

System pomiarowy do badania czujników prądu i przemieszczenia liniowego w trybie zdalnym

Streszczenie. W referacie przedstawiono koncepcję oraz rozwiązania sprzętowe i programowe dwóch dydaktycznych systemów pomiarowo-sterujących, pozwalających na zdalną realizację zajęć laboratoryjnych w szkołach ponadpodstawowych i uczelniach technicznych z przedmiotów związanych z techniką sensorową.

Abstract. The paper presents the concept as well as hardware and software solutions of two didactic measurement and control systems allowing for remote implementation of laboratory classes in secondary schools and technical universities in subjects related to sensor technology (**Measurement system for testing current and linear displacement sensors in remote mode**).

Słowa kluczowe: zdalne nauczanie, laboratorium zdalne, czujniki prądu, czujniki przemieszczenia.

Keywords: remote learning, remote lab, current sensors, displacement sensors.

Wstęp

Od wielu lat w procesie dydaktycznym wykorzystywane są laboratoria zdalne lub wirtualne jako uzupełnienie stacjonarnych zajęć laboratoryjnych lub narzędzi do regularnej nauki on-line [1]. Stosowane są w nich technologie internetowe i multimedialne, co umożliwia przeprowadzenie zajęć na odległość, czyli bez fizycznej obecności w sali laboratoryjnej. W przypadku zajęć o charakterze eksperymentalnym, w których wymagane jest zastosowanie elektronicznej aparatury pomiarowej, eksperymenty mogą być realizowane poprzez symulacje komputerowe (laboratorium wirtualne) lub zdalny dostęp do rzeczywistej aparatury (laboratorium zdalne). W pierwszym przypadku otrzymane dane są efektem obliczeń matematycznych, natomiast w drugim wynikami rzeczywistych pomiarów, które zostały wykonane przez aparaturę i wysłane do użytkownika [2, 3]. W przypadku laboratoriów zdalnych wykorzystujących rzeczywistą aparaturę pomiarową proponuje się zastosowanie systemów pomiarowo-sterujących wyposażonych w autonomiczne przyrządy z interfejsami (np., USB, GPIB, LXI) i/lub systemy akwizycji sygnałów DAQ [4, 5]. System VISIR [5, 6], służący do akwizycji sygnałów i sterowania, wykorzystuje modułowy system PXI wraz z matrycami przełączników, co pozwala na zdalną konfigurację badanego układu elektrycznego i dołączanie przyrządów pomiarowych do wybranych oczek i węzłów badanego układu. Stanowiska laboratoryjne do pracy zdalnej wyposażane są w kamery pozwalające na obserwację aparatury i badanego obiektu [3, 7]. Z rezultatów badań zamieszczonych w pracy [7] wynika, że ćwiczenia laboratoryjne realizowane w sposób zdalny są dobrze oceniane przez studentów, a oceny za sprawozdania z ćwiczeń i wyniki testów końcowych są porównywalne, a czasami wyższe od ocen uzyskanych przy korzystaniu z laboratoriów stacjonarnych.

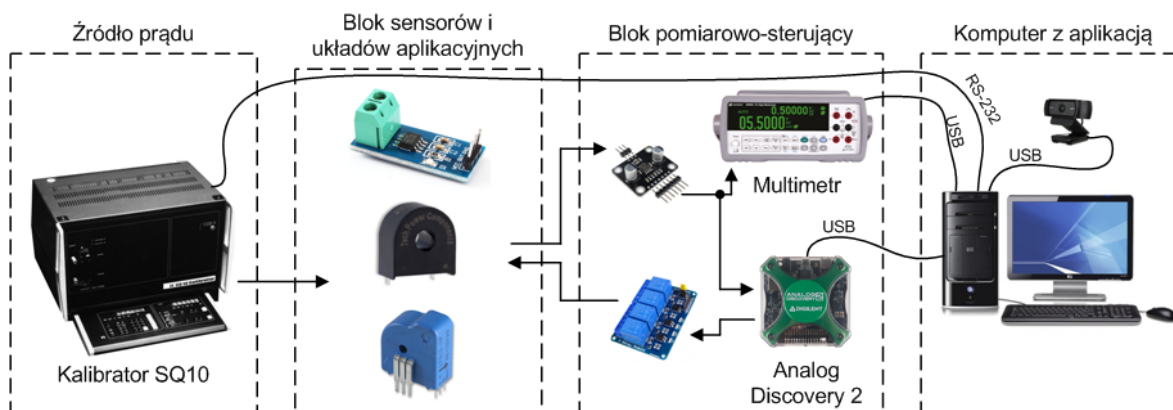
Zdalny tryb nauki w szkołach podstawowych, ponadpodstawowych i wyższych, wymuszony przez pandemię COVID-19 spowodował, że zajęcia laboratoryjne w ponadpodstawowych szkołach i uczelniach technicznych nie były realizowane, albo były realizowane w bardzo wąskim i uproszczonym zakresie, co uniemożliwiało osiągnięcie właściwych rezultatów kształcenia. W celu przeciwdziałania problemom wynikającym ze zdalnego trybu nauczania, w ramach programu ERASMUS+ „Partnerstwa strategiczne na rzecz edukacji cyfrowej w sektorze szkolnictwa wyższego” utworzone zostało międzynarodowe konsorcjum sześciu ośrodków,

akademickich i jednej szkoły ponadpodstawowej, realizujące projekt „Digital platform supporting REremote LABORatory classes in Electrical engineering, Mechatronics and Automation (RELABEMA)”. Liderem projektu jest Politechnika Śląska, pozostałe instytucje partnerskie to: Tallinn University of Technology (Estonia), Vilnius Gediminas Technical University (Litwa), Universitatea Politehnica Timișoara (Rumunia), Technische Hochschule Mittelhessen (Niemcy), Uniwersytet Zielonogórski i Zespół Szkół Technicznych z Wodzisławia Śląskiego. Głównym celem projektu jest opracowanie czterech rezultatów intelektualnych w postaci czterech różnych laboratoriów z zakresu elektrotechniki, mechatroniki i automatyki, które będą dostępne zdalnie.

Z ramienia Uniwersytetu Zielonogórskiego wykonawcą projektu jest Instytut Metrologii, Elektroniki i Informatyki (IMEI), który posiada wieloletnie doświadczenia zarówno badawcze jak i dydaktyczne w obszarze czujników i przetworników pomiarowych. Z tego względu zespół autorów podjął się opracowania dwóch dydaktycznych systemów pomiarowo-sterujących, z których jeden przeznaczony będzie do realizacji eksperymentów dotyczących sensorów wielkości elektrycznych, a drugi do prowadzenia eksperymentów związanych z czujnikami wielkości nieelektrycznych. Zdecydowano, że z grupy sensorów wielkości elektrycznych testowanych będzie kilka typów sensorów prądu, a z grupy sensorów wielkości nieelektrycznych kilka typów czujników przemieszczenia liniowego.

Koncepcja systemów

Opracowując założenia dla systemu przeznaczonego do badania sensorów prądu przyjęto, że system pozwoli na badanie właściwości statycznych i dynamicznych miniaturowanych transformatorów prądowych oraz sensorów hallotronowych z otwartą i zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego, a także ich testowanie w przykładowych układach aplikacyjnych. Tego typu sensory wykorzystywane są często do pomiaru prądów w układach elektrycznych i energoelektrycznych [8]. Przyjęto również, że system pozwoli na wykonanie programu dwóch ćwiczeń laboratoryjnych zatytułowanych *Transformatorowe obwody wejściowe elektronicznych przetworników pomiarowych* i *Hallotronowe sensory prądu*, które są realizowane w sposób tradycyjny w Laboratorium Przetworników i Systemów Pomiarowych IMEI UZ [10].



Rys.1. Struktura systemu do badania sensorów prądu

Opracowując założenia dla systemu przeznaczanego do badania sensorów przemieszczeń liniowych przyjęto, że system pozwoli na badanie właściwości statycznych sensorów transformatorowych (LVDT) [9] oraz optycznych sensorów odbiciowych z wyjściem analogowym i cyfrowym. Docelowo system pozwoli na wykonanie programu dwóch ćwiczeń laboratoryjnych zatytułowanych *Transformatorowe czujniki przemieszczeń liniowych* i *Sensory optyczne*, które są realizowane w sposób tradycyjny we wspomnianym wcześniej laboratorium IMEI UZ [10].

W odniesieniu do prezentowanych w literaturze koncepcji i rozwiązań struktur sprzętowych zdalnych laboratoriów dydaktycznych zdecydowano się na opracowanie systemów pomiarowo-sterujących z wykorzystaniem autonomicznej aparatury pomiarowej wyposażonej w interfejsy komunikacyjne, wielofunkcyjnego systemu Analog Discovery 2 (AD2) oraz zespołów kluczy przekaźnikowych, pozwalających na zdalnych wybór badanych czujników i współpracujących z nimi układów pomiarowych. Przyjęto, że systemy pomiarowo-sterujące powinny realizować funkcje pozwalające na przeprowadzenie wszystkich eksperymentów, które występują w programie ćwiczeń prowadzonych w laboratorium w sposób manualny. Do realizacji funkcji sterujących i pomiarowych w obu systemach zastosowano moduł (AD2) firmy Digilent. W niektórych przypadkach, jako alternatywny przyrząd pomiarowy dla wejść analogowych modułu AD2 przewidziano multimetr laboratoryjny. Każdy z dwóch systemów zarządzany będzie przez osobne aplikacje, o jednolitym interesie graficznym i podobnych funkcjach, zaprojektowane w środowisku LabWindows/CVI firmy National Instruments.

Założono, że obsługa systemów przez użytkownika zdalnego będzie wykonywany z wykorzystaniem mechanizmu zdalnego pulpitu, a podgląd na część sprzętową każdego z systemów będzie realizowany za pomocą kamery dołączonej do komputera z aplikacją sterującą. Zastosowanie do sterowania systemem aplikacji na komputer PC oraz mechanizmu zdalnego pulpitu pozwoli na obsługę systemu w jednakowy sposób zarówno przez użytkownika znajdującego się w laboratorium jak i przez użytkownika zdalnego.

System do badania sensorów prądu

Na rys. 1 przedstawiono uproszczoną strukturę systemu do badania sensorów prądu. Głównymi jego elementami są: źródło prądu, blok badanych sensorów i układów aplikacyjnych, blok pomiarowo-sterujący, komputer z aplikacją obsługującą system, który współpracuje z kamerą i jest podłączony do jest sieci Internet. Źródłem prądu w systemie jest uniwersalny kalibrator typu SQ10,

pozwalający na generowanie prądów do 10 A, w paśmie do 5 kHz o błędzie podstawowym 0,05%. Do badania w systemie przewidziano trzy sensory, których parametry zamieszczono w tabeli 1.

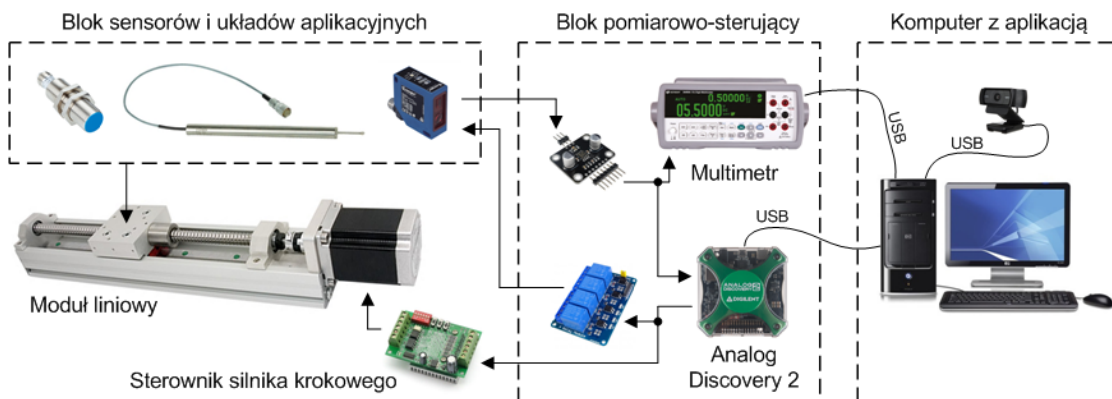
Tabela 1. Parametry badanych sensorów prądu

Rodzaj sensora	Transformator prądowy	Hallotronowy bez sprzężenia zwrotnego	Hallotronowy ze sprzężeniem zwrotnym
Typ sensora	TA 100	ACS 712	LTS-6-NP
Prąd wej. [A]	5	5	6
Sygnal wyjściowy	Prądowy 5 mA	Napięciowy 2,5 ±0,925 V	Napięciowy 2,5 ±0,625 V
Błąd podst. [%]	1	1,5	0,7

W bloku badanych sensorów znajdują się dwa układy aplikacyjne, zaczerpnięte z noty katalogowej [11], które mogą współpracować z sensorem ACS712-05. Jest to układ detektora wartości szczytowej prądu i układ zwiększający czułość wyjścia napięciowego sensora. W bloku tym znajduje się również układ źródła prądowego sterowanego napięciem, który pozwala badać sensor LTS 6-NP jako sensor różnicy prądów. Moduł AD2, poprzez wyjścia cyfrowe i układy kluczy przekaźnikowych, pozwala m.in. na dołączenie wyjścia wybranego sensora do wejścia analogowego modułu AD2 i dołączenie do sensora ACS712-05 wybranego układu aplikacyjnego. Sterowanie źródłem prądowym odbywa się poprzez wyjście analogowe modułu AD2, który również realizuje pomiary i wizualizację w dziedzinie czasu sygnałów wejściowych i wyjściowych sensorów. Jako alternatywne narzędzie pomiarowe dla torów analogowych modułu AD2 zastosowano multimetr laboratoryjny Agilent 34401A.



Rys.2. Widok systemu do badania sensorów prądu



Rys.3. Struktura systemu do badania sensorów przemieszczeń liniowych

Fizyczną realizację systemu (stanowiska) przedstawiono na rys. 2. Czujniki prądu i układy aplikacyjne dla czujników zostały zamontowane na jednej płycie PCB, która wraz z zasilaczem i układem AD2 znajduje się na podstawie wykonanej ze szkła akrylowego. Kalibrator i multimetr dołączane są do czujników przez zaciski i złącza umieszczone bezpośrednio na płycie PCB.

System do badania sensorów przemieszczeń liniowych

Na rys. 3 przedstawiono uproszczoną strukturę systemu do badania sensorów przemieszczenia liniowego. Głównymi jego elementami są: moduł liniowy z silnikiem krokowym, blok badanych sensorów przemieszczenia i układów aplikacyjnych, blok pomiarowo-sterujący, komputer (podłączony do sieci Internet) z kamerą i aplikacją zarządzającą systemem. W systemie zastosowano sensory przemieszczenia, których rodzaj i parametry zamieszczono w tabeli 2. W bloku sensorów znajduje się również zestaw źródeł napięcia i dedykowany wzmacniacz pomiarowy dla sensorów LVDT typu WG06. Układy te pozwalają na badanie sensorów LVDT przy różnych parametrach zasilania oraz z dedykowanymi układami kondycjonowania. Moduł liniowy z silnikiem krokowym przeznaczony jest do przemieszczania: ruchomych elementów sensorów przemieszczenia typu LVDT (rdzeni), powierzchni odbijającej światło dla czujnika optycznego i powierzchni metalowej wykrywanej przez indukcyjny czujnik zbliżeniowy. Konstrukcja modułu liniowego oraz sterownik silnika krokowego zapewniają rozdzielczość przesunięć liniowych równą 0,025 mm. Moduł AD2, poprzez wyjścia cyfrowe i układy kluczy przekaźnikowych, pozwala m.in. na: sterowanie silnikiem krokowym, obsługę wyłączników krańcowych, konfigurację źródeł zasilania dla sensorów oraz pomiary i wizualizację sygnałów zasilających sensory i sygnałów wyjściowych z sensorów.

Tabela 2. Parametry badanych sensorów przemieszczenia

Rodzaj sensora	LVDT (AC/AC)	LVDT (DC/DC)	Optyczny odbiciowy	Indukcyjny zbliżeniowy
Typ	PTx30	Plz20	FT20RA-60-F-K4	LJ30A3-15-Z-CY
Zakres [mm]	±30	±20	20...80	15
Sygnał wyjściowy [V]	0...1 RMS	±5	10..0	-
Wyjście cyfrowe	-	-	PNP/NPN	PNP/NPN
Nieliniowość [%]	≤ 0,5	≤ 0,5	-	-

Na rys. 4 przedstawiono widok fizycznej realizacji systemu (stanowiska) do badania sensorów przemieszczenia. Część mechaniczna systemu, czyli moduł liniowy wraz z silnikiem krokowym i zamontowane

w uchwytach czujniki przemieszczenia, została zamontowana na płycie wykonanej ze szkła akrylowego. Na tej płycie został umieszczony również dedykowany wzmacniacz pomiarowy WG06. Pod płytą z elementami mechanicznymi znajduje się druga płyta ze szkła akrylowego, na której zostały zamontowane układy elektroniczne: zasilacze, sterownik silnika krokowego, blok pomiarowo-sterujący wraz z modułem AD2.



Rys.4. Widok systemu do badania sensorów przemieszczenia

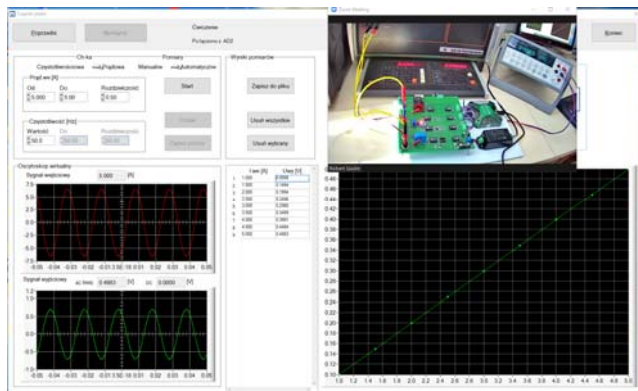
Aplikacja sterująca

Oba systemy obsługiwane są przez aplikacje programowe zaprojektowane w środowisku LabWindows/CVI, które posiadają podobne funkcje i zbliżony interfejs graficzny. Aplikacje posiadają szereg zakładek, które mogą być przełączane sekwencyjnie, co wymusza właściwą procedurę obsługi systemu. Każda z aplikacji realizuje następujące funkcje:

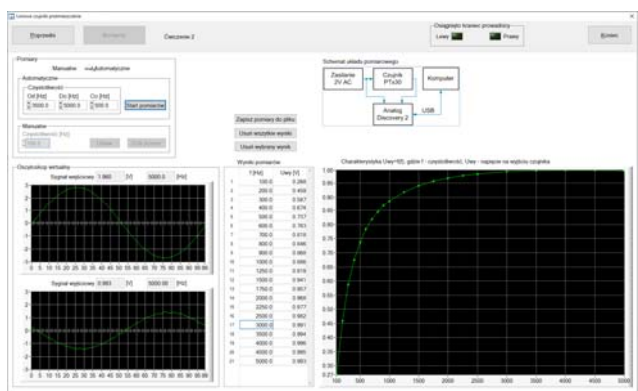
- konfiguracja systemu – wybór wersji językowej, sensora do badań, układu aplikacyjnego dla sensora, źródła zasilania sensora, urządzenia pomiarowego (AD2 lub multimetr),
- kalibracja systemu – sprawdzenie poprawności działania źródła prądu lub pozycjonowanie przewodnicy liniowej,
- pomiary – wybór zadania pomiarowego i trybu pomiarów (manualny, automatyczny),
- prezentacja wyników pomiarów – bieżące wyniki pomiarów, zestawienie tabelaryczne, wykres,
- archiwizacja wyników – zapis wyników do pliku w formacie CSV.

Na rys. 5 przedstawiono widok okna aplikacji sterującej systemem do badania sensorów prądu podczas wyznaczania charakterystyki prądowej sensora TA100. W oknie aplikacji widoczne są ustawienia parametrów wejściowych sensora, przebiegi prądu wejściowego i wyjściowego, zestawienie wyników pomiarów w postaci tabelarycznej i charakterystyka prądowa sensora dla wybranej częstotliwości. Widoczne jest również okno zawierające obraz stanowiska przekazany za pomocą kamery. Na rys. 6 przedstawiono widok okna aplikacji sterującej systemem podczas wyznaczania charakterystyki

zmian napięcia wyjściowego czujnika PTx30 w funkcji częstotliwości napięcia zasilającego czujnik.



Rys.5. Okno aplikacji sterującej systemem do badania sensorów prądu



Rys.6. Okno aplikacji sterującej systemem do badania sensorów przemieszczeń liniowych

Zdalna obsługa systemu

Podstawowym założeniem przy projektowaniu obu systemów było umożliwienie ich zdalnej obsługi przez sieć Internet. Autorzy zdecydowali się na rozwiązanie wykorzystujące technikę zdalnego dostępu do komputera przy pomocy tzw. zdalnego pulpitu, gdzie użytkownik ze swojego komputera widzi i kontroluje ekran komputera zdalnego. System Windows posiada wbudowany mechanizm zdalnego pulpitu, ale podlega on ograniczeniom dostępu spoza lokalnej sieci szkoły lub uczelni. Dlatego zdecydowano się wykorzystać przeglądarkę Chrome z dodatkiem realizującym funkcjonalność zdalnego pulpitu. Rozwiązanie takie ma wiele zalet. Po stronie użytkownika zdalnego potrzebna jest jedynie przeglądarka Chrome ze wspomnianym dodatkiem i połączenie do sieci Internet. Po stronie komputera udostępniającego swój pulpit wymagania programowe są identyczne. Co najważniejsze, żaden z komputerów nie musi mieć przydzielonego publicznego adresu IP. Obsługa zdalna systemu odbywa się w ten sam sposób jak obsługa na komputerze stacjonarnym z tą różnicą, że użytkownik zdalny widzi obraz stanowiska przekazany przez kamerę.

Przy korzystaniu ze zdalnego pulpitu za pomocą przeglądarki Chrom występuje szereg zabezpieczeń, które uniemożliwiają logowanie się przypadkowych osób. Aby przeprowadzić logowanie do komputera w laboratorium zdalny użytkownik musi najpierw zalogować się w przeglądarce Chrom na swoje konto Google, które jest mu przydzielane przez uczelnię. Następnie od prowadzącego zajęcia otrzymuje generowany losowo kod dostępu. Po jego wpisaniu dodatkowo prowadzący musi jeszcze zaakceptować zdalny dostęp do komputera, który

trwa 30 minut. Po upływie tego czasu dostęp może być przedłużany o kolejne 30-minutowe interwały czasowe.

Podsumowanie

Przedstawiona w artykule ogólna koncepcja systemów pomiarowo-sterujących, struktura sprzętowa bloku pomiarowo-sterującego, koncepcja aplikacji obsługującej systemy oraz narzędzia zdalnego dostępu do systemów mogą stanowić bazę dla opracowania ćwiczeń laboratoryjnych polegających na wykonywaniu praktycznych eksperymentów pomiarowych metodami zdalnymi. Zaproponowane rozwiązania zdalnego dostępu do systemu mogą być zastosowane w projektach badawczych realizowanych przez zespoły badawcze z odległych od siebie ośrodków. Przedstawiony mechanizm zdalnego dostępu do stanowisk dydaktycznych był realizowany w laboratoriach IMEI UZ podczas zajęć prowadzonych w trybie zdalnym przez dwa semestry przypadające w czasie pandemii COVID-19.

Autorzy: dr inż. Leszek Furmankiewicz, Uniwersytet Zielonogórski, Instytutu Metrologii, Elektroniki i Informatyki ul. Prof. Z. Szafrana 2, 65-516 Zielona Góra, E-mail: l.furmankiewicz@ime.uz.zgora.pl; dr inż. Mirosław Kozioł, Uniwersytet Zielonogórski, Instytutu Metrologii, Elektroniki i Informatyki ul. Prof. Z. Szafrana 2, 65-516 Zielona Góra, E-mail: m.kozioł@ime.uz.zgora.pl; prof. dr hab. inż. Ryszard Rybski, Uniwersytet Zielonogórski, Instytutu Metrologii, Elektroniki i Informatyki ul. Prof. Z. Szafrana 2, 65-516 Zielona Góra, E-mail: r.rybski@ime.uz.zgora.pl; dr inż. Robert Szulim, Uniwersytet Zielonogórski, Instytutu Metrologii, Elektroniki i Informatyki ul. Prof. Z. Szafrana 2, 65-516 Zielona Góra, E-mail: r.szulim@ime.uz.zgora.pl.

LITERATURA

- [1] Monzo C., Cobo, G., Morá J.A., Santamaría E.; García-Solórzano D.: Remote Laboratory for Online Engineering Education: The RLAB-UOC-FPGA Case Study. *Electronics*, Volume 10, Issue 9 (2021).
- [2] Galwas B., Piwowarska E., Godziemba-Maliszewski M.: Laboratorium wirtualne w dydaktyce i badaniach naukowych, *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej* Nr 41, (2015) 85-92.
- [3] Szablowski S.: *Wirtualne laboratorium w dydaktyce mechatroniki*, Dydaktyka Informatyki 5, (2010) 107-126
- [4] Rak R., Godziemba-Maliszewski M., Majkowski A.: *A proposal of Virtual Laboratory structure*. Sorrento, Italy 24-27 April 2006, Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC, 2006.
- [5] Gustavsson I., Zackrisson J., Håkansson L., Claesson I., Lagó T., *The VISIR project – an Open Source Software Initiative for Distributed Online Laboratories*, Proceedings of the 2007 REV Conference, Porto, Portugal, (2007).
- [6] Hernandez-Jayo U., Garcia-Zubia J., *Remote measurement and instrumentation laboratory for training in real analog electronic experiments*, Elsevier, Measurement, T2 (2016) 123-134.
- [7] Fabregas E., Farias G., Dormido-Canto S., Dormido S., Esquembre F., *Developing a remote laboratory for engineering education*, Elsevier, Computers & Education, Volume 57, Issue 2, (2011), 1686-1697.
- [8] Łastowiecki J., *Układy pomiarowe prądu w energoelektronice*, Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw SEP, Warszawa 2003.
- [9] Suchocki K., *Sensory i przetworniki pomiarowe. Przetworniki indukcyjne*. Przetworniki pojemnościowe. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2016.
- [10] Furmankiewicz L., *Instrukcje do ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu Przetworniki pomiarowe*, Zielona Góra, (2020). Materiały nieopublikowane.
- [11] *Nota katalogowa sensora ACS712*, Allegro Microsystems.