

Научная статья
УДК 625

Применение учебного электрооборудования для практических исследовательских целей

**Вячеслав Яковлевич Ткаченко¹, Николай Афанасьевич Мищенко²,
Александр Викторович Шабанов³**

^{1,2}Филиал ФГБОУ ВО "Университет "Дубна" – Дмитровский институт непрерывного образования,
Московская область, г. Дмитров, Россия

³Научно-исследовательский центр по испытаниям и доводке автотехники
ФГУП "НАМИ", Московская область, г. Дмитров, Россия

¹vyatkachenko@mail.ru

²mishenkov.00@bk.ru

³saaha-1955@mail.ru

Аннотация. Рассматривается возможность использования аппаратно-программного лабораторного стенда (АПЛС) для исследования электрических элементов электрооборудования автомобилей и других электрифицированных объектов в высших и средних учебных заведениях. Целью такого использования является определение основных параметров и характеристик элементов, исследование зависимостей параметров от релевантных факторов, а также диагностика и обнаружение неисправностей компонентов электрооборудования.

Особенностью АПЛС является высокий уровень автоматизации и возможность управления ими с помощью компьютера, что позволяет выполнять лабораторные исследования с большей самостоятельностью при минимальном участии преподавателей и лаборантов. Кроме того, использование компьютера в АПЛС позволяет хранить и обрабатывать экспериментальные данные, строить временные диаграммы, набирать статистику и строить графики зависимостей.

Ключевые слова: лабораторный стенд, исследование устройств, электрические элементы, измерение параметров, схемы замещения устройств, организация научных исследований.

Для цитирования: Ткаченко В.Я., Мищенко Н.А., Шабанов А.В. Применение учебного электрооборудования для практических исследовательских целей // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №3 (37).

Original article

Implementation of educational electrical equipment for practical research purposes

Vyacheslav Ya. Tkachenko¹, Nikolay A. Mishchenkov², Aleksandr V. Shabanov³

^{1,2}Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "University "Dubna" – Dmitrov Institute of Continuing Education, Moscow region, Dmitrov, Russia

³State Research Center of the Russian Federation FSUE NAMI, Moscow region, Dmitrov, Russia

¹vyatkachenko@mail.ru

²mishchenkov.00@bk.ru

³saaha-1955@mail.ru

Abstract. The possibility of using a hardware and software laboratory bench (APLS) for the study of electrical elements of electrical equipment of cars and other electrified objects in higher and secondary educational institutions is being considered. The purpose of such use is to determine the main parameters and characteristics of the elements, to study the dependencies of the parameters on relevant factors, as well as to diagnose and detect malfunctions of electrical components.

A feature of the APLS is a high level of automation and the ability to control them using a computer, which allows you to perform laboratory tests with greater independence with minimal participation of teachers and laboratory assistants. In addition, the use of a computer in the APLS allows you to store and process experimental data, build time charts, collect statistics and build graphs of dependencies.

Keywords: laboratory bench, parameter research, electrical elements, device substitution schemes, organization of scientific research.

For citation: Tkachenko V.Ya., Mishchenkov N.A., Shabanov A.V. Implementation of educational electrical equipment for practical research purposes. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura.* 2023. №3 (37).

Введение

Аппаратно-программные лабораторные стенды (АПЛС) предназначены для исследования электротехнических устройств и их элементов, имеющих широкое применение в промышленности и на транспорте. АПЛС также широко используются в учебных целях как лабораторное оборудование в высших и средних технических учебных заведениях при освоении учебных программ по базовым электротехническим дисциплинам.

На базе АПЛС организуются лабораторные практикумы для изучения электротехнических дисциплин, состоящие из циклов лабораторных работ по общей электротехнике и электронике. Особенностью таких стендов является высокий уровень автоматизации и возможность управления ими с помощью компьютера, что позволяет студентам выполнять лабораторные исследования с большей самостоятельностью при минимальном участии преподавателей и лаборантов. Кроме того, использование компьютера в АПЛС позволяет хранить и обрабатывать экспериментальные данные, строить временные диаграммы, набирать статистику и строить графики зависимостей.

К категории АПЛС относится лабораторный стенд «Электротехника и основы электроники» (ЭТиОЭ-СК), выпускаемый научно-производственным предприятием «Учтех-Профи» (г. Челябинск). Стенд предназначен для проведения лабораторно-практических занятий в высших, средних и начальных профессиональных учебных заведениях, учебных центрах повышения квалификации и переподготовки и т.д. [1]. Стенд содержит 23 модуля, обеспечивающих проведение занятий по большинству тем, изучаемых в учебных заведениях по разделам электротехники и электроники, и оснащен компьютером со специальным программным обеспечением.

Главной частью этого программного обеспечения является программный комплекс, предназначенный для измерений, отображения и обработки аналоговых сигналов, формирования аналоговых и дискретных сигналов управления для обеспечения защиты, автоматического и дистанционного управления, автоматизации проведения экспериментов. Сходные задачи решаются и в других системах обработки сигналов, например, описанных в [2, 3]. Ввод и вывод сигналов в описываемом стенде (аналоговых и дискретных) осуществляется с помощью специального блока с интерфейсом USB 2.0, являющегося частью программно-аппаратного комплекса «DeltaProfi». Внешний вид стенда представлен на рис. 1.

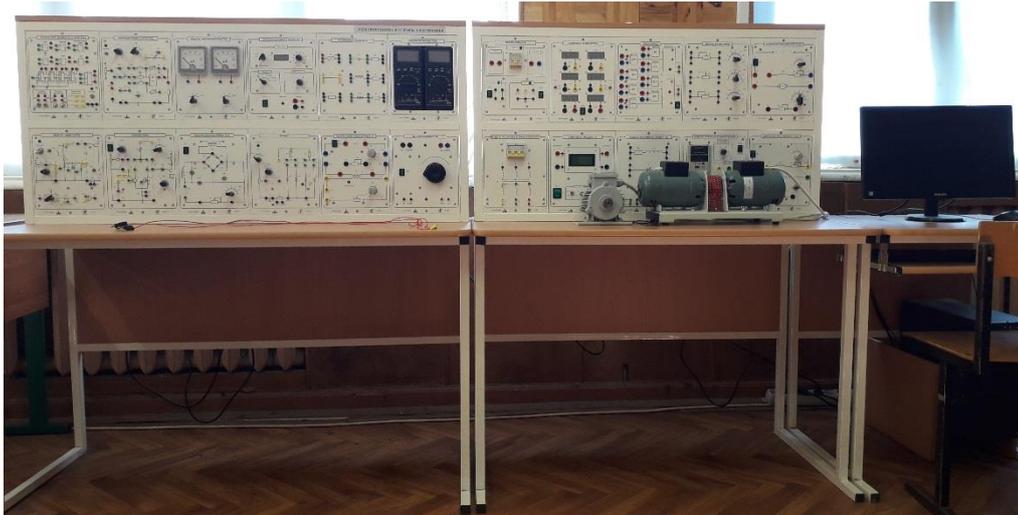


Рис. 1. Внешний вид лабораторного стенда

Интерфейс программы содержит главное меню, кнопки быстрого доступа и рабочую область, состоящую из ряда закладок, предназначенных для выполнения определенных функций. Программа обеспечивает следующие режимы работы: отображение осциллограмм мгновенных значений сигналов и измерение их параметров (режим «Осциллограммы»), автоматическое снятие функциональных зависимостей между значениями входных аналоговых сигналов или сигналов управления (режим «Зависимости»), запись изменения мгновенных значений входных аналоговых сигналов во времени с возможностью просмотра в режиме «регистрирующего осциллографа» (режим «Регистратор»), отображение схемы исследуемой электрической цепи и показаний виртуальных измерительных приборов (режим «Мнемосхемы») [1].

Целью данной работы является анализ возможности использования указанного стенда для исследования различных электрических элементов электрооборудования (таких как электродвигатели, генераторы, дроссели, трансформаторы, катушки зажигания, конденсаторы) автомобилей и других электрифицированных объектов в целях определения основных параметров и характеристик, исследования зависимостей от релевантных факторов, а также для диагностики и обнаружения возможных неисправностей.

Возможности исследования электротехнических устройств на стенде

Исследования электрических элементов и устройств с помощью представленного стенда обычно проводятся путем измерения параметров этих устройств и их компонентов в разных режимах работы. При этом используются различные модули стенда. Одни из них задают входные воздействия, другие измеряют входные и выходные электрические параметры, третьи обеспечивают индикацию, регистрацию, обработку информации и вычисление необходимых характеристик.

В частности, при лабораторном исследовании основных характеристик учебного трансформатора используется определенный набор штатных модулей стенда: модулей питания, однофазного трансформатора, ввода-вывода, автотрансформатора и входящего в комплект этого стенда компьютера с рабочей программой «DeltaProfi». Модуль ввода-вывода стенда, оснащенный датчиками тока и напряжения, связан информационным каналом связи с компьютером, что позволяет в автоматическом режиме обрабатывать данные, измеренные в ходе экспериментов, строить временные диаграммы, получать рабочие характеристики и другие зависимости как в графическом, так и в табличном виде.

Например, проведя опыт холостого хода с трансформатором можно определить коэффициент трансформации, состояние стали (магнитопровода), коэффициент мощности, а также параметры схемы замещения, используемой для расчетов электрических цепей с трансформатором. Коэффициент трансформации можно определить с достаточной точностью, измерив при холостом ходе (вторичная обмотка разомкнута и тока в ней нет) напряжения на зажимах первичной и вторичной обмоток. Учитывая, что потребляемая электрическая энергия трансформатора в режиме холостого хода расходуется в основном на потери в магнитопроводе, то можно по результатам опыта определить мощность потерь в магнитопроводе, коэффициент мощности

$\cos\varphi_0$, а также параметры упрощенной схемы замещения R_0 и X_0 , изображенной на рис. 2.

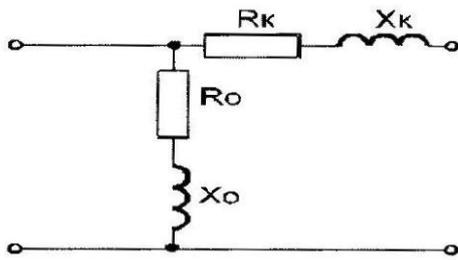


Рис. 2. Упрощенная схема замещения трансформатора

В упрощенной схеме магнитная связь между первичной и вторичной обмотками заменена электрической связью [1]. В этой схеме цепь намагничивания магнитопровода трансформатора представлена элементами R_0 , X_0 , а элементы R_k и X_k схемы моделируют потери мощности в обмотках трансформатора и

являются параметрами короткого замыкания. Используя паспортные данные трансформатора можно по результатам опыта холостого хода также рассчитать номинальный вторичный ток $I_{2н}$ и с учетом коэффициента трансформации – номинальный первичный ток $I_{1н}$.

Для проведения учебного лабораторного исследования трансформатора в комплекте стенда предусмотрен серийный понижающий трансформатор ВВЕІ 481 1119 230 В/12 В. Схема для проведения опыта холостого хода

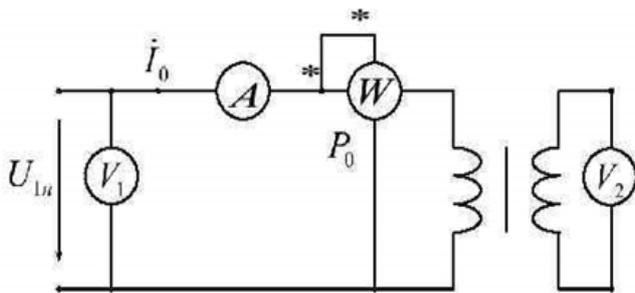


Рис. 3. Электрическая схема опыта холостого хода трансформатора

представлена на рис. 3 [4].

Выполнить по схеме рис. 3 измерение параметров холостого хода учебного трансформатора можно, выполнив на стенде соединения, изображенные на рис. 4 [1].

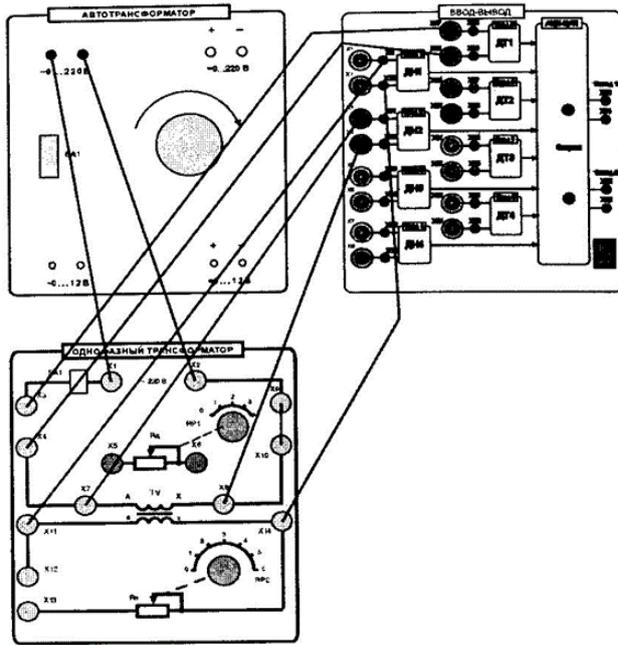


Рис. 4. Соединения на стенде для учебного опыта холостого хода

При этом функцию источника напряжения, подаваемого на первичную обмотку исследуемого трансформатора, будет выполнять автотрансформатор, получающий от модуля питания напряжение 220 В, в качестве испытуемого выступает штатный трансформатор, имеющийся в комплекте модуля «Однофазный трансформатор»,

а функции измерительных устройств, указанных на схеме рис. 3, будут возлагаться на модуль ввода-вывода и компьютер с программой «DeltaProfi», что позволяет наблюдать на мониторе результаты измерений и одновременно результаты вычислений, выполняемых компьютерной программой.

Методика исследования однофазного трансформатора на стенде

В начале проведения опыта холостого хода трансформатора нужно установить ручку автотрансформатора в крайнее левое положение. После этого включить компьютер, запустить программу Delta Profi, выбрать «Электромеханика - Работа № 1. Однофазный трансформатор», выбрать вкладку «Рабочий режим». Запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» на экране или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5 на клавиатуре компьютера/1/. Затем включить питание стенда, автотрансформатора и модуля ввода-вывода штатными выключателями стенда. Плавно увеличивая выходное напряжение автотрансформатора, установить на первичной обмотке испытуемого трансформатора напряжение $U_{1н} = 220$ В. Одновременно можно наблюдать на

мониторе компьютера, входящего в состав стенда, установленное первичное напряжение $U_{1н}$ и вторичное напряжение трансформатора $U_{2н}$, ток холостого хода в первичной обмотке I_0 и вычисленную активную мощность P_0 , потребляемую трансформатором в режиме холостого хода. Вид экрана монитора в этом опыте представлен на рис. 5, пример результатов измерений и вычислений представлен в табл. 1.

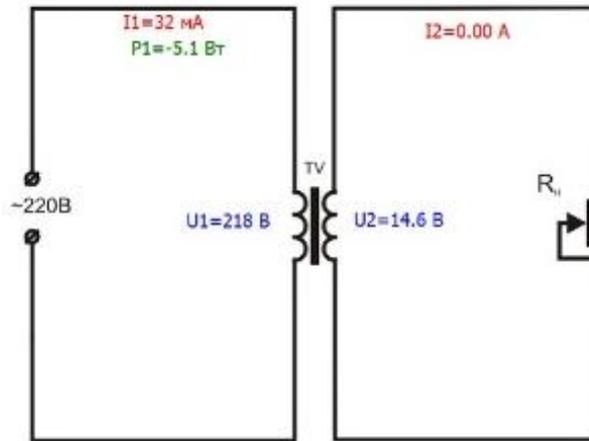


Рис. 5. Вид экрана монитора при проведении опыта холостого хода

Таблица 1

Результаты измерений параметров трансформатора

Измерено в режиме холостого хода				Вычислено						
$U_{1н}$, В	I_0 , А	P_0 , Вт	$U_{2н}$, В	Z_0 , Ом	R_0 , Ом	X_0 , Ом	$\cos\varphi_0$	K_{12}	$I_{2н}$, А	$I_{1н}$, А
221	0,03	2,4	15,0	7367	2667	6867	0,362	14,73	0,33	0,023

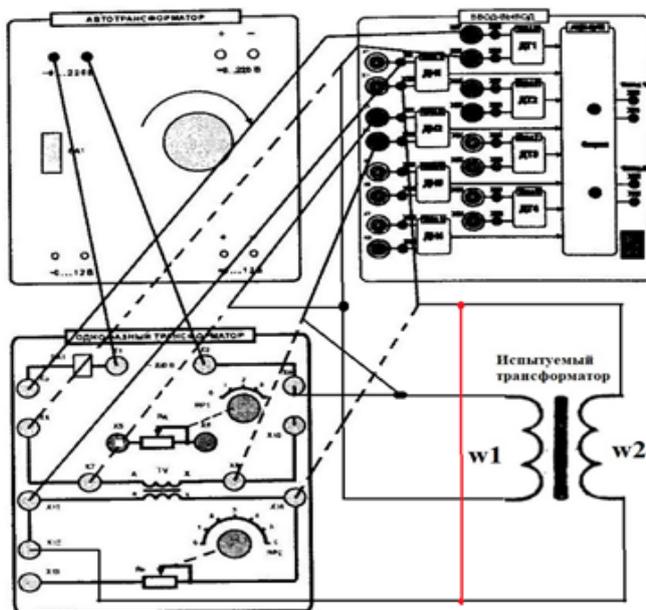
Для завершения опыта холостого хода нужно выключить электропитание, остановить программу нажатием кнопки «Стоп» или командой главного меню «Управление - Стоп» или клавишей F6 на клавиатуре компьютера.

По результатам измерений, наблюдаемым на мониторе и представленным в графе Измерено таблицы 1, можно по известным формулам рассчитать коэффициент трансформации трансформатора K_{12} ,

коэффициент мощности $\cos \varphi_0$, а также два параметра Г-образной схемы замещения трансформатора R_0 и X_0 . Для данных в таблице 1 результаты расчетов этих параметров представлены в графе Вычислено.

Номинальный вторичный ток $I_{2н}$ и номинальный первичный ток $I_{1н}$ можно вычислить по паспортным данным трансформатора с учетом полученного коэффициента трансформации. Эти данные приведены в табл. 1. Вычисленное по данным измерений на стенде значение номинального тока вторичной обмотки $I_{2н}$ может отличаться от паспортного значения. Это обычно связано с определенными допущениями, принятыми для расчетов характеристик трансформаторов. К тому же определенную погрешность вносят измерительные приборы и датчики тока и напряжения модуля ввода-вывода, но их показания можно корректировать с помощью средств настройки программы «DeltaProfi».

Для проведения на стенде опыта холостого хода не с учебным, а с произвольным трансформатором, удовлетворяющем ограничению по



Переключатель для опыта короткого

Рис. 6. Соединения на стенде для исследования произвольного трансформатора в режиме холостого хода и короткого замыкания (с переключателем)

мощности (не более 500 Вт), необходимо собрать схему, изображенную на рис. 6, в которую вместо штатного учебного трансформатора ВВЕ1 481 1119 230 В/12 В, включить произвольный испытуемый трансформатор. На этой схеме часть соединений оставлены прежними, как на схеме опыта со штатным трансформатором (рис. 4), а соединения, подвергнутые изменению, отмечены пунктиром, и добавлены

сплошными линиями новые соединения для выполнения исследования произвольного трансформатора.

В приведенной на рис. 6 схеме роль источника входного напряжения $U_{1н}$ для произвольного испытуемого трансформатора по-прежнему будет выполнять автотрансформатор, модуль «Однофазный трансформатор» будет выполнять роль связующего звена между источником напряжения первичной обмотки и испытуемым трансформатором, функции измерения электрических величин – модуль ввода-вывода, а обработку измеренных данных – программа «Delta Profi». Учебный трансформатор при этом оказывается обесточенным, а напряжение $U_{1н}$ с выхода автотрансформатора будет подано не на учебный трансформатор, как полагается в учебном опыте, а на первичную обмотку произвольного трансформатора.

Выходное напряжение с его вторичной обмотки будет подаваться на датчики модуля ввода-вывода и далее уже информационный сигнал поступит в компьютер для обработки. Такая схема обеспечивает возможность использования всех достоинств компьютеризированного учебного стенда (автоматическая обработка результатов измерения, развитая система защиты и предупредительная звуковая сигнализация) для исследования любого трансформатора, удовлетворяющего указанным выше ограничениям по мощности, что в свою очередь позволяет без особого труда провести опыт холостого хода и получить соответствующие параметры и связанные с ними характеристики произвольного трансформатора.

Использование в качестве источника напряжения $U_{1н}$ автотрансформатора, имеющегося в составе стенда, позволяет за счет плавного регулирования его выходного напряжения расширить область применения описанного способа измерения параметров холостого хода трансформатора на широкий класс трансформаторов с диапазоном входных напряжений до 220 В, используемых в самых разных устройствах. А использование модуля ввода-вывода и компьютера с программой

«DeltaProfi» делает определение основных характеристик трансформатора в режиме холостого хода и поиск неисправностей простым и наглядным.

На стенде ЭТиОЭ-СК можно исследовать трансформатор не только в режиме холостого хода, но и в рабочем режиме при активной и емкостной нагрузках, и в режиме короткого замыкания. Можно также при необходимости построить внешнюю характеристику трансформатора. В частности, по данным, полученным в режиме короткого замыкания, можно получить оценку потерь в меди (на нагревание обмоток трансформатора), параметры двух других элементов Г-образной схемы замещения – R_k и X_k этого трансформатора (активное и реактивное сопротивление), а с ними и полное сопротивление Z_k , а также определить напряжение короткого замыкания.

Электрическая схема цепи для проведения опыта короткого замыкания трансформатора, также хорошо известна и представлена на рис. 7 [5]. Для выполнения такого эксперимента на учебном стенде необходимо собрать

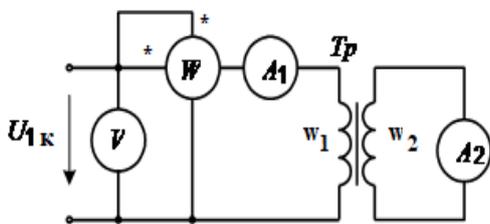


Рис. 7. Электрическая схема опыта короткого замыкания трансформатора

схему соединений, изображенную на рис. 6, используя тот же набор модулей, что и для опыта холостого хода, но включив в нее произвольный испытуемый трансформатор с переключкой, отмеченной красным цветом.

Опыт короткого замыкания

трансформатора проводится при пониженном первичном напряжении, чтобы токи короткого замыкания $I_{1к}$ и $I_{2к}$ обмоток трансформатора не превышали номинальных. Перед проведением опыта короткого замыкания на стенде нужно так же, как в опыте холостого хода, установить ручку регулятора выходного напряжения автотрансформатора в крайнее левое положение, включить питание стенда, автотрансформатора и питание модуля ввода-вывода. После этого запустить программу Delta Profi, выбрать

«Электромеханика – Работа № 1. Однофазный трансформатор», выбрать вкладку «Опыт короткого замыкания». Затем запустить программу в работу, нажатием кнопки «Пуск» или командой главного меню «Управление- Пуск» или горячей клавишей F5 на клавиатуре компьютера.

Плавно увеличивая выходное напряжение автотрансформатора, установить значение тока в первичной цепи трансформатора, соответствующее номинальному первичному току $I_{1н}$, рассчитанному после проведения опыта холостого хода. На мониторе компьютера можно наблюдать установленное первичное напряжение $U_{1к}$, первичный ток $I_{1к}$, вычисленную программой потребляемую в этом режиме активную мощность $P_{1к}$. Для завершения опыта нужно проделать те же действия, что и при завершении опыта холостого хода.

По результатам измерений в опыте короткого замыкания можно вычислить: используемые на практике величину напряжения короткого замыкания в процентах ($u_k\%$) и величину тока аварийного короткого замыкания $I_{к\text{ авар}}$ в процентах от $I_{1н}$, а также, как уже упоминалось, параметры R_k и X_k Г-образной схемы замещения трансформатора.

Если на стенде провести опыты холостого хода и короткого замыкания серийно выпускаемого трансформатора с известными характеристиками, то, сравнивая полученные в опытах параметры с паспортными данными, можно сделать заключение о возможности дальнейшей эксплуатации серийного трансформатора.

Выводы

Используя учебное оборудование – стенд ЭТиОЭ-СК производства челябинского научно-производственного предприятия Учтех-Профи, можно производить измерение характеристик трансформаторов, широко применяемых в электрооборудовании автомобилей, станций технического обслуживания и в устройствах радиоэлектроники, а также проводить более глубокий поиск таких неисправностей трансформаторов, которые не

обнаруживаются простыми измерениями с помощью мультиметров, например, неисправности магнитной системы трансформаторов (магнитопровода) или межвитковый пробой в обмотках.

Возможности рассматриваемого учебного стенда позволяют, помимо описанного в данной статье метода исследования любого трансформатора, измерять коэффициент трансформации и индуктивность обмоток катушек зажигания автомобилей, параметры других комплектующих (электродвигателей, дросселей, конденсаторов и некоторых других).

Опытная эксплуатация стенда показала, с одной стороны, возможность повышения качества учебного процесса за счет использования компьютеризированных методов обучения с использованием АПЛС, с другой стороны, наличие возможности проведения исследований, в том числе научных, широкой номенклатуры электротехнических устройств и их компонентов. Использование учебного компьютеризированного стенда ЭТиОЭ-СК, выпускаемого научно-производственным предприятием «Учтех-Профи» (г. Челябинск), может быть также полезно для организации исследовательской и научной деятельности студентов среднего и высшего образования.

Список источников

1. Бородяню В.Н. Электромеханика: методические указания к проведению лабораторных работ / В.Н. Бородяню. – Челябинск: Учтех-Профи, 2017.
2. Алгоритмы обработки сигналов при комплексном диагностировании автотракторных двигателей многоканальной интегрированной системой / В.Е. Тарасенко, О.Ч. Ролич, О.А. Якубович, А.В. Козлов // Труды НАМИ. – 2021. – № 1(284). – С. 6-15. – DOI 10.51187/0135-3152-2021-1-6-15.
3. Струков, В.О. Оптимизация алгоритма управления автоматическим торможением колёсного транспортного средства / В.О. Струков // Труды НАМИ. – 2021. – № 3(286). – С. 48-57. – DOI 10.51187/0135-3152-2021-3-48-57.
4. URL: https://present5.com/presentation/4319975_135147355/image-16.jpg
5. URL: <https://amperof.ru/wp-content/uploads/2019/08/4-опыт-короткого-замыканиya.jpg>

References

1. Borodyanko V.N. *Elektromekhanika: metodicheskiye ukazaniya k provedeniyu laboratornykh rabot* (Electromechanics: Guidelines for conducting laboratory work), Chelyabinsk, Uchtekh-Profi, 2017.
2. Tarasenko V.E., Rolich O.Ch., Yakubovich O.A., Kozlov A.V. *Trudy NAMI*, 2021, No. 1, pp. 6-15.
3. Strukov V.O. *Trudy NAMI*, 2021, No. 3, pp. 48-57.
4. URL: https://present5.com/presentation/4319975_135147355/image-16.jpg
5. URL: <https://amperof.ru/wp-content/uploads/2019/08/4-opyt-korotkogo-zamykaniya.jpg>

Рецензент: А.Ю. Дунин, д-р техн. наук, доц., МАДИ

Информация об авторах

Ткаченко Вячеслав Яковлевич, канд. техн. наук, доц., Филиал ДИНО государственного университета «Дубна».

Мищенко Николай Афанасьевич, канд. техн. наук, зав. кафедрой, Филиал ДИНО государственного университета «Дубна».

Шабанов Александр Викторович, канд. техн. наук, эксперт, НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ».

Information about the authors

Tkachenko Vyacheslav Ya., Ph.D., associate professor, University "Dubna" – Dmitrov Institute of Continuing Education.

Mishchenkov Nikolay A., Ph.D., Head of the department, University "Dubna" – Dmitrov Institute of Continuing Education.

Shabanov Aleksandr V., Ph.D., expert, State Research Center of the Russian Federation FSUE NAMI.

Статья поступила в редакцию 14.07.2023; одобрена после рецензирования 12.09.2023; принята к публикации 14.09.2023.

The article was submitted 14.07.2023; approved after reviewing 12.09.2023; accepted for publication 14.09.2023.