

Laboratoria hybrydowe w edukacji inżynierów informatyków

Kazimierz Drażba^{*}, Piotr Kopciał^{**}, Mariusz Piwowarski^{***}

Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki

Abstrakt

Celem artykułu jest pokazanie możliwości zastosowania laboratoriów hybrydowych na zajęciach dydaktycznych prowadzonych na informatycznych studiach inżynierskich. Przedstawiono przykłady laboratoriów hybrydowych (laboratorium realne oraz laboratorium wirtualne) opartych o środowisko LabView, zrealizowanych na potrzeby zajęć z trzech przedmiotów: Podstaw fizyki, Podstaw elektrotechniki, elektroniki i miernictwa oraz Systemów wbudowanych. Powyższe laboratoria hybrydowe są wykorzystywane w ramach dydaktyki dla studentów w Warszawskiej Wyższej Szkole Informatyki (WWSI).

Słowa kluczowe – Laboratorium hybrydowe, laboratorium realne, laboratorium wirtualne, środowisko LabView

* E-mail: kdrazba@poczta.wysi.edu.pl

** E-mail: pkopcial@poczta.wysi.edu.pl

*** E-mail: mpiowar@poczta.wysi.edu.pl

1. Wstęp

Eksperymentów praktycznych zapewne nic nie zastąpi. Jednakże biorąc pod uwagę koszty takich eksperymentów z jednej strony, a możliwości, jakie niesie korzystający z dobrych modeli symulacyjnych znacznie tańszy i bardziej elastyczny eksperyment wirtualny z drugiej strony, oczywistym staje się fakt, iż laboratoria wirtualne mogą być atrakcyjne jako dobre narzędzia uzupełniające klasyczne kształcenie [1], [2].

Do realizacji laboratoriów dla potrzeb dydaktyki wykorzystuje się środowisko LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) [3], [4]. W Warszawskiej Wyższej Szkole Informatyki w ramach programu inżynierskich studiów informatycznych w nauczaniu kilku przedmiotów wykorzystuje się laboratoria hybrydowe oparte o to środowisko. Jako że są to laboratoria hybrydowe, składają się z dwóch różnych elementów. Pierwszym jest laboratorium wirtualne, które wykorzystuje modele symulacyjne. Elementem drugim jest laboratorium realne, wykorzystujące realne elementy elektroniczne, zarówno przyrządy, jak i układy.

Laboratoria hybrydowe są wykorzystywane na różnych przedmiotach. Także różny jest stopień wykorzystania wirtualnego lub realnego składnika laboratorium w różnych przedmiotach. I tak na ćwiczeniach z Podstaw fizyki, jako uzupełnienie klasycznych ćwiczeń audytoryjnych wykorzystywane jest laboratorium wirtualne. Na laboratorium z Podstaw elektrotechniki, elektroniki i miernictwa jako fundament wykorzystywane jest laboratorium realne. Laboratorium wirtualne, które wykorzystuje modele symulacyjne, może być wykorzystywane jako wsparcie kształcenia. Tymczasem podczas zajęć z przedmiotu Systemy wbudowane wykorzystywane jest laboratorium realne.

Opisywane laboratoria realne wykorzystują środowisko LabView do sterowania dołączonymi urządzeniami zewnętrznymi (przyrządami lub układami elektronicznymi). Do komunikacji pomiędzy tymi urządzeniami zewnętrznymi i komputerem wykorzystywany jest interfejs kontrolno-pomiarowy NI USB-6009, który do komputera podłączony jest kablem USB [5].

Moduł NI USB-6009 pozwala na jednoczesny pomiar do ośmiu sygnałów napięciowych z rozdzielczością 13-bitów w zakresie od -10 do +10V. Maksymalna prędkość próbkowania wynosi 48ks/s. Wejścia analogowe mogą również być

skonfigurowane do pracy z czterema kanałami pomiarowymi sygnałów różnicowych. Zakres pomiarowy może być wtedy zmieniany od 1V do 20V, przy dopuszczalnej wartości napięcia na zaciskach wejściowych nie przekraczającej $\pm 10V$. Dane z konwersji analogowo-cyfrowej są przechowywane w buforze FIFO co pozwala na ciągłą rejestrację sygnałów z pełną prędkością. Dostępne są dwa 12-bitowe przetworniki cyfrowo-analogowe z napięciem wyjściowym 5V z maksymalną częstotliwością odświeżania 150Hz. Monitorowane mogą być stany sygnałów binarnych przy wykorzystaniu 12 wejść cyfrowych zgodnych ze standardami TTL/CMOS. Linie te mogą być indywidualnie skonfigurowane jako wyjścia z maksymalnym prądem wyjściowym do 8,5mA. Dodatkowe wejście może być wykorzystane do wyzwalania pomiaru na wejściach analogowych lub zliczenia impulsów o częstotliwości do 5MHz. Udostępnione jest również napięcie zasilające +5V z interfejsu USB o maksymalnym prądzie do 200mA oraz napięcie referencyjne 2,5V.

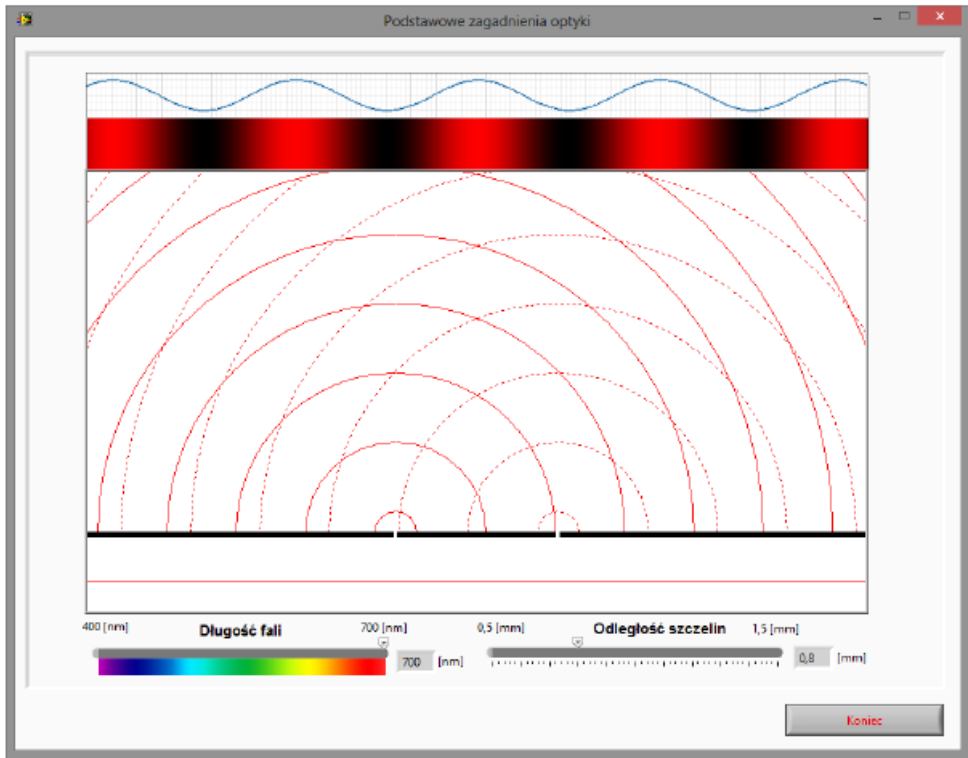
2. Wirtualne środowisko laboratoryjne na ćwiczeniach z Podstaw fizyki

Ćwiczenia z fizyki są klasycznymi ćwiczeniami audytoryjnymi z możliwością wykorzystania laboratorium wirtualnego, zawierającego modele symulacyjne służące poszerzeniu spektrum możliwości edukacyjnych. W ramach laboratorium wirtualnego wykładowca ma do dyspozycji kilkadziesiąt ćwiczeń umożliwiających obserwację i zrozumienie zagadnień z różnych działów fizyki [6]. Przykładowe z nich to:

- Rzuty: pionowy, poziomy, ukośny (m.in. badanie wpływu prędkości początkowej oraz masy na przebyta przez ciało drogę),
- Ruch po okręgu (m.in. badanie wpływu prędkości obrotowej na prędkość, przyspieszenie dośrodkowe i siłę odśrodkową),
- Siły w układach nieinercjalnych (m.in. obserwacja siły odśrodkowej i siły bezwładności w funkcji prędkości kątowej i masy ciała, obliczanie siły Coriolisa),
- Oscylator harmoniczny: zwykły, tłumiony i wymuszony (m.in. obserwacja zależności czasowych wychylenia, prędkości oraz energii kinetycznej i potencjalnej),
- Soczewka skupiająca i rozpraszająca (m.in. badanie wpływu położenia soczewki, wysokości obiektu, położenia przedmiotu na powstały w soczewce obraz),

- Optyka falowa – interferencja, dyfrakcja, polaryzacja (m.in. badanie wpływu kąta polaryzacji na otrzymywane natężenie poszczególnych składowych wiązki światła).

Zastosowanie laboratorium wirtualnego zostanie przedstawione na przykładzie obrazu interferencyjnego generowanego przez wirtualny przyrząd przedstawiony na rysunku 1. Wykorzystując ten wirtualny przyrząd można badać wpływ odległości pomiędzy szczelinami na otrzymywany obraz interferencyjny.



Rysunek 1. Wirtualny przyrząd pomiarowy do obserwacji zjawiska interferencji światła

Obraz interferencyjny jest generowany na bieżąco, dzięki czemu można obserwować zjawisko interferencji światła, a w szczególności miejsca wzmocnień i wygaszeń interferencyjnych oraz badać wpływ różnych parametrów na ich położenie. Można

wybrać dowolną długość fali w zakresie światła widzialnego. Ustawiana w symulacji odległość szczelin d jest w zakresie od $0,5\text{mm}$ do $1,5\text{mm}$. W takich warunkach kąt pod jakim pojawiają się maksima interferencyjne będzie określony z wyrażenia:

$$\sin\alpha = n\lambda/d. \quad (1)$$

Z kolei, dla małych kątów:

$$\sin\alpha = \alpha = \text{tg}\alpha = \Delta x/L. \quad (2)$$

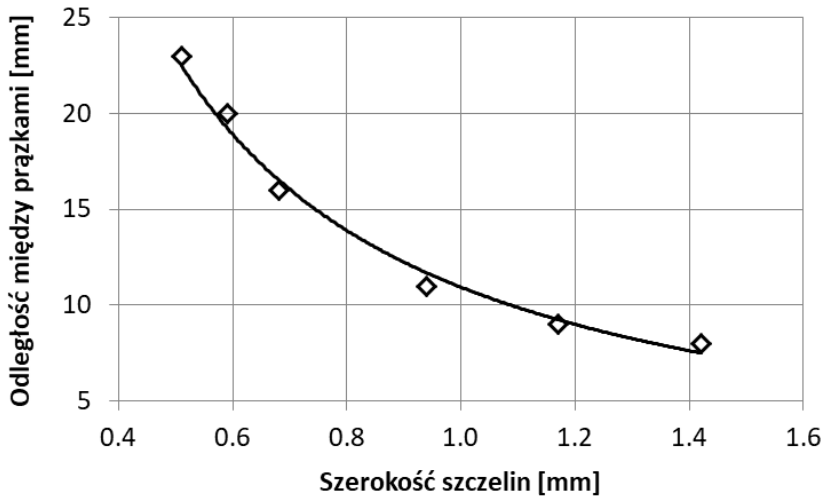
Dla $\lambda = 500\text{nm}$, $d = 0,5\text{mm}$ prążki interferencyjne powinny być oddalone od siebie o 1mm na ekranie umieszczonym w odległości $L = 1\text{m}$. Odległości między nimi są praktycznie identyczne, a zmiana odległości o 1% występuje dla kątów rzędu 5° ($n > 80$). Widoczny na monitorze komputera obraz jest powiększony i można przyjąć, że jest równoważny obserwacji w odległości $L=21\text{m}$.

Tabela 1. Przykładowe wyniki badania wpływu odległości pomiędzy szczelinami na otrzymywany obraz interferencyjny

Lp.	Długość fali λ [nm]	Odległość szczelinami d [mm]	Barwa prążków	Odległość między prążkami Δx [mm]
1	550	0,51	Zielona	23
2	550	0,59	Zielona	20
3	550	0,68	Zielona	16
4	550	0,94	Zielona	11
5	550	1,17	Zielona	9
6	550	1,42	Zielona	8

Zasymulowany wpływ zmiany odległości szczelin na powstały obraz interferencyjny studenci mogą opisać w tabeli. Przykładowe wyniki symulacji przedstawiono w tabeli 1. Na podstawie pomiarów zapisanych w tabeli można zobrazować na wykresie odległości między prążkami od odległości szczelin – rysunek 2. Zmierzona odległość pomiędzy prążkami jest odwrotnie proporcjonalna do odległości między szczelinami i wynosi:

$$\Delta x = L \cdot \lambda/d. \quad (3)$$



Rysunek 2. Wykres zależności odległości między prążkami od szerokości szczelin – porównanie wyników pomiaru (punkty) z wynikami teoretycznymi (linia ciągła)

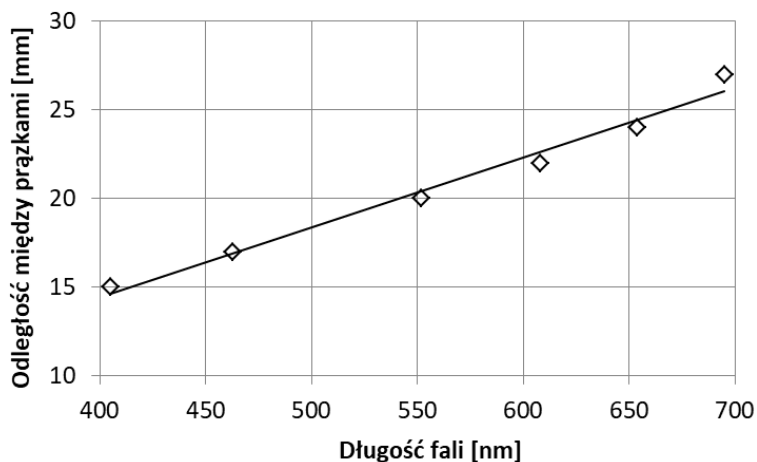
Przy znanej odległości ekranu od szczelin L można porównać wyniki pomiarów z wartościami teoretycznymi. Proste obliczenia pokazują dobrą zgodność wyników pomiarów z wartościami obliczonymi dla odległości $L = 21m$.

Tabela 2. Przykładowe wyniki badania wpływu długości fali na otrzymywany obraz interferencyjny

Lp.	Długość fali λ [nm]	Odległość szczelinami d [mm]	Barwa prążków	Odległość między prążkami Δx [mm]
1	405	0,57	Fioletowa	15
2	463	0,57	Niebieska	17
3	552	0,57	Zielona	20
4	608	0,57	Pomarańczowa	22
5	654	0,57	Czerwona	24
6	695	0,57	Czerwona	27

Studenci mogą również badać wpływ długości fali na otrzymywany obraz interferencyjny, przeprowadzając serię pomiarów. Przykładowe wyniki przedstawiono w tabeli 2. Przy znanej odległości ekranu od szczelin L można porównać wyniki

pomiarów z wartościami teoretycznymi. Proste obliczenia pokazują dobrą zgodność wyników pomiarów z wartościami obliczonymi dla odległości $L=21m$. Na ich podstawie można zobrazować na wykresie zależność odległości między prążkami od długości fali (rysunek 3). Odległość prążków jest wprost proporcjonalna do długości fali. Zmierzone wartości odległości między prążkami są zgodne z wartościami obliczonymi dla $L = 21m$.



Rysunek 3. Wykres zależności odległości między prążkami od długości fali – porównanie wyników pomiaru (punkty) z wynikami teoretycznymi (linia ciągła)

3. Środowisko laboratoryjne na Podstawach elektrotechniki, elektroniki i miernictwa

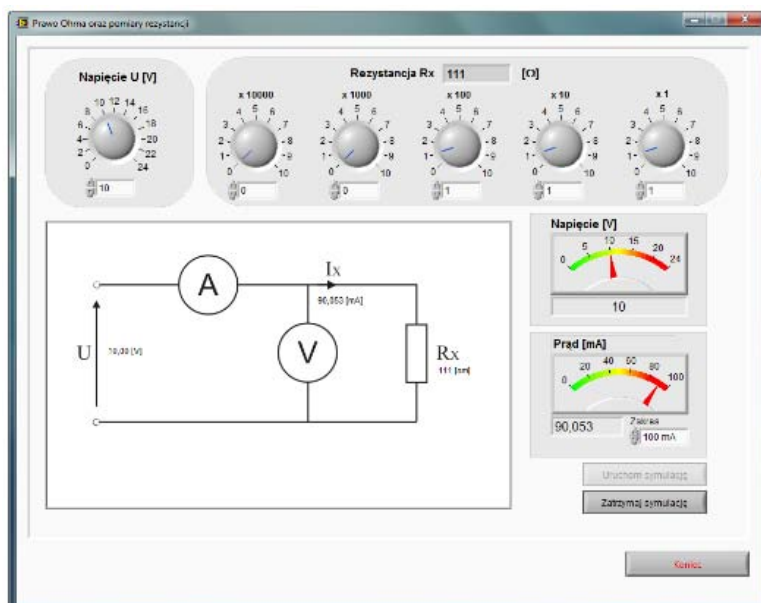
W ramach zajęć Podstaw elektrotechniki, elektroniki i miernictwa prowadzone są laboratoria, które korzystają ze środowiska LabView do pomiaru charakterystyk rzeczywistych elementów lub układów elektronicznych [7]. Jest to laboratorium realne. W ramach uzupełnienia dostępny jest zestaw wielu modeli symulacyjnych, które mogą go wspomagać w kształceniu studentów.

Tak jak laboratorium realne może być wykorzystywane w sali laboratoryjnej w trakcie trwania zajęć, to laboratorium wirtualne może być samodzielnie wykorzystywane przez studentów, np. do samodzielnego uczenia się. Możliwości laboratorium

wirtualnego zostaną przedstawione w pierwszej kolejności, a w drugiej kolejności zostanie przedstawione laboratorium realne

3.1. *Laboratorium wirtualne*

Dzięki wykorzystaniu środowiska LabVIEW student może zapoznać się z właściwościami elementów elektronicznych, prawami opisującymi zjawisko przepływu prądu elektrycznego oraz pomiarami wielkości elektrycznych za pomocą wirtualnych przyrządów pomiarowych. Uzyskane wyniki z wirtualnych przyrządów służą do przeprowadzenia analizy problemu oraz opracowania sprawozdania z wykonanego zadania.



Rysunek 4. Wirtualny przyrząd do pomiaru napięcia i prądu w obwodzie

Wirtualne środowisko laboratoryjne LabVIEW wyposażone jest w zestaw narzędzi gromadzących, analizujących, obrazujących oraz archiwizujących dane. Elektroniczne narzędzia pozwalają stworzyć własny interfejs w postaci przedniego panelu przyrządu pomiarowego, wyposażonego w kontrolery i wskaźniki. Kontrolerami

mogą być pokrętła, przyciski, pola numeryczne oraz moduły pozwalające wprowadzać dane wejściowe. Wskaźnikami mogą być wykresy, diody kontrolne, oraz inne urządzenia obrazujące sygnał wyjściowy. Przygotowanie ćwiczenia odbywa się poprzez zaprogramowanie odpowiednich diagramów blokowych przyjętego rozwiązania projektu.

Praktyczne zastosowanie wirtualnego środowiska laboratoryjnego LabVIEW może być wykorzystywane w realizacji ćwiczeń z teorii prądu stałego, prądu zmiennego, przyrządów półprzewodnikowych oraz miernictwa elektronicznego. Zastosowanie laboratorium wirtualnego zostanie omówione na przykładzie ćwiczenia „Prawo Ohma i pomiar rezystancji”. Zakres ćwiczenia obejmuje następujące zagadnienia:

- Pomiary napięcia i natężenia prądu płynącego w obwodzie dla zadanych rezystancji,
- Pomiary rezystancji.

Pomiary napięcia i natężenia prądu płynącego w obwodzie dla zadanych rezystancji są wykonywane w środowisku laboratoryjnym pokazanym na rysunku 4.

Tabela 3. Pomiar natężenia prądu płynącego przez przewodnik i wyznaczenie rezystancji

Lp.	U [V]	I [A]	U/I [Ω]
1			
2			
...			

Symulowane wartości natężenia prądu płynącego przez przewodnik (rezystor dekadowy) w funkcji kolejnych wartości przyłożonego napięcia mogą zostać wpisane do tabeli 3.

Dzięki temu można narysować wykres zależności natężenia prądu $U = f(I)$ w funkcji napięcia, a także oszacować rezystancję U/I . Można również wyznaczyć zależności natężenia prądu od rezystancji przewodnika. Odpowiednie wyniki symulacji można wpisywać do tabeli 4. Na tej podstawie można utworzyć wykres zależności $I = f(R_x)$.

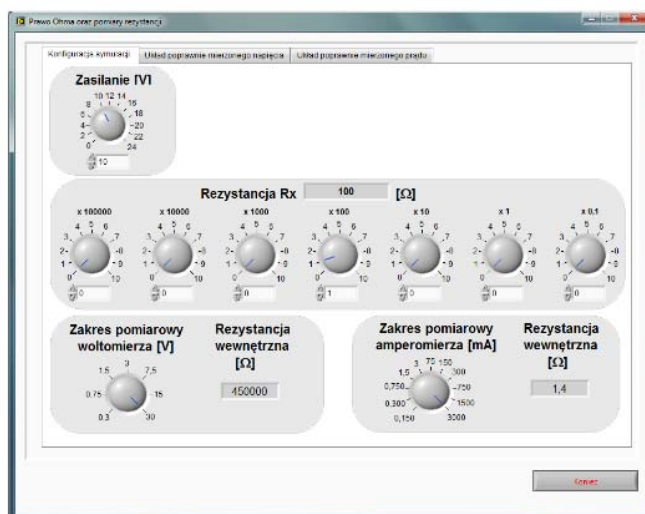
Tabela 4. Pomiar natężenia prądu płynącego przez przewodnik

Lp.	U [V]	R_X [Ω]	I [A]	U/I [Ω]
1				
2				
...				

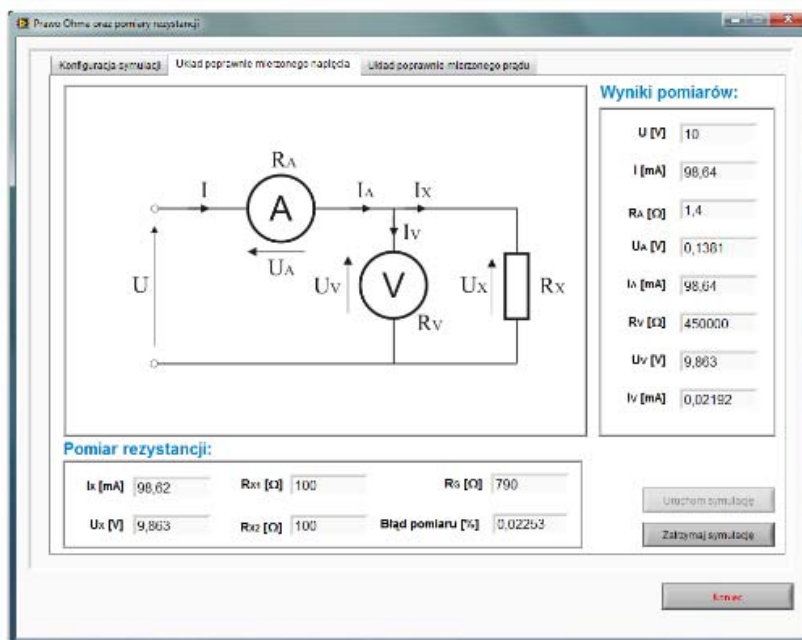
Celem ćwiczenia „Pomiary rezystancji” jest poznanie typowych metod pośrednich pomiaru rezystancji elementów liniowych o małej i dużej rezystancji oraz źródeł błędów i ich korekcja w poszczególnych pomiarach. W ramach ćwiczenia można skorzystać z dwóch układów pośredniego pomiaru rezystancji opierające się na wykorzystaniu prawa Ohma:

- układ poprawnie mierzonego napięcia,
- układ poprawnie mierzonego prądu.

Na rysunku 5 przedstawiono przykładową konfigurację ćwiczenia w środowisku wirtualnym do znajdowania rezystancji. Pomiar małych rezystancji wykonuje się w układzie poprawnie mierzonego napięcia przedstawionym na rysunku 6, bezpośrednio na elemencie mierzonym $U_V = U_X$. Woltomierz o rezystancji R_V mierzy napięcie bezpośrednio na elemencie badanym o rezystancji R_X .



Rysunek 5. Pomiar rezystancji – konfiguracja ćwiczenia



Rysunek 6. Układ poprawnie mierzonego napięcia

Amperomierz o rezystancji R_A , przez który przepływa prąd I_A wytwarza spadek napięcia U_A na swojej rezystancji wewnętrznej. Powstały spadek napięcia nie ma wpływu na wartość napięcia mierzonego na elemencie badanym. Amperomierz mierzy natomiast sumę prądów płynących przez woltomierz I_V oraz przez element badany I_X .

$$I_A = I_V + I_X \quad (4)$$

Wartość mierzonej rezystancji R_X jest wyznaczana bezpośrednio ze wskazań obu przyrządów zgodnie ze wzorem:

$$R_X = \frac{U_V}{I_A} \quad (5)$$

Należy pamiętać, że wartość rzeczywista badanej rezystancji R_X wynosi zgodnie ze wzorem:

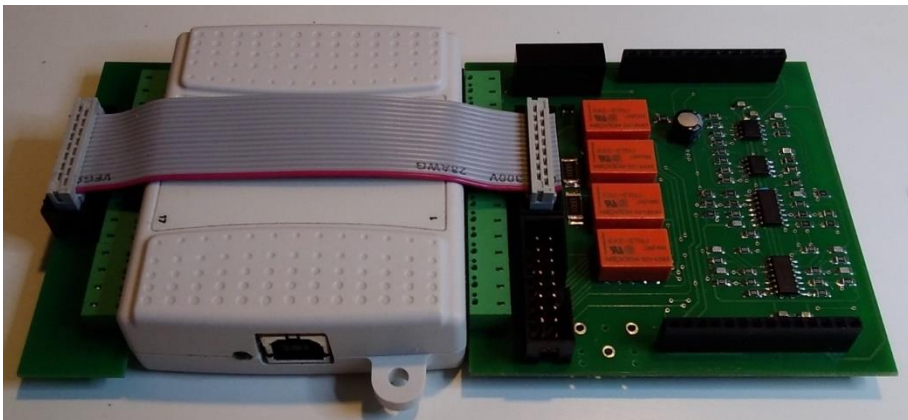
$$R_X = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_V}{I - \frac{U_V}{R_V}} \quad (6)$$

Jak widać z powyższych wzorów pomiar obarczony jest błędem metody pomiaru. Nie zależy on od dokładności użytych przyrządów pomiarowych. Wartość błędu metody określa się z następującego wzoru:

$$\delta = \frac{1}{1 + \frac{R_V}{R_Y}} \cdot 100\% \quad (7)$$

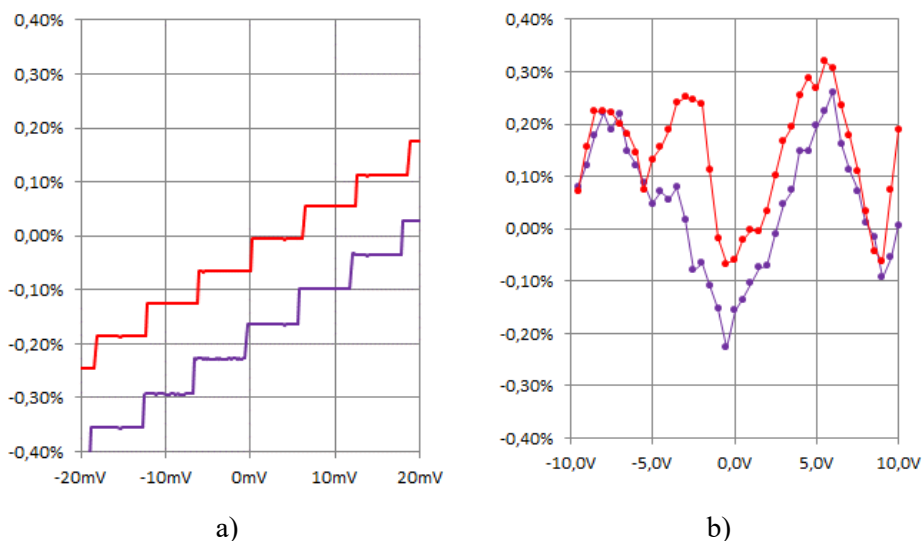
3.2. *Laboratorium realne*

W zajęciach laboratoryjnych z Podstaw elektrotechniki, elektroniki i miernictwa studenci mają możliwość praktycznego wykorzystania środowiska LabView do sterowania urządzeniami dołączonymi do komputera. Do celów praktycznego zrealizowania pomiarów urządzenie NI USB-6009 zostało uzupełnione dodatkową płytką (rysunek 7). Na płycie znajduje się przetwornica DC/DC pozwalająca na zasilanie układów analogowych napięciami +12V i -12V. Przy wykorzystaniu napięcia dostępnego z interfejsu USB 5V/200mA możliwe jest uzyskanie wydajności prądowej rzędu 40mA. Większe wartości prądu wyjściowego wymagałyby zastosowania dodatkowego zasilacza i przetwornicy o większej mocy. Symetryczne napięcie zasilające jest wymagane do prawidłowej pracy wzmacniaczy operacyjnych buforujących wejścia przetworników A/C.



Rysunek 7. Interfejs kontrolno-pomiarowy NI USB-6009 z dodatkową płytką

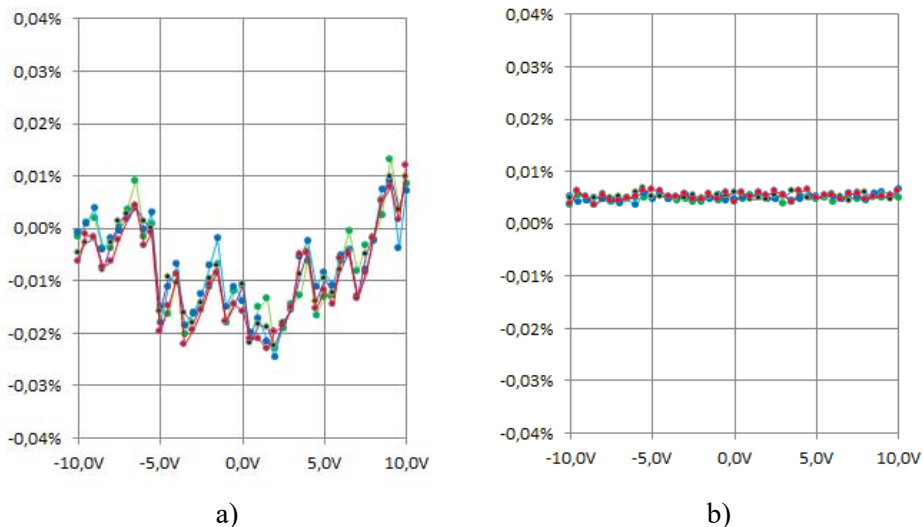
Napięcie to pozwala na uruchomienie dwóch zasilaczy o napięciu wyjściowym regulowanym w zakresie od $-10V$ do $+10V$ z prądem do $40mA$. Każde wyjście jest kontrolowane przy zastosowaniu układu zapewniającego pomiar prądu wyjściowego i napięcia. Bocznik do pomiaru prądu wyjściowego zintegrowany jest ze stopniem wyjściowym wzmacniacza i nie wpływa na wartość napięcia na obciążeniu. Bufor napięcia wyjściowego o wysokiej oporności pozwala na pomiar napięcia wyjściowego bez zmiany wskazań miernika prądu. Dostępny układ przetwornika cyfrowo-analogowego pozwala na regulację napięcia z rozdzielczością około $6mV$, co odpowiada $0,06\%$ maksymalnej wartości napięcia. Dokładność regulacji napięcia jest ograniczana przez stosunkowo duży błąd nieliniowości całkowitej przekraczający $0,2\%$ (rysunek 8). Błędy te w praktycznych zastosowaniach są eliminowane przy zastosowaniu ciągłego pomiaru wartości napięć wyjściowych.



Rysunek 8. Własności przetwornika C/A: a) rozdzielczość ustawiania napięć wyjściowych; b) błąd liniowości w pełnym zakresie regulacji

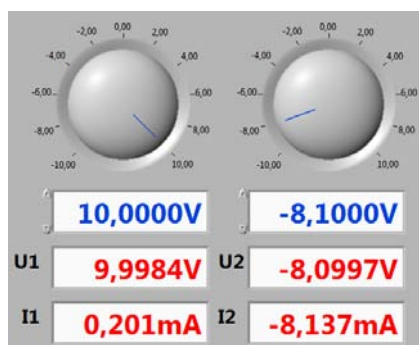
Stosowane w układzie przetworniki analogowo-cyfrowe mają nominalną rozdzielczość 13 bitów (14 bitów w konfiguracji różnicowej), ale przy uśrednianiu większej ilości próbek można uzyskać zauważalny wzrost dokładności pomiarów. Celowe jest realizowanie pomiarów napięć w czasie będącym wielokrotnością okresu napięcia

sieciowego równego 20 ms. Woltomierz napięcia stałego zrealizowany w ten sposób zapewnia pomiar napięcia z dokładnością odpowiadającą miernikom 4 cyfrowym.

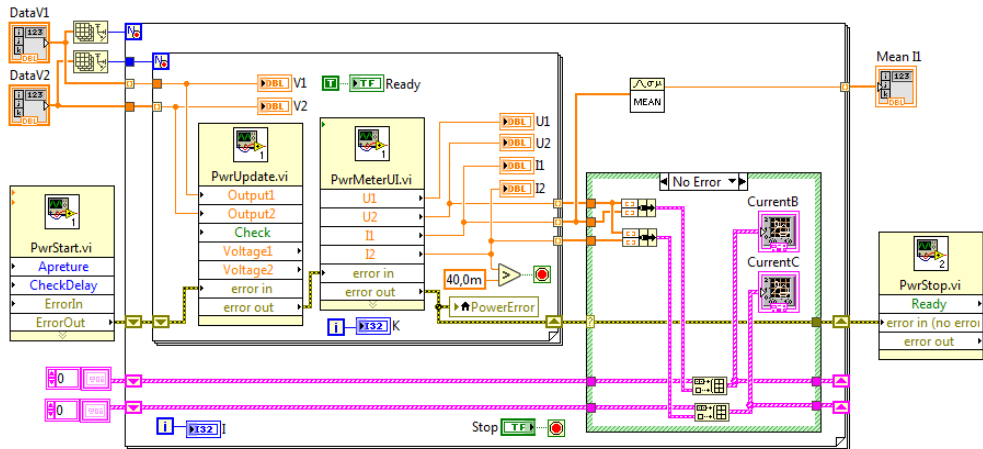


Rysunek 9. Własności przetwornika A/C: a) błędy liniowości charakterystyki pomiarowej przetwornika A/C; b) wyniki pomiarów zerowego napięcia różnicowego

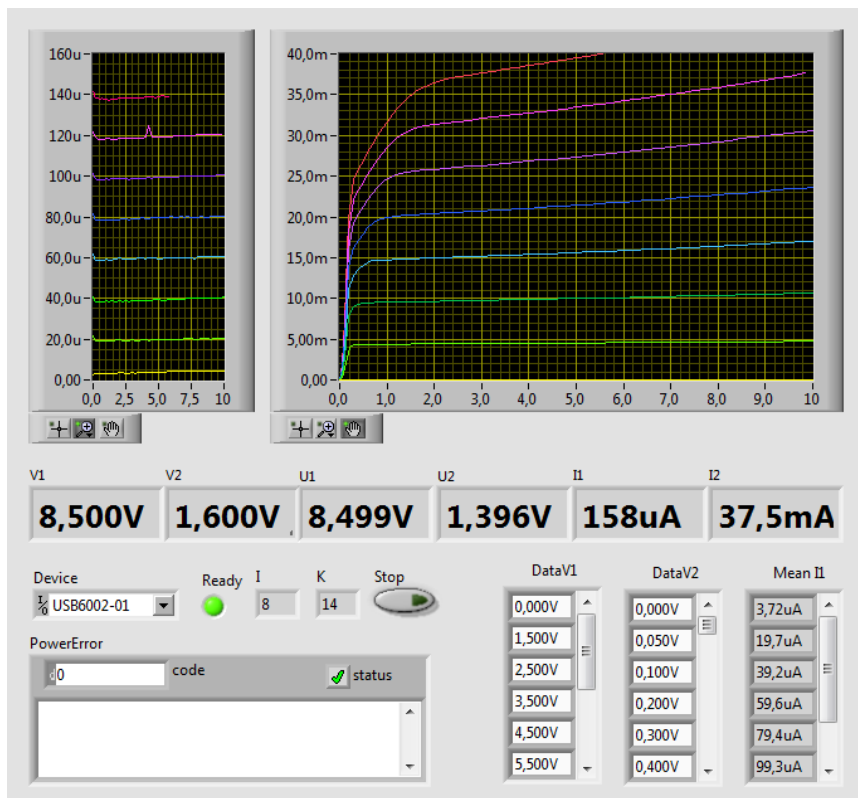
Liniowość charakterystyki (rysunek 9) pozwala na pomiary z rozdzielczością rzędu 0,01% (1mV dla zakresu napięć wejściowych 10V). Przy zastosowaniu autozerowania układu pomiarowego możliwe są pomiary z jeszcze większą precyzją. Przygotowane w środowisku LabView oprogramowanie realizuje sterowanie zasilaczami napięcia z jednoczesnym pomiarem napięć wyjściowych i prądów (rysunek 10).



Rysunek 10. Sterowanie zasilaczy napięciowych



Rysunek 11. Przykład programowania: program do pomiaru charakterystyk tranzystora



Rysunek 12. Interfejs użytkownika programu do pomiaru charakterystyk tranzystora

Przy zastosowaniu takiego przyrządu pomiarowego możliwe jest zrealizowanie szeregu eksperymentów związanych z pomiarami prądu i napięcia. Typowe zadania będą związane ze sprawdzaniem prawa Ohma i pomiarem charakterystyk prądowo-napięciowych elementów elektronicznych. Układ pomiarowy zapewnia pomiar czterech dodatkowych napięć (lub dwóch w konfiguracji różnicowej), co można wykorzystać do weryfikacji praw Kirchhoffa. Zasilacz może być uruchomiony jako autonomiczny przyrząd pomiarowy, w pełni kontrolowany przez użytkownika. Do pomiarów charakterystyk elementów półprzewodnikowych celowe może być zautomatyzowanie cyklu pomiarowego. Stosunkowo prosty program (rysunek 11) umożliwia pomiar charakterystyki tranzystora. Interfejs użytkownika dla tego programu przedstawia rysunek 12.

Po uruchomieniu programu kolejno ustawiane są wartości napięcia kolektora przygotowane w tablicy DataV2. Wartości zmierzonych prądów i napięć są wyświetlane na ekranie. Cykl pomiarowy powtarzany jest dla kolejnych napięć ustawianych na wyjściu V1, które determinuje prąd bazy. Pomiar dla wybranego prądu bazy jest zakończony po przekroczeniu maksymalnej dopuszczalnej wartości prądu równej 40mA.

Zarejestrowane dane są dostępne na wykresach, z których przy zastosowaniu kursora można odczytywać wartości liczbowe. Przy wykorzystaniu gotowego przyrządu pomiarowego struktura programu jest stosunkowo prosta i może być modyfikowana przez końcowego użytkownika. Można wykorzystać dane z pomiarów do obliczeń parametrów tranzystora lub zrealizować inne pomiary stałoprądowe.

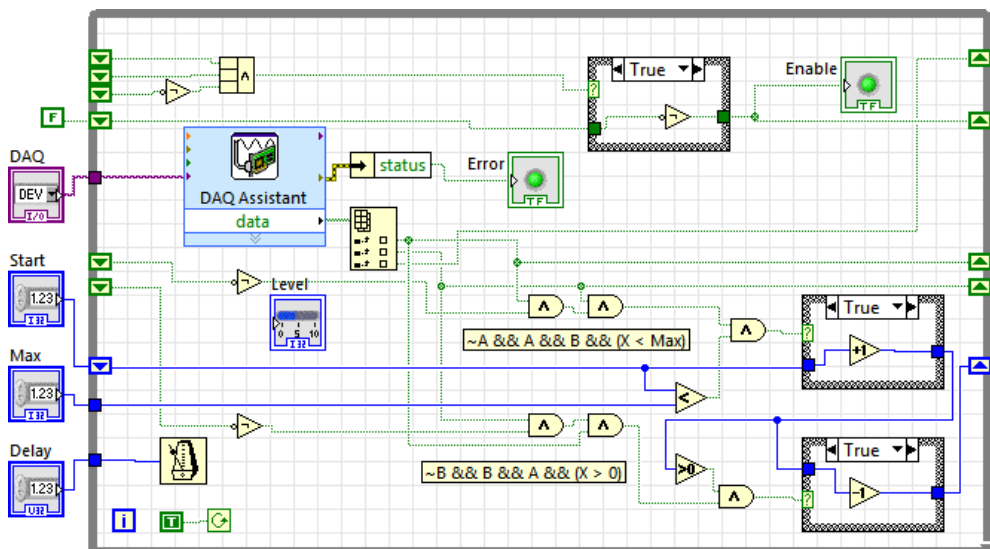
Przy wykorzystaniu podwójnego zasilacza z pomiarem napięć wyjściowych i prądów możliwe jest wykonanie innych pomiarów parametrów małosygnałowych elementów półprzewodnikowych takich jak tranzystory FET, diody, transoptory. Układ pomiarowy pozwala również na rejestrację przebiegów napięciowych z częstotliwością próbkowania do 48ks/s, dzięki czemu możliwa jest obserwacja stanów nieustalonych w elementach RLC lub napięć zmiennych.

4. Laboratorium z Systemów wbudowanych

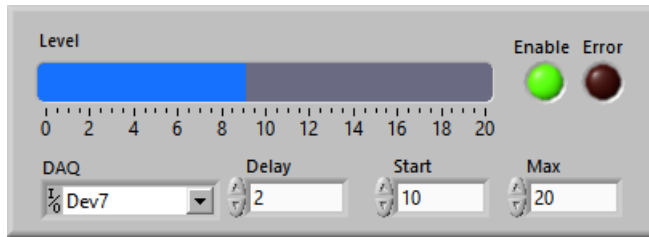
W zajęciach laboratoryjnych z Systemów wbudowanych studenci mają możliwość praktycznego wykorzystania środowiska LabView do kontrolowania rzeczywistymi urządzeniami dołączonymi do komputera za pomocą interfejsu NI USB-6009.

W czasie zajęć laboratoryjnych realizowane są zadania związane z podstawowymi strukturami graficznego środowiska uruchomieniowego LabView. Pierwsze zajęcia związane są ze sterowaniem sygnałami cyfrowymi. Do urządzenia dołączone jest osiem diod LED, które kolorem czerwonym lub zielonym sygnalizują stan wyjść binarnych. Kolejne linie DIO stosowane są jako wejścia, do których dołączony jest przełącznik obrotowy, impulsowo sygnalizujący zmianę położenia z dodatkowym stykiem zwierzanym przy naciskaniu.

Taka konfiguracja sprzętowa pozwala na uruchamianie prostych algorytmów i poznanie podstawowych struktur graficznego języka programowania: pętle, instrukcje warunkowe, wyrażenia logiczne, obliczenia numeryczne, stosowanie tablic dla zmiennych typu całkowitego i logicznego. Działanie uruchamianych programów jest sygnalizowane na dołączonych diodach LED. Końcowym etapem jest integracja w jednym programie odczytywania stanu przełącznika ze zmianą jasności świecenia diod realizowaną zmianą wypełnienia. Na rysunku 13 przedstawiono przykład programowania algorytmu odczytującego zmianę pozycji przełącznika obrotowego. Na rysunku 14 pokazano efekt działania programu monitorującego stan przełącznika obrotowego.



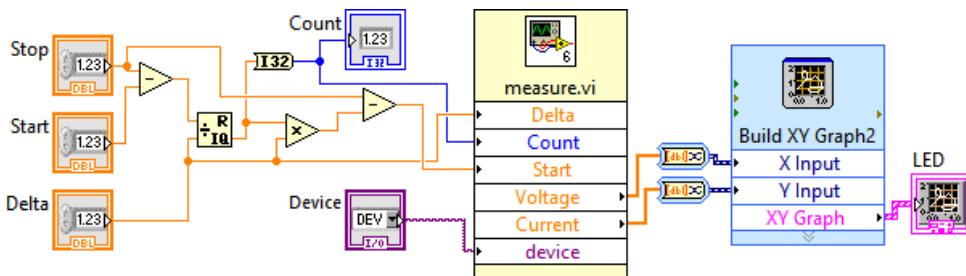
Rysunek 13. Przykład programowania: kod algorytmu odczytującego zmianę pozycji przełącznika obrotowego



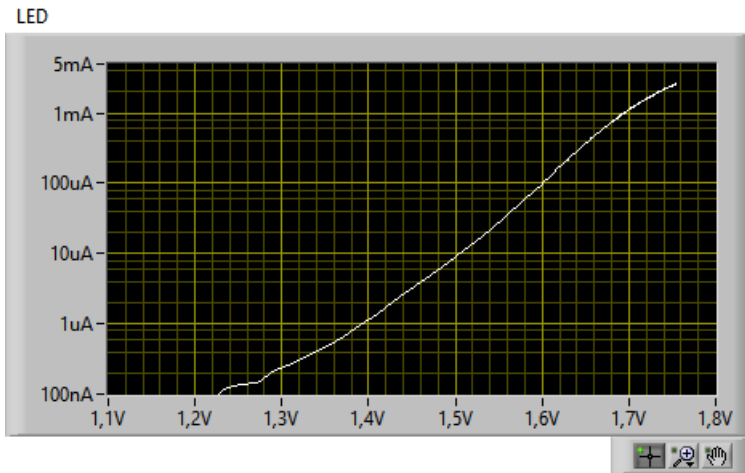
Rysunek 14. Działanie programu monitorującego stan przełącznika obrotowego

Na kolejnych zajęciach wykonywane są zadania związane z wykorzystaniem interfejsów analogowych. Jako obiekt testowy wykorzystywana jest dioda LED, której jasność zmieniana jest przy wykorzystaniu przetwornika C/A. Mierzona jest wartość płynącego prądu w zależności od wartości napięcia sterującego. Dla prawidłowego przedstawienia wyników pomiaru konieczne jest zastosowanie logarymicznej skali miernika prądu. Dokładność pomiarów jest poprawiana przez uśrednianie wyników serii pomiarów. Konieczne jest również uwzględnienie błędu zera w przetwornikach A/C. Prawidłowo działający tor sygnałowy może być wykorzystany do pomiaru charakterystyki diody dla prądów od ułamka mikroampera do kilku miliamperów. Ograniczenie maksymalnego prądu wynika z dużej oporności wyjść analogowych. Możliwe jest wykonanie serii pomiarów i uzyskanie pełnej charakterystyki prądowo-napięciowej diody.

Sterowanie pomiarami charakterystyki diody LED przedstawiono na rysunku 15. Na rysunku 16 pokazano wyniki pomiarów charakterystyki prądowo-napięciowej czerwonej diody LED.



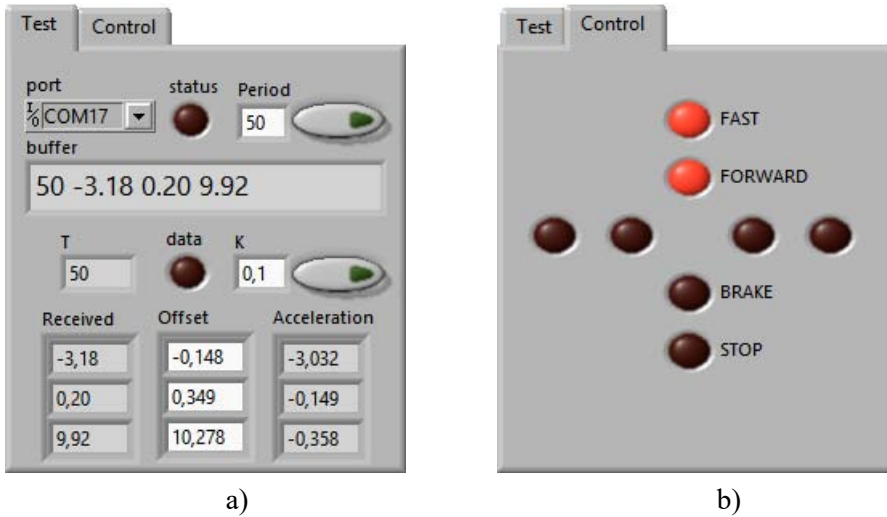
Rysunek 15. Sterowanie pomiarami charakterystyki diody



Rysunek 16. Wyniki pomiarów charakterystyki prądowo-napięciowej czerwonej diody LED

Część zajęć laboratoryjnych przeznaczona jest na zadania związane z podstawami programowania mikrokontrolerów. Studenci mają do dyspozycji płytki z procesorem ESP32 zgodne układowo z popularnym standardem Arduino. Możliwe jest stosowanie środowiska uruchomieniowego Arduino wykorzystywanego przez początkujących programistów oraz w celach edukacyjnych. Pozwala ono na tworzenie programów w uproszczonej wersji języka C, z wykorzystaniem wejść/wyjść cyfrowych. Możliwe jest sprawdzenie funkcjonowania wielu typów najbardziej popularnych czujników po dołączeniu do wejść analogowych lub typowych interfejsów takich jak I2C lub SPI. Modyfikacja bibliotek i tworzenie bardziej rozbudowanego oprogramowania w języku C++ wymaga użycia profesjonalnych narzędzi, takich jak Visual Studio.

Procesor ESP32 jest procesorem nowej generacji (dwa rdzenie 32-bitowe z częstotliwością zegarową do 240MHz), który pozwala na komunikację z komputerem przy zastosowaniu portu szeregowego, bezprzewodowej transmisji w lokalnej sieci bezprzewodowej WiFi lub interfejsu Bluetooth. Struktura oprogramowania mikroprocesora bazuje na systemie operacyjnym FreeRTOS, co pozwala na efektywne realizowanie zadań pracujących w reżimie czasu rzeczywistego. Dostępne są biblioteki funkcji ułatwiających wymianę danych w sieci, a oprogramowanie systemowe ułatwia korzystanie z usług takich jak Amazon Web Services IoT.



Rysunek 17. Przykład wykorzystanie mikroprocesorowego czujnika przyspieszenia w środowisku LabView: a) panel pomiarowy; b) panel sterujący

Na zajęciach laboratoryjnych do płytki mikrokontrolera jest dołączona dodatkowa płytki Waveshare Accessory Shield zawierająca potencjometr dołączony do wejścia analogowego oraz miniaturowy joystick. Dostępny jest również czujnik temperatury, 3-osiowy akcelerometr, zegar czasu rzeczywistego, wyświetlacz graficzny OLED oraz programowalna dioda RGB LED.

Uruchomienie przykładowych programów wymaga minimalnych modyfikacji związanych z inną numeracją wyprowadzeń układu procesora. Układy scalone dołączone za pośrednictwem interfejsu I2C działają prawidłowo bez żadnych modyfikacji kodów źródłowych. Stosunkowo łatwo jest zapewnić transmisję danych do komputera, na którym jest zainstalowane środowisko LabView.

Przykładowa aplikacja analizująca dane z czujnika dołączonego do mikroprocesora wykorzystuje akcelerometr ADXL345 – rysunek 17. Odbierane w porcie szeregowym tekstowe informacje są przetwarzane do postaci liczbowej. Obliczone aktualne wartości składowych wektora przyspieszenia ziemskiego mogą być zdekodowane i zastosowane do sterowania diod LED wyświetlonych na ekranie.

5. Podsumowanie

Rozwój technologii informatycznych w zakresie wirtualizacji pozwala na coraz szersze użycie narzędzi wirtualnych do wspomagania prowadzenia zajęć dydaktycznych. Techniki wirtualne mogą być dobrym uzupełnieniem klasycznych technik uczenia. A zatem, jeżeli połączyć techniki wirtualne z technikami, które z wirtualizacją nie mają nic wspólnego, to powstaną narzędzia hybrydowe, mogące w sobie łączyć wszystkie dobre cechy obydwu technik uczenia. W konsekwencji takiego rozumowania, w kształceniu studentów na informatycznych studiach inżynierskich można wykorzystać laboratoria hybrydowe.

W pracy przedstawiono przykładowe wykorzystanie technik hybrydowych opartych o środowisko LabView w kształceniu studentów w Warszawskiej Wyższej Szkole Informatyki, w zakresie przedmiotów: Podstawy fizyki, Podstawy elektrotechniki, elektroniki i miernictwa oraz Systemy wbudowane. W przypadku pierwszego przedmiotu, laboratorium wirtualne jest uzupełnieniem dla klasycznych zajęć audytoryjnych. Na zajęciach z przedmiotu drugiego, jako fundament wykorzystywane jest laboratorium realne. Laboratorium wirtualne może być wykorzystywane jako wsparcie kształcenia. Ostatni przedmiot korzysta z laboratorium realnego opartego o środowisko LabView z interfejsem kontrolno-pomiarowym NI USB-6009 oraz układ mikroprocesorowy z dołączonymi sensorami wielkości fizycznych..

Z jednej strony, wykorzystanie z modułu NI USB-6009 współpracującego ze środowiskiem LabView umożliwiło realizację laboratoriów realnych, pozwalających badać rzeczywiste elementy i przyrządy. Moduł ten podłączony do komputera kablem USB pełni rolę interfejsu kontrolno-pomiarowego, współpracującego z rzeczywistymi przyrządami i układami elektronicznymi. Z drugiej strony środowisko LabView dało możliwość opracowania elementów laboratorium wirtualnego, zawierającego modele symulacyjne rzeczywistych elementów i przyrządów. Obydwa elementy wzięte razem (realne i wirtualne), tworząc laboratorium hybrydowe wspomagają studentów w nauce.

Na koniec należy zauważyć, że przez swoją elastyczność, laboratoria wirtualne mogą być używane nie tylko na zajęciach dydaktycznych, ale także poza tymi zajęciami. Ta możliwość jest szczególnie cenna we wspomaganiu indywidualnej nauki po zakończeniu zajęć dydaktycznych i opuszczeniu murów uczelni.

Bibliografia

- [1] B. Galwas, E. Piwowarska, M. Godziemba-Maliszewski, *Laboratorium wirtualne w dydaktyce i badaniach naukowych*, „Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej” nr 41, 2015.
 - [2] R.J. Rak, *Kształcenie metrologów w dobie społeczeństwa informacyjnego*, „Pomiary Automatyka Kontrola” tom 53, 2007.
 - [3] R. Łukaszewski, P. Bilski, K. Mroczek, *Wykorzystanie w dydaktyce rekonfigurowalnych przyrządów pomiarowo-sterujących i systemów wbudowanych*, „Pomiary Automatyka Kontrola” tom 57, nr 11, 2011.
 - [4] B. Olech, *Kształcenie inżynierów w zakresie nowoczesnych dziedzin technicznych kreowane możliwościami oferowanymi przez technologię FPGA*, „Pomiary Automatyka Kontrola” tom 57, nr 8, 2011.
 - [5] National Instruments, *NI USB-6008/6009 User's Guide*, <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf> [30.09.2019].
 - [6] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, tom 1-5, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2015.
 - [7] P. Horowitz, W. Hill, *Sztuka elektroniki*, tom 1-2, Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1995.
-

Hybrid laboratories in the education of IT engineers

Abstract

The purpose of the article is to show the possibility of using hybrid laboratories for classes in computer engineering studies. Examples of hybrid laboratories (real and virtual laboratories) based on the LabView environment were implemented for the purposes of classes in Physics, Electrical Engineering and Measurement as well as Embedded Systems. The above hybrid laboratories are used as part of didactics for students at the Warsaw School of Computer Science.

Keywords: *hybrid laboratory, real laboratory, virtual laboratory, LabView environment*