



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, РАДИОТЕХНИКИ
И ЭЛЕКТРОНИКИ (МИРЭА, МГУПИ)

Д. П. Ким

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА**

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по инженерно-техническим направлениям
и специальностям*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**

Москва ■ Юрайт ■ 2015

УДК 681.5.01(075.8)

ББК 32.965я73

К40

Автор:

Ким Дмитрий Петрович — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры проблем управления института кибернетики Московского государственного университета информационных технологий, радиотехники и электроники (МИРЭА, МГУПИ).

Рецензенты:

Лохин В. М. — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры проблем управления Московского государственного университета информационных технологий, радиотехники и электроники (МИРЭА, МГУПИ);

Колосов О. С. — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры управления и информатики Национального исследовательского института «МЭИ».

Ким, Д. П.

К40 Теория автоматического управления : учебник и практикум для академического бакалавриата / Д. П. Ким. — М. : ИздательствоЮрайт, 2015. — 276 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.

ISBN 978-5-9916-5406-7

В книге приводятся основные понятия и принципы управления, методы математического описания, анализа и синтеза систем автоматического управления.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов, обучающихся по инженерно-техническим направлениям и специальностям, а также для магистрантов, преподавателей, ведущих данный курс, аспирантов.

УДК 681.5.01(075.8)

ББК 32.965я73

Оглавление

Принятые сокращения	7
Предисловие	8
Введение. Краткая история развития теории автоматического управления.....	11
Глава 1. Основные понятия и принципы управления.....	13
1.1. Исходные положения	13
1.2. Принципы управления	15
1.3. Структура системы управления	18
1.4. Законы управления.....	19
1.5. Классификация систем управления	20
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	21
Глава 2. Математическое описание непрерывных систем автоматического управления	22
2.1. Уравнения динамики и статики	22
2.2. Линеаризация. Формы записи дифференциальных уравнений.....	23
2.3. Преобразование Лапласа	25
2.4. Передаточные и временные функции	27
2.5. Частотные функции и характеристики.....	33
2.6. Различные типы звеньев и их характеристики.....	35
2.7. Структурные схемы и дифференциальные уравнения систем управления.....	40
2.8. Граф системы управления	47
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	52
<i>Задачи</i>	52
Глава 3. Устойчивость непрерывных систем автоматического управления.....	55
3.1. Определение и основное условие устойчивости	55
3.2. Алгебраические критерии устойчивости	58
3.3. Частотные критерии устойчивости	60
3.4. Определение области устойчивости.....	66
3.5. Робастная устойчивость	67
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	71
<i>Задачи</i>	72
Глава 4. Показатели качества непрерывных систем автоматического управления	73
4.1. Показатели качества и типовые воздействия	73
4.2. Показатели качества в переходном режиме	74
4.3. Показатели качества в установившемся режиме	80
4.4. Структура астатической системы управления.....	83
4.5. Инвариантность и принцип двухканальности	86
4.6. Анализ линейных систем при случайных воздействиях	87
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	92
<i>Задачи</i>	93

Глава 5. Синтез непрерывных систем автоматического управления	94
5.1. Исследование типовых законов управления	94
5.2. Синтез параметров регулятора по минимуму интегральных квадратических оценок	97
5.3. Синтез параметров системы по минимуму среднеквадратической ошибки	100
5.4. Условие маргинальной устойчивости.....	101
5.5. Синтез систем управления максимальной степени устойчивости.....	103
5.6. Синтез системы управления по желаемой передаточной функции.....	108
5.7. Определение желаемой передаточной функции	114
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	119
<i>Задачи</i>	120
Глава 6. Математическое описание дискретных систем автоматического управления	122
6.1. Типы дискретных систем управления	122
6.2. Линейные разностные уравнения.....	123
6.3. Решетчатые функции и z-преобразование	126
6.4. Уравнения и передаточные функции дискретных систем управления.....	130
6.5. Дискретная модель АИМ-системы управления.....	132
6.6. Цифровая система управления	140
6.7. ШИМ-системы управления	143
6.8. Вычисление передаточных функций дискретных систем в общем случае.....	146
6.9. Дискретное преобразование Лапласа и частотные характеристики.....	147
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	148
<i>Задачи</i>	148
Глава 7. Устойчивость дискретных систем автоматического управления.....	150
7.1. Характеристическое уравнение и основное условие устойчивости.....	150
7.2. Алгебраические критерии устойчивости	151
7.3. Частотный критерий устойчивости.....	155
7.4. Влияние квантования по времени на устойчивость	158
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	161
<i>Задачи</i>	161
Глава 8. Оценка качества дискретных систем автоматического управления ...	163
8.1. Показатели качества в переходном режиме.....	163
8.2. Особенности переходного процесса дискретных систем	164
8.3. Показатели качества в установившемся режиме.....	166
8.4. Статические и астатические системы управления.....	168
8.5. Структура астатических систем управления.....	169
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	171
<i>Задачи</i>	171
Глава 9. Синтез дискретных систем автоматического управления.....	172
9.1. Типовые законы управления.....	172
9.2. Синтез систем с фиксированной структурой.....	173
9.3. Метод ЖПФ.....	174
9.4. Алгоритм определения передаточной функции регулятора по методу ЖПФ.....	176
9.5. Определение желаемого характеристического полинома	178
9.6. Синтез дискретной системы по непрерывной модели.....	178

<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	180
<i>Задачи</i>	180
Глава 10. Представление в пространстве состояний. Управляемость, наблюдаемость и модальное управление	181
10.1. Уравнение САУ в нормальной форме.....	181
10.2. Преобразование уравнений линейных систем в нормальную форму.....	183
10.3. Управляемость объекта управления	184
10.4. Стабилизируемость линейных стационарных систем.....	188
10.5. Наблюдаемость и восстанавливаемость	191
10.6. Канонические формы уравнения и модальное управление.....	193
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	196
<i>Задачи</i>	197
Глава 11. Нелинейные системы автоматического управления	199
11.1. Нелинейные статические характеристики. Особенности нелинейных систем.....	199
11.2. Определение устойчивости	201
11.3. Орбитальная устойчивость. Автоколебания	204
11.4. Изображение процессов на фазовой плоскости.....	205
11.5. Фазовые портреты и типы особых точек.....	207
11.6. Метод фазовой плоскости анализа и синтеза систем	211
11.7. Метод гармонической линеаризации.....	216
11.8. Исследование симметричных автоколебаний	219
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	223
<i>Задачи</i>	223
Глава 12. Устойчивость нелинейных систем автоматического управления	225
12.1. Знакопостоянные и знакоопределенные функции	225
12.2. Устойчивость автономных систем	228
12.3. Исследование устойчивости нелинейных систем управления по линейному приближению	234
12.4. Абсолютная устойчивость.....	235
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	240
<i>Задачи</i>	241
Глава 13. Методы теории оптимального управления	242
13.1. Общие положения и постановка задачи	242
13.2. Метод множителей Лагранжа.....	246
13.3. Принцип максимума Понтрягина.....	248
13.4. Динамическое программирование	253
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	257
<i>Задачи</i>	257
Глава 14. Оптимальные и адаптивные системы автоматического управления	259
14.1. Оптимальные по быстродействию САУ	259
14.2. Оптимальные по интегральному квадратичному критерию нестационарные САУ.....	261
14.3. Оптимальные по интегральному квадратичному критерию стационарные САУ	262
14.4. Синтез оптимального линейного регулятора выхода	264
14.5. Общая характеристика адаптивных систем управления	266
14.6. Постановка задачи и методы синтеза адаптивного управления	267

14.7. Структура и типы адаптивных систем управления.....	269
14.8. Адаптивные системы управления с эталонной моделью.....	270
14.9. Адаптивные системы управления с идентификатором.....	272
<i>Вопросы для самопроверки знаний</i>	273
<i>Задачи</i>	273

Рекомендуемая литература.....	275
--------------------------------------	------------

Принятые сокращения

АИМ	— амплитудно-импульсная модуляция
АСУ	— автоматизированная система управления
АФЧХ	— амплитудно-фазовая частотная характеристика
АЦП	— аналого-цифровой преобразователь
ДФ	— дискретный фильтр
ЖПФ	— желаемая передаточная функция
ЗУ	— задающее устройство
ИУ	— исполнительное устройство
КО	— компаундная обмотка
ЛА	— летательный аппарат
ЛАЧХ	— логарифмическая амплитудная частотная характеристика
ЛФЧХ	— логарифмическая фазовая частотная характеристика
ЛЧ	— линейная часть
ЛЧХ	— логарифмические частотные характеристики
НЗ	— нелинейное звено
НПФ	— нормированная передаточная функция
НЧ	— непрерывная часть
ОВГ	— обмотка возбуждения генератора
ОУ	— объект управления
ПИУ	— преобразовательно-исполнительное устройство
ПНЧ	— приведенная непрерывная часть
САР	— система автоматического регулирования
САУ	— система автоматического управления
СНС	— самонастраивающаяся система
СПС	— система с переменной структурой
СУ	— сравнивающее устройство
УПУ	— усилительно-преобразовательное устройство
УУ	— управляющее устройство
ФНП	— фиксатор нулевого порядка
ЦАП	— цифроаналоговый преобразователь
ЦВУ	— цифровое вычислительное устройство
ЦСУ	— цифровая система управления
ЧЭ	— чувствительный элемент
ШИМ	— широтно-импульсная модуляция
ЭМ	— эталонная модель
ЭМУ	— электромашинный усилитель
ЭУ	— электронный усилитель

Предисловие

Теория автоматического управления (ТАУ) является одной из важных общетехнических дисциплин, в которой изучаются основные принципы исследования и построения автоматических систем управления, т.е. систем, функционирующих без непосредственного участия человека. Автоматические системы управления широко используются в повседневной жизни. Для поддержания напряжения в заданных пределах используется система управления напряжением генератора. В самолетах автоматические системы управления используются для поддержания заданного курса, высоты и других параметров движения. Они нужны для поддержания заданного технологического процесса и т.д.

Теория автоматического управления дает знания по основным принципам функционирования, исследования и построения таких систем. Она является общетехнической дисциплиной и изучается студентами бакалавриата разных специальностей технических вузов в течение двух семестров.

Учебник состоит из введения и 14 глав. Во введении кратко рассматривается назначение теории автоматического управления и приводится краткая историческая справка.

В главе 1 излагаются основные понятия. Приводятся основные принципы управления, простые примеры систем автоматического управления, классификация.

Главы 2—5 посвящены непрерывным линейным системам автоматического управления. Значительное место главы 2 уделено структурным схемам и графам систем управления.

Глава 3 рассказывает об устойчивости линейных систем управления. В ней рассматриваются определение устойчивости, необходимое и основное условие устойчивости. Приводятся критерии устойчивости Гурвица, Лъенара — Шипара, Михайлова и Найквиста.

В главе 4 приводятся показатели качества систем управления в переходном и установившемся режимах. Рассматриваются также астатические и статические системы и структура астатических систем управления.

В главе 5 рассматривается задача синтеза параметров, оптимальных по степени устойчивости, синтез параметров по минимуму среднеквадратической ошибки и минимуму интегральной квадратической оценки. Здесь также приводятся метод синтеза алгоритмов управления по желаемой передаточной функции и метод обратной задачи динамики.

Главы 6—9 посвящены линейным дискретным системам управления.

В главе 6 содержится математическое описание систем управления.

Глава 7 рассказывает об устойчивости дискретных систем управления. Рассмотрены способ исследования устойчивости, основанный на v -преобразовании, критерий Джюри и критерий Найквиста.

В главе 8 рассмотрены показатели качества в переходном и установившемся режимах, особенности дискретных систем в переходном режиме, астатические и статические системы и структура астатических систем.

Глава 9 уделяет внимание синтезу параметров и алгоритмов управления дискретных систем управления.

Глава 10 включает описание систем управления в пространстве состояний. Изучены вопросы управляемости, стабилизируемости, наблюдаемости, канонические формы уравнения и модальное управление.

Глава 11 посвящена нелинейным системам, их особенностям. Рассматриваются изображение процессов на фазовой плоскости, фазовые портреты и типы особых точек, метод анализа и синтеза систем управления и метод гармонической линеаризации исследования автоколебаний.

В главе 12 расписаны метод исследования устойчивости, основанный на линейном приближении, метод функций Ляпунова и метод исследования абсолютной устойчивости.

Глава 13 рассказывает о методах теории оптимального управления: методе множителей Лагранжа, принципе максимума Понтрягина и динамическом программировании.

Глава 14 посвящена оптимальным по быстродействию системам управления и оптимальным по интегральному квадратичному критерию стационарным и нестационарным системам управления. Здесь также рассмотрены общие вопросы адаптивного управления и адаптивные системы управления с эталонной моделью и идентификатором.

В конце каждой главы приводятся вопросы для самопроверки знаний и задачи.

Данный учебник обладает некоторыми особенностями.

А. Пуанкаре, исследуя «геометрическим методом» нелинейные системы, обнаружил специфические траектории — предельные циклы. А. А. Андронов процессы, соответствующие устойчивым предельным циклам, назвал автоколебаниями. Автоколебания можно определить как асимптотически орбитально устойчивый свободный периодический процесс. Но поскольку, как правило, понятие «орбитальной устойчивости» в книгах по теории автоматического управления не рассматривается, то понятием «автоколебания» обычно пользуются без определения или определяя их как устойчивый свободный периодический процесс (не уточняя понятие устойчивости).

Обычно в качестве алгебраических критериев устойчивости рассматривают критерии Гурвица и Рауса. Критерий Льенара — Шипара не рассматривается, хотя при использовании последнего количество вычислений уменьшается более чем два раза.

В традиционных учебниках по теории автоматического управления в качестве основного метода синтеза систем автоматического управления рассматривают частотный, в предлагаемой книге — алгебраический метод, который позволяет проще синтезировать регулятор по заданным прямым показателям качества.

Рассмотрен метод синтеза оптимальных по степени устойчивости параметров регулятора на основе маргинальной устойчивости.

При математическом описании систем автоматического управления используют передаточные функции в изображениях Лапласа и в операторной

форме. Между этими понятиями существует принципиальное отличие, однако, как правило, оно не подчеркивается.

Цифровые и импульсные системы автоматического управления включают непрерывную и дискретную части, и при их исследовании получают дискретную модель, но не всегда уделяют должное внимание процессу корректной дискретизации.

В результате изучения материала учебника студент должен:

- **знать** основные понятия, формулировки определений, теорем и критериев, показатели качества;

- **уметь** вычислять передаточные функции, записывать в различной форме математическую модель;

- **владеть** методами анализа и синтеза систем управления.

Автор выражает искреннюю благодарность доценту Н. Д. Дмитриевой, профессорам В. М. Лохину, О. А. Тягунову и другим коллегам по кафедре «Проблемы управления» МГТУ МИРЭА за помощь и дружбу в процессе многолетней совместной работы. Особая благодарность заведующему кафедрой, профессору М. П. Романову, рекомендовавшему взяться за написание этой книги.

В заключение автор выражает благодарность Ж. В. Мартыновой за большой труд по редактированию рукописи книги.

Введение

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Формирование основ теории автоматического управления началось во второй половине XIX в. В это время вышли первые теоретические работы в недрах прикладной механики. Во второй половине XVIII в. были изобретены первые промышленные регуляторы. Однако регуляторы, предназначенные для часовых механизмов, появились значительно раньше. Так, в начале нашей эры арабы снабдили водяные часы поплавковым регулятором уровня. В Средние века применялись маятниковые уравниватели хода водяных мельниц. Но эти отдельные регуляторы в течение многих лет не оказывали существенного влияния на развитие техники [10].

Первыми промышленными регуляторами являются автоматический поплавковый регулятор питания котла паровой машины, построенный русским механиком И. М. Ползуновым в 1765 г., и центробежный регулятор угловой скорости паровой машины, изобретенный англичанином Дж. Уаттом в 1769 г. Эти регуляторы стимулировали изобретение новых принципов регулирования и самих регуляторов. Одновременно делались попытки и теоретических исследований. Однако эти исследования не принесли существенных результатов, так как в них регулятор и объект регулирования рассматривались отдельно или регулятор рассматривался без учета инерционности [10].

Первой работой, в которой получены важные теоретические результаты, является публикация английского физика Дж. К. Максвелла «О регуляторах», опубликованная в 1868 г. В ней автор рассмотрел постановку задачи об устойчивости, получил условия устойчивости линейной системы 3-го порядка и поставил перед математиками задачу об устойчивости линейной системы произвольного порядка. На эту постановку откликнулся немецкий математик Э. Дж. Раус и предложил в 1877 г. критерий устойчивости, известный под его именем.

В работе Дж. К. Максвелла принят системный подход (регулятор и объект регулирования рассматриваются вместе), при исследовании устойчивости используется линеаризация, но в ней содержатся и неправильные рекомендации по применению так называемых астатических регуляторов.

В 1876 г. российский ученый И. А. Вышнеградский опубликовал статью «Об общей теории регуляторов», а в 1877 г. — статью «О регуляторах прямого действия». В этих работах, помимо основных результатов Дж. К. Максвелла (системный подход, линеаризация и исследование устойчивости), содержались показатели качества (монотонность, колебательность, аперио-

дичность). И. А. Вышнеградский построил диаграммы для этих показателей и привел формулы, послужившие для расчета и наладки систем регулирования и выражающие условия устойчивости через основные параметры объекта и регулятора. Его работы объясняли противоречие между точностью и устойчивостью.

В 1830 г. Ж. В. Понселе сделал попытку построить регулятор, основанный на использовании возмущающего воздействия. В 1845 г. братья Сименсы предложили в управляющем воздействии использовать производную отклонения регулируемой величины от заданного режима. Однако предложения Сименсов и принцип управления, предложенный Понселе, реализовать не удалось. Но в последующем они стали с успехом использоваться в сочетании с другими принципами управления.

Широко известен в теории автоматического регулирования словацкий ученый А. Б. Стодола тем, что по его предложению математик А. Гурвиц в 1895 г. разработал критерий устойчивости, известный как критерий Гурвица.

В первой половине XX в. теория регулирования выходит за рамки прикладной механики и формируется в самостоятельную общетехническую дисциплину. К этому времени становится ясным, что регулирование в различных отраслях техники базируется на общих законах.

В 1932 г. Х. Найквист предлагает частотный критерий устойчивости для исследования радиотехнических усилителей с обратной связью. А. В. Михайлов в 1936 г. переносит частотный метод исследования устойчивости на системы регулирования и предлагает критерий устойчивости, известный как критерий Михайлова. Х. Боден и Л. Маккол (США) в 1946 г. и В. В. Солодовников (СССР) в 1948 г. разработали метод логарифмических частотных характеристик. С возникновением частотных методов начинается новый этап развития теории регулирования.

В 50-е гг. XX в. начинается развитие теории оптимального управления. В это время были разработаны принцип максимума Понтрягина, метод динамического программирования Беллмана. Затем появились работы Н. Н. Красовского, Р. Калмана, А. М. Летова, А. А. Красовского и других, посвященных различным методам синтеза оптимальных систем управления.

В 1948 г. вышла книга американского математика Н. Винера «Кибернетика или управление и связь в животном и машине». В ней и последующих работах Н. Винер показал, что процессы управления и прием, передача и обработка информации в технике, живом организме и обществе происходят единообразно. Это открытие дало толчок к разработке искусственного интеллекта и последующему исследованию и разработке интеллектуальных систем управления. Если в 50–60-е гг. XX в. дискутировали, возможен ли искусственный интеллект, то в настоящее время системы управления с элементами искусственного интеллекта (интеллектуальные системы) являются наиболее интенсивно развиваемым направлением в теории автоматического управления.

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ

Процесс управления происходит в живой и неживой природе: в живых организмах, обществе, технике и т.д. Общим для всех процессов управления, где бы они ни протекали, является прием (получение), хранение, преобразование информации и выработка на ее основе управления. Наряду с общностью управления человеческим коллективом, экономикой, с одной стороны, и техническими объектами — с другой, естественно имеют место специфические отличия, что делает необходимым их раздельное рассмотрение. В теории автоматического управления рассматриваются методы исследования и построения систем управления в технике.

1.1. Исходные положения

В технике **управлением** называют целенаправленное воздействие на какое-либо устройство. Если его осуществляет человек, то управление называют *ручным, неавтоматическим*. Управление называют *автоматическим*, если оно осуществляется без непосредственного участия человека.

Устройство (машина, агрегат, технологический процесс), состоянием которого можно и нужно управлять, называется **объектом управления (ОУ)** или **управляемым объектом (системой)**. Целью управления управляемым объектом является поддержание в нем заданного режима. Под заданным режимом понимают изменение какого-либо параметра, характеризующего состояние ОУ, по определенному закону. Указанный параметр, который может быть векторной величиной, называется *управляемой*, или *выходной переменной* (величиной) ОУ. В частном случае заданным режимом может быть поддержание выходной переменной неизменной и равной некоторой заданной величине.

Примером ОУ является генератор напряжения (рис. 1.1, а). Управляемой величиной является выходное напряжение u_n . Им можно управлять,

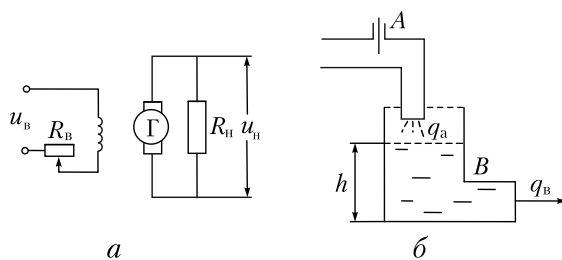


Рис. 1.1. Объекты управления:

а — генератор напряжения; б — резервуар с жидкостью

изменяя напряжение возбуждения u_v или воздействуя на переменное сопротивление R_v , включенное в обмотку возбуждения генератора.

Часть ОУ, на которую оказывают воздействие при управлении, называют *управляющим (регулирующим) органом*. В случае генератора таким органом является переменное сопротивление R_v или обмотка возбуждения.

Другим простым примером ОУ является резервуар с жидкостью (рис. 1.1, б), в котором нужно поддерживать жидкость на заданном уровне. Управляемой переменной является уровень h , регулирующим органом — вентиль на входной трубе А.

ОУ делятся на устойчивые, нейтральные и неустойчивые. Пусть при нулевом входном воздействии выходная переменная объекта принимает значение $y = y^0$ и на какое-то время входное воздействие изменяется, а затем возвращается к первоначальному значению. И если при этом выходная переменная со временем принимает первоначальное значение ($y(t) \rightarrow y^0$ при $t \rightarrow \infty$), ОУ называется *устойчивым*; принимает новое постоянное значение ($y(t) \rightarrow y_\infty^* \neq y^0$ при $t \rightarrow \infty$) — *нейтральным*; не стремится ни к первоначальному, ни к новому постоянному значению — *неустойчивым*.

Если нагрузка генератора на какое-то время изменится, а затем примет первоначальное номинальное значение, то и его выходное напряжение со временем примет номинальное значение, т.е. генератор является устойчивым ОУ.

Резервуар с жидкостью является нейтральным ОУ. Пусть, например, расход жидкости увеличивается, тогда уровень жидкости будет падать. Если затем расход жидкости восстановится до первоначального значения, то установится такой уровень, которого он достигнет в момент восстановления расхода, т.е. выходная переменная h примет новое значение.

Устройство, осуществляющее управление управляемым объектом, называется **управляющим устройством (УУ)**. ОУ и взаимодействующее с ним УУ называют **системой управления**. Если система управления функционирует без непосредственного участия человека, то она называется *автоматической системой управления или системой автоматического управления (САУ)*. Если система управления функционирует при участии человека, то она называется *автоматизированной системой управления (АСУ)*.

В простейших случаях САУ называют системой автоматического регулирования (САР), УУ — *регулятором*, а ОУ — *объектом регулирования*. Дальше мы не будем делать принципиальных отличий между терминами «система автоматического управления» и «система автоматического регулирования».

Блок-схему САУ в общем случае можно представить так, как это показано на рис. 1.2. Выходная переменная ОУ y является выходной (управляемой) переменной САУ. Канал связи, по которому информация о текущем состоянии ОУ поступает в УУ, называется (*главной*) *обратной связью*.

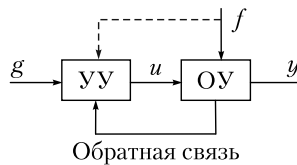


Рис. 1.2. Общая блок-схема САУ

Внешнее воздействие g , которое определяет требуемый (заданный) закон изменения выходной переменной, называется *задающим воздействием*. Здесь, как часто это делают, задающее воздействие выведено за пределы УУ, в то время как задающее воздействие вырабатывается задатчиком, входящим в состав УУ.

Необходимость управления вызвана тем, что на ОУ действует воздействие f , которое приводит к отклонению управляемой переменной от требуемого значения. Такое воздействие называется *возмущением* или *возмущающим воздействием*. Возмущение может действовать и на УУ. В частном случае в зависимости от принципа управления главная обратная связь или канал связи, по которому информация о возмущении поступает на УУ, может отсутствовать.

Выходная переменная УУ u , являющаяся входной переменной ОУ, называется *управляющим воздействием* или *управлением*. В случае генератора основным возмущающим воздействием является изменение (отклонение) нагрузки, а в случае резервуара с жидкостью — отклонение расхода жидкости от номинального значения (из-за подключения или отключения потребителей).

1.2. Принципы управления

Рассмотрим основные принципы управления, которые используются в настоящее время при разработке систем управления.

1. Принцип программного управления. Если об объекте управления все известно, в том числе, что на объект не действуют возмущения, выводящие систему управления от заданного режима, то, точно зная, как зависит выходная переменная ОУ от управляющего воздействия, управление можно формировать как известную функцию времени $u = u^*(t)$. Такой способ организации управления называют **принципом программного управления**. При таком принципе управления УУ можно представить как устройство, состоящее из программатора (программирующего устройства) и исполнительного устройства (ИУ) (рис. 1.3). В частном случае исполнительное устройство может отсутствовать.

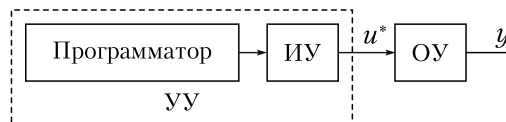


Рис. 1.3. Система программного управления

Принцип программного управления не применим, если ОУ является нейтральным или неустойчивым и система управления должна функционировать довольно длительное время. Это связано с тем, что при нейтральном и неустойчивом ОУ небольшая систематическая ошибка в программном управлении приводит к нарастающей ошибке управляемой переменной.

2. Принцип компенсации. Основной причиной, обуславливающей использование специальных УУ, содержащих, помимо программатора и ИУ, измерительные и усилительно-преобразующие устройства, является действие на систему управления возмущений, оказывающих существенное влияние на ее работу. Естественно напрашивается способ управления, при котором определяются (измеряются) действующие на систему управления

возмущения и на их основе вырабатывается управляющее воздействие, которое бы полностью или частично компенсировало влияние возмущений на процесс управления.

Способ управления, при котором управляющее воздействие вырабатывается на основе действующих возмущений, называется *управлением по возмущению* или *принципом компенсации*.

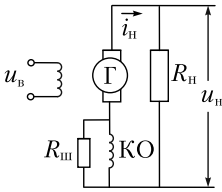


Рис. 1.4. Система управления генератора с компаундированием

Достоинством способа управления по возмущению является принципиальная возможность полной компенсации возмущающего воздействия. На рис. 1.4 представлена САР генератора с компаундированием, т.е. подключением в якорную цепь так называемой компаундной обмотки (КО). Здесь управление производится не со стороны обмотки возбуждения, а с помощью КО. При некоторых допущениях ЭДС генератора e_r пропорциональна потоку возбуждения ϕ : $e_r = k_\phi \phi$. Поток возбуждения складывается из постоянного магнитного потока ϕ_b обмотки возбуждения и магнитного потока $\phi_{ко}$ компаундной обмотки: $\phi = \phi_b + \phi_{ко}$. Поток $\phi_{ко}$ пропорционален току нагрузки: $\phi_{ко} = k_o i_n$. Коэффициент k_o зависит от шунтирующего сопротивления $R_ш$ и числа обмотки КО, поэтому выбором числа обмоток КО и значения шунтирующего сопротивления $R_ш$, можно добиться, чтобы выходное напряжение не зависело от сопротивления нагрузки.

Таким образом, в САР генератора с компаундированием можно полностью компенсировать возмущение, представляющее собой изменение нагрузки. Данная система является системой управления по возмущению, так как управление, которым является изменение потока возбуждения, пропорционально возмущению — изменению тока нагрузки.

В САР генератора компаундная обмотка является чувствительным элементом, и она без промежуточных элементов (усилительно-преобразовательного и исполнительного устройств) непосредственно воздействует на объект регулирования. Такие системы регулирования называются *системами прямого регулирования*. Системы управления (регулирования), в которых между измерительным элементом и регулирующим органом имеются усилительно-преобразовательные и исполнительные устройства, называются *системами непрямого управления (регулирования)*.

Недостатком метода компенсации является то, что он не всегда применим. Его нельзя использовать, если невозможно измерить возмущение (из-за того, что его существование неизвестно, или по другой причине). Его целесообразно использовать, когда на систему действует много различных возмущений, так как в этом случае УУ получается сложным. Кроме того, принцип компенсации нельзя использовать, если ОУ является нейтральным или неустойчивым.

3. Принцип обратной связи. *Управлением по отклонению* (или *принципом обратной связи*) называется такой способ управления, при котором определяется отклонение текущего значения выходной переменной от требуемого значения и на его основе формируется управляющее воздействие.

На рис. 1.5 представлен поплавковый регулятор уровня бензина, устанавливаемый в карбюраторе автомобильных карбюраторных двигателей. В нем реализован способ управления по отклонению.