

## ZDALNA REALIZACJA ZAJĘĆ W LABORATORIACH RADIOKOMUNIKACYJNYCH REMOTE LEARNING IN LABORATORIES OF RADIOCOMMUNICATION

Jarosław Sadowski<sup>1</sup>; Jacek Stefański<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Gdańsk, jarsad@eti.pg.edu.pl

<sup>2</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Gdańsk, jstef@eti.pg.edu.pl

DOI: 10.15199/59.2022.4.82

**Streszczenie:** Referat zawiera opis założeń i budowy dwóch zestawów narzędzi do zdalnej realizacji zajęć laboratoryjnych, wykonanych w laboratoriach Politechniki Gdańskiej: zestaw symulatorów w postaci interaktywnych stron www oraz system zdalnego dostępu do sprzętowych stanowisk laboratoryjnych.

**Abstract:** This paper presents assumptions and realization of two tools for remote learning in laboratory classes: online simulators in form of interactive webpages and system for remote control of laboratory stands.

**Słowa kluczowe:** zdalne nauczanie, zdalny dostęp, symulatory

**Keywords:** remote learning, remote access, simulators

### 1. WSTĘP

Pandemia COVID-19 w znaczący sposób utrudniła realizację nauczania w ostatnich dwóch latach na wszystkich stopniach edukacji, w tym na uczelniach wyższych. Niektóre formy zajęć, takie jak wykłady czy ćwiczenia, mogły być realizowane z użyciem gotowych, uniwersalnych systemów i platform do telekonferencji oraz pracy grupowej. Te same narzędzia były także używane z powodzeniem do realizacji spotkań online czy organizacji konferencji naukowych, a zdobyte w ten sposób doświadczenia oraz rozpowszechnienie narzędzi do wideokonferencji niewątpliwie spowodowały większe zainteresowanie takimi formami spotkań online także po przywróceniu tradycyjnych zajęć w salach (kontaktowych). Ale zajęcia praktyczne, takie jak laboratoria czy niektóre typy projektów studenckich nie dają się tak łatwo zrealizować w formie zdalnej i wymagają opracowania dedykowanych narzędzi, dostosowanych do specyfiki danych zajęć, ich tematyki, ale też celu zajęć i kompetencji, jakie powinien pozyskać student po zrealizowaniu tych zajęć. Niniejszy referat przedstawia przykład narzędzi do zdalnego nauczania przedmiotów laboratoryjnych w obszarze radiokomunikacji, zrealizowanych w Katedrze Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych Politechniki Gdańskiej.

### 2. ZAŁOŻENIA WSTĘPNE I WYMAGANIA

Podstawowym założeniem podczas opracowywania narzędzi do zdalnej realizacji zajęć laboratoryjnych było możliwie wierne odtworzenie funkcjonowania rzeczywistych stanowisk laboratoryjnych, używanych do realiza-

cji zajęć stacjonarnych. Było to zgodne z wytycznymi władz uczelni odnośnie umożliwienia płynnego przejścia pomiędzy nauczaniem kontaktowym i zdalnym bez modyfikacji planów zajęć, dostarczając studentom w miarę możliwości taką samą wiedzę, doświadczenia i wrażenia niezależnie od formy realizacji laboratoriów.

W literaturze można znaleźć przykłady różnych podejść do nauczania zdalnego przedmiotów praktycznych. Część z nich bazuje na gotowym oprogramowaniu do automatyzacji pomiarów jak np. LabView [4, 5], które jednak nie zawsze sprawdza się, gdy celem realizacji zajęć jest nie tylko uzyskanie wyników pomiarów ale też nauczanie kolejności wykonywania czynności w celu uzyskania określonych rezultatów. Inne rozwiązania, np. opisane w [1, 3], zakładają użycie kamer internetowych do prezentacji wyglądu stanowiska i stanu przyrządów. Zrealizowane eksperymenty wykazały jednak, że błyszczące ekrany urządzeń z wyświetlaczami LCD lub CRT bardzo utrudniają uzyskanie dostatecznej jakości obrazu przy zmiennych warunkach oświetlenia i powodują efekt mory, a dodatkowo w wielu przyrządach opisy i etykiety są wykonane na tyle małą czcionką, że nie są czytelne na obrazie z kamer. Z kolei w [2] zaproponowano zdalny dostęp do stanowiska laboratoryjnego przez udostępnienie komputera z oprogramowaniem sterującym stanowiskiem w laboratorium przez funkcję „zdalny pulpit”. Metoda ta może jednak powodować potencjalne problemy z naruszeniem licencji na oprogramowanie jeśli licencja pozwala tylko na użytkowanie danego oprogramowania w obrębie uczelni, dlatego użycie komercyjnego oprogramowania zostało ostatecznie odrzucone podczas projektowania narzędzi do zdalnej realizacji zajęć laboratoryjnych. Ponadto przyjęto następujące założenia:

- brak konieczności zakładania kont użytkownika w kolejnym systemie, a jeśli uwierzytelnianie użytkowników jest niezbędne to powinno być realizowane przez centralny serwer e-nauczania (np. Moodle) dla minimalizacji gromadzenia danych osobowych;
- pożądana jest możliwość współdziałania studentów w grupach;
- należy unikać konieczności instalacji jakiegokolwiek oprogramowania na urządzeniach (komputerach) użytkowników;

- dostęp do infrastruktury uczelni przez funkcję „zdalnego pulpitu” nie może być używany z powodu potencjalnych problemów z licencjonowaniem oprogramowania oraz zbyt dużymi uprawnieniami użytkowników zdalnych;
- opracowane narzędzia powinny być w miarę możliwości niezależne od platformy stosowanej przez użytkowników, zdalny dostęp powinien być gwarantowany z większości komputerów z systemem Windows, MacOS i Linux a w miarę możliwości także z platform mobilnych (Android, iOS);
- pożądane stosowanie rozwiązań i narzędzi (np. kompilatorów) typu Open Source, które nie narzucają ograniczeń na metodę i cel użycia;

Biorąc pod uwagę powyższe założenia wykonano narzędzia do zdalnej realizacji zajęć laboratoryjnych, które można podzielić na dwie grupy: symulatory oraz interfejsy do zdalnego sterowania stanowiskami sprzętowymi przez interfejs www.

### 3. SYMULATORY STANOWISK LABORATORYJNYCH

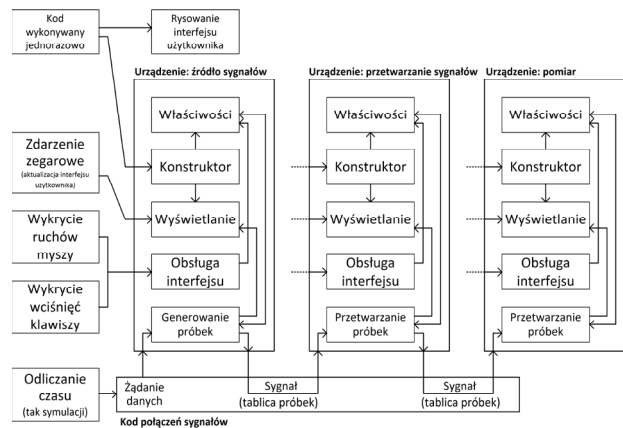
Wykonane symulatory stanowisk laboratoryjnych stanowią zasadniczo interaktywne strony www, które umożliwiają odtworzenie funkcjonowania rzeczywistych stanowisk sprzętowych, zarówno pod względem zachowania badanych urządzeń, funkcjonowania przyrządów pomiarowych jak i sposobu obsługi stanowiska przez użytkowników. Wszystkie symulatory zostały napisane w formie programów w języku javascript i są uruchamiane bezpośrednio w przeglądarce internetowej.

Stanowisko laboratoryjne do odtworzenia w symulatorze musi być podzielone na zestaw wirtualnych urządzeń, tj. części kodu odpowiedzialnej za zachowanie i wygląd wydzielonego fragmentu stanowiska, takiego jak źródło sygnału, urządzenie pomiarowe lub urządzenie wykonujące operacje na sygnałach. Każde wirtualne urządzenie jest zdefiniowane jako obiekt z zestawem obowiązkowych metod odpowiedzialnych za następujące zadania: konstruktor definiuje początkowe wartości zmiennych i wykonuje fragment kodu rysujący cały wygląd urządzenia na ekranie. Czynności wykonywane przez użytkownika, takie jak klikanie myszą, przewijanie „rolki” myszy czy naciskanie klawiszy są obsługiwane przez procedury obsługi zdarzeń, które zamieniają np. współrzędne kursora myszy na zmiany właściwości obiektu zapisywane w postaci zmiennych lokalnych. Dodatkowo efektem czynności wykonywanych przez studentów może być aktualizacja wyglądu urządzenia na ekranie, np. zmiana wyświetlanych wartości na wirtualnych wyświetlaczach.

Chociaż w większości przypadków kod odpowiedzialny za obsługę interfejsu użytkownika stanowi największą część całego kodu symulatora, najważniejszą funkcję symulatora realizuje jedna metoda odpowiedzialna za przetwarzanie próbek sygnałów. W symulatorach wszystkie sygnały są reprezentowane w postaci tablic próbek. Urządzenia będące źródłami sygnałów, jak np. generatory czy nadajniki, wytwarzają periodycznie tablice próbek w procedurze wyzwalanej licznikiem czasu. Te tablice próbek są następnie podawane jako

dane wejściowe do procedur przetwarzania sygnałów w kolejnych wirtualnych urządzeniach, takich jak np. wzmacniacze, filtry, mieszacze itp. Urządzenia z tej grupy mogą mieć więcej niż jedno wejście i wyjście. Z kolei pojedyncze wejście mają urządzenia, które można ogólnie zakwalifikować jako przyrządy pomiarowe: woltomierze, oscyloskopy, analizatory widma itp. Przetwarzanie sygnałów (próbek) przez urządzenia z tej ostatniej grupy najczęściej skutkuje aktualizacją wyświetlanych danych, jak wyniki pomiarów w formie liczbowej lub graficznej (wykresy).

Metody realizujące generowanie i przetwarzanie tablic próbek są wywoływane dziesięć razy na sekundę. Kolejność ich wykonywania wynika ze struktury połączeń pomiędzy wirtualnymi urządzeniami i jest kontrolowana przez fragment kodu opisany na rys. 1 jako „kod połączeń sygnałów”.



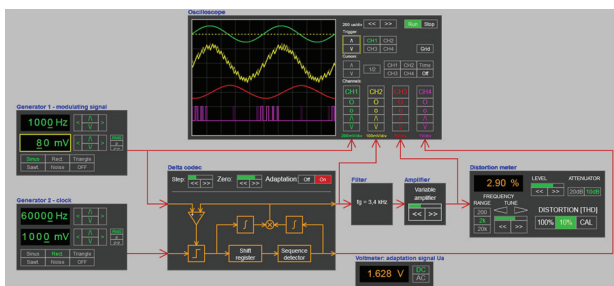
Rys. 1. Schemat blokowy struktury oprogramowania symulacyjnego

Podział programu symulatora na obiekty pozwala na uruchomienie w jednym symulatorze wielu instancji danego wirtualnego urządzenia, np. kilku takich samych mierników mierzących parametry sygnałów w różnych miejscach układu. Poza tym pozwala to na łatwe przeniesienie kodu przy tworzeniu kolejnych symulatorów.

Przygotowane symulatory urządzeń można podzielić na trzy kategorie. Pierwsza to urządzenia ogólnego przeznaczenia, jak woltomierze czy oscyloskopy, których sposób obsługi przez użytkowników nie jest krytyczny a wygląd w symulatorze nie musi odpowiadać żadnemu rzeczywistemu urządzeniu. Przykładem urządzeń z tej grupy może być oscyloskop przedstawiony na wyglądzie symulatora na rys. 2. Grupa druga to urządzenia specjalizowane, jak np. tester radiokomunikacyjny lub miernik zniekształceń, w których poza samym uzyskiwaniem wyników istotny jest też wygląd oraz sposób obsługi przez użytkowników (np. miernik zniekształceń na rys. 2). Natomiast w trzeciej grupie znajdują się symulatory modeli laboratoryjnych podlegających badaniom, np. modulatorów czy kodeków. W przypadku rzeczywistych stanowisk urządzenia te są budowane jako modele dydaktyczne o uproszczonej strukturze odpowiedniej do prezentowania zasad ich działania. Z tego powodu wirtualne modele tych urządzeń zostały zaprezentowane w symulatorach w formie schematów blokowych, a przykładem urządzenia z tej grupy może być koder delta przedstawiony na rys. 2.

Symulacja działania wszystkich wirtualnych urządzeń jest realizowana w dziedzinie czasu. Ogólna zasada symulacji bazuje na metodzie różnic skończonych w dziedzinie czasu (ang. Finite Differences in Time Domain), która do stabilnej pracy wymaga by częstotliwość próbkowania sygnałów była znacznie wyższa niż to wynika z kryterium Nyquista. Dobierając częstotliwość próbkowania należało mieć na uwadze, że niektóre symulatory wymagają zachowania rzeczywistej skali czasu, np. w przypadku gdy wyświetlane wartości są zależne od czasu realizacji ćwiczenia lub gdy częścią ćwiczenia jest odsłuch sygnałów z symulatora.

Wygląd całego symulatora dla przykładowego ćwiczenia dotyczącego badania właściwości kodowania delta z adaptacją pokazano na rys. 2. Przepływ sygnałów w symulowanym układzie jest reprezentowany strzałkami pomiędzy wyświetlanymi modelami urządzeń.



Rys. 2. Przykładowy wygląd symulatora stanowiska do badania kodowania delta

W ramach dotychczasowych prac wykonano pięć symulatorów do przedmiotu Miernictwo Radiokomunikacyjne, Sygnały Telekomunikacyjne i Technika Bezprzewodowa, ponadto pojedyncze symulatory do laboratoriów z Podstaw Telekomunikacji, Techniki Satelitarnej i Urządzeń Radiokomunikacyjnych. Niewątpliwie do zalet symulatorów należy zaliczyć możliwość ich łatwej integracji z różnymi platformami e-learningowymi, możliwość jednoczesnego uruchamiania dowolnej liczby instancji, a także swoboda w realizacji zadań przez poszczególnych studentów w dogodnych terminach. Nie bez znaczenia jest także możliwość wykonania symulatorów do stanowisk laboratoryjnych, których nie ma w ofercie nauczania kontaktowego np. z uwagi na brak urządzeń pomiarowych. Natomiast najczęściej zgłaszanym przez studentów problemem przy używaniu symulatorów był brak możliwości pracy w grupach i utrudnione konsultowanie postępów prac pomiędzy studentami.

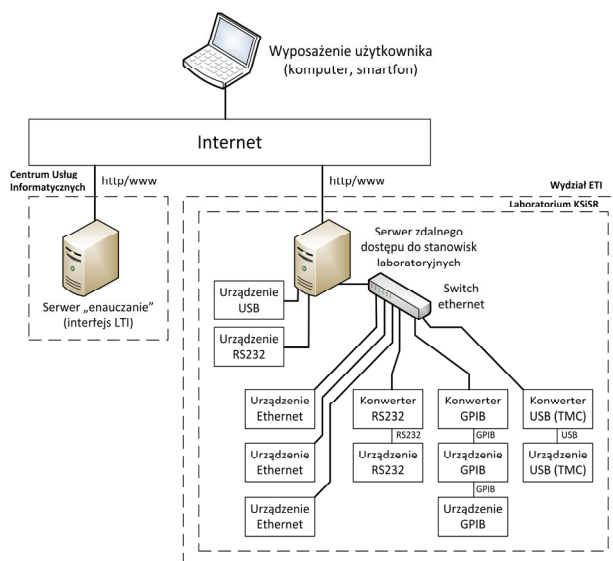
#### 4. ZDALNY DOSTĘP DO STANOWISK LABORATORYJNYCH

Dokładność pomiarów realizowanych przy użyciu symulatorów stanowisk laboratoryjnych zależy w znacznym stopniu od dokładności odwzorowania właściwości mierzonego układu w modelu symulacyjnym i ograniczeń samej implementacji symulatora. Wad tych nie mają rozwiązania, w których interfejs www służy tylko do zdalnego dostępu do przyrządów pomiarowych w rzeczywistym stanowisku laboratoryjnym, dlatego jako uzupełnienie koncepcji symulatorów wykonany

został prototyp systemu zdalnego dostępu do laboratoriów, ujednoczony pod względem wyglądu i obsługi z wykonanymi wcześniej symulatorami. Przy realizacji elementów systemu zdalnego dostępu przyjęto następujące założenia:

- stanowiska laboratoryjne będą dostępne dla studentów w zdefiniowanych terminach;
- studenci muszą zarezerwować termin realizacji danego ćwiczenia;
- ćwiczenia mogą być realizowane indywidualnie lub w grupach, w tym drugim przypadku wszyscy studenci w grupie mają jednocześnie dostęp do tych samych urządzeń pomiarowych;
- należy unikać konieczności instalowania jakiegokolwiek oprogramowania na urządzeniach użytkowników;
- nie należy używać funkcji „zdalny pulpit” ani oprogramowania z licencjami ograniczającymi użycie tylko do sieci uczelnianej;
- nawet urządzenia, które mają fabrycznie wbudowane interfejsy zdalnego sterowania, nie mogą być bezpośrednio udostępnione w sieci Internet;
- wszystkie polecenia zdalnego sterowania, wysyłane z interfejsu www, są weryfikowane pod kątem poprawności w celu wyeliminowania ryzyka wprowadzania urządzeń w laboratorium w nieprawidłowy stan lub przekroczenia dopuszczalnych zakresów nastaw.

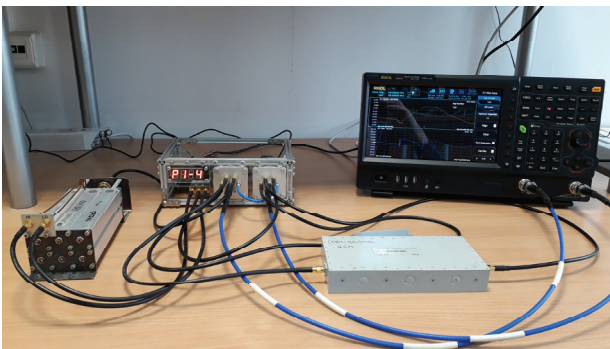
Od strony sprzętowej większość funkcji systemu zdalnego dostępu spełnia serwer zbudowany w oparciu o komputer przemysłowy, pracujący pod kontrolą systemu operacyjnego Linux. Do definiowania i rezerwowania terminów realizacji zajęć służy baza danych SQL z prostym interfejsem www, który jest zintegrowany z platformą e-nauczania (np. Moodle) poprzez interfejs Learning Tools Interoperability (LTI), pozwalający na obsługę uwierzytelniania użytkowników i przekazywania ich danych (identyfikatory, nazwiska) bez konieczności gromadzenia tych danych w serwerze zdalnego dostępu.



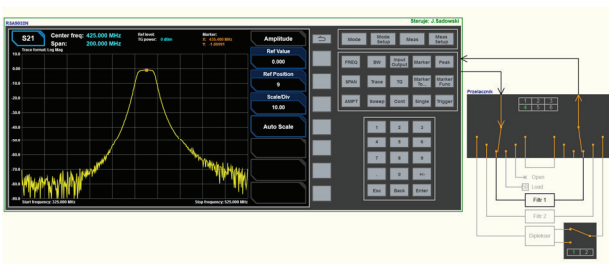
Rys. 3. Schemat blokowy części sprzętowej systemu zdalnego dostępu do stanowisk laboratoryjnych

Po uwierzytelnieniu użytkowników na ich komputerach uruchomiony zostaje kod interfejsu zdalnego dostępu w postaci programu w języku javascript. Program ten wysyła polecenia do serwera zdalnego dostępu w postaci pliku JSON. Polecenia te są najpierw przetwarzane przez program obsługi grup użytkowników, zintegrowany z serwerem www typu Apache przez interfejs FastCGI. Zadaniem tego programu jest łączenie poleceń od kilku użytkowników do sterowania jednym stanowiskiem i rozdzielanie wyników pomiarów z jednego stanowiska dla wszystkich studentów w grupie, realizującej dane ćwiczenie, a ponadto informowanie pozostałych studentów w grupie o czynnościach (kliknięcia, zmiany nastaw przyrządów) realizowanych przez daną osobę. Same polecenia sterujące przyrządami są przesyłane do kolejnego programu, który odpowiada za przebieg danego ćwiczenia, tj. zamienia komendy na ciąg instrukcji sterujących poszczególnymi urządzeniami pomiarowymi, wchodzącymi w skład danego stanowiska laboratoryjnego, niezależnie od sposobu podłączenia urządzeń do serwera. Ten program weryfikuje też zakresy zmian nastaw i wartości w ramach ćwiczenia oraz nie pozwala na wykonanie przez kontrolowane przyrządy poleceń spoza zakresu dopuszczalnych w danym ćwiczeniu.

Przykładem ćwiczenia, zrealizowanego w formie zdalnego dostępu do stanowiska laboratoryjnego, może być pomiar parametrów filtrów i duplekserów antenowych. Stanowisko do zajęć tradycyjnych składało się z analizatora obwodów (VNA), zestawu filtrów i dupleksera, oraz przewodów połączeniowych, przejściówek i kalibratorów. Na potrzeby zdalnego dostępu stanowisko zostało uzupełnione o zestaw przekaźników RF sterowanych przez mikrokomputer Raspberry PI. Wygląd stanowiska umożliwiającego zdalne sterowanie zamieszczono na rys. 4, natomiast rys. 5 zawiera wygląd interfejsu www do sterowania tym stanowiskiem.



Rys. 4. Przykładowe stanowisko laboratoryjne umożliwiające zdalne sterowanie i prezentację wyników



Rys. 5. Interfejs www do zdalnego sterowania stanowiskiem laboratoryjnym z rys. 4.

W przypadku zdalnego dostępu do przyrządów pomiarowych czynności realizowane przez studentów mogą prowadzić do nieprawidłowych wskazań stanowiska czy wręcz uniemożliwić pomiary. Dlatego poza bieżącą kontrolą poprawności poleceń sterujących, program obsługujący przebieg poszczególnych ćwiczeń powinien przywracać wszystkie przyrządy pomiarowe do ustalonego stanu przed udostępnieniem sterowania kolejnej grupie studenckiej.

Warto wspomnieć, że część urządzeń pomiarowych nie była projektowana do pracy ciągłej bez nadzoru, więc zdalne laboratoria wiążą się zwykle z koniecznością zapewnienia nadzoru technicznego nad urządzeniami w trakcie realizacji ćwiczeń. W ramach dotychczasowych prac wykonano pełne oprogramowanie serwera zdalnego dostępu i kilka stanowisk do przedmiotu Miernictwo Radiokomunikacyjne, a dalszy rozwój systemu będzie zależny od decyzji co do możliwości wprowadzenia zdalnego nauczania do stałej oferty dydaktycznej.

## 5. PODSUMOWANIE

Mimo, iż najlepsze efekty dydaktyczne można osiągnąć podczas realizacji zajęć praktycznych z bezpośrednim dostępem studentów do stanowisk laboratoryjnych, narzędzia do e-learningu opracowane w okresie nauki zdalnej mogą nadal znajdować zastosowanie jako uzupełnienie oferty dydaktycznej w modelu nauczania hybrydowego, do realizacji zajęć fakultatywnych czy poszerzenia zakresu realizowanych ćwiczeń.

## LITERATURA

- [1] Andrieu G., Fredon T., Farah S., Akinin N., "Remote Laboratory Implementation for the Study of Transmission Lines", *2021 International e-Engineering Education Services Conference (e-Engineering)*, 2021: 107-110
- [2] Bekasiewicz A., Pankiewicz B., Wojcikowski M., Klosowski M., Koziol S., "Application of Open-Hardware-Based Solutions for Rapid Transition From Stationary to the Remote Teaching Model During Pandemic", *IEEE Transactions on Education*, 2021, vol. 64, no. 3: 299-307
- [3] Martin S., Fernandez-Pacheco A., Ruipérez-Valiente J. A., Carro G., Castro M., "Remote Experimentation Through Arduino-Based Remote Laboratories", *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 2021, vol. 16, no. 2: 180-186
- [4] Mohammed A. K., El Zoghby H. M., Elmesalawy M. M., "Remote Controlled Laboratory Experiments for Engineering Education in the Post-COVID-19 Era: Concept and Example", *2020 2nd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)*, 2020: 629-634
- [5] Pavel I., Brânzilă M., Sărmășanu C., Donose C., "LabVIEW Based Control and Monitoring of a Remote Test-Bench Experiment for Teaching Laboratories", *2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIEMEN)*, 2021: 398-402