

# Новые методические возможности изучения частотных и резонансных свойств электрических цепей при использовании учебно-лабораторного комплекса NETELAB

БУРЫЙ Е.В., МАСЛЕННИКОВА С.И.

*Рассмотрены методические возможности использования новых функций учебно-лабораторного комплекса NETELAB для повышения уровня практической подготовки студентов, изучающих основы электротехники. Отмечено, что универсальность комплекса, хороший баланс возможностей проведения измерений и информативности отображаемых результатов являются основой его результативного использования в учебном процессе. Даны оценки экономии учебного времени по отношению ко времени, затрачиваемому на проведение лабораторных работ с применением стандартных измерительных приборов. Отмечено, что автоматическое измерение амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристик, выполняемое в течение 10 с для выбранного диапазона частот гармонического сигнала, наглядно демонстрирует влияние изменения параметров схемы на вид этих характеристик. Обоснованы преимущества использования комплекса NETELAB в учебном процессе: студенты приобретают навыки практической работы с измерительным оборудованием, что невозможно при использовании имитационных программных продуктов, и углубляют знания о свойствах электрических цепей, в том числе явлениях резонанса и частотных свойствах различных звеньев. Представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных студентами на комплексе NETELAB, позволившие оценить корректность неочевидных для них результатов курсовых работ.*

**Ключевые слова:** электротехника, методика преподавания, электрические цепи, резонанс, частотные свойства

Ситуация, сложившаяся в области материально-технического обеспечения лабораторных практикумов учреждений профессионального образования и высших учебных заведений, вызывает беспокойство как преподавателей учебных заведений всех уровней, так и работодателей. Предлагаемые решения по оснащению учебных лабораторий основаны на использовании программных продуктов, весьма успешно имитирующих на экране компьютера работу различных измерительных приборов и стендов. Стоимость таких программных продуктов относительно невысока, что сделало привлекательным их массовое применение в учебных заведениях. Негативная сторона такой массовой имитации стала очевидной: смысл понятия «Я умею это делать» все чаще подменяется совершенно другим – «Я видел, как это делается». У выпускников образовательных учреждений нередко отсутствуют навыки работы с техническими устройствами, простейшими измерительными приборами.

Эти обстоятельства привели к необходимости поиска новых форм организации учебного процесса, обеспечивающих перемещение фокуса деятельности студентов от описания ранее изученных явлений к пониманию их сути. С этой точки зрения лабораторные практикумы являются важным элементом процесса обучения, позволяющим привлечь внимание студентов к поиску источников не-

соответствия результатов анализа моделей идеализированных звеньев и экспериментально полученных оценок параметров электрических цепей, содержащих реальные компоненты. В реализации такой задачи значительна роль технических средств, используемых в учебных лабораториях. Опыт показывает, что оснащение лабораторий современными серийно выпускаемыми измерительными приборами часто не приводит к ожидаемому результату – такие приборы, как правило, многофункциональны и требуют значительного времени для освоения основных режимов их работы. Как следствие познавательный аспект практических работ из предметной области смещается в область изучения особенностей работы измерительной аппаратуры.

Альтернативным решением является использование для проведения лабораторных практикумов специализированного научно-учебного оборудования, в котором реализованы функции, обеспечивающие, с одной стороны, интенсификацию процесса обучения студентов и, с другой стороны, позволяющие студентам самостоятельно выполнять исследования, достаточно сложные в плане организации процесса измерения параметров цепей. При этом значительно возрастают требования к методическому обеспечению выполняемых работ – наряду с закреплением навыков проведения измерений необходимо обеспечить баланс между тем-

пом получения информации и временем ее осмысления. Познав суть проведенного эксперимента, студент становится сознательным участником учебного процесса.

**Учебно-лабораторный комплекс NETELAB.** Комплекс NETELAB [1] предназначен для развития у студентов навыков практической работы с современными измерительными приборами, проведения исследований характеристик электрических цепей и электронных схем. Комплекс создан с учетом многолетнего опыта выполнения лабораторных работ базового курса «Основы электротехники» студентами 2- и 3-го годов обучения на кафедре «Теоретические основы электротехники» МГТУ имени Н.Э. Баумана. Ключевые позиции, которые были сформулированы при разработке концепции построения комплекса и впоследствии реализованы, состоят в следующем.

1. Комплекс представляет собой функционально законченный прибор, работающий автономно, без подключения к компьютеру, и обеспечивает получение оценок параметров сигналов в реальных электрических цепях;

2. В целях унификации оборудования учебного заведения совокупность измерительных приборов, входящих в состав комплекса, обеспечивает выполнение лабораторных работ по направлениям:

электротехника (элементы теории цепей, резонансные явления, переходные процессы, частотные характеристики, длинные линии);

основы электроники (полупроводниковые диоды, стабилитрон, биполярный и полевой транзисторы);

схемотехника (усилительные каскады на биполярных и полевых транзисторах, цепи частотной коррекции и обратной связи, операционные усилители, импульсные устройства);

элементы вычислительной техники (логические элементы, триггеры, счетчики, сумматоры, простейшие конечные автоматы).

3. Конструктивные решения элементов комплекса обеспечивают повышенную износостойкость органов управления и коммутационных элементов.

4. В комплексе реализованы функции ограничения диапазонов регулирования параметров сигналов и блокировки отдельных приборов для проведения лабораторных работ студентами, не имеющими начальных навыков работы с электрическими цепями.

Комплекс (рис. 1) состоит из двух модулей – приборного и измерительного. Приборный модуль (рис. 2) содержит устройства индикации и органы управления, а измерительный модуль (рис. 3) – разъемы для подключения к исследуемой электрической цепи источников напряжения, генераторов и измерительных приборов. На корпусе измери-



Рис. 1. Учебно-лабораторный комплекс NETELAB

тельного модуля устанавливается сменное монтажное поле, к разъемам которого подключены выводы элементов, используемых для монтажа электрических цепей. Для соединения элементов, подключения источников напряжения, генераторов и измерительных приборов используются гибкие соединительные провода с наконечниками.

Основные отличительные особенности комплекса:

**универсальность:** на базе одной платформы обеспечивается изучение таких дисциплин, как «Электричество и магнетизм», «Основы электротехники», «Электрические машины», «Полупроводниковые приборы», «Основы электроники», «Логические элементы и схемы ЭВМ»;

**реализм:** органы управления и способы отображения результатов соответствуют эргономике современных измерительных приборов;

**информативность:** возможность одновременного наблюдения семейств изучаемых характеристик, полученных при различных условиях, позволяет учащимся глубже понять суть изучаемых процессов и явлений;

**интерактивность:** впервые преподаватель имеет возможность объективно оценить активность каждого ученика и корректировать его действия;

**автономность и комплексирование:** каждое рабочее место функционирует автономно. Вместе с тем, рабочие места могут быть объединены локальной вычислительной сетью и подключены к компьютеру преподавателя. В этой конфигурации реализуется режим дистанционного обучения.

**Эффективность применения комплекса NETELAB при проведении лабораторных работ по курсу «Электротехника».** Оценка эффективности применения комплекса осуществлялась путем сравнения объема экспериментальных исследований и качества экспериментальных данных, полученных студентами при использовании набора стандартных приборов (генераторов, вольтметров, двухканального сервис-

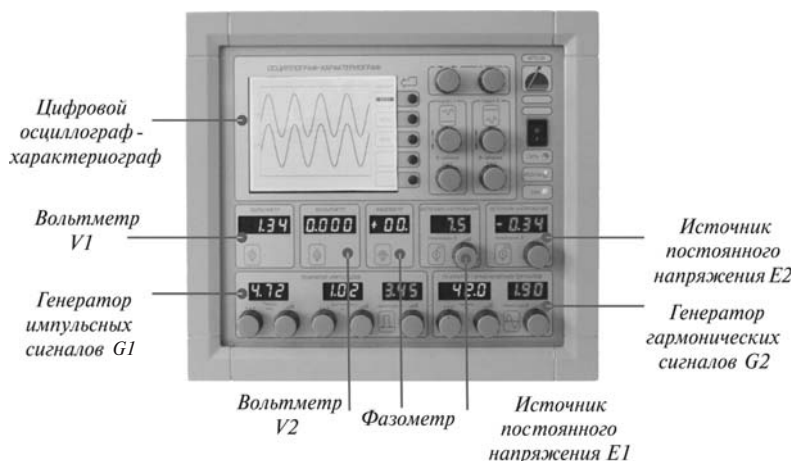


Рис. 2. Приборный модуль комплекса NETELAB

ного осциллографа), и при использовании средств комплекса NETELAB. Выполнение студентами младших курсов лабораторных работ с применением стандартных измерительных приборов приводит к неоправданно большим затратам времени на ознакомление со спецификой их использования. Так, отсутствие навыков использования режима синхронизации в сервисном осциллографе, произвольное использование режимов «открытый вход» или «закрытый вход», неправильный выбор параметров развертки часто приводит к ошибкам при получении экспериментальных данных. Использование сервисных цифровых осциллографов нередко приводило к большим потерям времени в результате активизации параметров развитого меню управления режимами обработки сигнала.

Применение в учебном процессе приборного комплекса, в котором приборы имеют полноценные органы управления без избыточной функциональности, позволяет быстро сформировать у студентов устойчивые навыки управления такими приборами – определения параметров осциллограмм, установки необходимых параметров гармонических колебаний и импульсных сигналов – и



Рис. 3. Измерительный модуль комплекса NETELAB с установленным монтажным полем, обеспечивающим выполнение четырех базовых лабораторных работ по курсу ТОЭ

переключить основное внимание на оценку получаемых результатов. В целом экономия времени оценивается нами в пределах от 20 до 25% по отношению к времени, затрачиваемому на проведение лабораторных работ с применением стандартных измерительных приборов.

Эффективность лабораторных работ [2–5] существенно повышает новые функциональные возможности комплекса – построение функциональных зависимостей  $U(f)$  и  $U(E)$ . Такие измерения до настоящего времени практически не проводились аппаратными средствами учебно-научного оборудования (исключение составляет, пожалуй, только комплект оборудования UniTrain-1 фирмы

«Lucas-Nülle», Германия).

Цифровой двухканальный осциллограф-характериограф комплекса NETELAB обеспечивает визуализацию формы сигналов  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$ , подаваемых на входы измерительных каналов 1 и 2 соответственно, или при работе в режиме характериографа – визуализацию зависимостей  $U_1(f_{G2})$  и  $Dj(f_{G2})$ . При работе комплекса в этом режиме может быть выбран один из двух диапазонов изменения частоты  $f_{G2}$  генератора гармонических сигналов – от 0,1 до 10 кГц или от 1 до 100 кГц. Принцип формирования зависимостей  $U_1(f_{G2})$  и  $Dj(f_{G2})$  иллюстрирует рис. 4 [6].

В альтернативном режиме работы характериографа автоматически регистрируются и визуализируются зависимости  $U_1(U_{E1})$  и  $U_2(U_{E2})$ , которые могут быть эффективно использованы при изучении свойств различных материалов сердечников трансформаторов.

**Изучение частотных и резонансных свойств электрических цепей с использованием функциональных возможностей комплекса NETELAB.** Формирование отсчетов  $U_1(f_{G2})$  и  $Dj(f_{G2})$  в одном из выбранных диапазонов изменения частоты генератора гармонических сигналов выполняется в течение 10 с. С целью сохранения внимания студентов к получаемым в процессе измерений результатам отсчеты на экране осциллографа-характериографа отображаются в реальном масштабе времени. Для упрощения анализа результатов область экрана, расположенная ниже графика  $U_1(f_{G2})$ , заштрихована, а зависимость  $Dj(f_{G2})$  отображается сплошной кривой. Отсчеты  $Dj(f_{G2})$  не визуализируются, если автоматически оцениваемая погрешность измерения разности фаз превышает 2% из-за мало-



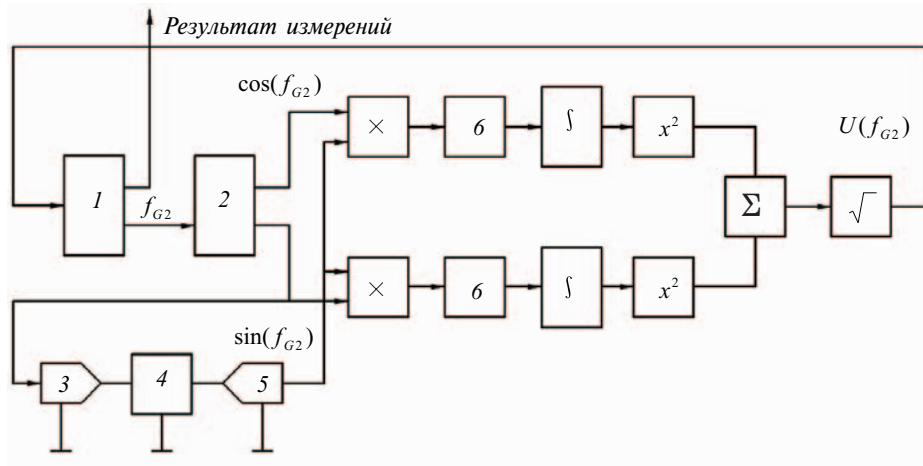


Рис. 4. Функциональная схема модуля регистрации зависимости в осциллографе-характериографе комплекса NETELAB: 1 – устройство управления; 2 – управляемый синтезатор частот; 3 – цифроаналоговый преобразователь; 4 – исследуемая цепь; 5 – аналого-цифровой преобразователь; 6 – модуль понижения частоты дискретизации обрабатываемого сигнала (прореживающий цифровой фильтр)

го значения амплитуды входного сигнала. Если ее значение велико и изображение  $U_1(f_{G2})$  может быть искажено, на экран выводится сообщение «Велика амплитуда сигнала».

На рис. 5 представлены результаты, полученные с помощью осциллографа-характериографа при исследовании амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных (ФЧХ) характеристик  $RL$ -звена. В течение нескольких минут студенты, изменяя сопротивление  $R$  переменного резистора, наблюдают изменения АЧХ и ФЧХ звена на множестве реализа-

ций и, как следствие, хорошо усваивают изучаемый материал.

Функциональные возможности комплекса NETELAB позволяют экспериментально наблюдать:

факт существенного изменения добротности последовательного колебательного контура при малом изменении резонансной частоты в случаях использования комбинаций элементов  $L-C$  и  $2L-C/2$  (рис. 6);

факт уменьшения частоты резонанса при уменьшении сопротивления нагрузки контура;

факт уменьшения амплитуды импульсов на выходе  $RL$ -звена при исследовании переходных процессов за счет наличия сопротивления катушки индуктивности.

Кроме того, с погрешностью менее 5% удастся определять:

отличие отсчетов ФЧХ  $RL$ -звена в области малых (около 200 Гц) частот от теоретически предсказанной из-за наличия внутреннего сопротивления катушки индуктивности;

частоту резонанса колебательного контура;

значение критического сопротивления при исследовании переходных процессов в  $RLC$ -цепи, а также с погрешностью не более 10% опреде-

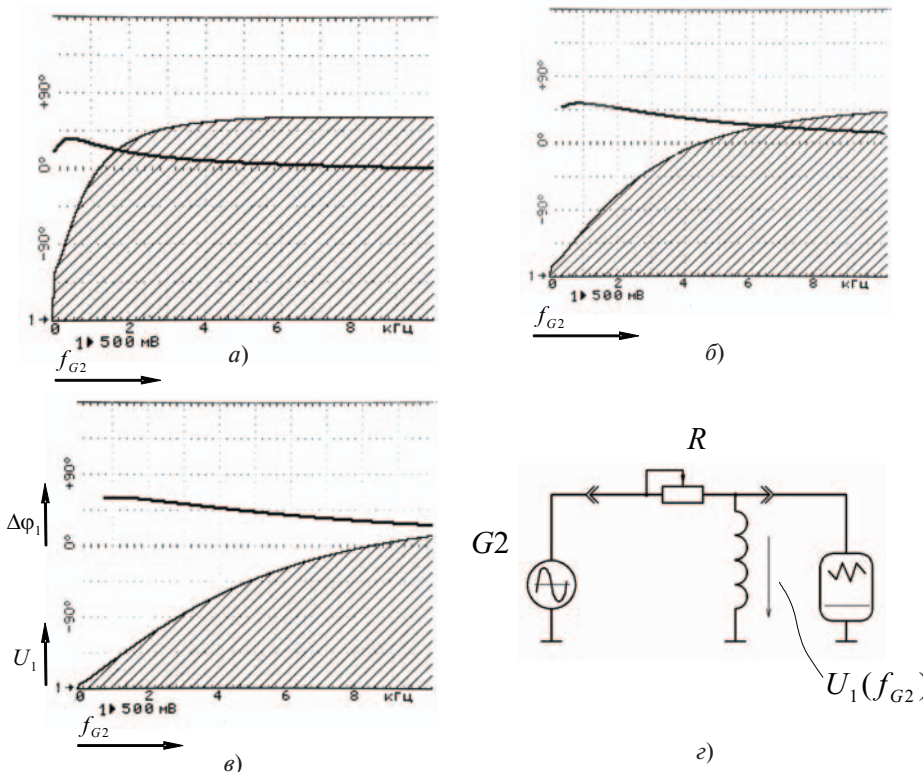


Рис. 5. Изображения (а–д), формируемые на экране осциллографа-характериографа при исследовании АЧХ и ФЧХ  $RL$ -звена (е)

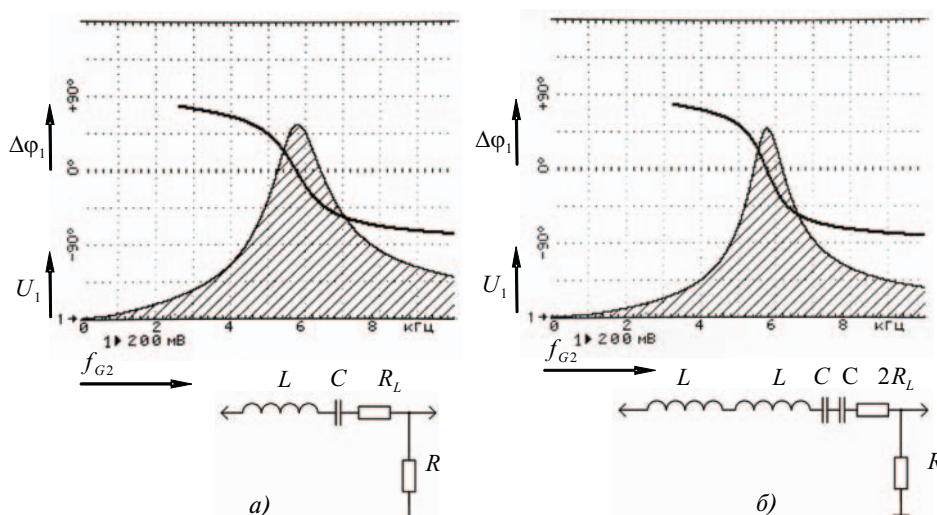


Рис. 6. Изображения, формируемые на экране осциллографа-характериографа при исследовании резонансных характеристик последовательных колебательных контуров  $L-C-(R+RL)$  (а) и  $2L-C/2-(R+2RL)$  (б) в диапазоне частот от 0,1 до 10 кГц

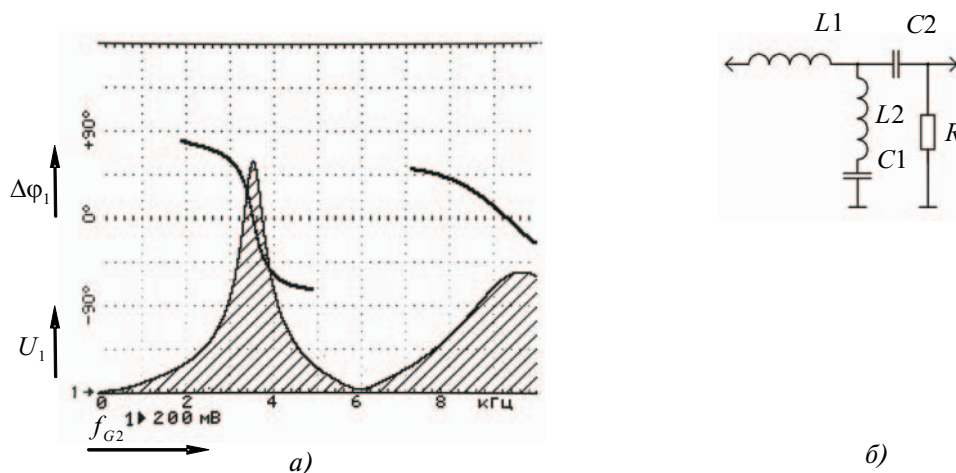


Рис. 7. АЧХ и ФЧХ (а) нагруженного Т-образного фильтра (б):  $L1 = 34,3$  мГн;  $RL1 = 59$  Ом;  $L2 = 33,6$  мГн;  $RL2 = 60$  Ом;  $C1 = C2 = 0,021$  мкФ;  $R = 200$  Ом

лять значения постоянных времени переходных процессов.

Возможности комплекса позволяют эффективно использовать его для оценки корректности результатов, полученных студентами при выполнении курсовых работ, особенно в тех случаях, когда эти результаты для них не очевидны (рис. 7).

**Заключение.** Опыт применения учебно-лабораторного комплекса NETELAB, выпускаемого ООО «Ингениум» ([www.ingeni.org](http://www.ingeni.org)), показал, что за счет комплексирования измерительных средств удается существенно интенсифицировать процесс исследования свойств электрических цепей.

Принципиально новые возможности комплекса – регистрация АЧХ и ФЧХ исследуемых цепей – позволяют существенно повысить уровень практической подготовки студентов за счет интенсификации учебного процесса и реализации возможности наглядной демонстрации влияния изменения параметров схемы на вид АЧХ и ФЧХ. Это позволило

заметно развить изучение явлений резонанса и частотных свойств электрических цепей.

Также весьма перспективным представляется использование режима регистрации активности студентов для контроля эффективности учебного процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сумин С.Л., Шлеменков А.Л., Ударов И.Ю., Бурый Е.В. NETELAB – Лабораторный комплекс приборов для исследования характеристик электрических цепей и электронных схем. – Все для образования, 2011, № 2, с. 8.
2. Аракчев П.В., Безделов В.Л., Бурый Е.В., Назаров В.В. Приобретение навыков работы с цифровыми измерительными приборами. Методические указания к проведению лабораторных работ на измерительном комплексе NETELAB. Электронное учебное издание. ФГУП «Информрегистр» № 0321203873, 2012 г. – на 1 CD-ROM.
3. Бурый Е.В., Енин В.Н., Куспак К.М., Назаров В.В. Исследование частотных характеристик электрических цепей. Методические указания к проведению лабораторных работ на измерительном комплексе NETELAB. Электронное учебное издание. ФГУП «Информрегистр» № 0321203870, 2012 г. – на 1 CD-ROM.

4. Бурый Е.В., Масленникова С.И., Шерстняков Ю.Г. Исследование резонансных явлений в линейных электрических цепях. Методические указания к проведению лабораторных работ на измерительном комплексе NETELAB. Электронное учебное издание. ФГУП «Информрегистр» № 0321203871, 2012 г. — на 1 CD-ROM.

5. Бурый Е.В., Масленникова С.И., Шерстняков Ю.Г. Переходные процессы в линейных электрических цепях. Методические указания к проведению лабораторных работ на измерительном комплексе NETELAB. Электронное учебное издание. ФГУП «Информрегистр» № 0321203872, 2012 г. — на 1 CD-ROM.

6. Arakceev P.V., Maryanina A.S. An application experience of NETELAB laboratory educational equipment set in practical works for «Electrical engineering» course of study. — Journal of International Scientific Publication, 2011, vol. 9, part 2, pp. 226 — 233.

[30,01.14]

## New Methodical Possibilities for Studying Articles and Resonance Properties of Electric Circuits in Using the NETELAB Education-and-Laboratory System

E. V. BURYI and S. I. MASLENNIKOVA

*The methodical possibilities of using the new functions available in the NETELAB education and laboratory system for enhancing the practical training level of students studying the principles of electrical engineering are considered. It is pointed out that the versatility of the system and good balance between the possibilities of carrying out measurements and content of information in the displayed results are the basis of its fruitful use in the education process.*

*Key words: electrical engineering, education methodology, electric circuits, resonance, frequency properties*

### REFERENCES

1. Sumin S.L., Shlemenkov A.L., Udarov I.Yu., Buryi E.V. *Vse dlya obrazovaniya (All's for education)*, 2011, № 2, p. 8.

2. Arakcheyev P.V., Bezdelov V.L., Buryi E.V. *Priobretenie navykov raboty s tsifrovymi izmeritel'nymi priborami. Metodicheskie ukazaniya k provedeniyu laboratornykh rabot na izmeritel'nom komplekse NETELAB. Elektronnoe uchebnoe izdanie. FGUP «Informregistr» № 0321203873, 2012. — na 1 CD-ROM (Acquiring Skills of Work with Digital Measurement Instruments. Methodical Guidelines on Carrying out Laboratory Works on the NETELAB Measurement System. An Electronic Handbook. Informregistr, on a CD-ROM).*

3. Buryi E.V., Enin V.N., Kuspakov K.M., Nazarov V.V. *Issledovanie chastotnykh kharakteristic elektricheskikh tsepei. Metodicheskie ukazaniya k provedeniyu laboratornykh rabot na izmeritel'nom komplekse NETELAB. Elektronnoe uchebnoe izdanie. FGUP «Informregistr» № 0321203873, 2012. — na 1 CD-ROM (Studying the Frequency Characteristics of Electric Circuits. Methodical Guidelines on Carrying out Laboratory Works on the NETELAB Measurement System. An Electronic Handbook. Informregistr, on a CD-ROM).*

*Авторы: Бурый Евгений Владленович окончил факультет «Приборостроение» Московского высшего технического училища им. Н.Э. Баумана (МВТУ) в 1986 г. В 2004 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана защитил докторскую диссертацию «Определение параметров поверхностей и распознавание объектов в импульсной лазерной локации». Руководитель Лаборатории лазерных информационных систем МГТУ им. Н.Э. Баумана.*

*Масленникова Светлана Ивановна окончила факультет «Машиностроение» МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1960 г. В 1967 г. в МВТУ им. Н.Э. Баумана защитила кандидатскую диссертацию Зам. заведующего кафедрой «Теоретические основы электротехники» МГТУ им. Н.Э. Баумана.*

4. Buryi E.V., Maslennikova S.I., Sherstnyakov Yu.G. *Issledovanie rezonansnykh yavlenii v lineinykh elektricheskikh tsepyakh. Metodicheskie ukazaniya k provedeniyu laboratornykh rabot na izmeritel'nom komplekse NETELAB. Elektronnoe uchebnoe izdanie. FGUP «Informregistr» № 0321203873, 2012. — na 1 CD-ROM (Studying Resonance Phenomena in Linear Electric Circuits. Methodical Guidelines on Carrying out Laboratory Works on the NETELAB Measurement System. An Electronic Handbook. Informregistr, on a CD-ROM).*

5. Buryi E.V., Maslennikova S.I., Sherstnyakov Yu.G. *Perekhodnye protsessy v ineinykh elektricheskikh tsepyakh. Metodicheskie ukazaniya k provedeniyu laboratornykh rabot na izmeritel'nom komplekse NETELAB. Elektronnoe uchebnoe izdanie. FGUP «Informregistr» № 0321203873, 2012. — na 1 CD-ROM (Transients in Linear Electric Circuits. Methodical Guidelines on Carrying out Laboratory Works on the NETELAB Measurement System. An Electronic Handbook. Informregistr, on a CD-ROM).*

6. Arakceev P.V., Maryanina A.S. An application experience of NETELAB Laboratory educational equipment set in practical works for «Electrical engineering» course of study. — Journal of International Scientific Publication, 2011, vol. 9, part 2, pp. 226—233.

*Author: Buryi Evgenii Vladlenovich graduated from the Department «Instrument-making» of the N.E. Bauman MGTU in 1986. In 2004 he received the degree of Doctor Techn. Sci. from the N.E. Bauman MGTU. He is Head of the Lazer information systems Laboratory at the N.E. Bauman MGTU.*

*Maslennikova Svetlana Ivanovna graduated from the Department «Machinery construction» of the N.E. Bauman MGTU in 1960. In 1967 she received the degree of Cand. Techn. Sci. from the N.E. Bauman MGTU. She is Deputy Head of the Department «Electrical engineering and industrial electronics» at the N.E. Bauman MGTU.*

