



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра инженерной
кибернетики

ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 5В070200

Алматы 2015

СОСТАВИТЕЛЬ: Б.А.Чернов. Линейные системы автоматического регулирования. Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В070200. – Алматы: НАО АУЭС, 2015. – 27 с.

В методических указаниях приведено описание лабораторных работ, предназначенных для формирования навыков экспериментального исследования реальных линейных систем автоматического регулирования (САР).

Даны краткие теоретические сведения о статическом режиме, регулировочных и внешних статических характеристиках САР и автоматизации их измерений, принципе компенсации, статических и астатических САР.

Приведены описание и функционально-принципиальные схемы лабораторного оборудования. Методические указания содержат также методики проводимых исследований, обработки опытных данных и анализа полученных результатов, а также контрольные вопросы и перечень рекомендуемой учебной и справочной литературы.

Ил. 6, табл. 1, библиогр. – 17 назв.

Рецензент: доцент Куликов А.А

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2015 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2015 г.

Содержание

Предисловие	4
1 Лабораторная работа № 1. Разомкнутые и замкнутые САР	6
1.1 Описание применяемого оборудования	6
1.2 Краткие теоретические сведения. Статический режим САР	11
1.3 Рабочее задание	11
1.4 Порядок и методика выполнения лабораторной работы	12
1.5 Результаты работы и содержание отчета	13
1.6 Контрольные вопросы	13
2 Лабораторная работа № 2. Автоматизированное исследование статического режима САР	13
2.1 Краткие теоретические сведения. Автоматизация измерений	14
2.2 Рабочее задание	15
2.3 Порядок и методика выполнения лабораторной работы	16
2.4 Результаты работы и содержание отчета	16
2.5 Контрольные вопросы	16
3 Лабораторная работа № 3. САР с компенсацией возмущений	17
3.1 Краткие теоретические сведения. Принцип компенсации	18
3.2 Рабочее задание	18
3.3 Порядок и методика выполнения лабораторной работы	19
3.4 Результаты работы и содержание отчета	20
3.5 Контрольные вопросы	20
4 Лабораторная работа № 4. Статические и астатические САР	20
4.1 Краткие теоретические сведения	21
4.2 Рабочее задание	23
4.3 Порядок и методика выполнения лабораторной работы	23
4.4 Результаты работы и содержание отчета	24
4.5 Контрольные вопросы	24
Перечень сокращений	25
Список литературы	26

Предисловие

В теории автоматического управления (ТАУ) рассматриваются методы исследования и построения систем управления в технике [1–15]. Если система управления функционирует без непосредственного участия человека, то она называется *системой автоматического управления* (САУ).

В простых случаях САУ называют *системой автоматического регулирования* (САР). Задача регулирования является частью сложной и разносторонней задачи управления и заключается в поддержании выходных величин объекта равными (или пропорциональными) некоторым эталонным функциям времени – *задающим воздействиям*.

Выпускники специальности 5В070200 – Автоматизация и управление должны уметь анализировать и разрабатывать линейные САР для различных технологических объектов и процессов. Существенную помощь в приобретении навыков по анализу и синтезу таких систем, помимо лекционных и практических занятий, оказывает лабораторный практикум [4, 10]. Данные методические указания являются продолжением [16].

Лабораторные работы могут выполняться фронтально на нескольких имеющихся на кафедре «Инженерная кибернетика» однотипных учебных стендах «Многоконтурные САУ», в которых установлены промышленные импульсные регуляторы и исполнительные механизмы, а также широко распространенные в современных САР [1- 5] электронные устройства на интегральных операционных усилителях (рисунок 1). Каждый стенд оснащен многоканальным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и персональным компьютером (ПК) со специальным программным обеспечением (ПО), позволяющими измерять и регистрировать одновременно несколько сигналов, а также одновременно строить несколько графиков их функциональных зависимостей как в статике, так и в динамике.

До дня проведения лабораторной работы студенты должны к ней подготовиться: прочитать ее описание, выполнить расчетное задание, обработать экспериментальные данные предыдущей работы. Вся без исключения учебная и справочная литература, приведенная в конце данных методических указаний, имеется в библиотеке университета.

Отчеты по лабораторным работам излагаются и оформляются в соответствии с требованиями фирменного стандарта [17] Алматинского университета энергетики и связи. Данные отчеты должны обязательно содержать выводы, в которых анализируются проведенные эксперименты, сравниваются полученные данные с теоретическими расчетами, отмечается познавательная ценность полученных результатов для усвоения учебного материала. Для облегчения анализа и сравнения между собой полученных функциональных зависимостей следует в одной системе координат строить несколько диаграмм (семейство характеристик). Отчеты по лабораторным работам должны быть защищены студентами.

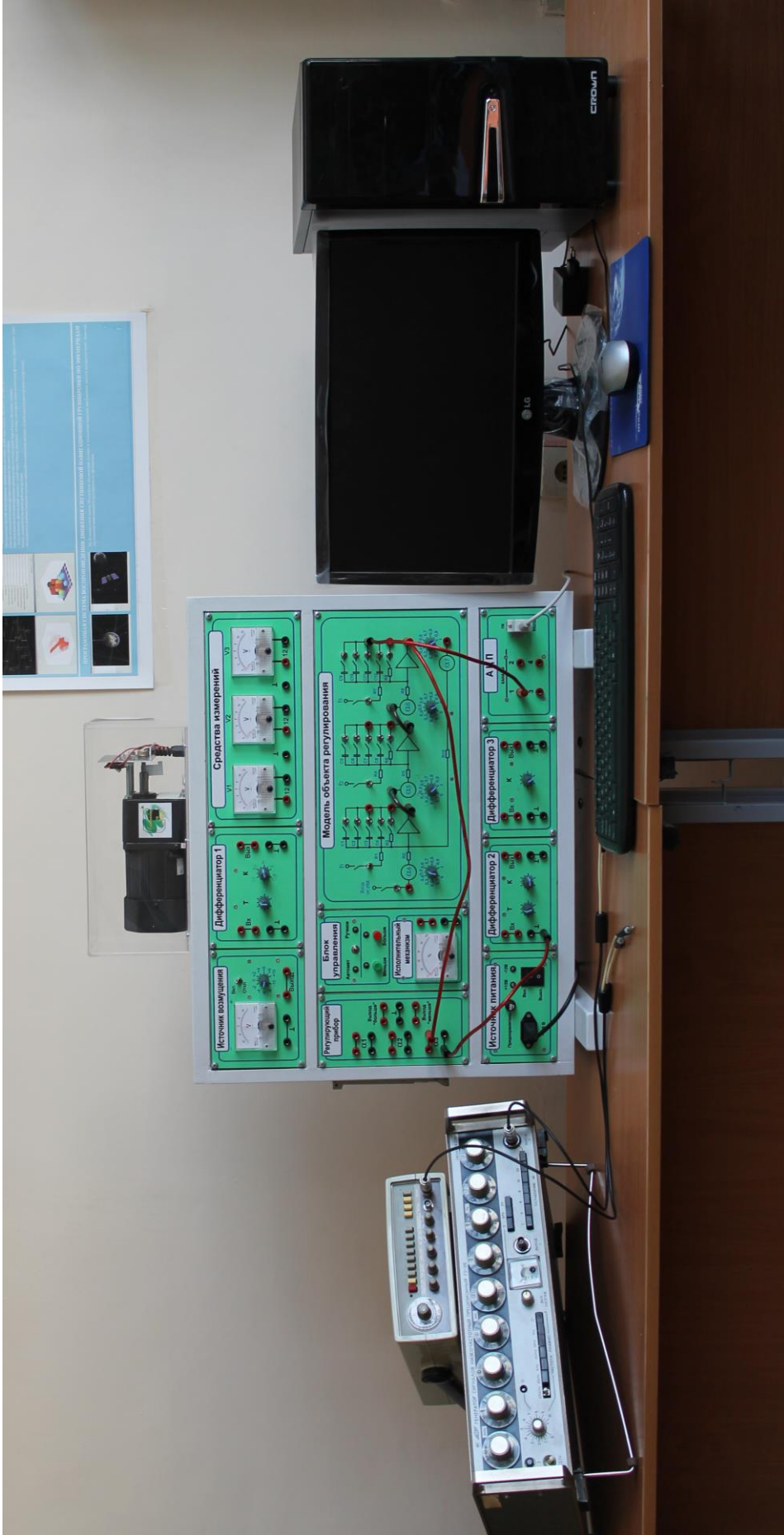


Рисунок 1 – Внешний вид комплекта учебного оборудования

1 Лабораторная работа № 1. Разомкнутые и замкнутые САР

Цель работы: изучение особенностей разомкнутых и замкнутых систем регулирования путем экспериментального исследования их регулировочных и внешних статических характеристик (СХ).

1.1 Описание применяемого оборудования

Лабораторная работа выполняется на стенде «Многоконтурные САУ» (рисунок 2). Рядом со стендом располагается персональный компьютер для проведения в автоматизированном режиме измерений и обработки результатов измерений, а также переносные осциллографы типа С1- 83, С1-107 и генераторы типа DEGEM SYSTEM-141В1, ГЗ-110.

1.1.1 Настольный стенд «Многоконтурные САУ».

В стенде «Многоконтурные САУ» установлены (рисунок 3):

- регулируемый стабилизированный двухполярный источник (ИВ) напряжения $U_{ИВ}$ с встроенным стрелочным вольтметром;
- выполненная на интегральных операционных усилителях $У1...У3$ электронная модель САР;
- блок управления (БУ) с пусковой аппаратурой;
- реверсивный исполнительный механизм (ИМ) постоянной скорости в виде однофазного электродвигателя переменного тока с редуктором;
- указатель положения (УП) вала ИМ;
- регулирующий орган (РО) в виде переменного резистора и управляемого источника напряжения $U_{ИМ}$;
- вольтметры $V1$ и $V2$;
- четырехканальный АЦП и настольный ПК со специальным программным обеспечением, позволяющие измерять и регистрировать одновременно четыре сигнала с построением графиков их функциональных зависимостей.

АЦП предназначен для оцифровки аналоговых сигналов, снимаемых с выбранных точек стенда. ИВ выполняет функцию источника возмущающего воздействия. Отмеченная цепь устройств БУ, ИМ, РО и УП используется для получения дополнительного регулируемого стабилизированного двухполярного напряжения $U_{ИМ}$ в качестве задающего воздействия. На элементах $У1$ и $У2$, $У3$ модели построены соответственно регулятор и объект регулирования (ОР).

В стенде применены операционные усилители в виде интегральных микросхем LM358М.

Стенд представляет собой ряд закрепленных на общей раме модулей, образующих единое *наборно-коммутационное поле* и имеющих постоянные внутренние электрические соединения между собой. Необходимые для выполнения рабочего задания схемы собираются на наборно-коммутационном поле с помощью операционных усилителей, делителей напряжения (потенци-

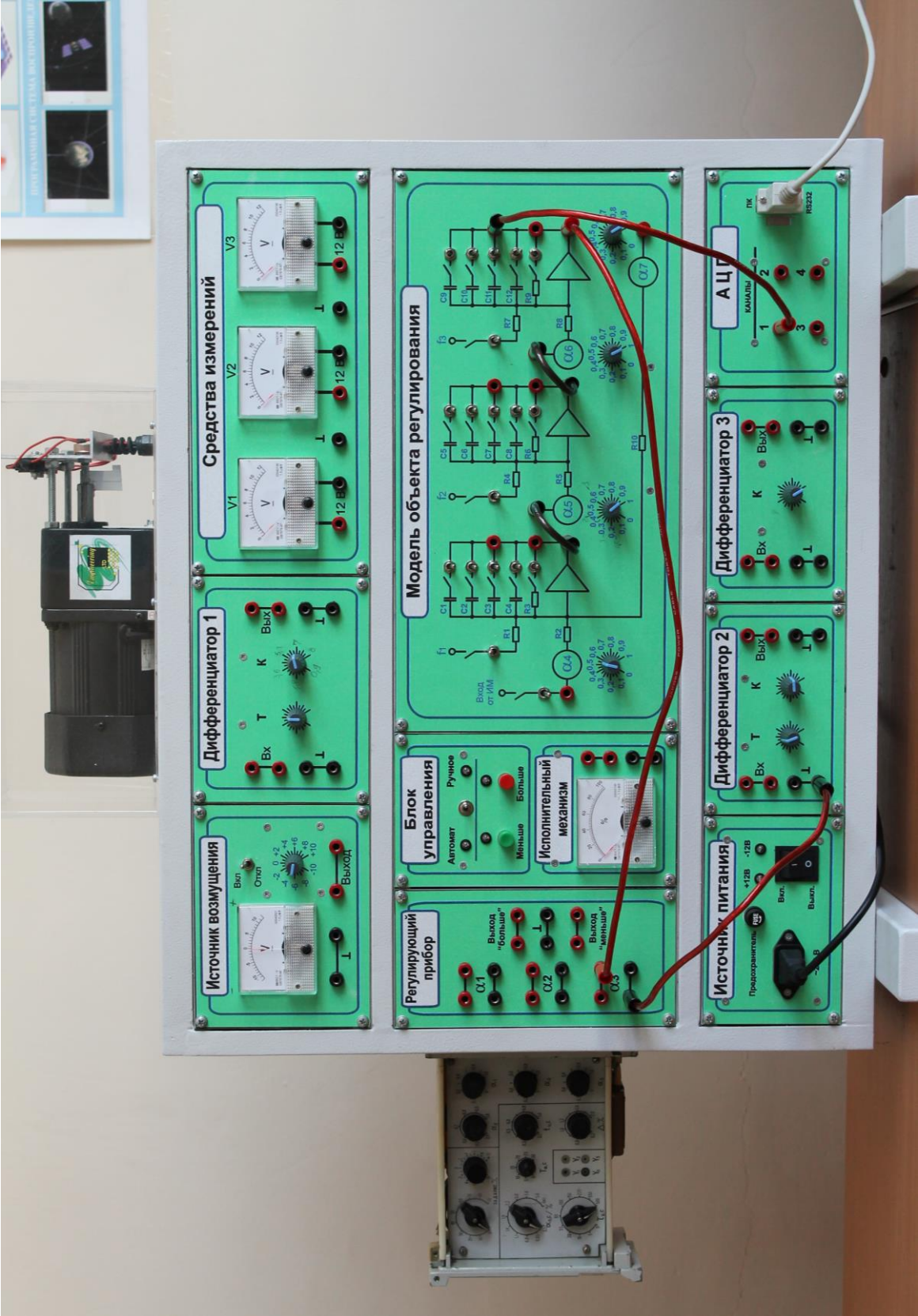


Рисунок 2 – Настольный стенд «Многоконтурные САУ»

ометров) $\alpha_4 \dots \alpha_7$, резисторов $R_1 \dots R_9$, конденсаторов $C_1 \dots C_{12}$, тумблеров и специальных гибких электрических проводников разной длины и разного цвета, называемых *коммутационными шнурами*. Коммутационные шнуры имеют на своих концах штекеры (однополюсные вилки), которые вставляются в гнезда наборно-коммутационного поля. Электрические схемы модулей стенда имеют «общую точку», поэтому для соединения соответствующих входа и выхода достаточно одного коммутационного шнура.

Сборку электрических цепей необходимо проводить только при отключенном источнике питания. При этом коммутационные шнуры нужно подбирать по длине и располагать аккуратно, избегая их переплетения, провисания и натяжения.

Верхнее положение ручек тумблеров стенда соответствует их включенному состоянию. Коэффициенты передачи потенциометров $\alpha_4 \dots \alpha_7$ регулируются с помощью установочных ручек в пределах $0 \dots 1$.

Стрелочный вольтметр модуля «Источник возмущения» (ИВ) имеет нуль посередине шкалы. Расположение стрелки справа (слева) от нуля соответствует положительному (отрицательному) напряжению $U_{ИВ}$.

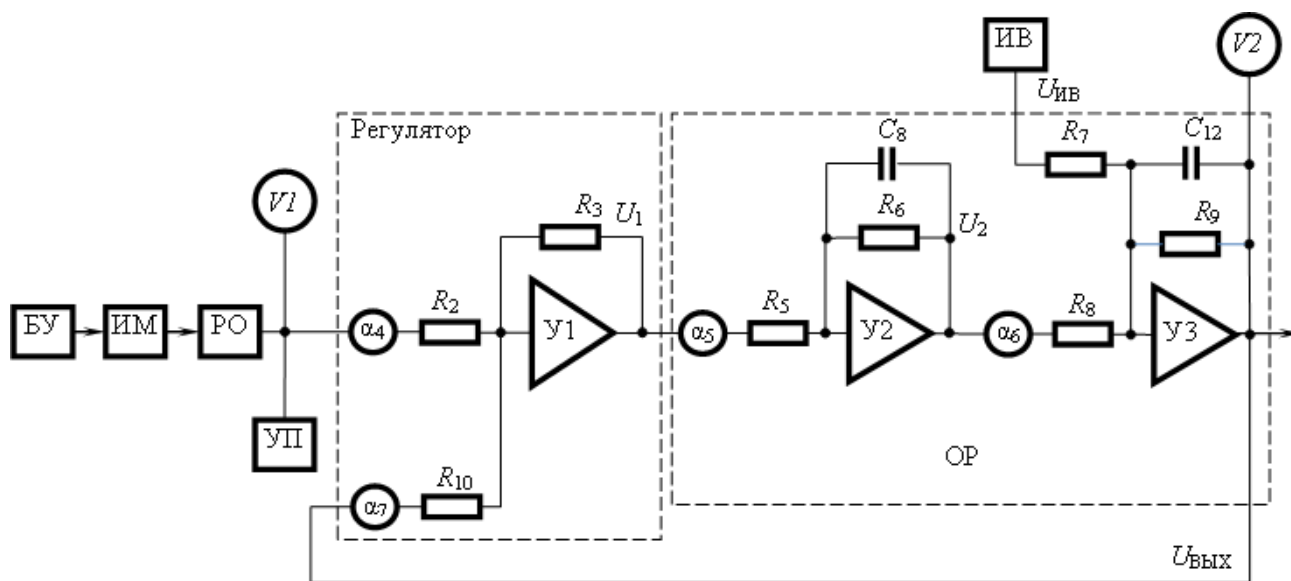


Рисунок 3 - Функционально-принципиальная схема лабораторной установки

Для удобства коммутации выход каждого операционного усилителя повторен (размножен) три раза. Применяемые усилители имеют один вход (инвертирующий).

Измерение и регистрация сравнительно высокочастотных и импульсных сигналов могут производиться с помощью сервисного двухканального осциллографа типа С1- 83 или портативного осциллографа-мультиметра типа

C1-107, оснащенных *осциллографическими пробниками* стандартной конструкции.

Резисторы и конденсаторы модели САР имеют следующие номинальные значения:

$$R_1 = R_3 = R_6 = R_7 = R_9 = R_{10} = 1 \text{ Мом}; \quad R_2 = R_4 = R_5 = R_8 = 200 \text{ кОм};$$

$$C_1 = C_5 = C_9 = 4,7 \text{ мкФ}; \quad C_2 = C_6 = C_{10} = 1 \text{ мкФ};$$

$$C_3 = C_7 = C_{11} = 0,47 \text{ мкФ}; \quad C_4 = C_8 = C_{12} = 0,22 \text{ мкФ}.$$

Исходя из данных значений сопротивлений R резисторов и емкостей C конденсаторов, в передаточных функциях узлов модели САР можно получить значения постоянных времени $T = RC$, указанные в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

№	Комбинация $C_{1...4}$ конденсаторов	Комбинация $C_{5...8}$ конденсаторов	Комбинация $C_{9...12}$ конденсаторов	$T = RC$, с
1	C_4	C_8	C_{12}	0,22
2	C_3	C_7	C_{11}	0,47
3	$C_3 + C_4$	$C_7 + C_8$	$C_{11} + C_{12}$	0,69
4	C_2	C_6	C_{10}	1,0
5	$C_2 + C_4$	$C_6 + C_8$	$C_{10} + C_{12}$	1,22
6	$C_2 + C_3$	$C_6 + C_7$	$C_{10} + C_{11}$	1,47
7	$C_2 + C_3 + C_4$	$C_6 + C_7 + C_8$	$C_{10} + C_{11} + C_{12}$	1,69
8	C_1	C_5	C_9	4,7
9	$C_1 + C_4$	$C_5 + C_8$	$C_9 + C_{12}$	4,99
10	$C_1 + C_3$	$C_5 + C_7$	$C_9 + C_{11}$	5,17
11	$C_1 + C_3 + C_4$	$C_5 + C_7 + C_8$	$C_9 + C_{11} + C_{12}$	5,39
12	$C_1 + C_2$	$C_5 + C_6$	$C_9 + C_{10}$	5,7
13	$C_1 + C_2 + C_4$	$C_5 + C_6 + C_8$	$C_9 + C_{10} + C_{12}$	5,92
14	$C_1 + C_2 + C_3$	$C_5 + C_6 + C_7$	$C_9 + C_{10} + C_{11}$	6,17
15	$C_1 + C_2 + C_3 + C_4$	$C_5 + C_6 + C_7 + C_8$	$C_9 + C_{10} + C_{11} + C_{12}$	6,39

1.1.2 Специальное программное обеспечение. Руководство оператора программы «Многоконтурные САУ».

Названное программное обеспечение (ПО) предназначено для визуализации цифровой и графической информации, получаемой со стенда.

1.1.2.1 Запуск ПО осуществляется двойным щелчком «мыши» по ярлыку «САР» на рабочем столе. Также ПО может запускаться из меню Windows – Пуск > Программы > Chip Engineering > САР. После запуска ПО выводит окно, содержащее рабочую область с панелью главного меню, с диаграммами процессов и с панелью состояния. Панель главного меню содержит разделы «Файл», «Измерение» и «Вид графика».

Соединение ПО со стендом осуществляется через СОМ-порт. Для подключения необходимо выбрать пункт «Соединить» раздела «Измерение»

главного меню. После успешного соединения ПО на графиках отобразятся сигналы, полученные со стенда.

Для отключения ПО от стенда необходимо выбрать пункт «Разъединить» раздела «Измерение» главного меню. После разъединения на панели состояния появится надпись «отключено», а данные на графиках перестанут обновляться.

1.1.2.2 Изменить настройки ПО можно, выделив пункт «Настройка» раздела «Измерение» главного меню. На экране появится форма настройки ПО с закладками «Порт», «Графики», «Канал 1», «Канал 2», «Канал 3» и «Канал 4», позволяющая вносить изменения в настройки только графиков. Настройки порта и каналов индивидуально адаптированы к конкретному стенду и его АЦП. Поэтому *настройки порта и каналов изменению не подлежат.*

Перейти к настройке графиков можно щелчком левой кнопки «мыши» по закладке «Графики». После нажатия кнопки активируется соответствующая закладка с настройками графиков. Данная закладка позволяет установить минимальные и максимальные значения графиков (диапазоны измерений диаграмм процессов) по оси Y, а также задать число измерений по оси X. Параметр «Время между измерениями» выбирается из выпадающего списка предлагаемых возможных значений и означает время между двумя соседними измерениями АЦП (величина, обратная частоте дискретизации АЦП). Чем больше число измерений и время между измерениями, тем меньше «скорость диаграммы».

Изменения будут внесены только после нажатия кнопки «ОК». Кнопка «Отмена» закрывает форму настроек без сохранения изменений.

Для увеличения графиков щелкните два раза по области определенного графика и она развернется на весь экран.

1.1.2.3 Имеется возможность отображения измеряемых значений не только как функций времени, но и значений «Канал 1» как функции значений «Канал 2», а также значений «Канал 3» как функции значений «Канал 4» - так называемый режим отображения «X-Y».

Для вывода графика для просмотра в режиме «X-Y» нужно выбрать в меню «Вид графика» желаемый график для отображения, щелкнув по соответствующему пункту меню левой кнопкой «мыши». После этого будет выведено окно, в котором диапазоны и масштабы осей X и Y соответствуют настройкам диапазонов и масштабов выбранных каналов в основном окне ПО.

Для одновременного вывода и второго графика для просмотра в режиме «X-Y», нужно сначала передвинуть окно первого графика с центра экрана монитора на его периферию для освобождения места для окна второго графика, а затем повторить действия, аналогичные выводу первого графика.

1.1.2.4 Программа позволяет сделать снимок сигналов, поступающих со стенда. В отдельном файле измерений будут сохранены данные, отображаемые на графиках в момент сохранения. Открыть файл можно, выбрав пункт «Открыть» раздела «Файл» главного меню. После открытия файла на графиках отобразятся сигналы, сохраненные во время предыдущих измерений.

Для сохранения файла измерений необходимо выбрать пункт «Сохранить» раздела «Файл» главного меню. После нажатия пункта «Сохранить» на экране появится форма сохранения файла. Укажите имя файла, в котором будут сохранены измерения, и нажмите кнопку «Сохранить». Теперь данные измерений, отображаемые на графиках, можно посмотреть в Microsoft Excel.

Откройте сохраненный файл в программе Microsoft Excel. В верхней строке формата Excel указано число измерений на графике. В левом столбце указан номер измерения. Далее следуют столбцы Ch1- Ch4, которые соответствуют каналам 1 - 4.

1.2 Краткие теоретические сведения. Статический режим САР

Как всякая динамическая система, САР может находиться в одном из двух режимов – *стационарном* (установившемся) и *переходном*. Стационарный режим может быть двух типов: *статический* и *динамический*.

В статическом режиме, при котором все внешние воздействия и параметры системы не меняются, качество управления характеризуется *точностью*.

В зависимости от характера изменения задающего и возмущающего воздействий различают регулировочные и внешние статические характеристики.

Регулировочная статическая характеристика определяет изменение значения выходной величины при изменении величины задающего воздействия и при постоянном возмущающем воздействии. *Внешняя* статическая характеристика определяет изменение значения выходной величины при изменении величины возмущающего воздействия и при постоянном задающем воздействии.

Статическая ошибка при отработке возмущающего воздействия количественно может быть охарактеризована экспериментально снятой внешней СХ $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИВ}})$ и оценена отношением взаимообусловленных приращений по формуле:

$$C_{\Sigma} = \Delta U_{\text{ВЫХ}} / \Delta U_{\text{ИВ}}. \quad (1)$$

Расчетным путем данная ошибка может быть получена путем вычисления коэффициента передачи между $U_{\text{ВЫХ}}$ и $U_{\text{ИВ}}$

$$C_P = R_9 / [R_7(1 + K_{\text{РАЗ}})], \quad K_{\text{РАЗ}} = \alpha_5 \alpha_6 \alpha_7 R_3 R_6 R_9 / (R_5 R_8 R_{10}), \quad (2)$$

где $K_{\text{РАЗ}}$ - коэффициент усиления САР по разомкнутой цепи.

1.3 Рабочее задание

1.3.1 Ознакомиться с конструкцией, техническим описанием и программным обеспечением стенда «Многоконтурные САУ» (подраздел 1.1).

1.3.2 Собрать, опробовать и настроить разомкнутую систему регулирования. Снять и графически построить ее регулировочную СХ $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИМ}})$ для ряда значений возмущающего воздействия $U_{\text{ИВ}}$.

1.3.3 Снять и графически построить внешнюю СХ $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИВ}})$ разомкнутой системы регулирования для ряда значений задающего воздействия $U_{\text{ИМ}}$.

1.3.4 Собрать, опробовать и настроить замкнутую систему - САР. Снять и графически построить ее регулировочную СХ $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИМ}})$ для ряда значений возмущающего воздействия $U_{\text{ИВ}}$ и коэффициента усиления $K_{\text{РАЗ}}$. Изменение $K_{\text{РАЗ}}$ достигается поворотом ручки потенциометра α_4 .

1.3.5 Снять и графически построить внешнюю СХ $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИВ}})$ САР для ряда значений задающего воздействия $U_{\text{ИМ}}$ и коэффициента усиления $K_{\text{РАЗ}}$.

1.3.6 На основании проведенных экспериментов по формуле (1) определить коэффициенты передачи C_{Σ} между выходной величиной $U_{\text{ВЫХ}}$ и возмущением $U_{\text{ИВ}}$ в разомкнутой и замкнутой системах для различных значений коэффициента усиления $K_{\text{РАЗ}}$.

1.3.7 Составить структурные схемы разомкнутой и замкнутой систем регулирования. Для них по формулам (2) определить коэффициент передачи $C_{\text{Р}}$ между выходной величиной $U_{\text{ВЫХ}}$ и возмущением $U_{\text{ИВ}}$ для различных значений коэффициента усиления $K_{\text{РАЗ}}$.

1.3.8 Сравнить результаты расчетов в пунктах 1.3.6 и 1.3.7.

1.4 Порядок и методика выполнения лабораторной работы

1.4.1 Собрать схему лабораторной установки для исследования разомкнутой системы регулирования (рисунок 3). Установить $\alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 0,25$; $\alpha_7 = 0$. Входы первого, второго, третьего и четвертого каналов АЦП могут быть соединены с выходами соответственно ИМ, U_1 , U_2 и U_3 для контроля линейного режима работы этих устройств и недопущения их насыщения, а также для измерения и регистрации сигналов $U_{\text{ИМ}}$, U_1 , U_2 и $U_{\text{ВЫХ}}$ на экране монитора ПК.

1.4.2 Подать питание 220 В на стенд и ПК. Запустить программу визуализации и регистрации измеряемых сигналов по п. 1.1.2. Включить ИВ.

1.4.3 Выставить напряжение $U_{\text{ИВ}} = 0$. Изменяя напряжение $U_{\text{ИМ}}$, снять и графически построить СХ $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИМ}})$. Изменение $U_{\text{ИМ}}$ производится с помощью кнопок «Больше» и «Меньше» в режиме «Ручное» БУ в диапазоне от -10 до $+10$ В. Но надо иметь в виду, что при изменении полярности сигналов $U_{\text{ИМ}}$ и $U_{\text{ВЫХ}}$ необходимо менять местами проводники на гнездах вольтметров V_1 и V_2 .

1.4.4 Повторить п. 1.4.3 при иных значениях $U_{\text{ИВ}}$, например, -3 и $+3$ В.

1.4.5 С помощью кнопок «Больше» и «Меньше» выставить напряжение $U_{\text{ИМ}} = 0$. Изменяя напряжение $U_{\text{ИВ}}$ в диапазоне от -10 до $+10$ В, снять и графически построить СХ $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИВ}})$.

1.4.6 Повторить п. 1.4.5 при иных значениях $U_{\text{ИМ}}$, например, -3 и $+3$ В.

1.4.7 Установить $\alpha_7 = 1$. Повторить пункты 1.4.3...1.4.6.

1.4.8 Установить $\alpha_6 = 1$ и повторить пункт 1.4.7.

1.5 Результаты работы и содержание отчета

Оформить в соответствии с [17] подробный отчет с вычерчиванием собранных схем, таблиц и графиков полученных СХ, с обязательным выполнением пунктов 1.3.6...1.3.8 рабочего задания и написанием выводов.

1.6 Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки разомкнутых систем регулирования.
2. Достоинства и недостатки замкнутых систем регулирования.
3. Понятие СХ, ее применимость и экспериментальное определение.
4. Понятие регулировочной характеристики САР, ее применимость и экспериментальное определение.
5. Понятие внешней характеристики САР, ее применимость и экспериментальное определение.
6. Понятие статической ошибки САР, ее применимость и экспериментальное определение.
7. Аналитически получить формулы (2).
8. Передаточные функции замкнутой САР.
9. Принцип обратной связи.
10. Принцип программного управления.

2 Лабораторная работа № 2. Автоматизированное исследование статического режима САР

Цель работы: приобретение навыков автоматизации экспериментального исследования регулировочных характеристик САР.

Оборудование (рисунок 4), установленное в настольном стенде «Многоконтурные САУ»:

- регулируемый стабилизированный двухполярный источник (ИВ) напряжения $U_{ИВ}$ с встроенным стрелочным вольтметром;
- выполненная на интегральных операционных усилителях $У1...У3$ электронная модель САР;
- блок управления (БУ) с пусковой аппаратурой;
- реверсивный исполнительный механизм (ИМ) постоянной скорости в виде однофазного электродвигателя переменного тока с редуктором;
- указатель положения (УП) вала ИМ;
- регулирующий орган (РО) в виде переменного резистора и управляемого источника напряжения $U_{ИМ}$;
- четырехканальный АЦП и настольный ПК со специальным программным обеспечением, позволяющие измерять и регистрировать одновременно четыре сигнала с построением графиков их функциональных зависимостей.

АЦП предназначен для оцифровки аналоговых сигналов, снимаемых с выбранных точек стенда. ИВ выполняет функцию источника возмущающего воздействия. Отмеченная цепь устройств БУ, ИМ, РО и УП используется для получения дополнительного регулируемого стабилизированного двухполярного напряжения $U_{ИМ}$ в качестве задающего воздействия. На элементах У1 и У2, У3 модели построены соответственно регулятор и объект регулирования (ОР).

Более подробное описание оборудования приведено в подразделе 1.1.

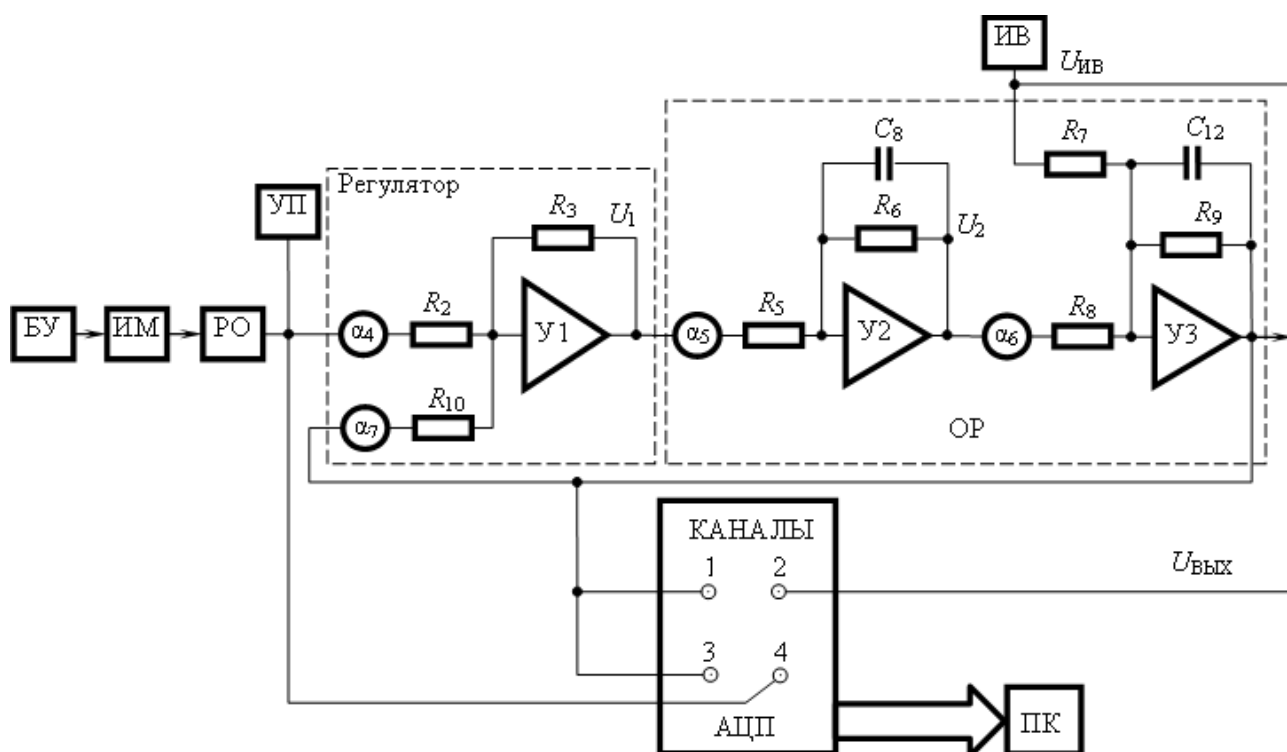


Рисунок 4 - Функционально-принципиальная схема лабораторной установки для автоматизированного исследования САР

2.1 Краткие теоретические сведения. Автоматизация измерений

Проблема автоматизации измерений была актуальной на протяжении многих лет и остается таковой в настоящее время. Наиболее активный этап развития автоматизации измерений, начавшийся в 1970-е годы, связан с успехами в микроэлектронике, интенсивным внедрением цифровых средств измерения и радиоэлектронной аппаратуры, микропроцессоров и микроЭВМ. По степени участия человека в процессе автоматизации принято различать *частичную* и *полную автоматизацию*. При частичной автоматизации, т. е. в автоматизированных системах, только часть измерительных операций выполняется без участия оператора. При полной автоматизации, т. е. в автоматических системах, весь процесс измерения осуществляется без участия человека.

Основные направления автоматизации измерений связаны с необходимостью за ограниченное время одновременно измерять, регистрировать значительное число параметров и перерабатывать большие потоки информации. Успешное решение этих задач во многом зависит от взаимосвязанного развития таких научных направлений, как информатика, измерительная и вычислительная техника, автоматизация производственных процессов, новых технологий и др.

Автоматизация методов и средств измерений, процессов управления, хранения и анализа данных привела к созданию магистрально-модульных измерительно-вычислительных систем на основе компьютера.

Одним из достижений измерительной техники является использование в приборах встроенных микропроцессоров для управления, вычислений по определенному алгоритму.

Аналоговые приборы вытесняются многофункциональными цифровыми приборами, выполненными по современной интегральной технологии. Кроме визуальной индикации измерительной информации, цифровые приборы имеют выход на ПК и принтер, тем самым расширяется непрерывный контроль параметров систем с регистрацией контролируемых значений и сигнализацией при выходе за пределы нормы.

Наличие микропроцессоров дает возможность полностью автоматизировать работу цифровых приборов, что повышает эффективность экспериментального исследования многих процессов и одновременно облегчает процесс измерения.

Разнообразие задач, решаемых с помощью средств измерительной техники, влечет за собой разработку разных по структуре и назначению измерительных систем от простейших до сложных структур, где ПК используют не только для обработки информации, но и для управления. Развитие этих систем позволяет получать измерительную, контролирующую, диагностическую информацию за ограниченное время и при минимальном участии человека.

Сегодня экономически выгодны и настольные системы, построенные на малогабаритных компьютерах. Пользователь ПК создает гибкие многофункциональные настольные системы с возможностью подключения к сети.

2.2 Рабочее задание

2.2.1 Ознакомиться с конструкцией, техническим описанием и программным обеспечением стенда «Многоконтурные САУ» (подраздел 1.1).

2.2.2 Собрать, опробовать и настроить автоматизированную установку для исследования САР. Получить и зарегистрировать графики ее регулировочных характеристик $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИМ}})$ на экране монитора ПК при различных значениях возмущающего воздействия $U_{\text{ИВ}}$ и коэффициента усиления $K_{\text{РАЗ}}$ (подраздел 1.2).

2.2.3 На основании проведенных экспериментов по формуле (1) определить коэффициенты передачи между выходной величиной $U_{\text{ВЫХ}}$ и возмущением $U_{\text{ИВ}}$.

2.2.4 Сравнить между собой результаты расчетов в пункте 2.2.3 с аналогичными расчетами в пункте 1.3.8.

2.3 Порядок и методика выполнения лабораторной работы

2.3.1 Собрать схему автоматизированной установки для исследования САР (рисунок 4). Установить $\alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 0,25$; $\alpha_7 = 1$.

2.3.2 Подать питание 220 В на стенд и ПК. Запустить программу визуализации и регистрации измеряемых сигналов по п. 1.1.2. Включить ИВ.

2.3.3 Выставить напряжение $U_{\text{ИВ}} = 0$. Создавая с помощью кнопок «Больше» и «Меньше» в режиме «Ручное» БУ сигнал $U_{\text{ИМ}}$ треугольной формы с амплитудой 10 В, получить и зарегистрировать график регулировочной характеристики $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИМ}})$ на экране монитора ПК.

2.3.4 Повторить п. 2.3.3 при иных значениях $U_{\text{ИВ}}$, например, - 3 и + 3 В.

2.3.5 Установить $\alpha_6 = 1$ и повторить пункты 2.3.3 и 2.3.4.

2.4 Результаты работы и содержание отчета

Оформить в соответствии с [17] подробный отчет с вычерчиванием собранной схемы, с представлением иллюстраций полученных СХ, с обязательным выполнением пунктов 2.2.3 и 2.2.4 рабочего задания и написанием выводов.

2.5 Контрольные вопросы

1. Актуальность автоматизации измерений и исследований.
2. Методика получения и регистрации графика регулировочной характеристики САР на экране монитора ПК.
3. Можно ли на использованной лабораторной установке получить и зарегистрировать график внешней характеристики САР и что для этого нужно сделать?
4. Начертить функциональную схему исследованной САР.
5. Определить передаточные функции звеньев исследованной САР и начертить ее структурную схему.
6. Форма сигнала $U_{\text{ИМ}}$ и чем она определяется?
7. Генератор линейно изменяющегося напряжения, его выходные сигналы и принцип действия.

3 Лабораторная работа № 3. САР с компенсацией возмущений

Цель работы: изучение особенностей САР с параллельной компенсацией возмущений путем экспериментального исследования их регулировочных, внешних и переходных характеристик (ПХ).

Оборудование (рисунок 5), установленное в настольном стенде «Многоконтурные САУ»:

- регулируемый стабилизированный двухполярный источник (ИВ) напряжения $U_{ИВ}$ с встроенным стрелочным вольтметром;
- выполненная на интегральных операционных усилителях $У1...У3$ электронная модель САР;
- блок управления (БУ) с пусковой аппаратурой;
- реверсивный исполнительный механизм (ИМ) постоянной скорости в виде однофазного электродвигателя переменного тока с редуктором;
- указатель положения (УП) вала ИМ;
- регулирующий орган (РО) в виде переменного резистора и управляемого источника напряжения $U_{ИМ}$;
- четырехканальный АЦП и настольный ПК со специальным программным обеспечением, позволяющие измерять и регистрировать одновременно четыре сигнала с построением графиков их функциональных зависимостей.

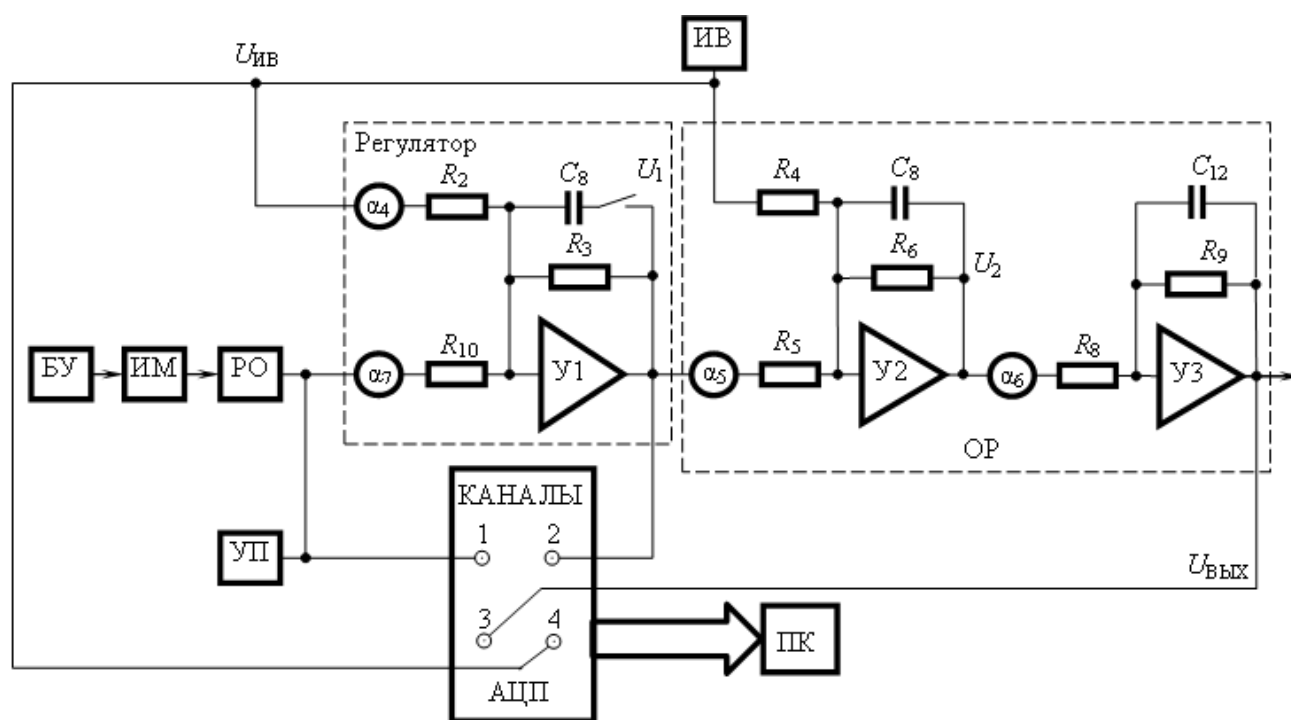


Рисунок 5 - Функционально-принципиальная схема исследуемой САР

АЦП предназначен для оцифровки аналоговых сигналов, снимаемых с выбранных точек стенда. ИВ выполняет функцию источника возмущающего

воздействия. Отмеченная цепь устройств БУ, ИМ, РО и УП используется для получения дополнительного регулируемого стабилизированного двухполярного напряжения $U_{\text{ИМ}}$ в качестве задающего воздействия. На элементах У1 и У2, У3 модели построены соответственно регулятор и объект регулирования (ОР). Потенциометр α_4 используется для организации компенсирующей цепи. Более подробное описание оборудования приведено в подразделе 1.1.

3.1 Краткие теоретические сведения. Принцип компенсации

Основной причиной, обуславливающей использование специальных управляющих устройств, содержащих, помимо задатчика и исполнительных устройств, измерительные и усилительно-преобразующие устройства, является действие на систему регулирования возмущений, оказывающих очень существенное влияние на ее работу. Естественно напрашивается способ регулирования, при котором определяются (измеряются) действующие на систему регулирования возмущения и на их основе вырабатывается регулирующее воздействие, которое полностью или частично компенсирует влияние возмущений на процесс регулирования.

Способ регулирования, при котором регулирующее воздействие вырабатывается на основе действующих возмущений, называется *способом регулирования по возмущению* или *принципом компенсации*. Принцип компенсации иногда также называют *принципом Понселе* (по имени французского инженера Ж. Понселе, предложившего принцип регулирования паровой машины по моменту сопротивления на ее валу, т.е. по возмущению) [6].

Достоинством способа регулирования по возмущению является принципиальная возможность полной компенсации возмущающего воздействия.

Для компенсации возмущающего воздействия $U_{\text{ИВ}}$ на САР в установившемся режиме необходимо выполнение условия

$$R_6 / R_4 = (\alpha_4 R_3 / R_2) (\alpha_5 R_6 / R_5), \quad (3)$$

или, после преобразований, $R_2 R_5 = \alpha_4 \alpha_5 R_3 R_4.$ (4)

3.2 Рабочее задание

3.2.1 Ознакомиться с конструкцией, техническим описанием и программным обеспечением стенда «Многоконтурные САУ» (подраздел 1.1).

3.2.2 Собрать, опробовать и настроить систему регулирования без компенсации. Снять и графически построить ее внешнюю СХ $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИВ}})$ для ряда значений задающего воздействия $U_{\text{ИМ}}$.

3.2.3 Ввести связь, компенсирующую возмущающее воздействие $U_{\text{ИВ}}$. Снять и графически построить внешнюю СХ $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИВ}})$ САР для ряда значений задающего воздействия $U_{\text{ИМ}}$.

3.2.4 Зарегистрировать переходные процессы сигналов U_1 , $U_{ИВ}$ и переходную характеристику $U_{ВЫХ}$ при ступенчатом изменении возмущения $U_{ИВ}$ без компенсации и с компенсацией такого возмущения $U_{ИВ}$ для двух значений постоянной времени регулятора.

3.2.5 Проанализировать влияние компенсирующей цепи на свойства САР в переходном и установившемся режимах.

3.3 Порядок и методика выполнения лабораторной работы

3.3.1 Собрать схему лабораторной установки (рисунок 5). Установить органы настройки: $\alpha_4 = 0$; $\alpha_5 = \alpha_6 = 0,25$; $\alpha_7 = 1$. Входы каналов АЦП соединяются с выходами соответствующих устройств для контроля линейного режима работы этих устройств и недопущения их насыщения, а также для измерения и регистрации сигналов на экране монитора ПК.

3.3.2 Подать питание 220 В на стенд и ПК. Запустить программу визуализации и регистрации измеряемых сигналов по п. 1.1.2. Включить ИВ.

3.3.3 С помощью кнопок «Больше» и «Меньше» в режиме «Ручное» БУ выставить напряжение $U_{ИМ} = 0$. Изменяя напряжение $U_{ИВ}$ в диапазоне от -10 до $+10$ В, снять и графически построить внешнюю СХ $U_{ВЫХ}(U_{ИВ})$.

3.3.4 Повторить п. 3.3.3 при иных значениях $U_{ИМ}$, например, -3 и $+3$ В.

3.3.5 Для введения компенсирующей цепи необходимо выполнить следующие действия. Выключить ИВ и замерить $U_{ВЫХ}$ (при $U_{ИВ} = 0$).

3.3.6 Опять включить ИВ и выставить некоторое напряжение $U_{ИВ}$, например, $+5$ В. При этом напряжение $U_{ВЫХ}$ изменится.

3.3.7 Увеличивая α_4 , свести напряжение $U_{ВЫХ}$ до первоначального значения $U_{ВЫХ}(U_{ИВ} = 0)$.

3.3.8 Зафиксировать и в дальнейшем не менять настройку α_4 , при которой было восстановлено первоначальное значение $U_{ВЫХ}$. Проверить, удовлетворяет ли найденное значение α_4 соотношению (4). На этом введение компенсирующей цепи завершено.

3.3.9 Повторить пункты 3.3.3 и 3.3.4 с компенсирующей цепью. Обратите внимание на почти полную компенсацию возмущения $U_{ИВ}$.

3.3.10 С помощью кнопок «Больше» и «Меньше» выставить некоторое напряжение $U_{ИМ}$, например, $+5$ В. Зарегистрировать одновременные переходные процессы сигналов U_1 , $U_{ВЫХ}$ и $U_{ИВ}$ при ступенчатом сначала увеличении $U_{ИВ}$ с 0 до 4 В, а затем при уменьшении $U_{ИВ}$ с 4 В до 0 .

3.3.11 Включить конденсатор C_1 в цепи обратной связи У1 регулятора и повторить п. 3.3.10. Обратите внимание на неполную компенсацию возмущения $U_{ИВ}$ в переходных процессах.

3.3.12 Выключить конденсатор C_1 и отсоединить потенциометр α_4 от выхода ИВ, убрав тем самым компенсирующую цепь. Повторить п. 3.3.10.

3.3.13 Составить структурную схему исследованной САР с компенсацией возмущения.

3.4 Результаты работы и содержание отчета

Оформить в соответствии с [17] подробный отчет с вычерчиванием собранных схем, структурной схемы исследованной САР, таблиц и графиков полученных СХ, с обязательным выполнением пункта 3.2.5 рабочего задания и написанием выводов.

3.5 Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки САР по возмущению.
2. Понятие инвариантности САР.
3. Понятие параллельной компенсации возмущения.
4. Условие инвариантности исследованной САР.
5. Аналитически получить формулы (3) и (4).
6. Передаточные функции звеньев САР по отдельным входам.
7. Назначение, достоинства и недостатки комбинированных САР.
8. Назначение компенсирующей цепи и ее реализация в данной лабораторной работе.
9. Принципы регулирования и управления.

4 Лабораторная работа № 4. Статические и астатические САР

Цель работы: изучение особенностей САР, содержащих интегрирующие звенья, путем экспериментального исследования их регулировочных и внешних статических характеристик.

Оборудование (рисунок б), установленное в настольном стенде «Многоконтурные САУ»:

- регулируемый стабилизированный двухполярный источник (ИВ) напряжения $U_{ИВ}$ с встроенным стрелочным вольтметром;
- выполненная на интегральных операционных усилителях $У1...У3$ электронная модель САР;
- блок управления (БУ) с пусковой аппаратурой;
- реверсивный исполнительный механизм (ИМ) постоянной скорости в виде однофазного электродвигателя переменного тока с редуктором;
- указатель положения (УП) вала ИМ;
- регулирующий орган (РО) в виде переменного резистора и управляемого источника напряжения $U_{ИМ}$;
- четырехканальный АЦП и настольный ПК со специальным программным обеспечением, позволяющие измерять и регистрировать одновременно четыре сигнала с построением графиков их функциональных зависимостей.

АЦП предназначен для оцифровки аналоговых сигналов, снимаемых с выбранных точек стенда. ИВ выполняет функцию источника возмущающего воздействия. Отмеченная цепь устройств БУ, ИМ, РО и УП используется для получения дополнительного регулируемого стабилизированного двухполяр-

ного напряжения $U_{ИМ}$ в качестве задающего воздействия. На элементах $У1$, $У2$ и $У3$ модели построены соответственно узел сравнения (УС), регулятор и объект регулирования (ОР).

Более подробное описание оборудования приведено в подразделе 1.1.

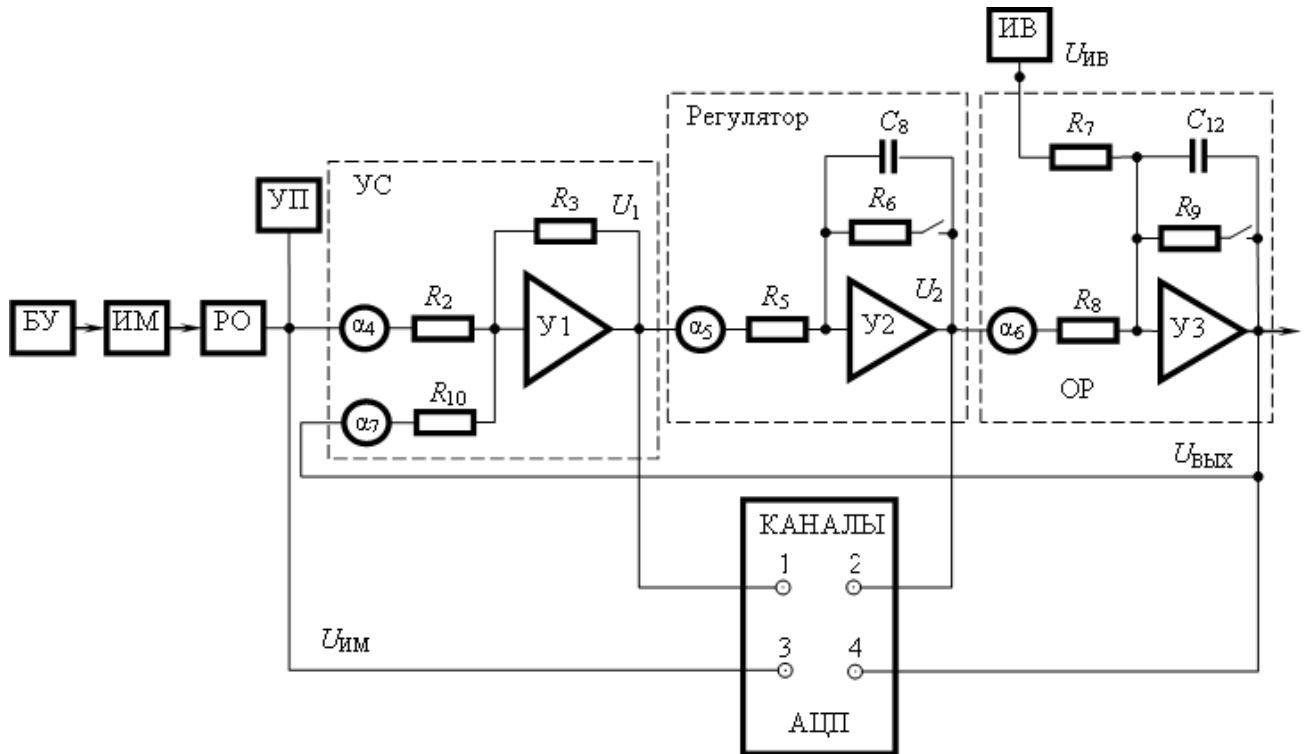


Рисунок 6 – Функционально-принципиальная схема лабораторной установки для исследования статической и астатической САР

4.1 Краткие теоретические сведения

Наличие статической ошибки в общем случае является нежелательным, так как создается погрешность регулирования. Для ее полного устранения, согласно формуле (2), требуется до бесконечности увеличивать коэффициент передачи системы $K_{РАЗ}$, а это чаще всего невозможно по условию обеспечения устойчивости САР. Системы, в которых нельзя полностью устранить статическую ошибку, называются *статическими*.

Вместе с тем имеется путь устранения статической ошибки при конечной величине коэффициента передачи $K_{РАЗ}$. Для этого в статическую САР вводят интегрирующее звено, например, с единичным коэффициентом передачи, причем так, чтобы оно находилось между точками приложения задающего и возмущающего воздействий. Если интегрирующее звено включается после точки приложения возмущения, то система остается статической.

Системы, в которых при стремлении возмущающего воздействия к постоянной величине отклонение выходной величины стремится к нулю и не зависит от величины приложенного воздействия, называются *астатическими*.

Изложенное выше позволяет сделать следующий вывод. Система будет астатической только в том случае, если интегрирующее звено будет включено на участке структурной схемы САР между точками приложения задающего и возмущающего воздействий. Включение его после точки приложения возмущающего воздействия не делает систему астатической.

Порядок астатизма r САР определяется количеством интегрирующих звеньев, включенных между точками приложения задающего и возмущающего воздействий.

Если возмущающее воздействие изменяется во времени, то в САР с астатизмом второго порядка ($r = 2$) нулю будет равна не только статическая ошибка, но и ошибка по первой производной от воздействия – *скоростная ошибка*. В системах с астатизмом третьего порядка ($r = 3$), помимо перечисленных, нулю будет также равна ошибка по второй производной от воздействия – *ошибка по ускорению*. Это свойство широко используется в следящих системах и системах с программным управлением, иначе при нарастании задающего или возмущающего воздействий скоростная ошибка будет также нарастать, а при сколько-нибудь длительном воздействии это недопустимо. Статическими могут быть только системы стабилизации.

Исключение статической и других (скоростной, по ускорению и т. д.) ошибок является несомненным достоинством астатических систем. Однако им присущ и ряд недостатков [1].

1. При введении интегрирующих звеньев снижается частота среза, сужается полоса пропускания, и как следствие – снижается быстродействие САУ. Расширить полосу пропускания и увеличить быстродействие астатической системы можно путем введения в нее не интегрирующих, а изодромных звеньев с передаточной функцией $W(p) = k(\tau p + 1)/p$. Форсирующее звено, входящее в структуру изодромного звена, поднимает ЛАЧХ и ЛФЧХ САР, увеличивая тем самым частоты среза и переворота фазы и расширяя полосу пропускания.

2. Повышение порядка астатизма снижает устойчивость САУ, и например, при двух интегрирующих звеньях она может стать структурно неустойчивой.

Для повышения устойчивости астатических систем высокого порядка вместо интегрирующих звеньев также целесообразно использовать изодромные звенья, позволяющие устранить нулевые коэффициенты в характеристическом полиноме. При соответствующем подборе постоянной времени τ включение изодромного звена не оказывает или почти не оказывает влияния на запасы устойчивости САР. Таким путем можно обеспечить астатизм второго, третьего и более высокого порядка.

4.2 Рабочее задание

4.2.1 Ознакомиться с конструкцией, техническим описанием и программным обеспечением стенда «Многоконтурные САУ» (подраздел 1.1).

4.2.2 Собрать, опробовать и настроить одноконтурную статическую САР. При этом необходимо обеспечить равенство коэффициентов передачи входов узла сравнения для точного формирования на его выходе сигнала ошибки U_1 .

4.2.3 При отсутствии возмущения снять и графически построить СХ $U_1(U_{ИМ})$ и регулировочную СХ $U_{ВЫХ}(U_{ИМ})$ статической САР, САР с интегральным регулятором и САР с объектом регулирования без самовыравнивания.

4.2.4 Повторить п. 4.2.3 при наличии возмущения.

4.2.5 При постоянном задающем воздействии снять и графически построить СХ $U_1(U_{ИВ})$ и внешнюю СХ $U_{ВЫХ}(U_{ИВ})$ статической САР, САР с интегральным регулятором и САР с объектом регулирования без самовыравнивания.

4.2.6 На основании проведенных экспериментов определить, когда САР является статической или астатической по заданию, статической или астатической по возмущению.

4.3 Порядок и методика выполнения лабораторной работы

4.3.1 Собрать схему лабораторной установки (рисунок б). Установить органы настройки: $\alpha_5 = 0,2$; $\alpha_6 = \alpha_7 = 1$. Включить резисторы R_6 и R_9 .

4.3.2 Подать питание 220 В на стенд и ПК. Запустить программу визуализации и регистрации измеряемых сигналов по п. 1.1.2. Включить ИВ.

4.3.3 Временно тумблером отключить потенциометр α_4 от выхода цепочки ИМ-РО. Потенциометр α_7 отсоединить от выхода УЗ и соединить с выходом ИВ. Выставить на ИВ некоторое напряжение, например, $U_{ИВ} = 9$ В и измерить напряжение U_1 (при $U_{ИВ} = 9$ В).

4.3.4 Не меняя $U_{ИВ} = 9$ В, выход ИВ отсоединить от α_7 и соединить с α_4 . Изменяя положение ручки потенциометра α_4 , добиться на выходе усилителя У1 зарегистрированного ранее значения напряжения U_1 ($U_{ИВ} = 9$ В). После этого восстановить собранную ранее схему САР.

4.3.5 Выставить $U_{ИВ} = 0$. Изменяя напряжение $U_{ИМ}$, снять и графически построить СХ $U_1(U_{ИМ})$ и регулировочную СХ $U_{ВЫХ}(U_{ИМ})$. Изменение $U_{ИМ}$ производится с помощью кнопок «Больше» и «Меньше» в режиме «Ручное» БУ в диапазоне от -10 до $+10$ В.

4.3.6 Отключить резистор R_6 и повторить п. 4.3.5.

4.3.7 Включить резистор R_6 , отключить резистор R_9 и повторить п. 4.3.5.

4.3.8 При некотором возмущающем воздействии, например, $U_{ИВ} = 3$ В повторить пункты 4.3.5 (включены резисторы R_6 и R_9), 4.3.6 и 4.3.7.

4.3.9 С помощью кнопок «Больше» и «Меньше» выставить напряжение $U_{\text{ИМ}} = 5$ В. Изменяя напряжение $U_{\text{ИВ}}$ в диапазоне от -10 до $+10$ В, снять и графически построить СХ $U_1(U_{\text{ИВ}})$ и $U_{\text{ВЫХ}}(U_{\text{ИВ}})$.

4.3.10 Отключить резистор R_6 и повторить п. 4.3.9.

4.3.11 Включить резистор R_6 , отключить резистор R_9 и повторить пункт 4.3.9.

4.3.12 Составить структурные схемы статической САР и различных вариантов астатической САР.

4.4 Результаты работы и содержание отчета

Оформить в соответствии с [17] подробный отчет с вычерчиванием собранных схем, структурных схем исследованных САР, таблиц и графиков полученных СХ, с обязательным выполнением пункта 4.2.6 рабочего задания и написанием выводов.

4.5 Контрольные вопросы

1. Объекты регулирования с самовыравниванием и без самовыравнивания. Их передаточные функции, переходные и частотные характеристики.
2. Передаточная функция, переходная и частотная характеристики интегратора.
3. Понятие порядка астатизма.
4. Понятие статической САР.
5. Понятие астатической САР.
6. Понятие коэффициентов ошибок. Их зависимости от порядка астатизма и область применения.
7. Устойчивость астатической САР.
8. Изодромное звено. Его передаточная функция, переходная и частотная характеристики.
9. Ошибки статическая, динамическая, переходная, по положению, скоростная, по ускорению.
10. Способы определения коэффициентов ошибок.
11. Понятие установившегося динамического режима САР.
12. Понятие медленно изменяющихся сигналов.
13. Передаточные функции ошибки замкнутой САР по заданию и по возмущению.
14. Коэффициенты статизма, добротности по скорости, добротности по ускорению.
15. Оценивание точности САР при гармонических воздействиях.

Перечень сокращений

АЦП - многоканальный аналого-цифровой преобразователь
БУ - блок управления с пусковой аппаратурой
ИВ - регулируемый источник возмущения с встроенным вольтметром
ИМ - реверсивный исполнительный механизм в виде электродвигателя с редуктором
 $K_{РАЗ}$ - коэффициент усиления САР по разомкнутой цепи
ЛАЧХ – логарифмическая амплитудно-частотная характеристика
ЛФЧХ - логарифмическая фазо-частотная характеристика
ОР – объект регулирования
ПК - персональный компьютер
ПО - специальное программное обеспечение
ПХ – переходная характеристика
РО - регулирующий орган в виде переменного резистора
САР - система автоматического регулирования
САУ - система автоматического управления
СХ – статическая характеристика
 T – постоянная времени инерционного звена
ТАУ - теория автоматического управления
У - интегральный операционный усилитель с инвертирующим входом
УП - указатель положения вала ИМ
УС – узел сравнения
 α - регулируемый делитель напряжения (потенциометр) и его коэффициент передачи
V - стрелочный вольтметр
C – конденсатор и его номинальная емкость
 r – порядок астатизма
R – резистор и его номинальное сопротивление
 τ - постоянная времени изодромного и форсирующего звена
U – электрическое напряжение, электрический сигнал
 $U_{ИВ}$ - возмущающее воздействие
 $U_{ИМ}$ - задающее воздействие
 $U_{ВЫХ}$ – выходная величина, выходной сигнал
 U_1 – сигнал на выходе усилителя У1
 U_2 - сигнал на выходе усилителя У2

Список литературы

Основная литература

- 1 Коновалов Б.И., Лебедев Ю.М. Теория автоматического управления: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 224 с.
 - 2 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Изд-во «Профессия», 2004. – 752 с. (Серия: Специалист).
 - 3 Теория автоматического управления: Учеб. пособие / Под ред. В.И. Лачина. – Ростов н /Д: Феникс, 2007. - 469 с. – (Высшее образование).
 - 4 Гайдук А.Р., Беляев В.Е., Пьявченко Т.А. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB: Учебное пособие. - СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 464 с. – (Учебники для вузов).
 - 5 Шишмарев В.Ю. Основы автоматического управления: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.
 - 6 Ким Д.П. Теория автоматического управления. В 2-х т. Т.1. Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 312 с.
 7. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов / Под ред. В.Б. Яковлева. – М.: Высшая школа, 2009. – 567 с.
 - 8 Гальперин М.В. Автоматическое управление: Учебник. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2007. – 224 с. (Профессиональное образование).
 - 9 Малафеев С.И., Малафеева А.А. Теория автоматического управления: Учебник для студ. учреж. высш. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 384 с.
 - 10 Певзнер Л.Д. Практикум по теории автоматического управления: Учеб. пособие. - М.: Высш. шк., 2006. – 590 с.
 - 11 Юревич Е.И. Теория автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 560 с.
 - 12 Петрова А.М. Автоматическое управление: Учебное пособие. – М.: ФОРУМ, 2010. – 240 с. (Профессиональное образование).
 - 13 Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. – СПб.: Питер, 2005. – 336 с. (Серия «Учебное пособие»).
- Дополнительная литература*
- 14 Ротач В.Я. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2008. – 400 с.
 - 15 Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. - 624 с.
 - 16 Чернов Б.А. Теория линейных систем автоматического управления. Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В070200 – Автоматизация и управление. – Алматы: НАО АУЭС, 2013. – 32 с.
 - 17 Стандарт организации СТ НАО 56023-1910-04-2014 Учебно-методические и учебные работы . Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию учебно-методических и учебных работ. – Алматы: НАО АУЭС, 2014. – 43 с.

Борис Алексеевич Чернов

ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 5В070200

Редактор Н.М. Голева

Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать _____

Тираж 60 экз.

Объем 1,7 уч.-изд. л.

Формат 60x84 1/16

Бумага типографская №1

Заказ _____ Цена 850 тг.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, Байтурсынова, 126

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
Кафедра инженерной кибернетики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методической
работе
_____ С.В. Коньшин
“ ___ ” _____ 2015 г.

ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 5В070200

СОГЛАСОВАНО

Начальник УМО
_____ М.А. Мустафин
“ ___ ” _____ 2015 г.

Рассмотрено и одобрено на
заседании кафедры ИК
Протокол № 7 от “ 09 ” февраля 2015 г.
Зав. кафедрой _____ Б.К. Муханов

Председатель ОУМК по МОиЭ
_____ Б.К. Курпенев
« ___ » _____ 2015 г.

Редактор
_____ Н.М. Голева
“ ___ ” _____ 2015 г.

Специалист по стандартизации
_____ Н.К. Молдабекова
“ ___ ” _____ 2015 г.

Составитель
_____ Б.А. Чернов

Алматы 2015