



УДК 348.147

## ELECTROTECHNICAL MOBILE LABORATORY: MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEM FOR ELECTRIC POWER EQUIPMENT

### ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ МОБИЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ: МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Isaev I.A., Isaeva L.A. / Исаев И.А., Исаева Л.А.

**Аннотация.** Успешная подготовка современного специалиста, особенно в области электроэнергетики и электротехники невозможна без реализации в учебном процессе физического эксперимента. В рамках экспериментальных исследований отрабатываются навыки диагностирования аварийного режима работы электрооборудования и принятия решений по его устранению. Востребованность в комплексном обеспечении лабораторного практикума остается актуальной, как с позиции минимизации стоимости лабораторного оборудования, так и с позиции обеспечения необходимого учебного функционала и требований электробезопасности. В данной статье представлены результаты опытно-конструкторской разработки учебно-лабораторного стенда с модулем микропроцессорного управления электромеханическим преобразователем электроэнергетического оборудования. Структура стенда реализована модульной схемой компоновки функциональных блоков, что обеспечивает высокую вариативность компоновки учебно-лабораторного стенда. Апробация разработанного учебно-лабораторного стенда была реализована в рамках лабораторного практикума подготовки студентов обучающихся по программе высшего образования по направлению «Приборостроение» и «Электроснабжение» Волгоградского государственного технического университета

**Ключевые слова:** электротехнический учебно-лабораторный комплекс, учебная лаборатория, микропроцессорная система управления, схема электроснабжения, электроэнергетика.

### Вступление

Одной из существенных составляющих процесса подготовки современного специалиста, особенно в области электроэнергетике и электротехники, остается физический эксперимент, в ходе которого обеспечивается наблюдение электроэнергетических процессов, а так же возможность исследования тех или иных режимов работы электрических цепей и устройств. Наиболее сложными режимами работы электрооборудования являются режимы короткого замыкания, приводящие к всплескам и провалам напряжения, а также режимы, характеризующиеся увеличением веса высоких гармоник напряжения.

Для электромеханических систем, эксплуатируемых в электроэнергетических системах, например, таких как системы дизель-генераторных установок основного и аварийного питания обнаружение и диагностика аварийного режима остается одной из главных задач при обеспечении надежности работы электроэнергетических систем.

В учебном процессе, возможность физического моделирования подобных режимов, изучение механизмов их возникновения, способов измерения и управления электрическими параметрами во многом определяют уровень профессиональной подготовки будущего специалиста.



В данной статье рассмотрен опыт разработки и реализации проекта электротехнического учебно-лабораторного стенда с реализацией микропроцессорной системы управления электромеханическим преобразователем и его апробации в учебном процессе [1]. В состав стенда помимо источников постоянного тока фиксированного и регулируемого напряжения, источников переменного одно- и трехфазного тока включен модуль микропроцессорного управления трехфазным электромеханическим преобразователем. Разработанное схемное решение стенда обеспечивает защиту электронных блоков стенда от токов короткого замыкания и режима длительной перегрузки на стороне потребителя. Высокий уровень электробезопасности, эргономичность схемы расположения элементов управления и индикации режимов работы, высокая функциональность и мобильность учебно-лабораторного стенда обеспечивают возможность его использования в учебных лабораторно-практических курсах программ среднего и среднеспециального образования. Для определения основных потребительских характеристик учебного лабораторного оборудования был выполнен анализ рынка предложений ряда ведущих организаций в части лабораторного оборудования по электротехнике и электронике [1, 2]. Согласно проведенному анализу учебное лабораторное оборудование должно обладать следующими свойствами:

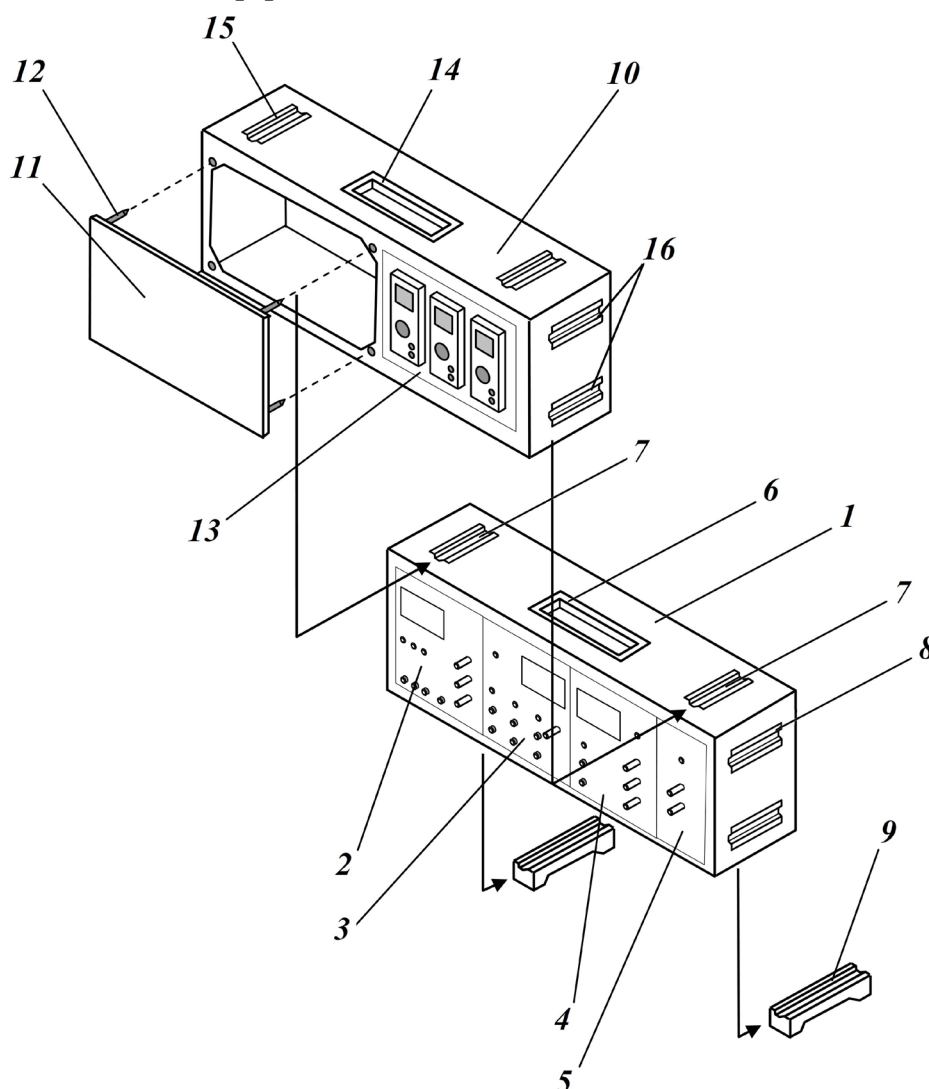
- высокой степенью электробезопасности при выполнении обучаемыми лабораторных работ – исключение возможности поражения обучающегося электрическим током при любых его непрофессиональных действиях с предоставленным его пользовательским интерфейсом;
- повышенной степенью электрической защиты функциональных блоков лабораторного оборудования, исключающей возможность их поломки при любых возможных действиях обучаемого в рамках предоставленного ему пользовательского интерфейса;
- доступностью и наглядностью пользовательского интерфейса – физическая реализация на интуитивно понятном уровне процедур сборки исследуемых цепей и схем, процедур электрических и осциллографических измерений, а так же высокая эргономичность формируемого рабочего пространства обучаемого;
- обеспечением достаточного уровня индикации электрических параметров рабочих и аварийных режимов работы электрооборудования, исключающее невосприятие, непонимание и двойное толкование используемых сигналов.
- интегративностью лабораторных работ – возможность реализации на одном учебном стенде ряда лабораторных работ по нескольким учебным темам;
- высоким уровнем ремонтпригодности лабораторного оборудования.



## Учебно-лабораторный электротехнический стенд с модулем микропроцессорного управления электромеханическим преобразователем.

Учебно-лабораторный электротехнический стенд был разработан с использованием модульной схемы компоновки его функциональных блоков, что позволило максимально учесть перечисленные выше требования, предъявляемые к подобному оборудованию в рамках учебного процесса.

На рис.1 представлена обобщенная схема компоновки функциональных модулей учебно-лабораторного стенда. Особенностью разработанного механизма крепления отдельных функциональных модулей стала легкосъемная конструкция, позволяющая обеспечивать надежное механическое крепление в сочетании с обеспечением электрического соединения. Прототипом для разработки механизма электромеханического крепления послужила конструкция, предложенная в полезной модели к патенту «Учебно-лабораторный комплекс» [3].

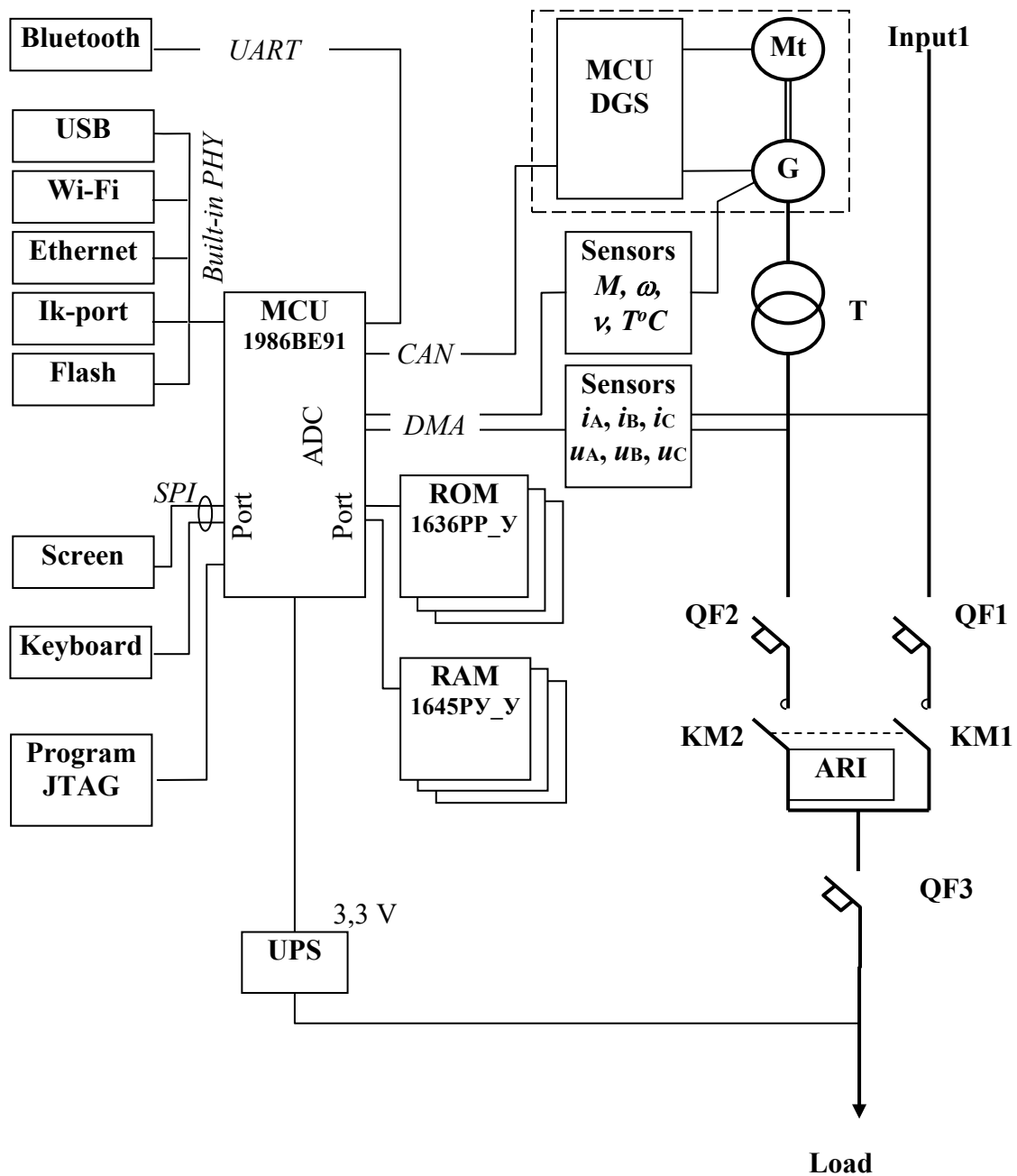


**Рис.1. Модульная схема компоновки учебно-лабораторного электротехнического стенда.**

1, 10 – корпуса модулей учебно-лабораторного стенда; 2, 3, 4, 5 – блоки источников тока и функционального генератора; 6, 14 – ручка-трансформер; 7, 8, 15, 16 – легкоразъемный механизм электромеханического соединения модулей; 9 – ножки; 11 – легкосъемная панель нагрузки; 12 – крепления панели нагрузки; 13 – блок измерения.



Структурная схема микропроцессорной системы мониторинга электромеханических систем представлена на рис.2 [4]. Для расширения объема памяти используется внешняя память. Постоянное запоминающее устройство (ROM) реализовано на микросхеме реализовано на микросхеме 1636PP1У. Оперативная память – на микросхеме 1645PY3У, представляющее собой электрически стираемое и перепрограммируемое постоянное запоминающее устройства Flash-типа. Взаимодействие с контроллером может осуществляться как по параллельному, так и по последовательному интерфейсу. В последнем случае за счет снижения быстродействия удастся существенно уменьшить число проводников сопряжения.



**Рис.2. Структурная схема микропроцессорной системы мониторинга электромеханических систем.**



Контролируемыми параметрами в разработанной микропроцессорной системе мониторинга, на основании вышеприведенной математической модели дизель-генераторной установки, были выбраны фазные токи и напряжения ( $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$ ,  $u_A$ ,  $u_B$ ,  $u_C$ ) по цепи основного и резервного ввода.

Помимо электрических параметров цепей электроснабжения контролируемыми параметрами стали механическая мощность на валу генератора (механический момент  $M$  и частота вращения вала  $\omega$ ), уровень вибрации вала генератора  $v$  и температура  $t^\circ\text{C}$  его обмоток.

С датчиков измерительная информация поступает на вход блока аналого-цифрового преобразователя (АЦП). В составе рассматриваемого микроконтроллера блок АЦП содержит 2 независимых АЦП, которые могут осуществлять преобразование сигналов по 16 измерительным каналам.

В состав рассматриваемого микроконтроллера 1986ВЕ91 входит специализированный контроллер, предназначенный для пересылки данных без использования ядра микроконтроллера DMA (Direct Memory Access). Для выполнения нескольких «параллельных» задач по пересылке данных в контроллере DMA реализовано 32 независимых канала. Одновременно активен только один канал. Каждый канал настраивается отдельно на выполнение конкретной задачи. Таким образом, возможно одновременно запустить и копирование массивов, и считывание данных из АЦП.

Долговременное хранение измерительной информации реализовано на Flash-накопителе, который подключается к микроконтроллеру посредством последовательного USB интерфейса. Беспроводной доступ к данным организован по каналу последовательный модуль передачи данных Bluetooth используя интерфейс UART.

Оценка причин возникновения аварийного режима работы генератора невозможна без учета ряда параметров его работы. Это механический момент на валу генератора и скорость его вращения, уровень вибрации вала генератора и температура его обмотки позволяют оценить механический износ подшипниковых узлов, разрушение крыльчатки охлаждающего вентилятора, износ муфты сцепления генератора и привода, а так же режим повышенной нагрузки, приводящей к преждевременному износу изоляции обмоток генератора.

Для моделирования возможностей объединения систем управления отдельными дизель-генераторными установками в сетевом режиме обмен данными и аккумулярование наблюдаемых данных реализовано с использованием последовательного интерфейса CAN (Controller Area Network), который обеспечивает передачу данных в реальном масштабе времени и отличается надежностью и высокой помехоустойчивостью. CAN интерфейс в настоящее время довольно широко используется в системах автоматизации управления.

#### **Заключение и выводы.**

В статье представлены результаты разработки учебно-лабораторного электротехнического стенда. При проектировании структуры стенда были проанализированы эксплуатационные характеристики представленного на



рынке специализированного учебного оборудования. На основе проведенного анализа была разработана модульная схема компоновки, которая позволила максимально учесть требования, предъявляемые к учебному лабораторному оборудованию в рамках реализации учебных программ среднего и средне специального образования. Основными достоинствами разработанного учебно-лабораторного электротехнического стенда являются:

- ✓ высокая степень электробезопасности при выполнении обучаемыми лабораторных работ, доступность и наглядность пользовательского интерфейса;
- ✓ обеспечение необходимого уровня индикации электрических параметров рабочих и аварийных режимов работы электрооборудования и высокая эргономичность формируемого рабочего пространства;
- ✓ высокая вариативность функциональных возможностей, в части обеспечения постановки учебных лабораторных работ;
- ✓ высокий уровень ремонтпригодности лабораторного оборудования (применена модульная технология).

### Литература:

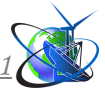
1. Исаев, А.В. Электротехническая лаборатория в учебном процессе / А.В. Исаев // Сборник научных трудов SWorld по матер. междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2013» (18-29 июня). - 2013. - Т. 9, № 2. - 5-8.

2. Интегрально-модульный стенд ИМС-12 «Электротехника и электроника» / И.А. Миронов, В.А. Клевцов, А.Ю. Миронов, А.В. Исаев, А.И. Нефедьев // Современные технологии и управление: сб. науч. тр. III междунар. науч.-практ. конф. (20-21 нояб. 2014 г.) / ФГБОУ ВО Московский гос. ун-т технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий ун-т), Филиал в р. п. Светлый Яр Волгоградской области. - Светлый Яр, 2014. - С. 26-28.

3. Пат. 140456 Российская Федерация, МПК G09B23/18. Учебно-лабораторный комплекс / А.И. Нефедьев, А.В. Исаев; ВолгГТУ. - 2013.

4. Исаев, А.В. Digital Twin Technologies for Diesel Generator Sets in Backup and Emergency Power Supply Systems / А.В. Исаев, А.И. Нефедьев, И.А. Исаев // 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Sochi, Russian Federation, 16-20 May 2022) : Proceedings / Moscow Polytechnic University, Tula State University, Volgograd State Technical University. – [Publisher: IEEE], 2022. – P. 1079-1084. – DOI: 10.1109/ICIEAM54945.2022.9787261P&#39;a.

***Abstract.** Successful training of a modern specialist, especially in the field of electric power and electrical engineering, is impossible without the implementation of a physical experiment in the educational process. As part of experimental studies, the skills of diagnosing the emergency operation of electrical equipment and making decisions to eliminate it are developed. Demand for the integrated provision of a laboratory workshop remains relevant, both from the standpoint of minimizing the cost of laboratory equipment, and from the standpoint of providing the necessary educational functionality and electrical safety requirements. This article presents the results of experimental design of a training and laboratory stand with a microprocessor control module for an electromechanical converter of electric power equipment. Approbation of the developed*



*educational and laboratory stand was implemented as part of a laboratory workshop for the preparation of students enrolled in a higher education program in the direction of "Instrument Engineering" and "Power Supply". of the Volgograd State Technical University.*

**Key words:** *electrotechnical educational and laboratory complex, educational laboratory, microprocessor control system, power supply scheme, electric power industry.*

*Научный руководитель: д.т.н., проф. Нефедьев А.И.*

*Статья отправлена: 27.06.2022 г.*

*© Исаев И.А., Исаева Л.А.*