorium zdalnego. Polegała ona na tym, że studenci otrzymywali płytkę rozwojową z mikrokontrolerem, dodatkowo wyposażoną w moduł komunikujący się z siecią Wi-Fi, umożliwiającą pracę pod nadzorem nauczyciela (opartą o układ esp8266). Przeprowadzona ankieta wskazała, że po zastosowaniu tego rozwiązania wyniki studentów w nauce uległy poprawie. Wadą opisanego systemu, było to, że każdy student musiał otrzymać płytkę (co z oczywistych względów może być kłopotliwe), a laboratorium było „zdalne” jedynie z punktu widzenia nauczyciela.

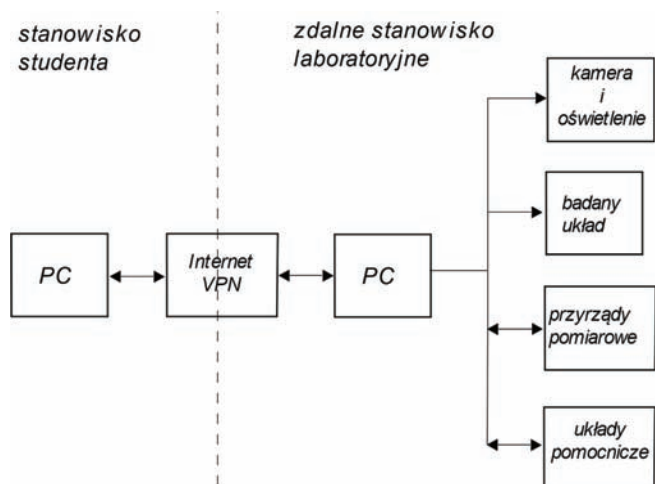
W publikacji [6] zaproponowano metodę szybkiego dostosowania stacjonarnych stanowisk do programowania mikrokontrolerów oraz części stanowisk z układów elektronicznych do nauki zdalnej. Wykorzystano w nich m.in. kamerę umożliwiającą obserwację badanego obiektu. Dostęp do stanowiska zdalnego odbywał się przez pulpit zdalny udostępniony za pomocą sieci VPN. W artykule tym przedstawiono ogólną ideę, początkowe doświadczenia i odbiór zaproponowanej metody przez studentów. Niniejsza praca jest kontynuacją i rozwinięciem zaproponowanych tam rozwiązań. Prezentuje konkretne propozycje realizacji zdalnych laboratoriów opartych na sprzęcie jak na zajęciach stacjonarnych.

2. Ogólna koncepcja stanowisk do pracy zdalnej i ich charakterystyczne elementy składowe

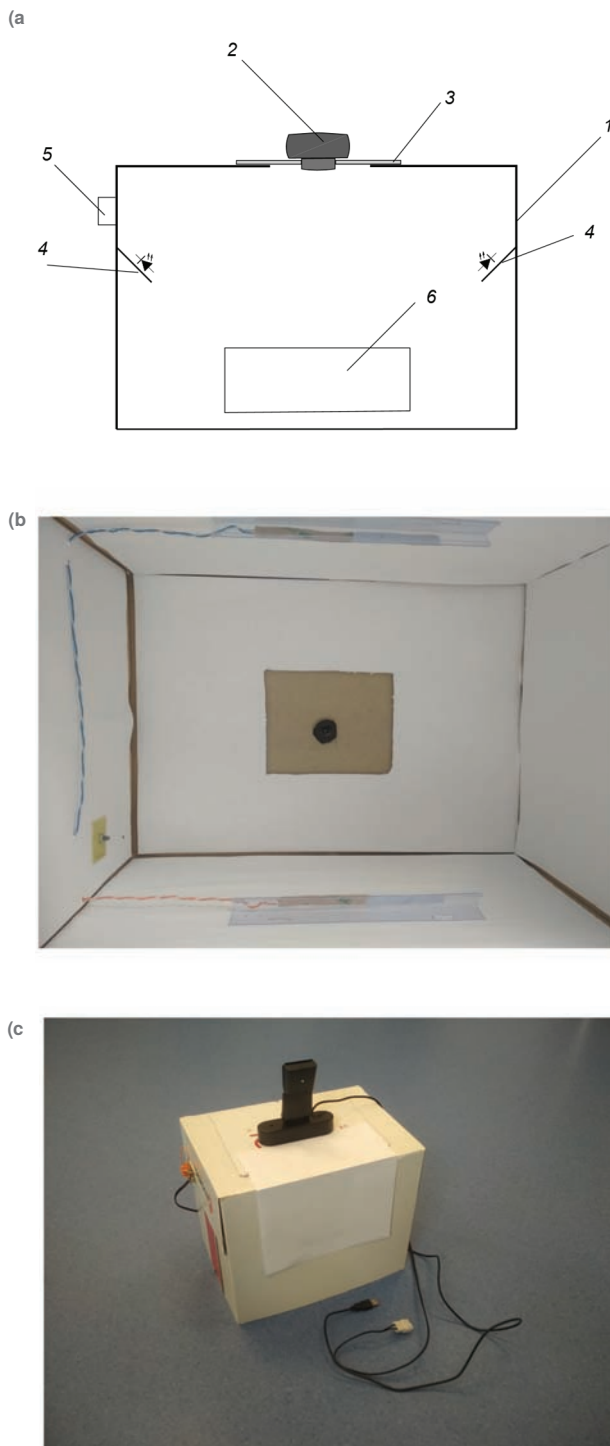
Opracowane stanowiska zdalne miały spełniać następujące założenia:

- umożliwić studentom pracę w warunkach jak najbardziej zbliżonych do zajęć stacjonarnych, operowanie na rzeczywistym sprzęcie;
- wykorzystywać sprzęt używany na zajęciach stacjonarnych i umożliwiać szybkie przechodzenie z jednej formy zajęć na drugą (stacjonarne na zdalne i odwrotnie), gdy zajdzie taka potrzeba;
- nie wymagać znacznych nakładów finansowych.

Ogólna idea stanowiska przedstawiała się następująco: sprzęt wykorzystywany w trakcie zajęć był podłączony do komputera PC, a ten za pośrednictwem połączenia VPN i pulpitu zdalnego był udostępniony dla studentów przebywających w dowolnym miejscu z dostępem do Internetu. Poglądowy schemat blokowy stanowiska zdalnego przedstawiono na rys. 1. Oczywiście w zależności od rodzaju konkretnego ćwiczenia nie muszą występować wszystkie przedstawione tam elementy. Przykładowo, w przypadku badania układu elektronicznego (np. fil-



Rys. 1. Ogólna koncepcja stanowiska zdalnego
Fig. 1. General concept of a remote workstation



Rys. 2. Poglądowy schemat obudowy stanowiska zdalnego (a): 1 – kartonowe pudło, 2 – kamera USB, 3 – podkładka umożliwiająca precyzyjne pozycjonowanie kamery, 4 – oświetlenie LED, 5 – złącze oświetlenia LED, 6 – badany układ; rzeczywisty widok wnętrza obudowy (b); rzeczywisty widok zewnętrzny obudowy (c)

Fig. 2. Illustrative diagram of the remote station enclosure (a): 1 – carton box, 2 – USB camera, 3 – pad for precise camera positioning, 4 – LED lighting, 5 – LED lighting connector, 6 – system under test; real view of the inside of the enclosure (b); real external view of the enclosure (c)

tru aktywnego) nie jest potrzebna jego obserwacja (a także połączenie układu elektronicznego z komputerem), a jedynie obsługa przyrządów pomiarowych. W związku z tym nie jest konieczne wykorzystywanie kamery. Podczas zajęć z programowania mikrokontrolerów sytuacja jest z zasady odwrotna – nie są potrzebne dodatkowe przyrządy pomiarowe, ale konieczne jest użycie kamery umożliwiającej obserwację wyników pracy programu np. diodę LED czy wyświetlacz oraz oczywiście podłączenie programatora umożliwiającego programowanie mikro-

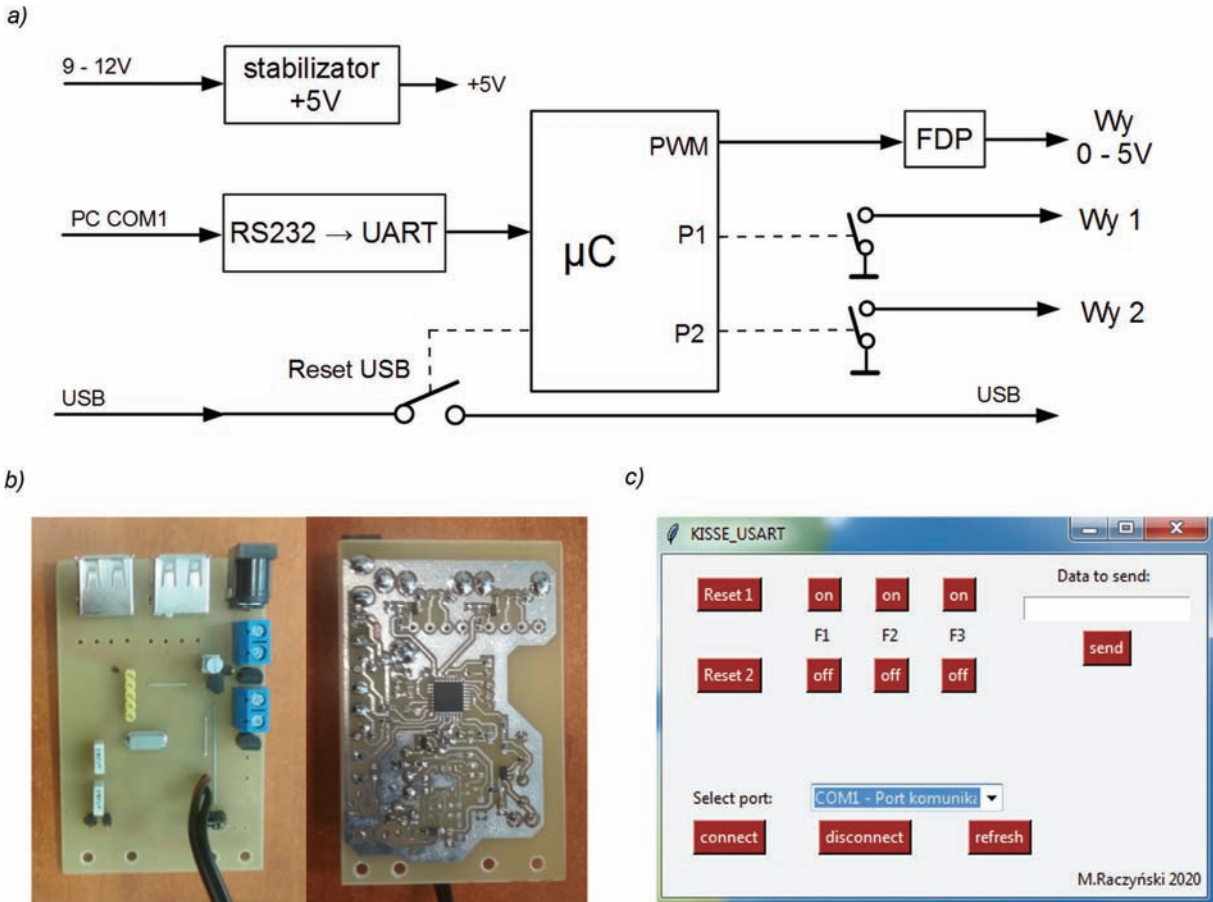
kontrolera. Jak można zauważyć, stworzenie stanowiska zdalnego według przedstawionej idei jest możliwe w oparciu o elementy wykorzystywane podczas zajęć standardowych – tym bardziej, że coraz więcej przyrządów pomiarowych (oscyloskopy, multimetry) ma możliwość współpracy z komputerem PC i wykorzystywania do obsługi dedykowanej aplikacji. Uczelnie wyższe są także wyposażone w szybkie łącza internetowe, a także w swoje własne sieci VPN. Wykorzystana funkcjonalność pulpitu zdalnego (dostępna już w zasadzie w zdecydowanej większości systemów operacyjnych) gwarantuje, że wszystkie czynności wykonywane przez studenta są identyczne jak na komputerze stosowanym podczas zajęć stacjonarnych. Dzięki temu nakłady finansowe i czasowe potrzebne na uruchomienie stanowisk są minimalne. Pewne szczególne rozwiązania dodatkowe, które podnoszą jakość użytkowania zdalnych stanowisk i rozszerzają ich możliwości (w kierunku uzyskania warunków jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistych warunków w sali laboratoryjnej) zostaną opisane w kolejnych punktach.

2.1. Obudowa stanowiska zdalnego

W przypadku obiektów wymagających obserwacji (np. dioda LED, wyświetlacz, silnik krokowy) konieczne jest stworzenie warunków pozwalających na jej prowadzenie w możliwie najwyższej jakości. Pierwszym elementem jest kamera USB. Doświadczenie pokazało, że najlepsze rezultaty daje użycie kamery o manualnie regulowanej ostrości obiektywu. Ważna jest także możliwość precyzyjnej regulacji obserwowanego obszaru, przez umożliwienie przesuwania kamery w płaszczyźnie poziomej. Drugą bardzo istotną kwestią jest uzyskanie prawidłowego oświetlenia. W początkowych próbach korzystano z oświetlenia sali laboratoryjnej, co dawało jednak słabe rezultaty, oraz powodowało duże zużycie energii elektrycznej (szczególnie, gdy stanowiska są dostępne w sposób ciągły). Aby rozwiązać powyższe problemy stworzono obudowę umożliwiającą montaż kamery oraz zapewniającą prawidłowe oświetlenie obserwowanego obiektu. Konstrukcję obudowy oraz jej rzeczywisty wygląd przedstawiono na rys. 2. Obudowę wykonano z kartonowego pudła, jego wymiary są związane z wielkością obserwowanego obszaru (długość i szerokość) oraz z ogniskową zastosowanej kamery (wysokość). Obiektyw kamery osadzony jest ciasno w okrągłym otworze wykonanym w płaskiej, kwadratowej kartonowej podkładce, a ta położona na nieco mniejszym od niej otworze wyciętym w górze obudowy. Umożliwia to precyzyjne pozycjonowanie kamery w płaszczyźnie poziomej w celu ustalenia zakresu obserwowanego obszaru. Oświetlenie w postaci pasków LED umieszczonych w górnej części bocznych ścianek, jest skierowane ku górze obudowy, która wyłożona jest chropowatym białym papierem. Umożliwia to rozpraszanie światła padającego na obserwowany obszar znajdujący się na dole obudowy (eliminacja odbić zaburzających widoczność). Napięcie do zasilania oświetlenia jest pobierane z zasilacza komputera PC (12 V). Jak można zauważyć konstrukcja obudowy jest bardzo prosta, tania i nie wymaga użycia specjalistycznych podzespołów. Raz wykonana obudowa może być wielokrotnie szybko zakładana i zdejmowana w zależności od potrzeb (np. chwilowe wprowadzenie nauki zdalnej).

2.2. Układ pomocniczy KISSE-CONTROL

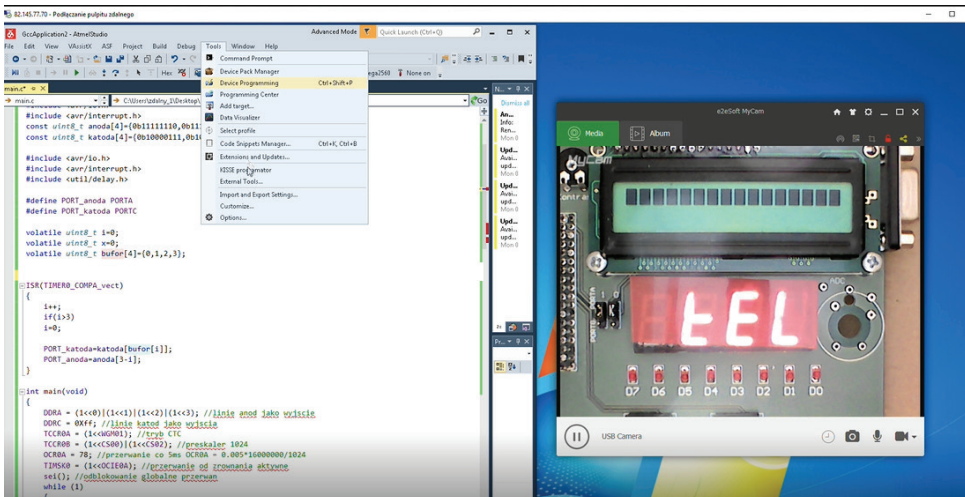
Pomysł stworzenia mikroprocesorowego układu pomocniczego wynikał z występowania problemu zawieszenia komunikacji USB niektórych typów kamer. Przywrócenie ich funkcjonowania wymagało odłączenia i ponownego podłączenia zasilania (pobieranego z portu USB). Aby zrealizować to w warunkach zdalnych (stacjonarnie konieczne było wyjęcie i ponowne włożenie wtyku USB kamery) zdecydowano się na konstrukcję układu, współpracującego z prostą aplikacją na komputerze PC. Miał on za zadanie odcinać i po chwili przywracać zasilanie kamery (za pomocą klucza tranzystorowego włączonego szeregowo z obwodem zasil-



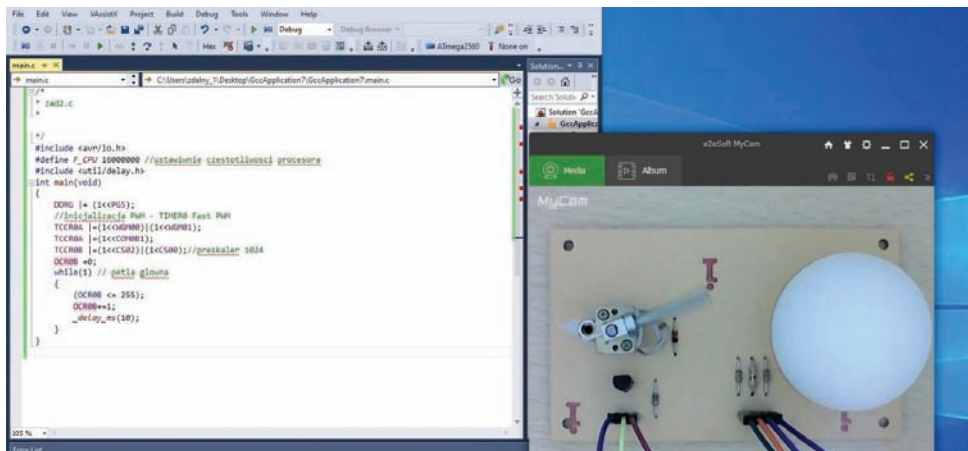
Rys. 3. Układ sterowania KISSE CONTROL: schemat blokowy(a), układ elektroniczny (b), okno aplikacji (c)
 Fig. 3. KISSE CONTROL system: block diagram (a), electronic circuit (b), application window (c)

lania kamery) po kliknięciu wirtualnego przycisku we współpracującej z układem pomocniczym aplikacji. W późniejszym czasie okazało się, że konieczność „resetu” przez odcięcie zasilania występuje także w przypadku zastosowanego do niektórych zajęć zdalnych oscyloskopu cyfrowego. W jego przypadku wyłączeniu musiało podlegać napięcie sieciowe 230 V, co wymagało oprócz zastosowania kolejnego kanału sterującego, użycia przekaźnika. W końcowym projekcie aplikacji i układu zdecydowano się na stworzenie większej liczby uniwersalnych kanałów wyjściowych pracujących dwustanowo (włącz-wyłącz) umożliwiających podłączenie większych obciążeń np. w postaci przekaźników. Ponadto w układzie pomocniczym stworzono kanał generujący na wyjściu napięcie stałe o zadanej (za pomocą aplikacji) wartości. Wykorzystano w tym celu kanał modulacji szerokości impulsów

mikrokontrolera PWM (ang. *Pulse Width Modulation*) oraz filtr dolnoprzepustowy. Układ pomocniczy oparto na tanim i popularnym mikrokontrolerze AVR, a aplikację napisano w języku PYTHON. Komunikacja odbywała się za pomocą portu szeregowego (interfejs RS-232, lub wykorzystanie interfejsu USB i wirtualnego portu szeregowego VPN). Na rys. 3. przedstawiono schemat blokowy układu, jego rzeczywisty wygląd oraz widok okna współpracującej z nim aplikacji. Stworzony system KISSE CONTROL (skrót od nazwy Katedry Inżynierii Systemów, Sygnałów i Elektroniki, w której pracują jego twórcy) okazał się być uniwersalny i umożliwił znaczne rozszerzenie dostępnych dla studentów w formie zdalnej stanowisk laboratoryjnych. Niektóre rozwiązania stanowisk zostaną omówione dalej.

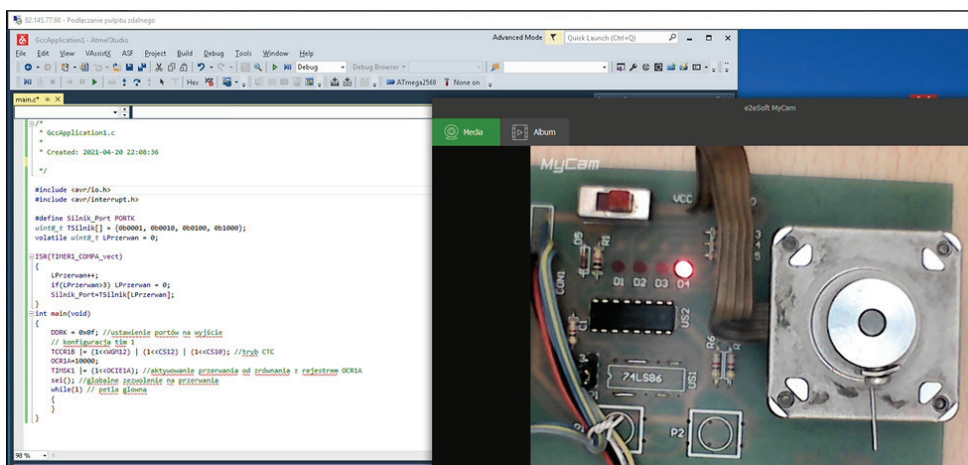


Rys. 4. Widok stanowiska zdalnego (od strony studenta) podczas wykonywania ćwiczenia z obsługi wyświetlacza siedmiosegmentowego (źródło: sprawozdanie studenckie)
 Fig. 4. View at the remote station (from the student's point of view) during the seven-segment display control exercise (source: student report)



Rys. 5. Widok od strony studenta podczas pracy na stanowisku zdalnym przy sterowaniu silnika sygnałem PWM (źródło: sprawozdanie studenckie)

Fig. 5. View at the remote station (from the student's point of view) with PWM signal control of the motor (source: student report)



Rys. 6. Widok od strony studenta podczas pracy na stanowisku zdalnym przy sterowaniu silnika krokowego (źródło: sprawozdanie studenckie)

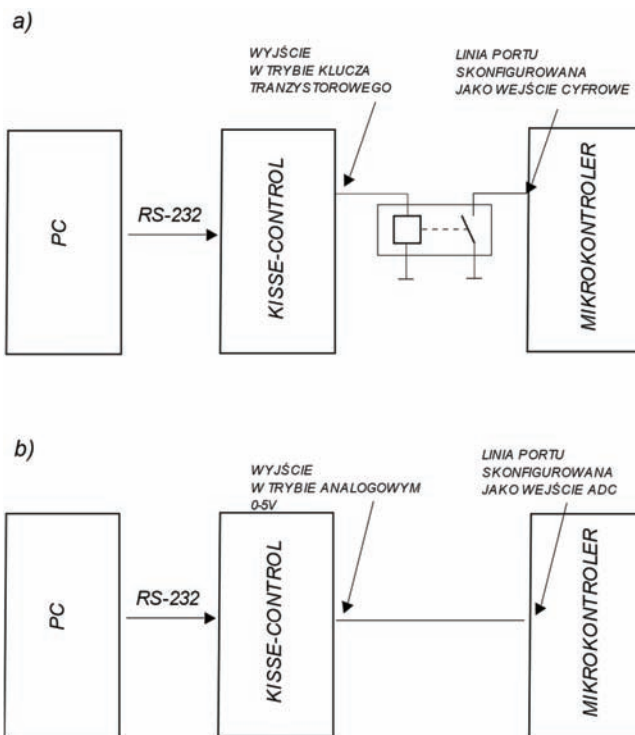
Fig. 6. View at the remote station (from the student's point of view) on stepper motor control (source: student report)

3. Programowanie mikrokontrolerów i systemy wbudowane

Stanowisko do nauki programowania mikrokontrolerów zrealizowano na bazie zestawu dydaktycznego, stosowanego podczas zajęć stacjonarnych, opartego na mikrokontrolerze ATMEGA2560. Jego programowanie odbywało się z wykorzystaniem interfejsu USB. Umieszczenie zestawu w opisanej wcześniej obudowie (bez konieczności stosowania dodatkowych elementów) umożliwiło wygodną zdalną realizację ćwiczeń, jak obsługa portów wejścia/wyjścia, obsługa układów czasowo-licznikowych (timerów), także z wykorzystaniem przerw, dynamiczna obsługa czteropozycyjnego wyświetlacza siedmiosegmentowego, obsługa wyświetlacza alfanumerycznego LCD, obsługa portu komunikacji szeregowej asynchronicznej – UART. Komputer obsługujący zestaw dydaktyczny był udostępniony studentom w formie pulpitu zdalnego przez wirtualną sieć prywatną. Na rys. 4. przedstawiono widok zestawu dydaktycznego i środowiska programistycznego od strony studenta pracującego zdalnie (zaczepnięty ze sprawozdania studenckiego), podczas wykonywania ćwiczenia ze sterowania dynamicznego wyświetlaczem siedmiosegmentowym. Leżący na wyświetlaczu pasek, wycięty z czerwonej folii, pełnił rolę filtra polepszającego czytelność wyświetlanego znaku.

Dzięki wykorzystaniu dodatkowych modułów (używanych podczas zajęć stacjonarnych) możliwe było zrealizowanie ćwiczeń dotyczących sterowania PWM (za pomocą małego silnika szczotkowego z przekładnią i trójkolorowej diody LED) oraz sterowania silnikiem krokowym. Widok stanowiska zdalnego od strony studenta przedstawiono na rys. 5 (sterowanie PWM) oraz rys. 6 (silnik krokowy).

Jak można zauważyć, ćwiczenia realizowane zdalnie nie różniły się od ćwiczeń stacjonarnych. Większej modyfikacji (w



Rys. 7. Schematy stanowisk wykorzystujących układ KISSE-CONTROL: stanowisko do obsługi elementów stykowych (a), stanowisko do obsługi przetwornika ADC (b)

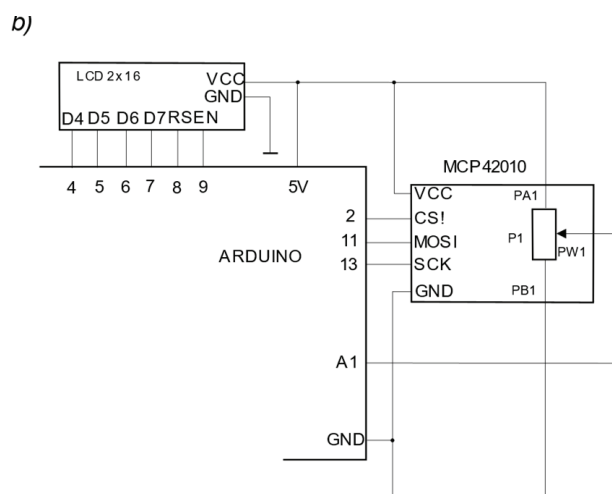
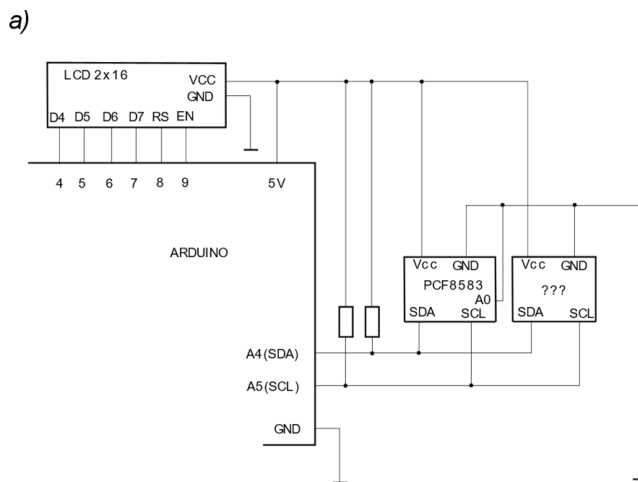
Fig. 7. Schematics of workstations using the KISSE-CONTROL system: workstation for testing switching elements (a), workstation for using the ADC (b)



Rys. 8. Widok sali laboratoryjnej przystosowanej do pracy zdalnej
Fig. 8. View of a classroom adapted for remote teaching

celu adaptacji do pracy zdalnej) wymagał temat obsługi przetwornika analogowo-cyfrowego ADC (ang. *analog-digital converter*). W warunkach stacjonarnych źródłem stałego napięcia o regulowanym poziomie, podawanego na wejście przetwornika ADC mikrokontrolera był potencjometr. Z oczywistych względów jego regulacja zdalna nie była możliwa. W zdalnej wersji ćwiczenia funkcję regulowanego źródła napięcia stałego pełnił układ pomocniczy KISSE-CONTROL, którego wyjście analogowe połączone było z wejściem przetwornika ADC mikrokontrolera. Nastawianie określonego poziomu napięcia odbywało się za pomocą współpracującej z układem aplikacji na komputerze PC. Pozostała część ćwiczenia (np. napisanie programu realizującego funkcję woltomierza z prezentacją wyniku na wyświetlaczu LED) była realizowana jak w wersji stacjonarnej.

Kolejnym ćwiczeniem, którego realizacja w formie zdalnej była możliwa dzięki zastosowaniu układu KISSE-CONTROL, była obsługa elementów stykowych z programową eliminacją drgań styków. W normalnych (stacjonarnych) warunkach w ćwiczeniu wykorzystuje się element stykowy (podłączony linii portu mikrokontrolera skonfigurowanej jako wejście cyfrowe) w postaci wyłącznika krańcowego, celowo tak dobraneo, aby przy załączeniu powstawała znaczna liczba drgań styku. W wersji zdalnej, zamiast wspomnianego elementu, wykorzystano styki przekaźnika (również dobraneo tak, aby przy przełączeniu wykonywały znaczną liczbę drgań) załączanego za pomocą układu pomocniczego KISSE-CONTROL sterowanego przez aplika-

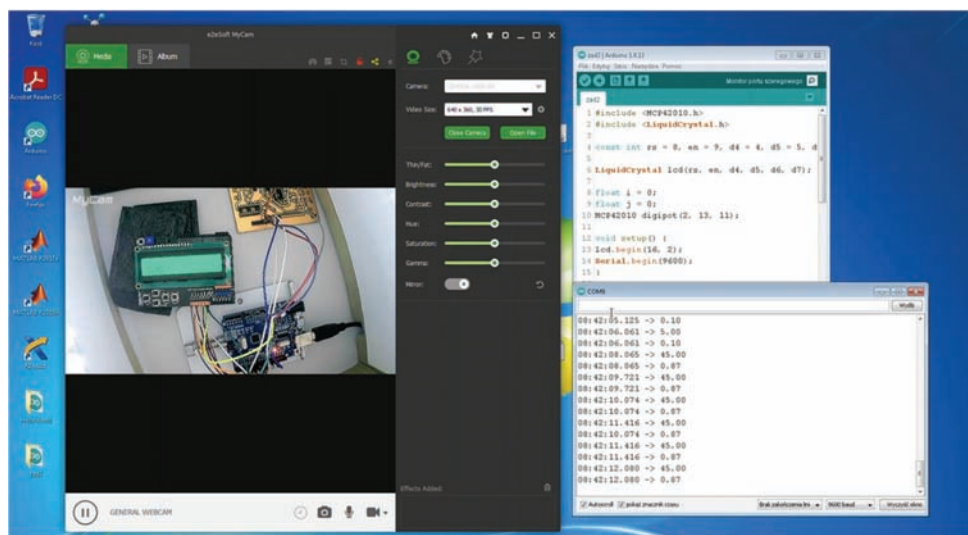


Rys. 9. Schematy stanowisk do nauki obsługi magistral: I²C (a) oraz SPI (b) udostępnione do pracy zdalnej

Fig. 9. Schematics of circuits for control the serial buses: I²C (a) and SPI (b)

cję PC. Pozostała część ćwiczenia (np. realizacja zliczania liczby naciśnięć przycisku z prezentacją wyniku na wyświetlaczu) przebiegała analogicznie jak w ćwiczeniu stacjonarnym. Na rys. 7 przedstawiono schematy opisanych stanowisk współpracujących z układem KISSE-CONTROL.

Opisane stanowisko do nauki programowania mikrokontrolerów zrealizowano w dziesięciu egzemplarzach, aby rozszerzyć ich dostępność studentom. W zależności od potrzeb, część stanowisk może być przystosowana do realizacji ćwiczenia (np. silnik krokowy), a druga do realizacji innego

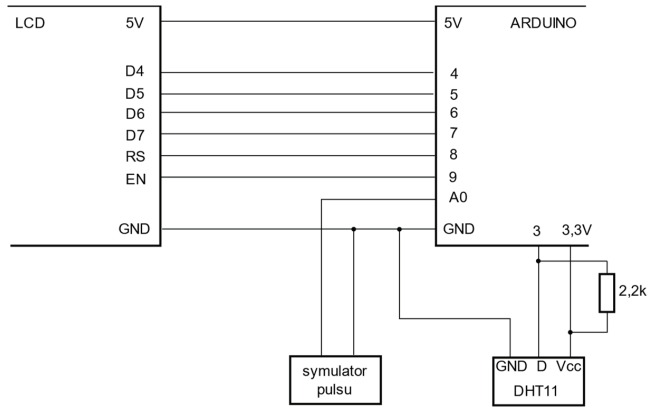


Rys. 10. Widok (od strony studenta) stanowiska zdalnego do obsługi cyfrowego potencjometru za pomocą magistrali SPI (źródło: sprawozdanie studenckie)
Fig. 10. View at the remote station (from the student's point of view) for control of a digital potentiometer via the SPI bus (source: student report)

(np. sterowanie sygnałem PWM). Na rys. 8 przedstawiono widok sali laboratoryjnej przystosowanej do pracy zdalnej.

Korzystając z omówionej idei stanowisk, w wygodny sposób przeprowadzono także w wersji zdalnej ćwiczenia z obsługi magistral szeregowych typu SPI oraz I²C. Wykorzystano w tym celu popularną płytkę ARDUINO z mikrokontrolerem ATMEGA328, układy potencjometru cyfrowego MCP42010 (komunikacja SPI) oraz zegara czasu rzeczywistego PCF8583 (komunikacja I²C), a także wyświetlacza alfanumerycznego LCD. Schematy stanowisk przedstawiono na rys. 9. Znakiem zapytania oznaczono układ PCF8574. Oznaczenie takie wynikało z treści jednego z zadań, które polegało na określeniu adresu tego układu, a na jego podstawie, typu nieznanego układu.

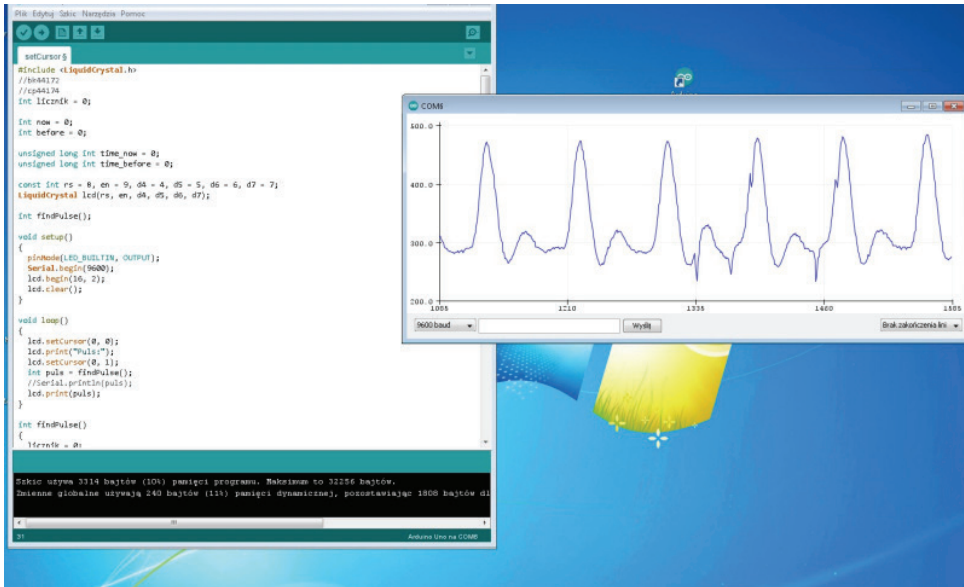
Ostatnie stanowisko związane z systemami wbudowanymi stanowi zestaw do badania pulsometru optycznego. W wersji stacjonarnej ćwiczenie polega na podłączeniu analogowego optycznego czujnika pulsu do płytki ARDUINO i napisaniu programów do akwizycji i wizualizacji sygnału oraz wyznaczenie podstawowych parametrów. W ramach pracy zdalnej nie była możliwa rejestracja rzeczywistego sygnału przez założenie czujnika na palec. Aby umożliwić to działanie, zarejestrowano jego cyfrowy fragment (około 3 s) próbując sygnał z czujnika z częstotliwością 1 kHz i rozdzielczością



Rys. 11. Schemat stanowiska zdalnego z układem generatora sygnału z pulsometru optycznego oraz pomiarem temperatury

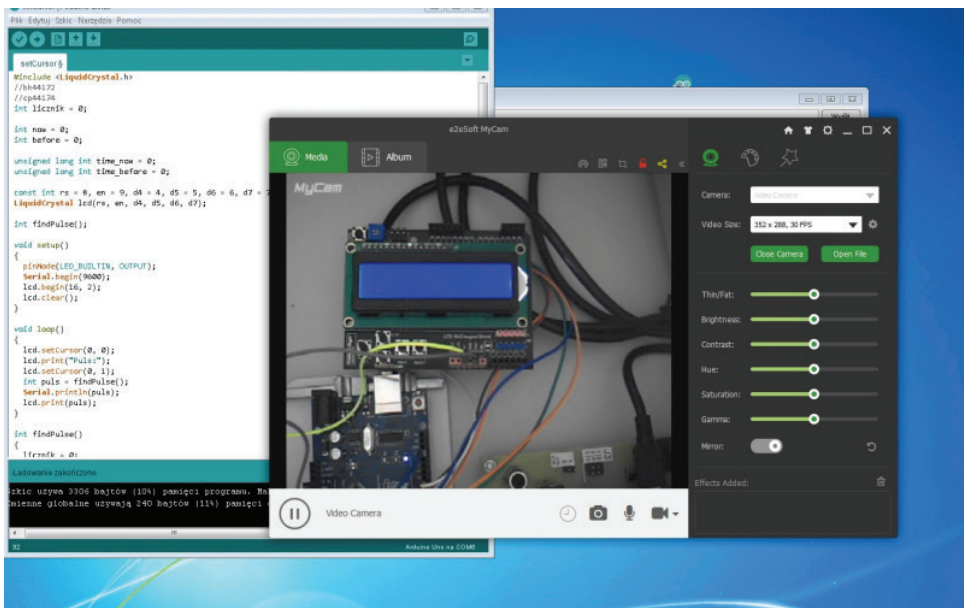
Fig. 11. Schematic of remote station with optical pulse meter signal generator system and temperature measurement

10 bitów. Następnie sygnał umieszczono w pamięci mikrokontrolera STM32F303RET6 (na płytce STM NUCLEO) i użyto wbudowanego przetwornika cyfrowo-analogowego DAC (ang. *digital analog converter*) do ciągłego odtwarza-



Rys. 12. Środowisko programistyczne z widocznym fragmentem sygnału z symulatora pulsometru optycznego (źródło: sprawozdanie studenckie)

Fig. 12. Programming interface with a visible fragment of the signal from the optical pulse meter simulator (source: student report).

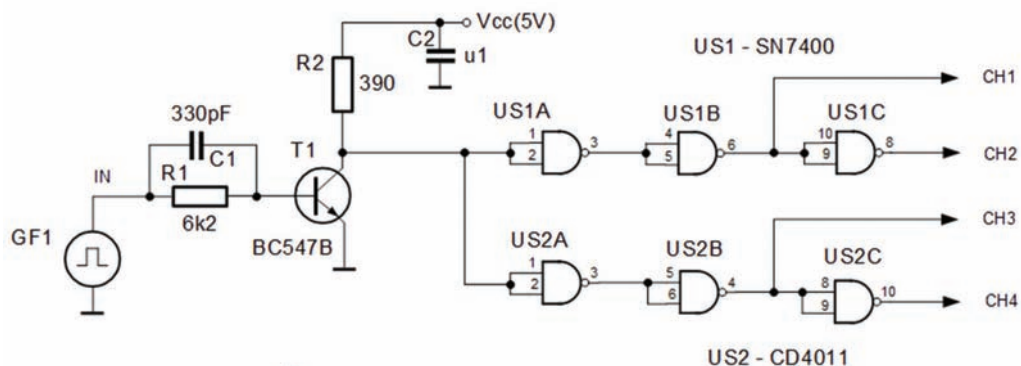


Rys. 13. Widok (od strony studenta) stanowiska zdalnego z układem symulującym sygnał z pulsometru optycznego (źródło: sprawozdanie studenckie)

Fig. 13. View at the remote station (from the student's point of view) with the system simulating the optical pulse meter signal (source: student report)

Rys. 14. Schemat układu pomiarowego parametrów dynamicznych bramki logicznej

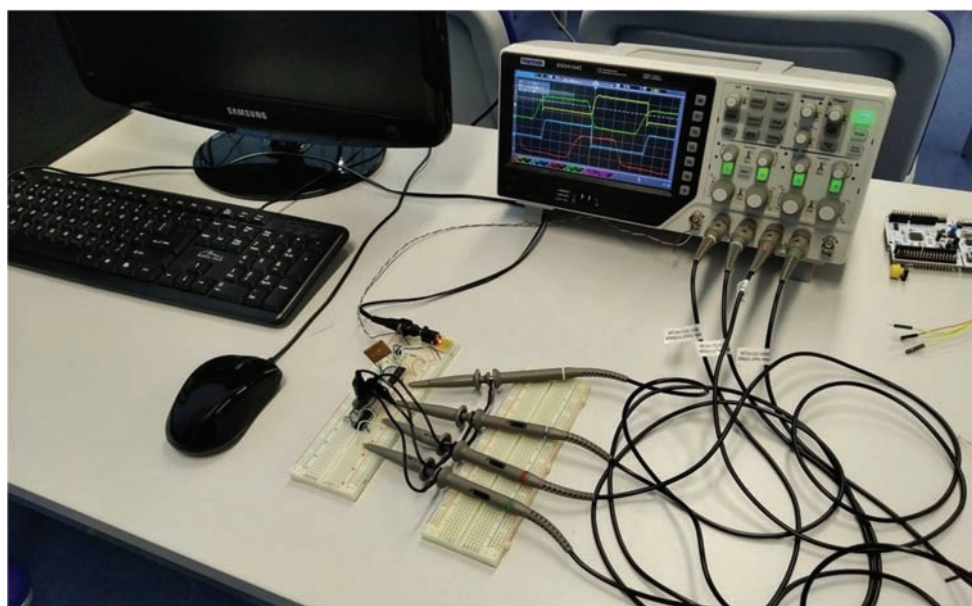
Fig. 14. Schematic of the system for measuring the dynamic parameters of a logic gate



nia tego fragmentu sygnału. Stworzony generator (symulator sygnału z pulsometru) dołączono do płytki ARDUINO i udostępniono studentom możliwość akwizycji rzeczywistego sygnału pulsu w czasie rzeczywistym. Schemat układu (do którego podłączono czujnik temperatury DHT11 i wyświetlacz alfanumeryczny LCD) zaprezentowano na rys. 11. Na rys. 12 i 13 przedstawiono stanowisko widziane przez studenta pracującego zdalnie.

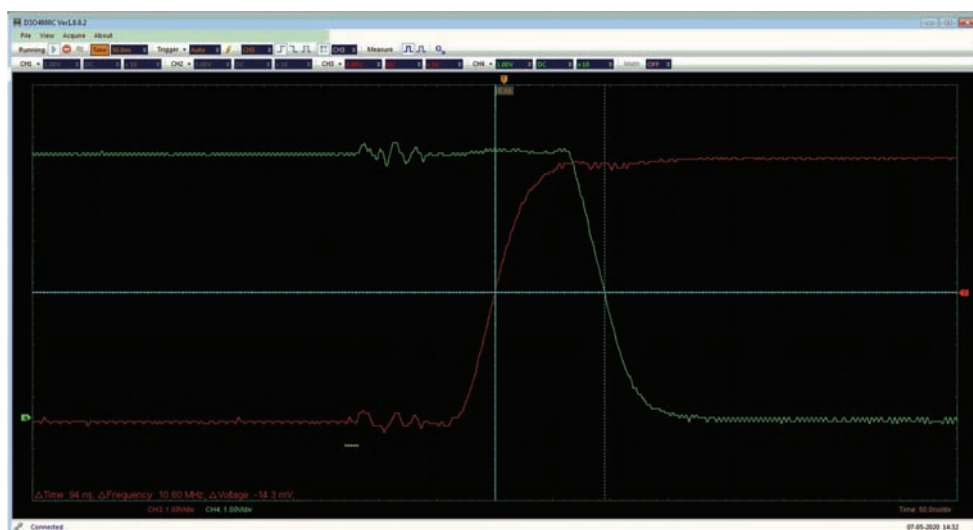
4. Badanie parametrów dynamicznych bramek logicznych

W ćwiczeniu badano czasy propagacji bramki logicznej oraz czasy narastania/opadania sygnału wyjściowego bramki. Wykorzystano tu (rys. 14) czterokanałowy oscyloskop cyfrowy z wbudowanym generatorem funkcyjnym (typ DSO4104C).



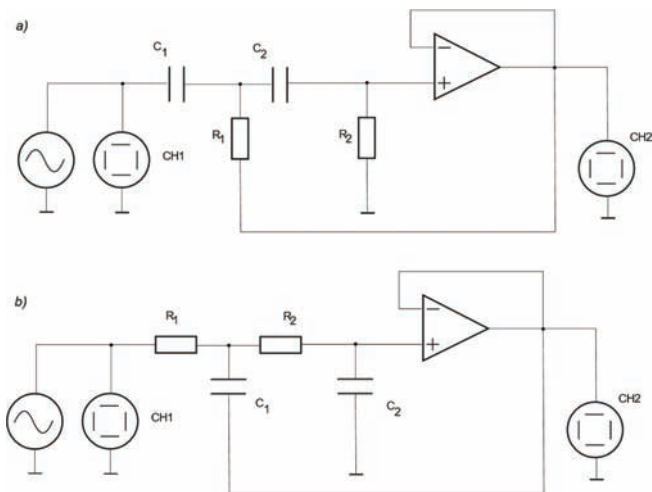
Rys. 15. Widok stanowiska pomiarowego badania bramek logicznych

Fig. 15. View of the measurement station for testing logic gates



Rys. 16. Przykładowe przebiegi czasowe badania czasu propagacji (źródło: sprawozdanie studenckie)

Fig. 16. Example waveforms of the propagation time measurement (source: student report)

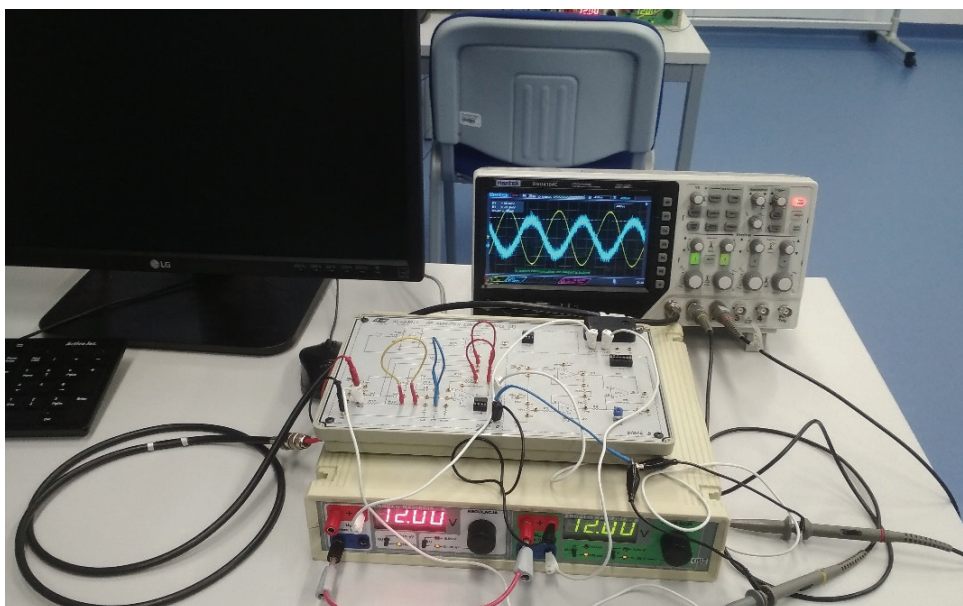


Rys. 17. Schemat stanowisk do badania charakterystyk częstotliwościowych filtra aktywnego II-go rzędu: dolnoprzepustowego (a), górnoprzepustowego (b)
 Fig. 17. Schematic diagrams of the measurement systems for measuring the frequency response of a second-order active filter: low-pass (a), high-pass (b)

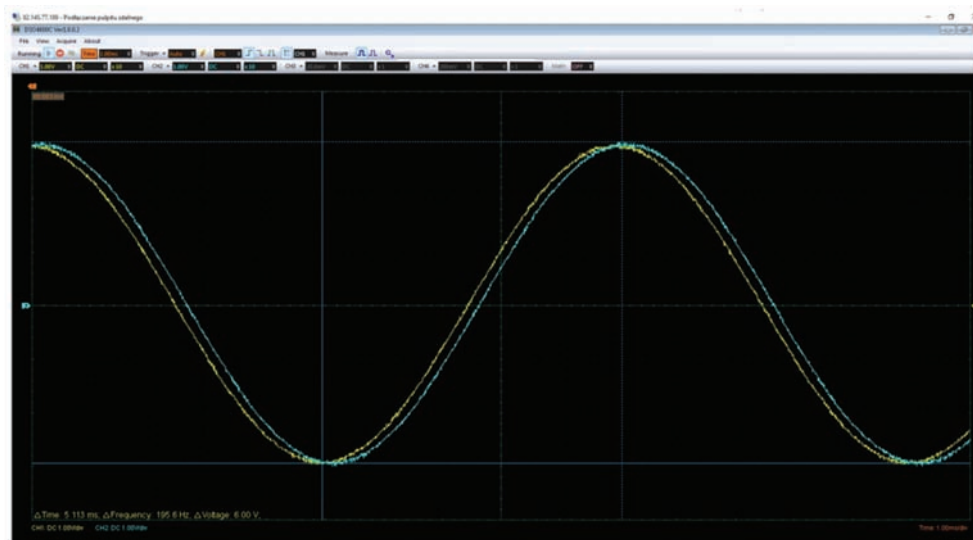
Oscyloskop był obsługiwany przez dedykowaną aplikację umożliwiającą pełne sterowanie pracą urządzenia przez komputer PC.

W układzie pomiarowym (rys. 15) przewidziano badanie bramek dwóch typów technologicznych: bramki rodziny standardowej TTL (US1C) oraz bramki rodziny CMOS (US2C). Sygnał sterujący, wymuszający zmiany wejściowego poziomu logicznego pochodził z generatora funkcyjnego wbudowanego w oscyloskop. Wejściowy inwerter z tranzystorem T1 oraz łańcuch bramek stanowią układ formujący= sygnał wejściowy badanej bramki. Układ został zmontowany na płytce stykowej i przygotowany do pomiarów. Student za pomocą aplikacji oscyloskopowej zdalnie wybierał badaną bramkę, włączając właściwe kanały oscyloskopu oraz dobierał częstotliwość sygnału sterującego.

Student w ramach ćwiczenia uruchamiał zdalnie aplikację obsługi oscyloskopu, rejestrował obserwowane przebiegi i wyznaczał żądane parametry (rys. 16). Wykorzystując układ KISSE-CONTROL współpracujący z przekaźnikami, umożliwiono zdalne odcinanie zasilania oscyloskopu w przypadku zawieszenia jego pracy.



Rys. 18. Widok stanowiska zdalnego do badania aktywnego filtra dolnoprzepustowego (monitor komputera podczas pracy zdalnej jest wyłączony)
 Fig. 18. View of the remote workstation for active low-pass filter testing (computer monitor during remote operation is off)

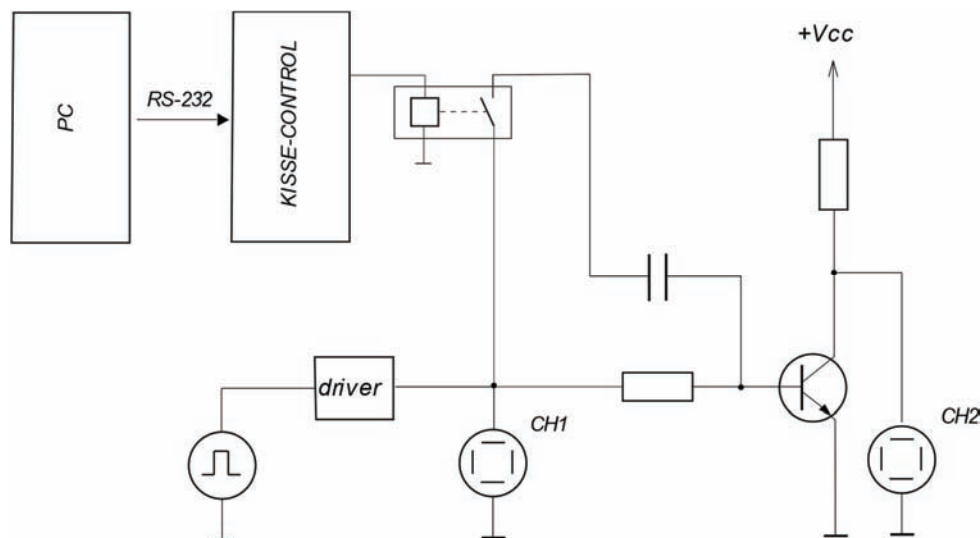


Rys. 19. Przykładowe zarejestrowane przebiegi podczas badania dolnoprzepustowego filtra aktywnego (źródło: sprawozdanie studenckie)
 Fig. 19. Examples of recorded waveforms during testing of a low-pass active filter (source: student report)

5. Badanie charakterystyk częstotliwościowych filtrów aktywnych

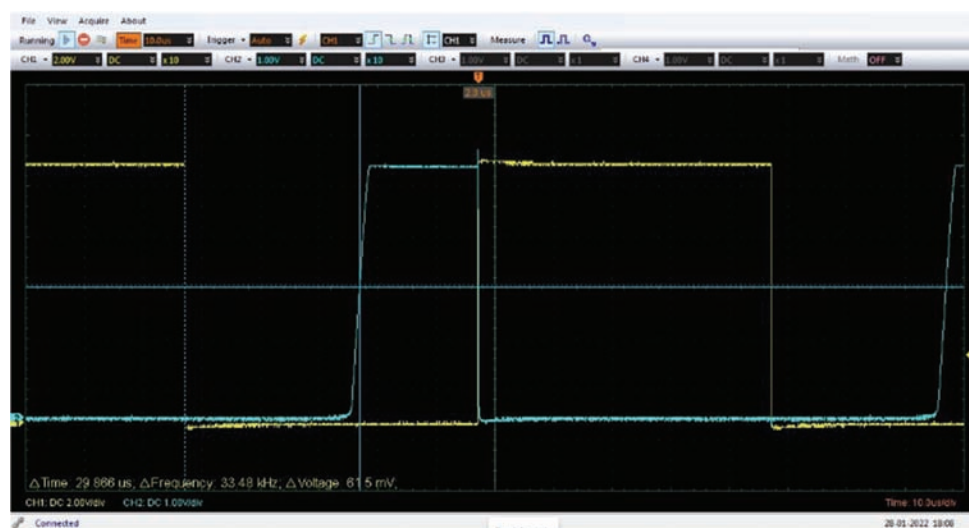
Stanowisko (rys. 17) skonstruowano z wykorzystaniem płytki używanej na zajęciach stacjonarnych oraz oscyloskopu z generatorem (jak w stanowisku do badania bramek). Jedno stanowisko pozwalało na badanie filtra dolnoprzepustowego, drugie górnoprzepustowego. Oscyloskop współpracował z dedykowaną

aplikacją na komputerze PC, który udostępniony był studentom za pomocą pulpitu zdalnego i połączenia VPN. Nie było konieczności stosowania kamery. Student mógł sterować generatorem sygnału sinusoidalnego, zmieniając jego częstotliwość oraz obserwować sygnały na wejściu i wyjściu filtra, charakterystyk amplitudowych i fazowych oraz określenie częstotliwości granicznej układu. Na rys. 18 przedstawiono skonstruowane stanowiska podczas pracy, a na rys. 19 zarejestrowane przebiegi.



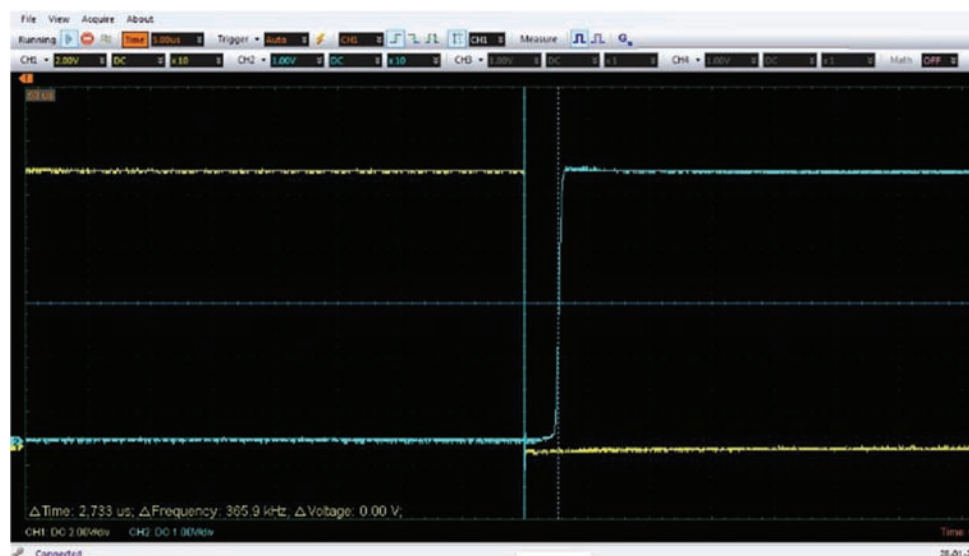
Rys. 20. Schemat stanowiska do badania parametrów dynamicznych klucza tranzystorowego

Fig. 20. Schematic of the circuit for testing the dynamic parameters of a transistor switch



Rys. 21. Przykładowe zarejestrowane przebiegi (kondensator przyspieszający odłączony)

Fig. 21. Example of recorded waveforms (booster capacitor off)



Rys. 22. Przykładowe zarejestrowane przebiegi (kondensator przyspieszający załączony)

Fig. 22. Example of recorded waveforms (booster capacitor on)

6. Badanie parametrów dynamicznych klucza tranzystorowego

Stanowisko (rys. 20) złożone jest jak stanowisko do badania parametrów dynamicznych bramek, wykorzystano oscyloskop z wbudowanym generatorem. Dwa kanały umożliwiały rejestrację sygnałów na wejściu i wyjściu klucza tranzystorowego. Dzięki zastosowaniu układu pomocniczego KISSE-CONTROL, możliwe było załączanie i odłączanie kondensatora przyspieszającego, kompensującego wpływ pojemności złącza baza-emiter tranzystora na szybkość działania klucza. Oscyloskop i współpracujący z nim komputer PC działały w konfiguracji (pulpit zdalny i połączenie VPN) jak w dwóch poprzednich stanowiskach. Na rys. 21 i 22 przedstawiono przykładowe przebiegi zarejestrowane za pomocą oscyloskopu przy załączonym i odłączonym kondensatorze przyspieszającym.

7. Udostępnianie stanowisk studentom i formy ich oceny

Zdalnie obsługiwane stanowiska laboratoryjne były udostępniane studentom całodobowo. Ze względu na dużą liczbę studentów wykonujących ćwiczenia, konieczne było zorganizowanie dostępu do stanowisk bez kolizji czasowych w pracy poszczególnych osób. Udostępnione zostały edytowalne arkusze harmonogramów dostępu do stanowisk z podziałem na dwugodzinne terminy pracy. Studenci rezerwowali w nich godziny swoich ćwiczeń.

Mimo że treści zadań laboratoryjnych były dla wszystkich studentów jednakowe, to w miarę możliwości starano się je różnicować, wprowadzając zależność niektórych parametrów od numeru albumu studenta. Każdy student miał zaprogramować timer mikrokontrolera do odmierzania innego czasu, ustawić inną prędkość transmisji oraz zmierzyć tłumienie filtra analogowego dla innej częstotliwości. Dokumentacja z wykonania ćwiczenia zawarta była w sprawozdaniu. Wymagane było zawarcie w nim (oprócz standardowych elementów związanych z treścią zadania) zrzutu ekranu, który przedstawiał widok środowiska programistycznego z wpisanym (w komentarzu obok kodu programu) danymi studenta oraz widok z kamery z działającym stanowiskiem. W przypadku ćwiczeń „dynamicznych”, np. z silnikami lub ruchomym napisem, wymagane było załączenie nagranego filmu prezentującego działanie programu. Takie podejście miało wymusić na studentach samodzielną pracę.

Komunikacja ze studentami oraz przysyłanie sprawozdań i ich ocenianie odbywało się z wykorzystaniem platformy MS Teams.

8. Wnioski

Należy stwierdzić, że zaprezentowane stanowiska w znacznej mierze spełniły swoją rolę. W różnych etapach pandemii koronawirusa (w latach 2020–2022) umożliwiły zarówno prowadzenie zajęć w formie zdalnej przez długi czas (np. cały semestr) jak i dynamiczne przechodzenie na pracę zdalną na krótszy czas (np. dwa tygodnie). Raz przygotowane obudowy umożliwiały realizacji zajęć zdalnych. W przypadku stanowisk niewymagających użycia kamery przystosowanie do nauki zdalnej było jeszcze szybsze. Problemy związane z zacinaniem pracy kamery i oscyloskopu skutecznie rozwiązano dzięki zastosowaniu układu KISSE-CONTROL. Pewną trudność stanowiła konieczność zgłaszania administracji informatycznej uczelni adresów IP komputerów przeznaczonych do pracy zdalnej dla studentów. Dodatkowo występowały przypadki dynamicznej zmiany udostępnionego już adresu, co blokowało studentom

możliwość dostępu do stanowiska i stwarzało konieczność jego ponownego udostępniania.

Dużą zaletą przedstawionych rozwiązań była ich dostępność dla studentów praktycznie w każdym momencie (w ramach ustalonego harmonogramu). W praktyce czas dostępu do stanowiska był dłuższy niż w trakcie klasycznych zajęć stacjonarnych.

Ogólny odbiór takiej formy zajęć przez studentów, szczególnie tych bardziej ambitnych, był pozytywny. Doceniali oni możliwość pracy na rzeczywistym sprzęcie. Była także grupa osób niezadowolona z takiej formy zajęć, podczas której musieli w sposób rzeczywisty wykonać konkretne zadania i pomiary oraz je udokumentować. Takie niezadowolenie było widoczne szczególnie wśród osób mniej ambitnych, które najprawdopodobniej liczyły na wykorzystanie faktu, że zajęcia odbywają się zdalnie i możliwość „łatwego” zdobycia zaliczenia.

Zgłaszane były przypadki zacinania się transmisji danych, ale najprawdopodobniej wynikały one nie z prędkości łącza internetowego uczelni, a problem leżał po stronie łącza internetowego studenta.

Zaprezentowane w artykule stanowiska stanowią jedynie przykłady pokazujące możliwość taniego i efektywnego realizowania niektórych zajęć laboratoryjnych w wersji zdalnej. Korzystając z tej samej idei (obudowa, komputer udostępniony przez pulpit zdalny, ewentualnie kamera) z powodzeniem zrealizowano ćwiczenia np. z obsługi bezprzewodowych modułów Bluetooth, obsługi małego serwomechanizmu, akwizycji i generacji sygnałów z użyciem kart pomiarowych DAQ firmy National Instruments czy oprogramowania bezprzewodowego systemu pomiarowego z układem ESP32 komunikującym się z siecią Wi-Fi. W dwóch ostatnich przypadkach nie było konieczne stosowanie obudowy i kamery, gdyż tematyką zadań była wizualizacja danych pomiarowych, a sama obserwacja elementów systemu pomiarowego nie była niezbędna.

Stosując ideę wykorzystaną w opisanych stanowiskach zdalnych korzystających z oscyloskopu można w podobny sposób zrealizować zdalne badanie innych układów elektronicznych, szczególnie, że znaczna ilość dostępnych na rynku przyrządów pomiarowych (np. multimetry) mają możliwość obsługi za pomocą dedykowanej aplikacji. Możliwość przełączania niektórych połączeń badanego układu (za pomocą systemu KISSE-CONTROL) w znaczny sposób zwiększa ilość możliwych do stworzenia konfiguracji układu przeznaczonych do badania przez studenta.

Pomimo że przedstawione rozwiązania zapewniały możliwość pracy na rzeczywistym sprzęcie, to należy zauważyć, że nie są w stanie oddać w pełni możliwości dostępnych na zajęciach stacjonarnych. Wśród studentów wracających z zajęć zdalnych widać było szczególnie braki w umiejętnościach takich jak dokonywanie połączeń między elementami badanego układu na podstawie schematu czy podłączanie przyrządów pomiarowych np. sond oscyloskopu. Wydaje się, że umiejętności te są możliwe do zrealizowania wyłącznie na zajęciach stacjonarnych. Mimo tej oczywistej wady należy uznać, że opisane rozwiązania znacznie rozszerzają możliwości nauki zdalnej (szczególnie w porównaniu do programów symulacyjnych).

Bibliografia

1. Campos N., Nogal M., Caliz C., Juan A.A., *Simulation-based education involving online and on-campus models in different European universities*, "International Journal of Educational Technology in Higher Education", Vol. 17, No. 8, 2020, DOI: 10.1186/s41239-020-0181-y.
2. Jacko P., Bereš M., Kováčová I., Molnár J., Vince T., Dziak J., Fecko B., Gans Š., Kováč D., *Remote IoT Education Labo-*

- ratory for Microcontrollers Based on the STM32 Chips, "Sensors", Vol. 22, No. 4, 2022, DOI: 10.3390/s22041440.
3. Laouina Z., Ouchaouka L., Elkebch A., Moussetad M., Radid M., Khazri Y., Asabri A., *Manufacturing and Developing Remote Labs in Physics for Practical Experiments in the University*, „Advances in Intelligent Systems and Computing”, Vol. 1231, 2020, Springer, Cham., DOI: 10.1007/978-3-030-52575-0_16.
 4. Letowski B., Lavayssière C., Larroque B., Schröder M., Luthon F., *A Fully Open Source Remote Laboratory for Practical Learning*, "Electronics", Vol. 9, No. 11, 2020, DOI: 10.3390/electronics9111832.
 5. Mostefaoui H., Benachenhou A., Benattia A.A., *Design of a low cost remote electronic laboratory suitable for low bandwidth connection*, "Computer Applications in Engineering Education", Vol. 25, No. 3, 2017, DOI: 10.1002/cae.21815.
 6. Raczyński M., *Remote laboratory classes in a COVID pandemic situation. Example of subjects: Microcontroller programming and electronic circuits*, "The International Journal of Electrical Engineering & Education", 2021, OnlineFirst, DOI: 10.1177/00207209211004219.
 7. Svatos J., Holub J., Fischer J., Sobotka J., *Online teaching at CTU in Prague aka university under COVID restrictions*, "Measurement: Sensors", Vol. 18, 2021, DOI: 10.1016/j.measen.2021.100121.
 8. Yala A., Korkmaz H., Buldu A., Sarikas A., *Development of a remote laboratory for an electronic circuit design and analysis course with increased accessibility by using speech recognition technology*, "Computer Applications in Engineering Education", Vol. 29, No. 4, Special Issue: Distance learning, MOOCs and globalisation of engineering education, 2021, DOI: 10.1002/cae.22340.

Overview of the Laboratory Workstation Solutions Used during Remote Learning

Abstract: The paper presents some practical solutions that have been used to convert stationary laboratory workstations (used in the teaching of analog and digital electronics, microcontroller programming and embedded systems) to remote learning. The presented solutions enabled students to work in conditions similar to standard teaching in classroom – using real circuits and measuring instruments. Examples of the laboratory workstations are: stepper motor control, generation of a PWM signal, reading information from switches, using SPI and I²C buses, measuring of dynamic parameters of logic gates, measuring of active filters, measuring of dynamic parameters of a transistor switch. A characteristic feature of the described solutions is the low cost and the possibility of quickly adapting the stationary workstation to remote work (and vice-versa), which was particularly important under the conditions of the coronavirus pandemic in recent years and dynamic changes in the form of teaching method. The presented ideas can be useful for teachers working at technical universities, where the issue of providing practical skills to students is crucial.

Keywords: remote teaching, electronic circuits, embedded systems, microcontrollers

dr inż. Michał Raczyński

michal.raczynski@zut.edu.pl
ORCID: 0000-0002-4106-6802

Pracownik naukowo-dydaktyczny w Katedrze Inżynierii Systemów, Sygnałów i Elektroniki na Wydziale Elektrycznym Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Zainteresowania badawcze koncentrują się wokół elektroniki analogowej i cyfrowej, mikroprocesorowych systemów pomiarowych i metrologii akustycznej (w szczególności metod pomiaru natężenia dźwięku).



mgr inż. Andrzej Biedka

andrzej.biedka@zut.edu.pl
ORCID: 0000-0003-3889-2027

Asystent w Katedrze Inżynierii Systemów, Sygnałów i Elektroniki na Wydziale Elektrycznym Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Zainteresowania koncentrują się wokół elektroniki analogowej i cyfrowej, mikrokontrolerów i ich aplikacji.

