

А.М. Зимин, С.Е. Кривицкий, В.И. Тройнов

**Лабораторный практикум по курсу
«Управление в плазменных установках»**

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по университетскому политехническому
образованию в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки 16.04.02
«Высокотехнологические плазменные и энергетические установки
(уровень магистратуры)»*



Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана
2 0 1 5

УДК 533.9:004
ББК 22.333
3-62

Издание доступно в электронном виде на портале *ebooks.bmstu.ru*
по адресу: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/101/book1335.html>

Факультет «Энергомашиностроение»
Кафедра «Плазменные энергетические установки»

Рецензенты:

канд. техн. наук *Ю.Н. Жигулевцев*

канд. техн. наук *В.Б. Пясецкий*

Зимин, А. М.

3-62 Лабораторный практикум по курсу «Управление в плазменных установках» : учебное пособие / А. М. Зимин, С. Е. Кривицкий, В. И. Тройнов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 91, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4277-5

Настоящее учебное пособие является руководством к проведению лабораторного практикума по различным разделам дисциплины «Управление в плазменных установках». Приведены краткие теоретические положения, описание используемой аппаратуры и методические материалы, необходимые для выполнения лабораторных работ.

Для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки «Высокотехнологичные плазменные и энергетические установки».

УДК 533.9:004
ББК 22.333

ISBN 978-5-7038-4277-5

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015

Предисловие

В учебном пособии изложены методические материалы для проведения лабораторных работ, связанных с регистрацией параметров плазмы, цифровой обработкой полученных сигналов, а также с организацией управляющих систем с обратными связями.

Рассмотрены критерии оценки начального уровня подготовки студентов и уровня освоения учебного материала, изложенного в настоящем пособии (как теоретического, так и практического). По ряду лабораторных работ приведены вопросы для самоконтроля, а в цикле лабораторных работ с удаленным доступом к экспериментальному оборудованию описаны подсистемы обучения и контроля знаний, размещенные на круглосуточном сайте. При этом обязательной для выполнения является только одна лабораторная работа, а остальные — факультативные — имеют повышенный уровень сложности и могут быть не только выполнены в рамках расширенного практикума, но и включены в качестве раздела в курсовую научно-исследовательскую работу или дипломный проект.

Учебное пособие содержит четыре раздела.

Раздел 1 посвящен лабораторным работам, в ходе выполнения которых исследуются различные типы устройств сопряжения экспериментальной установки с ЭВМ. В разделе 2 представлена лабораторная работа по цифровой обработке сигналов. Раздел 3 посвящен лабораторным работам на автоматизированных диагностических спектральных комплексах с удаленным доступом. В разделе 4 рассмотрены системы с обратными связями и, в частности, приводится описание лабораторной работы по системе управления динамическим вакуумом, важной для большинства плазменных установок.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность доценту О.С. Козлову за неоценимую помощь в создании лабораторного практикума по цифровой обработке сигналов, а также по управлению динамическим вакуумом в камере плазменной установки с использованием программного комплекса «МВТУ».

Введение

Плазменные устройства находят все более широкое применение как в научных исследованиях, так и в различных промышленных установках. Эти устройства имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при создании систем автоматического регулирования или прецизионной стабилизации параметров в силу специфического поведения исследуемой высокотемпературной среды [1, 2].

Плазма как четвертое состояние вещества имеет очень широкие диапазоны изменения параметров. Ее температура может составлять $10^4 \dots 10^8$ К, концентрация заряженных частиц $10^{16} \dots 10^{25}$ м⁻³ и более, степень ионизации $10^{-3} \dots 1$. Такие значения очень сложно измерить (для этого необходим набор экспериментальных методов исследования параметров плазмы, рассчитанных на различные условия), а используемые способы диагностики, как правило, являются бесконтактными, чтобы исключить влияние на протекающие в плазме процессы. При измерении параметров плазмы для надежного регулирования процессов необходимо обеспечить высокую точность регистрации.

Характерное время изменения процессов в плазме составляет от наносекунд до десятых долей секунды, поэтому для создания систем регулирования параметров плазменных устройств необходимы очень мощные исполнительные устройства, чтобы повлиять на изменение процессов в нужном направлении или обеспечить их стабилизацию.

Дисциплину «Управление в плазменных установках» будущие специалисты и магистры изучают в заключительном семестре аудиторных занятий. К этому времени студенты должны быть хорошо знакомы как с теоретическими положениями в области физики плазмы, так и с методами конструирования плазменных систем различного назначения. В связи с этим перед проведением большинства лабораторных работ (за исключением автоматизи-

рованного лабораторного практикума с удаленным доступом — ОСТ 9.2–98) входной контроль знаний студентов как отдельный элемент сценария не предусматривается.

Ряд теоретических положений по необходимым разделам высшей математики, основам информационных технологий, общему курсу управления техническими системами был изложен на младших курсах без приложения к плазменной технике, а часть сведений, необходимых для системного проектирования плазменных энергетических установок (например, преобразование Фурье, цифровая обработка сигналов, сопряжение ЭВМ с экспериментальной установкой), практически отсутствовала в предыдущих курсах. Между тем в настоящее время ни одна плазменная установка промышленного назначения не может длительно и надежно функционировать без эффективных систем управления. Дисциплина «Управление в плазменных установках» в определенном смысле является обобщающей и содержит ряд специфичных разделов, изучение которых должно быть подкреплено объемным лабораторным практикумом. Следует также отметить, что в связи с созданием крупных уникальных плазменных мегаустановок и комплексов (большой адронный коллайдер, экспериментальный термоядерный реактор ИТЭР и др.) и появлением соответствующих международных организаций для обеспечения их функционирования большую роль приобретают методы удаленного управления сложными техническими системами через глобальную сеть.

Лабораторный практикум по одному из разделов дисциплины «Управление в плазменных установках» целиком основан на технологии удаленного проведения экспериментов и использовании не только систем сбора информации, но и каналов управления диагностической аппаратурой. Очень важно, что студенты могут заранее ознакомиться с электронным методическим пособием, содержащим достаточное для выполнения практикума описание основ теории, используемой аппаратуры и методик измерений. Эти материалы опубликованы на круглосуточном сайте автоматизированных лабораторных практикумов МГТУ им. Н.Э. Баумана (<http://lud.bmstu.ru>), где содержатся также демоверсии соответствующих лабораторных работ. Сценарии их выполнения включают обязательный входной контроль знаний, просмотр преподавателем протокола выполнения учебных экспериментов и сделан-

ных студентом выводов о работе, проставление итоговой оценки. Эти действия полностью автоматизированы, а условия выполнения опытов, их результаты, итоги входного и выходного контроля сохраняются в базе данных и доступны преподавателю и студенту в течение рабочего времени на любой неделе семестра.

Цель настоящего издания — подготовить студентов к выполнению лабораторного практикума и получению необходимых практических навыков. Для этого обучающимся предоставляются краткие теоретические сведения по специфичным разделам дисциплины «Управление в плазменных установках», приводится описание аппаратуры, методик эксперимента, этапов проведения работ, что является основой для последующего самостоятельного создания и отработки подсистем управления на современной элементной и компьютерной базе с использованием новейших технологий.

1. ПРАКТИКУМ ПО УСТРОЙСТВАМ СОПРЯЖЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ЭВМ

Общие положения

Чтобы автоматизировать плазменную установку, необходимы специальные технические средства — управляющая ЭВМ, связанная со стендом посредством устройства сопряжения с объектом, различные датчики и исполнительные механизмы, модули преобразования и согласования сигналов и т. п. (рис. О1) [3–7].

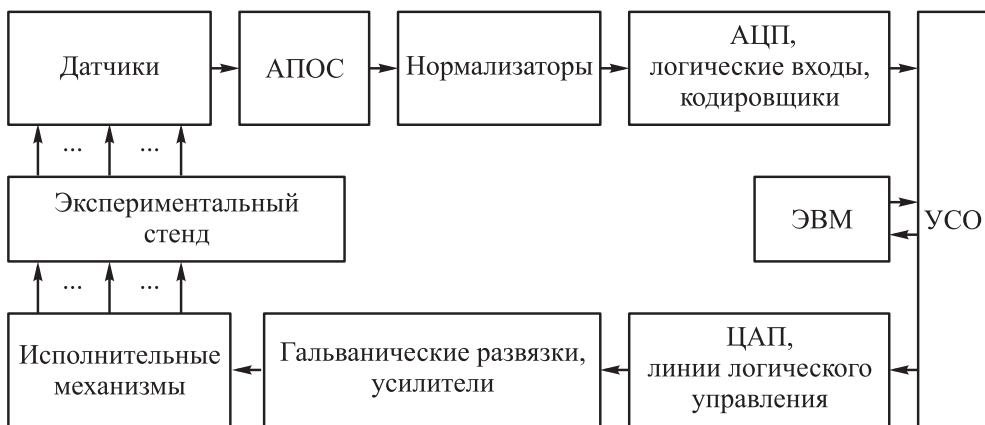


Рис. О1. Функциональная схема организации связей экспериментальной установки с ЭВМ:

АПОС — аппаратура предварительной обработки сигналов; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ЦАП — цифроаналоговый преобразователь; УСО — устройство сопряжения с объектом

Состояние подсистем стенда, как правило, характеризуется аналоговыми сигналами с датчиков, которые поступают на аппаратуру предварительной обработки сигналов, обеспечивающую предварительное усиление, фильтрацию и при необходимости гальваническое отделение каналов дальнейшей обработки от входных цепей. Следующими элементами линии передачи сигналов являются нор-

Содержание

Предисловие	3
Введение	4
1. Практикум по устройствам сопряжения экспериментальной установки с ЭВМ	7
Общие положения	7
Лабораторная работа № 1.1. Магистрально-модульная система сопряжения экспериментальной установки с ЭВМ	9
Лабораторная работа № 1.2. Платы сопряжения ЦАП–АЦП для ПЭВМ	20
2. Практикум по цифровой обработке сигналов	31
Общие положения	31
Лабораторная работа № 2.1. Применение цифровой обработки сигналов	32
3. Автоматизированный лабораторный практикум по диагностике плазмы с удаленным доступом	46
Общие положения	46
Лабораторная работа № 3.1. Техника и практика спектрометрии...	48
Лабораторная работа № 3.2. Качественный анализ спектра источника излучения	63
Лабораторная работа № 3.3. Определение электронной температуры плазмы ртутного разряда	64
Лабораторная работа № 3.4. Определение электронной температуры плазмы исследуемого источника излучения	64
4. Практикум по системам с обратными связями	65
Общие положения	65
Лабораторная работа № 4.1. Система управления динамическим вакуумом в камере плазменной установки	65
Заключение	70
Литература	71
Приложение 1. Описание используемых в лабораторных работах внешних устройств сопряжения с объектом фирмы L-CARD	73
Приложение 2. Методические материалы к автоматизированному лабораторному практикуму с удаленным доступом повышенной сложности	82