Karafan

Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University

Spring 2022, Vol. 19, No. 1, p. 583-606

Journal Homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

TVU

doi:10.48301/KSSA.2022.313137.1816

Remote Laboratories Network: Design and Implementation Case Study: Electrical Machines Lab., Isfahan (Shahid Mohajer) Faculty of Technology

Parsa Yazdanpanah Qaraei [1*], Ali Hashemi[2]

[1]M.Sc, Department of Electrical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.
[2]Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:
Original Research

Received: 11.23.2021
Revised: 03.27.2022
Accepted: 04.16.2022

Keyword:
Remote Laboratory
Industrial Internet of Things
E-learning
Cybersecurity
LabVIEW
Arduino

***Corresponding Author:**
Parsa Yazdanpanah Qaraei
Email: *pyazdanpanah@tvu.ac.ir*

ABSTRACT

The utilization of new technologies in electronics and industrial Internet of Things (IoT) allows practical experiments to be performed remotely. Remote laboratories have made it possible to develop experimental courses and research during the Covid-19 pandemic. Given the importance of practical experiments in the study of academic courses, it can also be used as a complement to e-learning. The development of electronics, control, mechatronics, and computer network engineering provides a clear vision for (the) development of Remote Laboratories in the near future. In this article, the remote laboratory of electric machines in Shahid Mohajer Faculty of Technology (Isfahan) was introduced as an example. This network was based on LabVIEW software, Arduino hardware, using PLC LOGO V8. In addition, the proposed remote laboratory network's risk management and economic justification were evaluated. The ability to extend remote laboratory networks to all universities, even technical schools, was an important advantage of the proposed remote laboratory network.

©2022 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Our The utilization of new technologies in electronics and industrial Internet of Things (IoT) allows practical experiments to be performed remotely. Remote laboratories have made it possible to develop experimental courses and research during the Covid19 pandemic. Given the importance of practical experiments in the study of academic courses, it can also be used as a complement to e-learning. The development of electronics, control, mechatronics, and computer network engineering provides a clear vision for development of remote laboratories in the near future. In this paper, the remote laboratory of electric machines in Isfahan (Shahid Mohajer) Faculty of Technology was introduced as an example. This network was based on LabVIEW software, Arduino hardware, using PLC LOGO V8. In addition, the proposed remote laboratory network's risk management and economic justification were evaluated. The capability to extend to all universities and technical schools was an important advantage of the proposed remote laboratory network.

Methodology

This research was dedicated to the design and implementation of a practical example of a DC machine remote laboratory (DCMRL) network. In addition, the development of protection capabilities, safe operation and the use of direct current operators were considered. For the design of the proposed remote laboratory, LabVIEW software and Arduino hardware boards were used in order to make a data acquisition card (DAQ) and actuator controller with proper performance accuracy and optimal cost compared to other designs implemented so far. Figure 1 shows an overview of the concept of the national remote laboratories network. The presented concept can be used under the concept of central laboratories, whose policies have already been made.

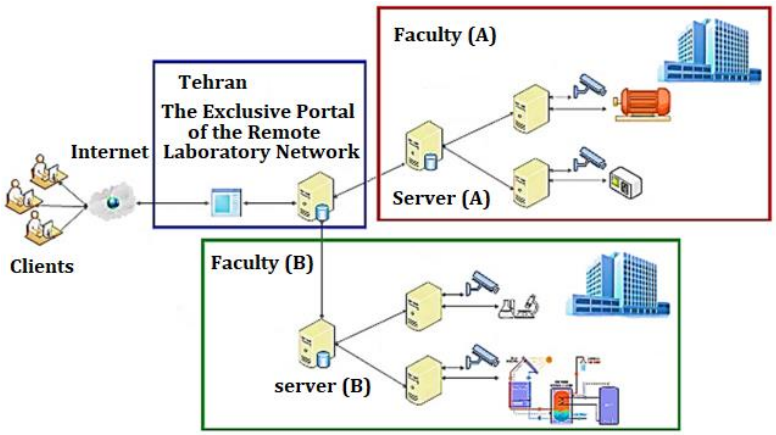


Figure 1. One-column illustration.

In the present study, two control scenarios were used according to Figure 2. The first scenario was for monitoring and protection systems and the second scenario was implemented by giving the remote user the authority to set process control parameters.

Due to the possibility of any event such as a speed drop or disconnection in the communication between the remote user and the laboratory, in addition to the control and observatory loop that can be managed by the user and remotely, a protection loop was also installed on the laboratory computer system. If the user's connection with the laboratory was interrupted for any reason, this protection loop was activated. Both of the above loops were computer-based systems. When an error occurred on the laborator server, such as an unplanned shutdown or a cyber-attack like DDoS that makes the lab server unavailable, the emergency protection loop was activated sending two emergency stop signals. This loop was the final loop which had a completely independent processor and constantly observed the testing process. When the values and parameters of the test were out of the allowed limit, it would shut down the test. This ring was an embedded system under the control of a processor such as 16 ATmega and completely independent from the laboratory server. The implementation of the tertiary protection ring was used for the first time in order to improve the reliability and protection process of the remote laboratory in in the current research.

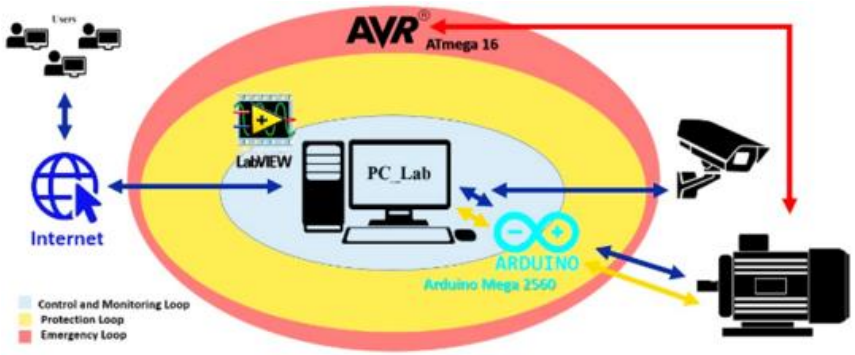


Figure 2. One-column illustration.

Results and discussion

In Figure 3, the block diagram of the DCMRL on the educational set of the compound electric machine is presented. Based on remote and real-time control of switches, rheostats and the electronic H bridge in Figure 3, the desired experiments could be performed in a laboratory set.

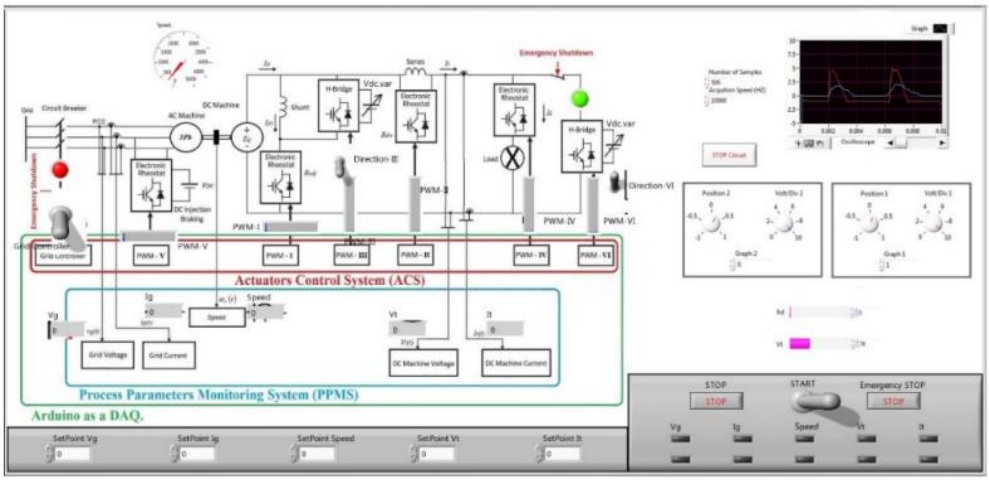


Figure 3. One-column illustration.

The specifications of the different parts of the proposed DCMRL according to Figure 4 are as follows:

1- Laboratory server
2- Observatory system camera
3- DC machine coupled to induction three-phase machine
4- Hand-on measurement panel
5- DAQ and actuator controller
6- 20A and 400V Programmable DC power supply

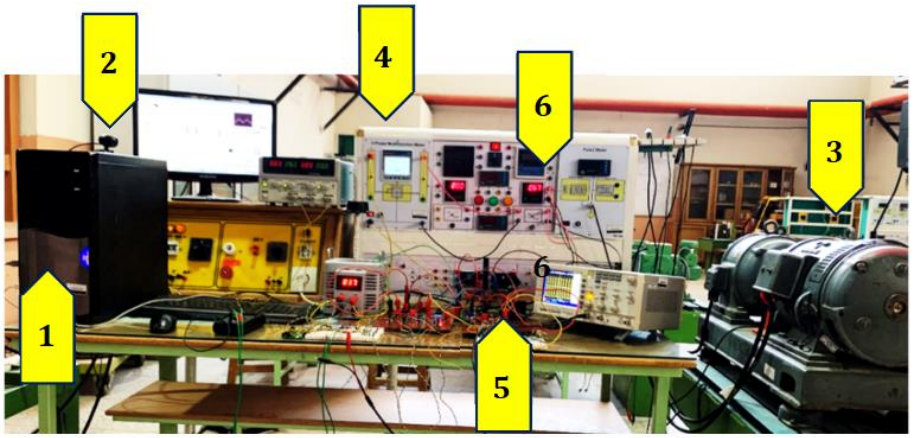


Figure 4. One-column illustration.

Conclusion

In this research, the network of remote laboratories was proposed as a standard e-learning tool to complete the inefficiency of education based only on simulation and financial limitations for the development of hand-on laboratories. As a practical experience, the localized sample of the remote laboratory was implemented as a pilot in the electric machines lab at Shahid Mohajer Technical College, Isfahan Technical and Vocational University. In this paper, the hardware design of the proposed laboratory, based on Arduino hardware with optimal accuracy and cost compared to other commercial data acquisition cards (DAQ) such as NI company, which have an average price of 450 euros in 2022, was presented. Furthermore, the design of the tertiary protection loop presented showed operational innovation in order to increase the stability and safety of laboratory equipment under remote control. The proposed design of the tertiary protection loop, which was completely independent of the computer system of the laboratory and without the capability of connecting to the Internet (to prevent hacking and low internet speed or disconnection), was presented. The use of the power electronic drive control system under direct current provided the capability to make all the necessary changes for the full implementation of the lessons of the direct current electric machines laboratory. The results of the tests showed the optimal quality of this laboratory in online and network-based performance. As mentioned, the use of remote laboratories can improve the quality of presentations in online courses and also the preservation of university costs in the discussion of equipping, repairing, and maintenance. In addition, taking into account cyber security issues, by creating a secure network architecture and software and hardware security loops, it is possible to guarantee the optimal and secure performance of the remote laboratory's network. Taking into consideration the mission of the Technical and Vocational University and the high scientific and operational potential of this university, it has become an excellent target for setting up and developing a network of remote laboratories. The establishment of the pneumatic remote laboratory has been completed at Isfahan Technical Faculty (Shahid Mohajer). The ability to expand this laboratory network to all university education centers and even technical and vocational conservatories is considered one of its important advantages.

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
بهار ۱۴۰۱، دوره ۱۹، شماره ۱، ۶۰۶-۵۸۳
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2022.313137.1816

شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور: طراحی و اجرا مطالعه موردی: آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی دانشکده فنی شهید مهاجر اصفهان

پارسا یزدان‌پناه قرائی[1*]، علی هاشمی[2]

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی برق، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.
۲- استادیار، گروه مهندسی برق، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۲
بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۰۷
پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷

کلید واژگان:
آزمایشگاه راه‌دور
اینترنت اشیای صنعتی
آموزش الکترونیکی
امنیت سایبری
LabVIEW
Arduino

***نویسنده مسئول:** پارسا یزدان‌پناه قرائی
پست الکترونیکی:
pyazdanpanah@tvu.ac.ir

چکیده

بهره‌گیری از فناوری‌های نوین الکترونیکی و اینترنت اشیای صنعتی، این اجازه را می‌دهد تا بتوان فعالیت‌های آزمایشگاهی و کارگاهی را از راه‌دور انجام داد. آزمایشگاه‌های راه‌دور، امکان توسعه پژوهش‌های مبتنی بر کارهای تجربی را در دوران پاندمی کرونا فراهم آورده‌اند و با توجه به‌ضرورت و جایگاه آزمایش‌های عملی در مطالعات و تدریس دروس دانشگاهی، به‌عنوان مکمل آموزش الکترونیکی نیز قابل‌استفاده می‌باشند. گسترش علوم مهندسی الکترونیک، کنترل، مکاترونیک، شبکه و همچنین بهره‌مندی دانشگاه فنی و حرفه‌ای از دانش استادان خبره در این زمینه و دارا بودن رشته‌های تخصصی مرتبط، چشم‌انداز روشنی را به‌منظور تأمین آزمایشگاه‌هایی از این قبیل در آینده نزدیک فراهم می‌سازد. این مقاله شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور را که به‌صورت نمونه در آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی دانشکده شهید مهاجر اصفهان عملیاتی شده، معرفی می‌کند. این شبکه مبتنی بر نرم‌افزار LabVIEW و سخت‌افزار Arduino می‌باشد و از PLC LOGO V۸ بهره می‌برد. همچنین مباحث مربوط به مدیریت ریسک و توجیه‌پذیری اقتصادی طرح پیشنهادی ارزیابی شده است. قابلیت توسعه این شبکه آزمایشگاهی به تمامی مراکز آموزش دانشگاهی و حتی هنرستان‌های فنی و حرفه‌ای از مزایای مهم آن محسوب می‌شوند.

شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

©2022 the authors. Published by Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC License) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

مقدمه

یادگیری ترکیبی[1] یکی از روش‌های مفید در یادگیری و درک عمیق مطالب علمی توسط دانشجویان به کمک روش‌های تجربی است [۱]. از مهم‌ترین شاخص‌های آموزش علوم مهندسی در برنامه درسی دانشگاه‌ها، آموزش دروس عملی و مهارتی است. یکی از موانع موجود در این راه، کمبود امکانات و تجهیزات کارآمد آزمایشگاهی است. همچنین، دسترسی تمام‌وقت نداشتن به تجهیزات کارگاهی و آزمایشگاهی، مانع بزرگی در تحقق این هدف به‌حساب می‌آید. استفاده از آزمایشگاه‌های فیزیکی[2] همواره بهترین راهکار برای یادگیری علوم مهارتی بوده است و فرصت مناسبی را به‌منظور کسب تجارب عملی برای دانشجویان فراهم می‌کند. هزینه بالای توسعه فیزیکی آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌ها و همچنین در دسترس نبودن آموزش‌های عملی برای کلیه دانشجویان در تمام زمان‌ها و مکان‌ها، از معایب این نوع آزمایشگاه‌ها است [۲-۵].

یادگیری الکترونیکی به‌عنوان راهی برای افزایش کیفیت آموزش و ارائه قابلیت دسترسی از راه‌دور به منابع آموزشی پیشنهاد و معرفی شده است؛ بنابراین، امکان یادگیری، پژوهش و کسب مهارت در خارج از زمان معمول کلاس فراهم می‌باشد [۶]. ارائه دروس نظری، به‌صورت برخط، در ایران پیشرفت‌های خوبی داشته، ولی برای ارائه دروس عملی یا امکان استفاده از آزمایشگاه‌های راه‌دور، توسعه چندانی نداشته است [۷]. اولین رویکرد برای اجرای غیرحضوری دانشجویان در محیط کارگاه یا آزمایشگاه و همچنین کاهش هزینه‌ها، استفاده از محیط‌های شبیه‌سازی برای آزمایش‌های عملی است [۸]. پیشرفت‌های اخیر در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات[3] (ICT) طی سه دهه اخیر منجر به‌ضرورت وجود دو مدل جدید از برگزاری آزمایشگاه شده است: مدل اول، آزمایشگاه‌های مجازی می‌باشند که شبیه‌سازی از فرایند یک آزمایشگاه واقعی هستند. مدل دوم، آزمایشگاه‌های راه‌دور می‌باشند که از طریق اینترنت امکان دسترسی به آزمایشگاه واقعی و نه شبیه‌سازی‌شده را از راه‌دور فراهم می‌کنند. فضای آزمایشگاهی، مواد و تجهیزات عملیاتی در یک مکان جغرافیایی قرار دارند، درحالی‌که کاربر از یک مکان متفاوت و بعضاً بسیار دور در حال اجرای آزمایش است. آزمایشگاه راه‌دور، فرایند تحت آزمایش را توسط چند دوربین که وظیفه نظارتی را بر عهده دارند، کارت‌های گردآورنده داده[4] (DAQ) به‌عنوان واسط فیزیکی، یک نرم‌افزار گرافیکی، سرور و بستر اینترنت، از راه‌دور کنترل و مدیریت می‌کند [۲; ۶]. با ایجاد این بستر حتی دانشجویانی که معلولیت جسمانی دارند و قادر به انجام بسیاری از آزمایش‌ها به‌صورت فیزیکی نیستند نیز می‌توانند از این قابلیت استفاده کنند و مهارت عملی خود را با مشاهده و انجام آزمایش، ارتقا دهند. شیوع این ویروس و همچنین لزوم اعمال محدودیت‌ها باعث شد بیشتر دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی دروس خود را به‌صورت مجازی و با استفاده از بستر اینترنت ارائه دهند. یکی از پروژه‌های بزرگ آزمایشگاه‌های راه‌دور پروژه Go-Lab در اروپا است. در [۹] گزارش‌های زیادی از پروژه Go-Lab ارائه شده است. اولین آزمایشگاه مجازی و راه‌دور در ایران در سال ۱۳۸۵ و در دانشگاه شیراز به‌منظور برگزاری درس آزمایشگاه کنترل خطی در مقطع کارشناسی اجرا شد [۷]. همچنین ایده اولیه اجرای شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور دانشگاه فنی و حرفه‌ای در ابتدای سال ۱۴۰۰ ارائه شده است [۱۰].

[1] Blended Learning
[2] Hand-on Lab
[3] Information and Communications Technology (ICT)
[4] Data Acquisition (DAQ)

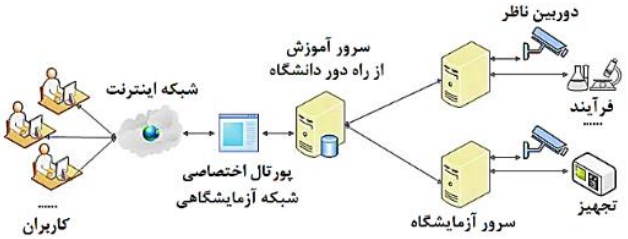
این مقاله به طراحی و راه‌اندازی یک نمونه کاربردی و بومی‌سازی شده از شبکه آزمایشگاه راه‌دور برای آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی اختصاص دارد. همچنین توسعه در قابلیت‌های حفاظتی و عملکرد ایمن و استفاده از عملگرهای جریان مستقیم، مدنظر این مقاله است. آزمایشگاه راه‌دور ارائه‌شده بر پایه اصل کارگروهی و تحت نظارت بلادرنگ استاد عمل می‌کند. طراحی این آزمایشگاه تحت بستر اینترنت، با استفاده از نرم‌افزار LabVIEW و بهره‌گیری از بردهای سخت‌افزاری Arduino به‌منظور ساخت کارت جمع‌آوری داده و کنترل محرک‌ها با دقت عملکرد مناسب و هزینه بهینه در مقایسه با سایر طرح‌های اجراشده تاکنون که معمولاً از کارت‌های DAQ تجاری موجود در بازار بهره می‌گیرند، انجام‌گرفته است. سیستم مربوط به کنترل محرک‌های الکترونیک قدرت ارائه‌شده در این مقاله، قابلیت کار در سه حالت خاموش، روشن و متغیر تحت جریان مستقیم را دارد. به همین دلیل به‌راحتی به‌عنوان یک سوئیچر در تغییر سربندی ماشین جریان مستقیم کمپوند برای تغییر سرفصل آزمایش به حالات تحریک مستقل، شنت، سری و کمپوند قابل‌استفاده است. همچنین می‌توان از آن به‌منظور کنترل پارامترهای ماشین جریان مستقیم از قبیل جریان، شار مغناطیسی و ... استفاده کرد.

بخش دوم مقاله به ساختار کلی آزمایشگاه‌های راه‌دور از منظر رابط نرم‌افزاری گرافیکی، سخت‌افزار کارت جمع‌آوری داده و کنترل محرک‌ها می‌پردازد. همچنین طرح پیشنهادی منبع تغذیه کنترل‌پذیر جریان مستقیم در این بخش ارائه شده است. در بخش سوم، مقوله ریسک‌پذیری امنیتی آزمایشگاه‌های راه‌دور ارزیابی می‌گردد و یک معماری پیشنهادی جهت بهبود ساختار امنیت سایبری و همچنین طرح نوآورانه حلقه حفاظت ثالثیه در این مدل آزمایشگاه‌های ارائه می‌شود. این حلقه درصد عملکرد ایمن و حفاظت تجهیزات آزمایشگاه را در برابر خطاهای احتمالی افزایش خواهد داد. در بخش چهارم مقاله به توجیه‌پذیری فنی و اقتصادی اجرای طرح شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور تحت ساختار دانشگاه فنی و حرفه‌ای می‌پردازد. بخش پنجم یک تجربه عملی از اجرای آزمایشگاه راه‌دور ماشین‌های الکتریکی را در دانشکده فنی شهید مهاجر اصفهان گزارش می‌دهد. همچنین نحوه عملکرد این آزمایشگاه و بررسی رضایت‌مندی استادان و دانشجویانی که از طرح مذکور استفاده کرده‌اند، ارائه می‌شود.

ساختار کلی آزمایشگاه‌های راه‌دور

آزمایشگاه راه‌دور به معنی کنترل کامل فرایند از طریق اینترنت، با استفاده از تجهیزات پایشگر داده، نظارت صوتی و تصویری، به‌صورت بیست‌وچهارساعته و حتی خارج از زمان درسی است [۱۱]. این فناوری موجب ایجاد انگیزه و تشویق دانشجویان در انجام آزمایش‌ها و افزایش مهارت‌های فنی و عملی ایشان می‌شود [۱۲; ۱۳]. تجهیزات پایشگر داده به‌صورت بلادرنگ تمام پارامترهای مهم آزمایش را برای مشاهده و کنترل در اختیار کاربر قرار می‌دهند. در این بین سیستم‌های نظارت صوتی و تصویری موجود در آزمایشگاه، فیلم لحظه‌ای آزمایش تحت اجرا را برای کاربران پخش می‌کنند. شکل ۱ ساختار شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور را نشان می‌دهد. با توجه به آنچه در شکل) نشان داده شده است هر فرایند تحت آزمایش از راه‌دور نیازمند یک سیستم رایانه برای مدیریت و اتصال به سرور اصلی آزمایشگاه راه‌دور دانشکده است. البته می‌توان به‌منظور بهینه‌سازی در هزینه‌ها، در هر آزمایشگاه و در صورت امکان یک ست با قابلیت تمرکز چندین آزمایش را به رایانه متصل کرد. برای مثال، می‌توان با ست آموزشی ماشین‌های الکتریکی کمپوند و توسط تغییر در سربندی این ماشین‌ها، تمام آزمایش‌های مربوط به مدل‌های تحریک مستقل، شنت، سری و انواع

کمپوند را عملیاتی کرد. در غیر این صورت برای هر میز آزمایش، یک سیستم رایانه مستقل با قابلیت اتصال به سرور مرکزی آزمایشگاه‌های راه‌دور دانشکده نیاز خواهد بود.



شکل ۱. ساختار یک شبکه آزمایشگاه راه‌دور [۱۰].

نرم‌افزار و رابط گرافیکی

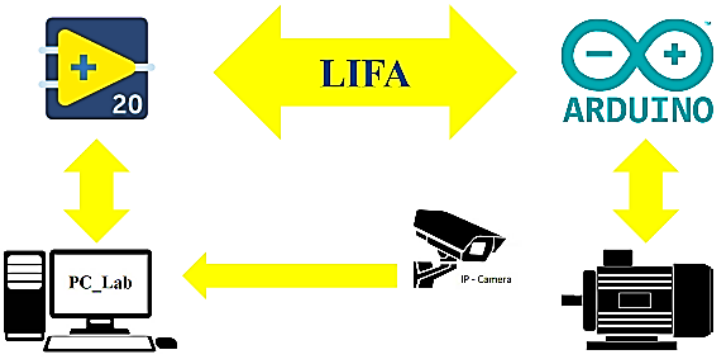
سیستم مدیریت آزمایشگاه راه‌دور[1] (RLMS)، به‌عنوان هسته اصلی پروژه آزمایشگاه راه‌دور، وظیفه مدیریت آزمایشگاه را بر عهده دارد. فناوری‌های نرم‌افزاری مختلفی از قبیل socket، applet، ajax، corba، LabVIEW و ... در برنامه‌نویسی تحت وب به‌منظور استفاده در آزمایشگاه راه‌دور وجود دارد [۱۲]. استفاده از LabVIEW و اینترنت اشیا منجر به توسعه قابل‌توجهی در حوزه آزمایشگاه‌های راه‌دور شده است [۱۳]. در سال‌های اولیه پس از شناخته‌شدن شبکه، تمایل برای توسعه ارائه دروس از طریق اینترنت و ارزیابی دانشجویان از این طریق شدت گرفت [۷]. نرم‌افزار LabVIEW به‌عنوان یک نرم‌افزار ابزار دقیق مجازی، یکی از بهترین گزینه‌ها برای ایجاد رابط گرافیکی در آزمایشگاه‌های راه‌دور است [۶; ۱۴]. نرم‌افزار LabVIEW دارای ویژگی به نام ابزار انتشار وب[2] است که به ایجاد اتوماسیون و کنترل فرایند مبتنی بر اینترنت کمک می‌کند. از این ابزار برای انتقال پنل جلویی[3] برنامه به هر نقطه از شبکه به‌عنوان یک فایل HTML که در مرورگرهای وب استاندارد قابل‌دسترسی است، استفاده می‌شود. در این حالت، پنل جلویی را می‌توان هم‌زمان توسط چندین کاربر مشاهده و صرفاً توسط یک کاربر کنترل کرد، همچنین می‌توان کنترل را در سمت سرور قفل کرد تا کاربری نتواند آن را تغییر دهد [۱۵-۱۷]. در اجرای هر بخش آزمایش‌های حضوری (به‌منظور رعایت اصل ایمنی) آزمایش توسط تنها یک دانشجو در هر گروه عملیاتی و حتی اجرا می‌شود و سایر اعضاء گروه مراحل را مشاهده و نتایج را بررسی می‌کنند. در اینجا هم در هر بار دسترسی که توسط استاد مربوطه داده می‌شود، تنها یک دانشجو مجاز به اجرای مراحل آزمایش است و سایر دانشجویان، صرفاً آزمایش را مشاهده و رصد می‌کنند. در مراحل بعدی، با توجه به صلاح‌دید استاد درس، اجرا و کنترل بخش دیگری از آزمایش به دانشجوی دیگر سپرده خواهد شد. به‌طور عملی، پس از ورود کاربر به سامانه RLMS و انتخاب آزمایشگاه راه‌دور موردنظر، مطابق مجوزهای لازم در دسترسی، توسط پورتال آزمایشگاه راه‌دور به سرور همان آزمایشگاه دسترسی پیدا می‌کند. از این نقطه به بعد کاربر راه‌دور کنترل رایانه مستقرشده برای ست آزمایشگاهی را در دست دارد. معمولاً در حوزه آموزش کاربر اصلی استاد درس بوده و صفحه دستکتاپ رایانه استاد برای سایر دانشجویان به اشتراک گذاشته می‌شود. در حین

[1] Remote Lab. Management System (RLMS)
[2] Web Publishing Tool
[3] Front Panel

آزمایش استاد می‌تواند با دادن دسترسی به یک دانشجو (ورود دانشجو به سامانه RLMS) اجرای بخشی از آزمایش را بر عهده دانشجو قرار دهد. در این زمان صفحه دستکتاپ رایانه دانشجوی کاربر برای سایر به اشتراک گذاشته می‌شود.

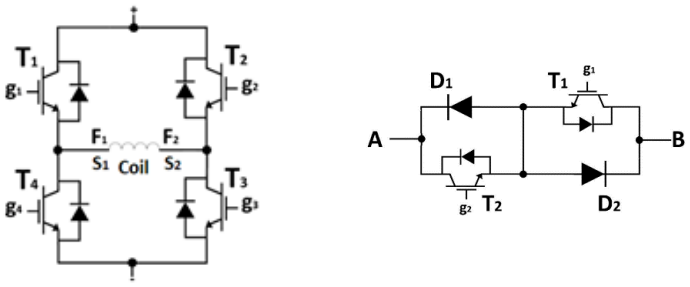
سخت‌افزار الکترونیکی غیرمبتنی بر شبکه رایانه‌ای

به‌منظور جمع‌آوری داده‌های فرایند تحت آزمایش و همچنین اعمال دستورات کنترلی صادرشده توسط کاربر یا سیستم‌های نظارتی و حفاظتی در آزمایشگاه، وجود مدارت الکترونیکی لازم است. در بیشتر پروژه‌های آزمایشگاه راه‌دور اجراشده در جهان، نرم‌افزار LabVIEW به‌عنوان بخش کنترلی پروژه‌ها مورداستفاده قرارگرفته است. به‌منظور انتقال بلادرنگ داده‌های آزمایش از کارت‌های جمع‌آوری داده شرکت NI استفاده‌شده که تقریباً دارای قیمت بالای ۴۵۰ یورو در سال ۲۰۲۲ می‌باشند. در آزمایشگاه اجراشده در این مقاله، تمام وظایف جمع‌آوری بلادرنگ داده‌ها و همچنین اجرای فرمان‌های ارسالی به آزمایش توسط بردهای Arduino و با کمترین هزینه و البته دقت قابل‌قبول انجام می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است این مدارات وظیفه اتصال دوطرفه بین فرایند تحت آزمایش با سرور آزمایشگاه را بر عهده دارند. جهت کنترل ادوات الکتریکی و الکترونیکی باید ولتاژ یا جریان هر قطعه به‌صورت کامل تحت کنترل باشد. برای این منظور از مدارات کنترل محرک الکترونیک قدرت مانند رئوستای الکترونیکی و پل H، مطابق شکل ۳ استفاده شده است. این مدارت همچنین قابلیت کار تحت جریان‌های مستقیم را دارا می‌باشند. به‌منظور اعمال ولتاژ متغیر به فرایند، از طرح پیشنهادی منبع تغذیه کنترل‌پذیر[1] با قابلیت تغذیه بارهای مقاومتی - سلفی و سلفی خالص به‌صورت شکل (الف-۴) استفاده می‌شود. این منبع تغذیه توسط برنامه LabVIEW آزمایشگاه کنترل‌شده و ولتاژ خروجی متغیر را متناسب با دستور صادرشده توسط کاربر راه‌دور فراهم می‌کند. الگوریتم کنترلی این منبع به‌صورت شکل (ب-۴) است.



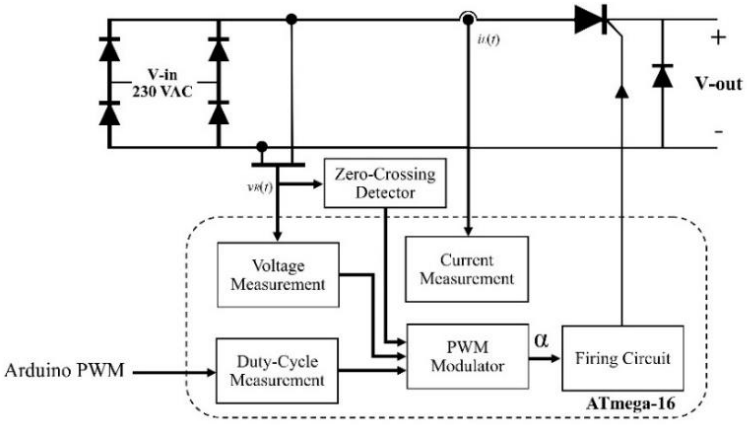
شکل ۲. اتصال سخت‌افزاری فرایند به سرور آزمایشگاه راه‌دور.

[1] Programmable Power Supply

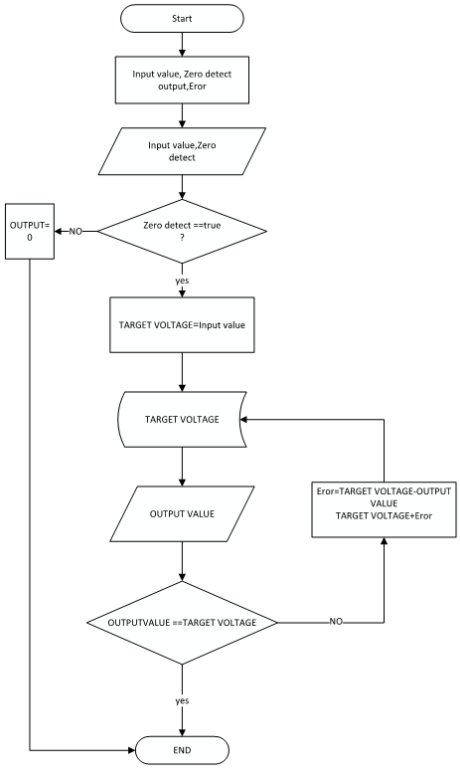


(ب) (الف)

شکل ۳. محرک‌های الکترونیکی، الف) رئوستا الکترونیکی و ب) پل H.



(الف)



(ب)

شکل ۴. منبع تغذیه کنترل‌پذیر (الف) نقشه شماتیک بلوکی، (ب) فلوچارت کنترلی.

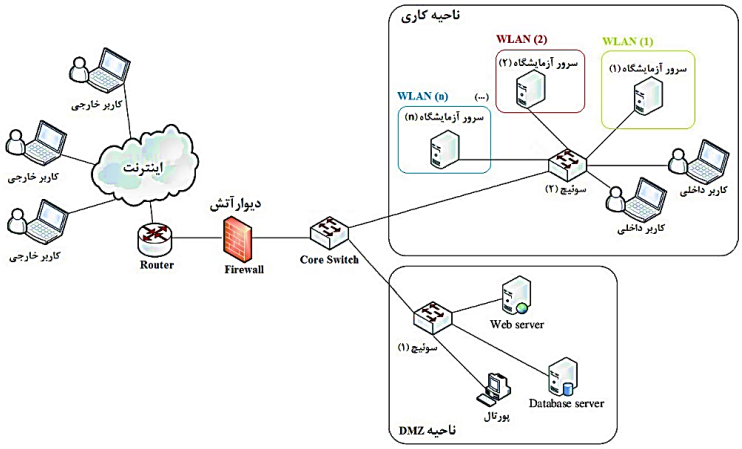
ریسک‌پذیری آزمایشگاه‌های راه‌دور

مزیت بسیار بزرگ آزمایشگاه مجازی، ایمنی آن است؛ زیرا صفرتا صد فرایند، شبیه‌سازی شده است و هیچ ارتباط واقعی با مواد سمی خطرناک یا دستگاه‌هایی با درصد ریسک بالا وجود ندارد [۱۸]. علاوه بر این ازآنجایی‌که کل فرایند به‌صورت کاملاً نرم‌افزاری اجرا می‌شود، هیچ‌گونه محدودیتی در تعداد و تداخل زمان استفاده دانشجویان وجود نخواهد داشت. در مقابل، آزمایشگاه‌های راه‌دور، فرایند فیزیکی را به‌طور کامل تحت کنترل اپراتور اما از راه‌دور درمی‌آورند؛ بنابراین احتمال وقوع خطای انسانی وجود دارد. ازآنجایی‌که سیستم‌های حفاظتی و نظارتی و حتی حلقه‌های اضطراری، وظیفه افزایش قابلیت اطمینان عملکرد ایمن هر آزمایش را بر عهده دارند، خرابی ناشی از خطا تقریباً ناچیز خواهد بود. همچنین محدودیت در تعداد کاربران هم‌زمان برای هر آزمایش وجود دارد. ازآنجایی‌که تجهیزات به‌طور فیزیکی مورداستفاده قرار می‌گیرند، نگهداری و تعمیرات نیز مطابق آزمایشگاه‌های فیزیکی مطرح است. در راستای اجرای آزمایشگاه راه‌دور باید موانع و محدودیت‌هایی از قبیل پهنای باند شبکه، قطعی اینترنت، امنیت تجهیزات، تعاملات چند کاربر، احراز هویت کاربران و غیره موردتوجه قرار گیرد. این آزمایشگاه‌ها به‌شدت تحت تأثیر کارایی و قابلیت اطمینان عملکرد شبکه قرار دارند [۱۹].

ریسک امنیت شبکه

ساختار کلی سیستم‌های اینترنت اشیا معمولاً شامل شبکه‌های محلی، اینترنت، خدمات پشتیبان در سرورهای راه‌دور یا فضاهای ابری است که کاربران راه‌دور می‌توانند به دستگاه‌های موجود در شبکه محلی دسترسی داشته باشند و آن را از طریق سرویس‌های پشتیبان کنترل کنند. به دلیل محدودیت‌های امنیتی، دستگاه‌های اینترنت اشیا به‌راحتی می‌توانند در معرض خطر قرار گیرند و به‌عنوان دروازه‌ای برای ورود به شبکه، منجر به درز اطلاعاتی آن شبکه به خارج شوند [۲۰]. به همین دلیل با استفاده از پروتکل‌های رمزگذاری و رمزگشایی موجود در پلتفرم‌ها می‌توان از اطلاعات محافظت کرد. امنیت حریم خصوصی، به‌عنوان اصلی‌ترین نگرانی حوزه اینترنت اشیا شناخته می‌شود [۲۱]. در سال ۲۰۱۱ مفهوم اینترنت اشیای صنعتی یا اینترنت صنعتی به‌منظور بهبود بهره‌وری صنایع در سال ۲۰۱۱ معرفی شد. به دنبال آن، امنیت سایبری در اینترنت اشیای صنعتی تبدیل به یک التزام شد [۲۲]. به‌طور خاص، اینترنت اشیای صنعتی به همه حس‌گرها، ابزارها و سایر دستگاه‌های متصل‌به‌هم اشاره دارد که در ترکیب با برنامه‌های صنعتی، ازجمله مدیریت تولید و انرژی، یک شبکه پیچیده از خدمات را ایجاد می‌کند که امکان استفاده از اتوماسیون را در سطح بالاتری فراهم می‌آورد [۲۳]. امنیت سایبری صنعتی، فرایند محافظت از سیستم‌های کنترل صنعتی (ICS) در برابر حملات سایبری است. تهدیدات سایبری صنعتی می‌تواند از داخل یا خارج از یک سازمان باشد [۲۴]. با توجه به سطح عملیاتی آزمایشگاه‌های راه‌دور، می‌توان آن‌ها را در رده اینترنت اشیای صنعتی دانست. نکته مهم در امنیت شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور نسبت به اینترنت اشیای صنعتی، حملات سایبری به‌منظور توقف زنجیره تولید است که در شبکه‌های صنعتی موردتوجه خاصی بوده اما در آزمایشگاه‌های راه‌دور چنین تهدیدی معتبر نیست. همچنین داده‌های ذخیره‌شده در تجهیزات این آزمایشگاه نیز معمولاً ارزشی برای هکرها ندارند. ازاین‌روی قابلیت اتصال به شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور را می‌توان به یک اینترنت اشیای نیمه‌صنعتی[1] تعبیر کرد. از طرف دیگر نباید شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور تبدیل به یک حفره امنیتی جهت نفوذ هکرها به سایر بخش‌های دانشگاه شود؛ بنابراین سرور اصلی (پورتال) آزمایشگاه راه‌دور و سایر سرویس‌های مهم دانشکده به منطقه جداشده[2](DMZ) و مطابق شکل ۵ منتقل می‌شود.

[1] Semi-Industrial Internet of Things
[2] Demilitarized Zone



شکل ۵. معماری پیشنهادی شبکه آزمایشگاه راه‌دور با رعایت مسائل امنیتی.

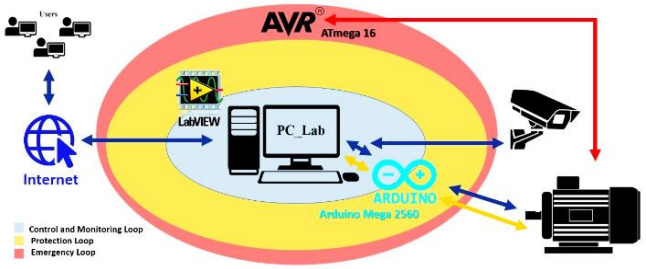
با توجه به طرح پیشنهادی معماری شبکه آزمایشگاه راه‌دور ارائه‌شده در شکل ۵، به‌منظور دسترسی به سرویس‌های دانشکده باید تمام درخواست‌ها از دیوار آتش[1] عبور کنند. برای استفاده یا حتی نفوذ به سرورهای موجود در هر آزمایشگاه، کاربران داخل و خارج دانشکده باید ابتدا به پورتال RLMS متصل شوند و برای این کار باید ابتدا از دیوار آتش عبور کنند. به‌منظور افزایش سطح امنیت درون‌سازمانی، هریک از آزمایشگاه‌ها و مجتمع کارگاهی دانشکده (برق، مکانیک، متالورژی و ...) در یک شبکه محلی (WLAN) مستقل قرار می‌گیرند؛ لذا کاربران درون و برون دانشکده بدون ورود به پورتال RLMS راهی برای اتصال به سرورهای مستقر در آزمایشگاه‌ها را نخواهد داشت.

ریسک امنیت سخت‌افزاری فرایندها

به‌منظور کنترل آزمایشگاه‌های راه‌دور و با توجه به ماهیت هر آزمایشگاه و میزان انعطاف‌پذیری سیستم کنترل، دو سناریو وجود دارد: (الف) اجرای سیستم کنترل در سمت کاربر و (ب) اجرای سیستم کنترل در سمت فرایند. سناریو (الف) برای دانشجویان مهندسی برق، مکانیک و مکاترونیک که باید دسترسی کاملی به نوع و روش سیستم کنترل داشته باشند تا بتوانند شیوه‌های کنترلی را در یک فرایند موردبررسی قرار دهند، مورداستفاده است. در سناریو (الف) کاربر قادر خواهد بود که پارامترهای تنظیمی سیستم کنترل را نیز تغییر دهد. سناریو (ب) برای برخی از رشته‌ها که صرفاً انجام آزمون بر روی فرایند حائزاهمیت است، استفاده می‌شود. برای مثال در آزمایشگاه شیمی باید چند ماده با نسبت مشخص و در زمان‌های تعیین‌شده باهم تحت شرایط دمایی و فشار تنظیم‌شده مخلوط شوند. حتی این اختلاط باید در زمان‌های معینی صورت پذیرد. دانشجو و کاربر در این حالت باید صرفاً مقادیر مهم و زمان‌بندی آزمایش را برای سیستم مشخص کند. در اینجا خود سیستم، وظیفه کنترل پارامترهای اجرایی مانند، حجم، دبی، دما، فشار و ... را بر عهده خواهد داشت. در هر دو سناریو وجود یک حلقه نظارتی و حفاظتی لازم است تا از بروز خطای ناشی از اشتباه در تنظیم مقادیر و پارامترها جلوگیری شود. به‌منظور ایجاد قابلیت اطمینان بالا، این سیستم حفاظتی باید دارای هر دو

[1] Firewall

نوع حلقه نظارتی نرم‌افزاری و سخت‌افزاری باشد. حفاظت نرم‌افزاری می‌تواند در زمان تنظیم پارامترهای خطرآفرین در هر فرایند، هشدار دهد یا تنظیم این قبیل پارامترها را محدود کند. یکی از خطاهایی که ممکن است باعث کاهش قابلیت اعتماد آزمایشگاه‌های راه‌دور شود، مشکل سرعت اینترنت است [۲۵]. در این مقاله از هر دو سناریو کنترلی مطابق شکل ۶ استفاده شده است. سناریوی اول برای سیستم‌های نظارتی و حفاظتی و سناریوی دوم با دادن اختیار تنظیم پارامترهای کنترلی فرایند به کاربر راه‌دور مراحل آزمایش اجرا می‌شود. با توجه به‌احتمال وقوع هرگونه رخدادی از قبیل افت سرعت یا قطعی در ارتباط بین کاربر راه‌دور و تجهیزات آزمایشگاه، علاوه بر حلقه کنترلی و نظارتی که توسط کاربر و از راه‌دور قابل مدیریت است، یک حلقه حفاظتی نیز بر روی سیستم رایانه آزمایشگاه نصب است. اگر به هر دلیلی ارتباط کاربر با آزمایشگاه قطع شود، این حلقه حفاظتی وارد عمل می‌شود. هر دو حلقه فوق به‌صورت سیستم مبتنی بر رایانه[1] می‌باشند. برای زمانی که حتی خطا بر روی سرور آزمایشگاه رخ دهد، از قبیل خاموشی برنامه‌ریزی‌نشده یا حملات سایبری مانند DDoS[2] که منجر به از دسترس خارج شدن سرور مذکور می‌شود، حلقه حفاظتی اضطراری به‌عنوان حلقه نهایی با یک پردازنده کاملاً مستقل از شبکه وارد عمل می‌شود و سیگنال قطع اضطراری[3] را ارسال می‌کند. این حلقه دائماً فرایند آزمایش را زیر نظر دارد. هرگاه مقادیر و پارامترهای آزمایش از حد مجاز خارج شود، آزمایش را خاموش می‌کند. این حلقه به‌صورت یک سیستم تعبیه‌شده[4] تحت کنترل یک پردازنده مانند ATmega ۱۶ و کاملاً مستقل از سرور آزمایشگاه است. اجرای حلقه حفاظتی ثالثیه برای اولین‌بار در راستای بهبود قابلیت اعتماد و فرایند حفاظتی آزمایشگاه راه‌دور در این مقاله مورداستفاده قرار گرفته است.



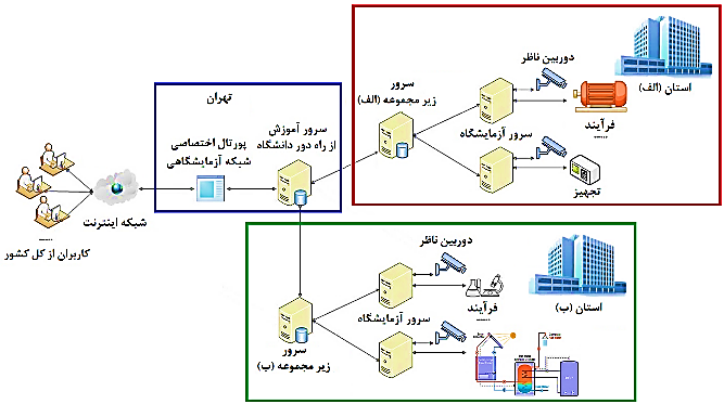
شکل ۶. حلقه‌های کنترلی، نظارتی، حفاظتی و اضطراری آزمایشگاه راه‌دور.

نگاه فنی و اقتصادی به شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور دانشگاه فنی و حرفه‌ای

همان‌طور که بیان شد، استفاده از آزمایشگاه‌های راه‌دور می‌تواند در راستای بهبود کیفی دروس عملی در دانشگاه فنی و حرفه‌ای گام بردارد. در این بین حفظ سرمایه‌های دانشگاه در بحث تجهیز، نگهداری و تعمیرات آزمایشگاه‌ها نیز نکته قابل‌ملاحظه‌ای خواهد بود. با یک نگاه کلی به رشته‌ها و آزمایشگاه‌های زیرمجموعه دانشگاه فنی و حرفه‌ای در سراسر کشور مشخص می‌شود که دو معضل اساسی از سال‌های قبل موجود است: معضل نخست، تجهیز تمام

[1] Computer Based
[2] Denial-of-service attack (DDoS)
[3] Emergency Shutdown
[4] Embedded System

زیرمجموعه‌های این دانشگاه به آزمایشگاه‌های مجهز و با فناوری روز است که نیازمند تخصیص بودجه بسیاری زیادی است. معضل دوم، نبود استفاده بهینه آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌های زیرمجموعه این دانشگاه از تمام ظرفیت و پتانسیل‌های موجود است. استهلاک یک شاخص مهم فرایند مالی در استفاده بهینه از تجهیزات است. یکی از مؤلفه‌هایی که منجر به استهلاک می‌شود، تغییر فناوری و به‌عبارت‌دیگر از مد افتادن آن تجهیز است؛ بنابراین با رعایت اصول مربوط به نگهداری و تعمیرات می‌توان به‌صورت مداوم و تا نزدیکی به عمر مفید یا عمر اقتصادی یک تجهیز از آن بهره گرفت. آزمایشگاه‌های راه‌دور، از نظر اجرایی نسبت به آزمایشگاه‌های مجازی گران‌تر هستند [۱۲]. آزمایشگاه‌های راه‌دور برمبنای آزمایشگاه‌های فیزیکی می‌باشند و نیازمند هزینه احداث اولیه و تجهیزات اتصال آنلاین هستند اما بهره‌وری اقتصادی یک آزمایشگاه با افزایش ساعات کاری مفید و همچنین کسب درآمد از آن، افزایش می‌یابد و درصورتی‌که افراد بیشتری قابلیت استفاده از آن را داشته باشند ازنظر اقتصادی توجیه‌پذیرتر است [۱]. از طرف دیگر، بسیاری از صنایع همواره به دنبال افزایش دانش فنی و مهارتی کارگران خود هستند. برای این منظور دوره‌های آموزش ضمن خدمت را برای آن‌ها برگزار می‌کنند. این دوره‌ها معمولاً با همکاری یک دانشگاه که در سال‌های اخیر دانشگاه فنی و حرفه‌ای پیشتاز در این زمینه بوده است، انجام می‌شود. در این بین تخصیص زمانی برای آموزش و استفاده آن‌ها از امکانات دانشگاه مهم خواهد بود. آزمایشگاه راه‌دور، به دلیل انعطاف‌پذیری در مکان و زمان، این قابلیت را فراهم می‌کند که این قبیل همکاری‌های بین صنعت و دانشگاه منعطف‌تر و راحت‌تر از قبل قابل‌اجرا باشد. شکل ۷ تصویری کامل از مفهوم شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور سراسری را نشان می‌دهد. مفهوم ارائه‌شده را می‌توان ذیل مفهوم آزمایشگاه‌های مرکزی که قبلاً سیاست‌گذاری‌های آن انجام‌شده است، استفاده کرد.



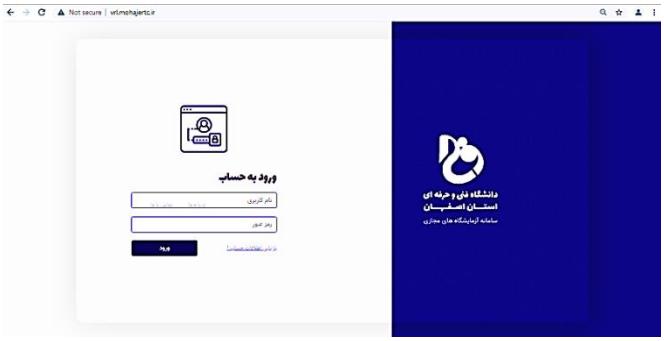
شکل ۷. ساختار شبکه آزمایشگاهی سراسری [۱۰].

تجربه عملی آزمایشگاه‌های راه‌دور

به‌منظور اجرای عملیاتی طرح پیشنهادی، شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور در آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی دانشکده شهید مهاجر اصفهان ایجاد شد. این آزمایشگاه در آدرس *https://vrl.mohajertc.ir* قابل‌دسترسی است. بستر نرم‌افزاری مورداستفاده در این پروژه به دو بخش پورتال کاربری تحت اینترنت و نرم‌افزار LabVIEW، به‌منظور ایجاد ساختار کنترل نرم‌افزاری آزمایشگاه، تقسیم‌بندی می‌شود. پورتال آزمایشگاه راه‌دور نیز از دو بخش پورتال سرور

RLMS مطابق شکل ۵ و سرور آزمایشگاه مطابق شکل ۷ تشکیل شده است. پورتال سرور RLMS وظیفه ارتباط کاربر را با محیط آزمایشگاه از طریق اینترنت بر عهده دارد. همچنین انجام احراز هویت و زمان‌بندی استفاده هر کاربر از وظایف آن است. کاربران می‌توانند در این پورتال ثبت‌نام کنند و پس از تأیید کارشناس هر آزمایشگاه، دسترسی‌های لازم را پیدا کنند. در این پروژه، پورت ۸۰ سرور آزمایشگاه برای استفاده از سرویس LabVIEW Webserver استفاده می‌شود. با استفاده از افزونه run-time engine در رایانه سمت سرویس‌گیرنده، کاربر از نصب نرم‌افزار LabVIEW بر روی سیستم خود بی‌نیاز می‌شود و صرفاً از راه‌دور کنترل این نرم‌افزار را از روی کامپیوتر اصلی مستقر در آزمایشگاه در دست می‌گیرد. همچنین صوت و تصویر ارسالی از سامانه‌های نظارت صوتی و تصویری مستقر در آزمایشگاه در حساب کاربری این پورتال قابل‌مشاهده است. وظیفه انتقال سیگنال‌های صوتی و تصویری آزمایش تحت بستر وب و از طریق پورتال آزمایشگاه راه‌دور انجام می‌شود. اگر این انتقال سیگنال تحت بستر نرم‌افزار LabVIEW انجام گیرد، به دلیل افزایش قابل‌توجهی در فرایند پردازشی این نرم‌افزار، تأخیر عملیاتی زیادی در ارتباط با کارت جمع‌آوری داده و کنترل محرک‌ها رخ خواهد داد. این تأخیر نه‌تنها منجر به افت سرعت اجرای آزمایش می‌شود بلکه در برخی موارد باعث اشتباه در ترسیم شکل موج‌های حس‌گرهای آزمایش خواهد شد. از منظر ترافیک شبکه، ازآنجایی‌که تنها یک کاربر به‌صورت مدیر اجرایی آزمایش راه‌دور در حال کنترل مراحل آزمایش است و سایرین صرفاً به‌صورت تماشاگر، بنابراین افزایش تعداد دانشجویان شرکت‌کننده در آزمایش راه‌دور منجر به ایجاد مشکلات ترافیکی بر روی سرور آزمایشگاه نخواهد شد و صرفاً در حد برگزاری یک کلاس آنلاین با قابلیت اشتراک‌گذاری صفحه دسکتاپ رایانه به پهنای باند نیازمند است. شکل ۹ تصویر حساب کاربری کاربر در پورتال سرور آزمایشگاه و همچنین بلوک دیاگرام پنل کنترلی LabVIEW مربوط به آزمایشگاه راه‌دور ماشین الکتریکی را نشان می‌دهد. کلیه مطالب و نقشه‌های فنی موردنیاز هر آزمایش نیز در همین حساب کاربری قابل دریافت و استفاده خواهد بود. ارتباط دوطرفه نهایی بین نرم‌افزار LabVIEW و فرایند تحت آزمایش توسط برد آردوینو Mega ۲۵۶۰ و تحت برنامه واسط LIFA برقرار شده است. همچنین با قابلیت NI OPC server، نرم‌افزار LabVIEW با PLC LOGO V۸ به‌صورت دوجهته متصل است. علاوه بر این، اتصال این نرم‌افزار تحت همین قابلیت به PLC ۱۲۰۰ برای کنترل درایو Micromaster ۴۲۰ و از طریق پروتکل Profibus درحال‌توسعه است. تأخیر در زمان دسترسی به آزمایشگاه راه‌دور، با افزایش تعداد توابع افزایش می‌یابد [۹]. این نکته به‌صورت عملی بررسی شد و در برنامه‌ای که قابلیت انتقال سیگنال‌های سامانه نظارتی آزمایشگاه را داشت، تأخیر در ارسال و دریافت دستورات و پارامترهای سیستم مشهود بود؛ بنابراین به‌منظور افزایش سرعت عملکرد آزمایشگاه راه‌دور، انتقال سیگنال‌های سیستم نظارت صوتی و تصویری مستقل از برنامه LabVIEW و در قالب برنامه‌نویسی تحت وب و از طریق پورتال آزمایشگاه راه‌دور انجام می‌شود. برد آردوینو Mega ۲۵۶۰ داده‌های حس‌گر ACS۷۱۲ (۵) & (۳۰A)، مدار نظارت بر ولتاژ ساخته‌شده با IL۳۰۰ ارائه‌شده در [۲۶] و حس‌گر مجاورت استقرایی AUTONICS PRL۱۸-۸DP را می‌خواند و اطلاعات را از طریق رابط LIFA به سرور آزمایشگاه منتقل می‌کند. با توجه به مشخصات فنی تجهیزات موجود در آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی، دریچه‌های الکترونیک قدرت مورداستفاده به شماره IRG41BC۳۰S و با قابلیت تحمل ولتاژ ۶۰۰ ولت و جریان ۱۳ آمپر است.

در ادامه این بخش به معرفی سناریو اجرایی، بخش‌های مختلف آزمایشگاه راه‌دور پیشنهادی و بررسی یک نمونه آزمایش عملی (کنترل سرعت موتور جریان مستقیم تحریک سری) در قالب زیر بخش‌های مختلف پرداخته خواهد شد.

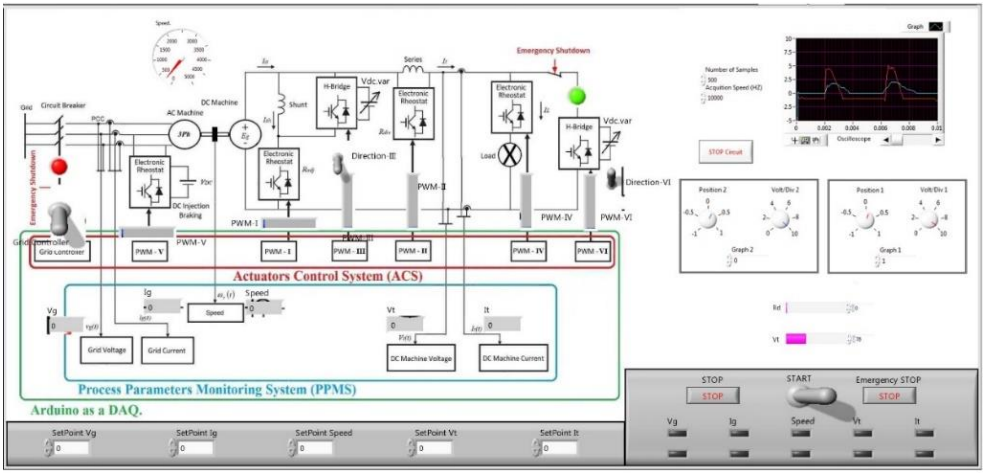


شکل ۸. پورتال سیستم مدیریت آزمایشگاه راه‌دور.

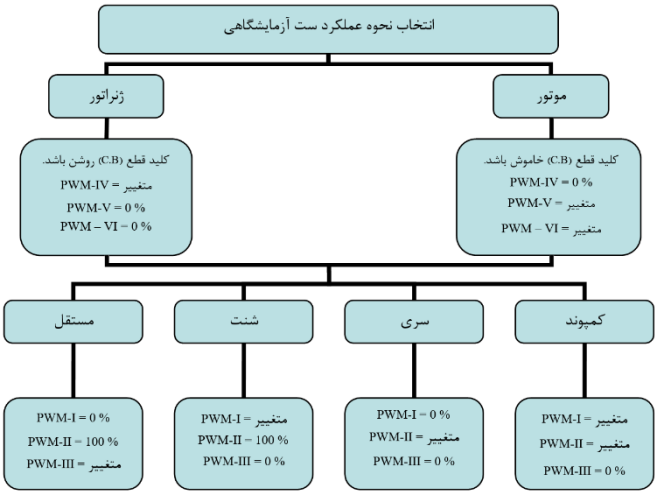
شکل ۹. پورتال سرور آزمایشگاه راه‌دور ماشین الکتریکی.

سناریو اجرای راه‌دور آزمایش ماشین‌های الکتریکی جریان مستقیم

همان‌طور که در بخش مقدمه اشاره شد طرح‌های زیادی از آزمایشگاه‌های راه‌دور در سطح جهان اجرا شده است. بیشتر این طرح‌ها برای آزمایشگاه‌های الکترونیک و سیستم‌های کنترلی می‌باشند و صرفاً در مراجع [۶; ۲۷] آزمایشگاه راه‌دور در حوزه ماشین‌های الکتریکی انجام شده است. در این دو آزمایشگاه، محوریت و تمرکز بر ماشین‌های جریان متناوب و عملکرد آن‌ها بوده و دامنه تغییرات گسترده بر روی ماشین‌های جریان مستقیم در این دو مرجع گزارش نشده است. به دلیل قوس الکتریکی شدید در جریان‌های مستقیم، تغییرات گسترده در ساختار سربندی ماشین و قطع و وصل‌های مکرر دشوار خواهد بود. در این مقاله با استفاده از مدارت کنترل محرک الکترونیک قدرت این محدودیت برطرف شده و امکان گسترده ماشین الکتریکی جریان مستقیم فراهم شده است. همچنین، قابلیت استفاده از منبع تغذیه کنترل‌پذیر و کارت‌های جمع‌آوری داده مبتنی بر Arduino وجه تمایز دیگر این مقاله با سایر طرح‌های اجراشده تاکنون خواهد بود. در شکل (۱۰) بلوک دیاگرام آزمایشگاه راه‌دور ماشین‌های الکتریکی جریان مستقیم را برمبنای ست آموزشی ماشین الکتریکی کمپوند ارائه شده است. مطابق فلوچارت ارائه‌شده در شکل ۱۱، با کنترل کلیدها، رئوستاها و پل H الکترونیکی موجود در شکل ۱۰ که به‌صورت فیزیکی و بلادرنگ، توسط کارت کنترل محرک در ست آزمایشگاهی اجرا می‌شود، می‌توان آزمایش‌های موردنظر را اجرا کرد.



شکل ۱۰. مانیتورینگ LabVIEW.



شکل ۱۱. فلوچارت عملکرد آزمایشگاه.

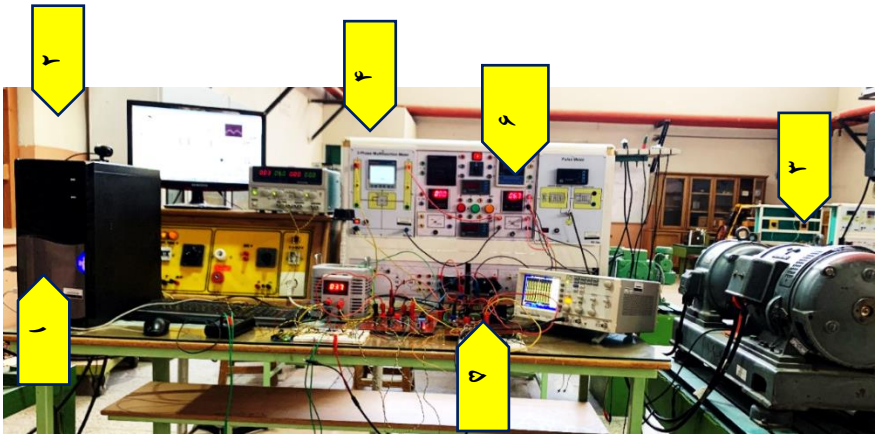
ساختار عملیاتی آزمایشگاه راه‌دور پیشنهادی

مشخصات بخش‌های مختلف آزمایشگاه راه‌دور ماشین الکتریکی مطابق شکل ۱۲ به شرح زیر است:

۱- کامپیوتر سرور آزمایشگاه

۲- دوربین سیستم نظارت تصویری

۳- ماشین الکتریکی جریان مستقیم کوپل شده به ماشین الکتریکی سه فاز القایی
۴- پنل اندازه‌گیری فیزیکی پارامترهای فرایند تحت آزمایش
۵- کارت‌های جمع‌آوری داده و کنترل محرک‌ها
۶- منبع تغذیه جریان مستقیم متغیر ۲۰A و ۴۰۰V.

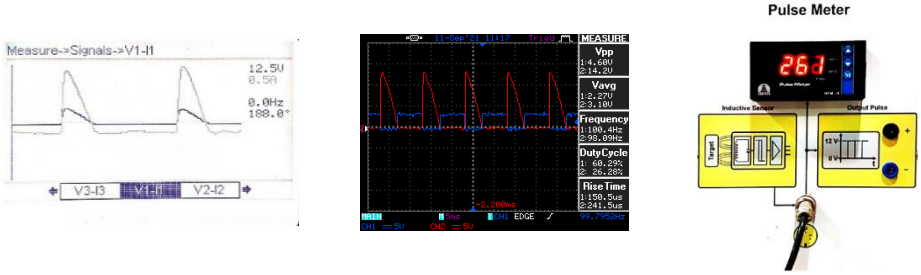


شکل ۱۲. پلتفرم کامل آزمایشگاه راه‌دور ماشین الکتریکی.

اجرای نمونه عملیاتی آزمایش راه‌دور موتور جریان مستقیم سری

به‌منظور بررسی صحت عملکرد آزمایشگاه مذکور، آزمایش کنترل سرعت موتور سری با توجه به اطلاعات فلوچارت شکل ۱۱ انجام می‌شود. در این آزمایش، کنترل ولتاژ پایانه (توسط منبع تغذیه جریان مستقیم قابل‌برنامه‌ریزی شکل (۴-الف) و همچنین کنترل جریان میدان سیم‌پیچ سری (توسط رئوستای الکترونیکی شکل (۳-الف) انجام می‌شود.

نتایج این آزمایش به‌صورت خلاصه در شکل ۱۳ ارائه شده است. در شکل (۱۳-الف) تا (۱۳-ج) مقادیر واقعی دستگاه‌های اندازه‌گیری مستقر در محل آزمایشگاه نمایش داده شده است. تطابق بین شکل موج‌ها و مقدار سرعت نمایش داده‌شده در پنل کاربر راه‌دور با مقادیر واقعی دستگاه‌های اندازه‌گیری، دلالت بر عملکرد صحیح و کارآمد آزمایشگاه راه‌دور پیشنهادی دارد.



(ج) (ب) (الف)

شکل ۱۳. نتایج حاصل از آزمون عملی کنترل سرعت موتور سری، الف) نمایشگر فیزیکی سرعت، ب) سیگنال اسیلوسکوپ فیزیکی ولتاژ و مدار تریگر منبع تغذیه و ج) سیگنال فیزیکی Power Analyzer ولتاژ و جریان.

نتیجه‌گیری

در این مقاله شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور شده، به‌عنوان یک ابزار استاندارد یادگیری الکترونیکی برای تکمیل ناکارآمدی آموزش صرفاً مبتنی بر شبیه‌سازی و محدودیت‌های مالی برای توسعه آزمایشگاه‌های فیزیکی، پیشنهاد شده است. به‌عنوان یک تجربه عملی، نمونه بومی‌سازی شده آزمایشگاه راه‌دور ماشین‌های الکتریکی در دانشکده فنی شهید مهاجر، دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان اصفهان به‌صورت پایلوت اجرا شد. در این مقاله طرح سخت‌افزاری آزمایشگاه مذکور، مبتنی‌بر سخت‌افزار Arduino با دقت مطلوب و هزینه بهینه در مقایسه با سایر کارت‌های جمع‌آوری داده تجاری مانند کارت‌های شرکت NI که دارای قیمت متوسط ۴۵۰ یورو به بالا در سال ۲۰۲۲ هستند، ارائه شده است. همچنین طرح سیستم حلقه حفاظت ثالثیه مطرح‌شده در این مقاله، نوآوری عملیاتی را در راستای افزایش پایداری و حفاظت تجهیزات آزمایشگاه تحت کنترل راه‌دور را نشان می‌دهد. طرح پیشنهادی حلقه حفاظت ثالثیه که به‌صورت کاملاً مستقل از سیستم رایانه آزمایشگاه و بدون قابلیت اتصال به اینترنت (به‌منظور جلوگیری از هک) ارائه‌شده است. همچنین استفاده از سیستم کنترل محرک الکترونیک قدرت در حالت‌های عملکردی خاموش، روشن و متغیر تحت جریان مستقیم، قابلیت انجام تمام تغییرات لازم برای اجرای کامل سرفصل‌های درس آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی جریان مستقیم را فراهم آورده است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها، کیفیت مطلوب این آزمایشگاه در عملکرد برخط و مبتنی بر شبکه را نشان می‌دهد. همان‌طور که بیان شد استفاده از آزمایشگاه راه‌دور می‌تواند موجب بهبود کیفی ارائه دروس و نیز حفظ سرمایه‌های دانشگاه در بحث تجهیز، تعمیر و نگهداری آزمایشگاه‌ها گردد. همچنین با در نظر گرفتن مسائل مربوط به امنیت سایبری با ایجاد یک معماری شبکه امن و حلقه‌های امنیتی نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، می‌توان عملکرد مطلوب و ایمن شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور را تضمین کرد. با توجه به رسالت دانشگاه فنی و حرفه‌ای و با در نظر گرفتن پتانسیل بالای علمی و عملیاتی موجود در این دانشگاه، آن را به یک هدف عالی برای راه‌اندازی و توسعه شبکه آزمایشگاه‌های راه‌دور تبدیل کرده است. در حال حاضر بسترسازی آزمایشگاه راه‌دور پنوماتیک نیز در دانشکده شهید مهاجر انجام گرفته است. قابلیت توسعه این شبکه آزمایشگاهی به تمامی مراکز آموزش دانشگاهی و حتی هنرستان‌های فنی و حرفه‌ای یکی دیگر از مزایای مهم آن محسوب می‌شوند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از ریاست و هیئت‌رئیسه محترم دانشگاه فنی و حرفه‌ای استان اصفهان بابت حمایت‌های مادی و معنوی که منجر به توسعه و پیشرفت شبکه پیشنهادی آزمایشگاه‌های راه‌دور شده است، کمال تقدیر و تشکر را دارند.

References

[1] Restivo, M. T., Mendes, J., Lopes, A. M., Silva, C. M., & Chouzal, F. (2009). A Remote Laboratory in Engineering Measurement. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *56*(12), 4836-4843. https://doi.org/10.1109/TIE.2008.2011479

[2] Dak, R., Khoje ,S., & Pardeshi, P. J. (2017, July 18-19). *A review on cost-efficient virtual laboratory: A teaching aid.* 2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication, Erode, India https://doi.org/10.1109/ICCMC.2017.8282549

[3] Frerich, S., Kruse, D., Petermann, M., & Kilzer, A. (2014, April 3-5). *Virtual Labs and Remote Labs: Practical experience for everyone.* 2014 IEEE Global Engineering Education Conference Istanbul, Turkey https://doi.org/10.1109/EDUCON.2014.6826109

[4] Pearson, C., & Kudzai, C. (2015). Virtual Laboratories a Solution for Tertiary Science Education in Botswana. *European Journal of Logistics Purchasing and Supply Chain Management*, *3*(1), 29-43. https://repository.bothouniversity.ac.bw/buir/bitstream/handle/123456789/167/Virtual-Laboratories-A-Solution-for-Tertiary-Science-Education-in-Botswana.pdf?sequence=1

[5] Roschelle, J., Jona, K., & Schank, P. (2017). *Primer: Remote Labs*. Rapid Community Reports. https://repository.isls.org/bitstream/1/1231/1/Remote-Labs-Primer.pdf

[6] Zine ,O., Errouha, M., Zamzoum, O., Derouich, A., & Talbi, A. (2019). SEITI RMLab: A costless and effective remote measurement laboratory in electrical engineering. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, *56*(1), 3-23. https://doi.org/10.1177/0020720918775041

[7] Safavi, A. A., Salehi, S., Motamedi, M., Kikha, E., Naghavi, V., & Ghaffari, H. (2007). The First Iranian Virtual and Remote Laboratory for Control Engineer: Design and Implementation. *Iranian Journal of Engineering Education* ,*9*(34) ,57-76 .https://doi.org/10.22047/ijee.2007.550

[8] Monzo, C., Cobo, G., Morán, J. A., Santamaría, E., & García-Solórzano, D. (2021). Remote Laboratory for Online Engineering Education: The RLAB-UOC-FPGA Case Study. *Electronics*, *10*(9), 1-15. https//:doi.org/10.3390/electronics10091072

[9] Villar-Martínez, A., Rodríguez-Gil, L., Angulo, I., Orduña, P., García-Zubía, J., & López-De-Ipiña, D. (2019). Improving the Scalability and Replicability of Embedded Systems Remote Laboratories Through a Cost-Effective Architecture. *IEEE Access*, *7*, 164164-164185. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2952321

[10] Yazdanpanah Qaraei, P. (2021, March 3-4). *Perspectives of the network of remote laboratories in the e-learning system of the Technical and Vocational University*. The 8th International and the 14th National Conference on e-Learning and e-Teaching, Tehran, Iran. https://civilica.com/doc/1224638/

[11] Heradio, R., De La Torre, L., Galan, D., Cabrerizo, F. J., Herrera-Viedma, E., & Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. *Computers & Education*, *98*, 14-38. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.010

[12] Limpraptono, F. Y., Ratna, A. A. P., & Sudibyo, H. (2013). New architecture of remote laboratories multiuser based on embedded web server. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, *9*(6), 4-11. http://eprints.itn.ac.id/3700 /

[13] Muhammad Asraf, H., Ashar, N. D. K., Zakiah, M. Y., Abidin, A. F. Z., & Nooritawati, M. T. (2018). Computer Assisted E-Laboratory using LabVIEW and Internet-of-Things Platform as Teaching Aids in the Industrial Instrumentation Course. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, *14*(12), 26-42. https://doi.org/10.3991/ijoe.v14i12.8992

[14] Alli, K. S .(2019) .A LabVIEW-based online DC servomechanism control experiments incorporating PID controller for students' laboratory. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, *0*(0), 0020720919868142. https://doi.org/10.1177/0020720919868142

[15] Khera, N., & Jain, S. (2015, November 7-8). *Development of LabVIEW based electrical parameter monitoring system for single phase supply*. 2015 Communication, Control and Intelligent Systems, Mathura, India https://doi.org/10.1109/CCIntelS.2015.7437964

[16] Magdum, A. D., & Agashe, A. A. (2016, May 20-21). *Monitoring and controlling the industrial motor parameters remotely using LabVIEW*. 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology Bangalore, India https://doi.org/10.1109/RTEICT.2016.7807810

[17] Pengfei, L., & Luhua, N. (2009, October 10-11). *Remote Control Laboratory Based On LabVIEW*. 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, Changsha, China https//:doi.org/10.1109/ICICTA.2009.737

[18] Telagam, N., Sahu, P. C., Panda, S., & Kandasamy, N. (2019). USRP Based Digital Audio Broadcasting Using OFDM in Virtual and Remote Laboratory. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, *15*(13), 77-85 .https://www.researchgate.net/profile/Nagarjuna-Telagam/publication/336148147_USRP_Based_Digital_Audio_Broadcasting_Using_OFDM_in_Virtual_and_Remote_Laboratory/links/5d92e344a6fdcc2554a97fb0/USRP-Based-Digital-Audio-Broadcasting-Using-OFDM-in-Virtual-and-Remote-Laboratory.pdf

[19] Mastour, H., Aliabadi, K., & Moqaddasin, M. (2012). A Study of the Impact of Virtual and Real Laboratories on Students' Learning and Retention of Physics and Laboratory. *Educational Psychology*, *8*(25), 90-112. https://jep.atu.ac.ir/article_2447_4e2f8644c251968d80847bd6add93fe8.pdf

[20] Ge, M., Hong, J. B., Guttmann, W., & Kim, D. S. (2017). A framework for automating security analysis of the internet of things. *Journal of Network and Computer Applications*, *83*, 12-27. https//:doi.org/10.1016/j.jnca.2017.01.033

[21] Dezhgir, H., & Houshmand, H. (2017, September 16). *An overview of security in the Internet of Things*. The 10th Conference of New Researches in Science and Technology, Kerman, Iran. https://civilica.com/doc/697202/

[22] Mullet, V., Sondi, P., & Ramat, E. (2021). A Review of Cybersecurity Guidelines for Manufacturing Factories in Industry 4.0. *IEEE Access*, *9*, 23235-23263. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3056650

[23] Tsiknas, K., Taketzis, D., Demertzis, K., & Skianis, C. (2021). Cyber Threats to Industrial IoT: A Survey on Attacks and Countermeasures. *Internet of Things 2*(1), 163-186. https://doi.org/10.3390/iot2010009

[24] Ugwuanyi, S., & Irvine, J. (2021, September 22-24). *Industrial and Consumer Internet of Things: Cyber Security Considerations, Threat Landscape, and Countermeasure Opportunities*. 2021

International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets), Glasgow, United Kingdom. https://doi.org/10.1v109/SmartNets50376.2021.955 5410

[25] Heradio, R., De La Torre, L., & Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in control education: A survey. *Annual Reviews in Control*, *42*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.08.001

[26] Dimitrov, B., Collier, G., & Cruden, A .(2019) .Design and Experimental Verification of Voltage Measurement Circuits Based on Linear Optocouplers with Galvanic Isolation for Battery Management Systems. *World Electric Vehicle Journal*, *10*(4), 1-19. https://doi.org/10.3390/wevj10040059

[27] Yazidi, A., Henao, H., Capolino, G., Betin, F., & Filippetti, F. (2011). A Web-Based Remote Laboratory for Monitoring and Diagnosis of AC Electrical Machines. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *58*(10), 4950-4959. https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2109331