



Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО
ЗАДАНИЯ ПО КУРСАМ «УПРАВЛЕНИЕ
В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»
И «ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ»**

Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Н.М. Задорожная, В.А. Дудолодов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ
ПО КУРСАМ «УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ» И «ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ»**

Под редакцией *К.А. Пупкова*

Москва

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

2009

УДК 62-52
ББК 32.965
3-15

Рецензент *Г.И. Ревунков*

- Задорожная Н.М.**
3-156 Методические указания к выполнению домашнего задания по курсам «Управление в технических системах» и «Основы теории управления» / Н.М. Задорожная, В.А. Дудолодов ; под ред. К.А. Пупкова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 16 с.: ил.

Приведены правила и примеры преобразования структурных схем линейных непрерывных стационарных систем автоматического управления, необходимые для решения задач проектирования и исследования указанных систем.

Для студентов, изучающих курсы «Управление в технических системах» и «Основы теории управления».

УДК 62-52
ББК 32.965

Учебное издание

Задорожная Наталья Михайловна
Дудолодов Владимир Андреевич

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ
ПО КУРСАМ «УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ» И «ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ»**

Редактор *С.А. Серебрякова*
Корректор *Л.Н. Петрова*
Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

Подписано в печать 03.09.2009. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 0,93. Тираж 100 экз. Изд. № 52. Заказ .

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания предназначены для подготовки студентов к выполнению домашнего задания по курсам «Управление в технических системах» (УТС) и «Основы теории управления» (ОТУ) (раздел «Математическое описание систем автоматического управления»).

Процесс проектирования систем автоматического регулирования (или управления) подразделяется на несколько характерных этапов.

Первый этап проектирования — построение математической модели (ММ) объекта регулирования (ОР) или объекта управления (ОУ). Зная физические процессы, протекающие в объекте, можно при определенных допущениях описать его поведение аналитически, обычно с помощью дифференциальных, интегрально-дифференциальных или разностных уравнений. Поскольку основой для построения ММ служат графические или табличные экспериментальные данные, коэффициенты уравнений (или матрицы) представляют в виде чисел. При этом проектировщику известны диапазоны изменения входных и выходных переменных. В результате он может составить структурную схему ОР (ОУ) различными методами: с помощью матриц, передаточных функций и графов.

Каждый из этих методов имеет свои особенности. Так, векторно-матричные структурные схемы не позволяют проектировщику изучать особенности внутренних связей в объектах, но их представление с помощью переменных состояния удобно при цифровом моделировании. Структурные схемы с передаточными функциями элементов являются достаточно громоздкими, но по ним

можно не только выявить все внутренние связи, но и определить, куда следует подключать различные устройства компенсации. Использование графов позволяет найти пути прохождения сигналов через элементы объектов, определить сильные и слабые связи и упростить структуры объектов за счет исключения слабых связей, что приводит к уменьшению порядка уравнений динамики и, следовательно, к сокращению объема вычислительных работ. Все эти методы являются эквивалентными: располагая матрицами, можно получить структурные схемы и графы объектов, и наоборот.

Получаемые ММ являются математической формализацией процессов в реальных объектах, причем один и тот же ОР (ОУ) в зависимости от принятых допущений может быть описан в различной форме. В связи с этим возникло направление исследований, в рамках которого разрабатываются методы определения ММ, наилучшей в отношении приближения ее частотных или временных характеристик к аналогичным характеристикам реального объекта, по данным наблюдения за входными и выходными переменными нормально функционирующего объекта. Это направление было названо идентификацией.

Второй этап проектирования — выбор устройств неизменяемой и изменяемой частей системы автоматического управления (САУ). К неизменяемой части принято относить исполнительные органы, усилители мощности и измерительные средства. Обычно их выбирают с учетом требований не только к точности и качеству процессов управления, но и к надежности действия, массогабаритным характеристикам, стоимости, стойкости к влиянию агрессивной среды, взрывобезопасности и др. К изменяемой части системы относят электронные усилители, преобразователи, микропроцессорные устройства и различные дополнительные средства компенсации сигналов, а также устройства коррекции динамических характеристик.

На втором этапе проектировщик составляет ММ устройств управления, входящих в неизменяемую часть САУ. Это обеспечивает основу для построения всей ее структуры. Если принято решение о месте включения устройств неизменяемой части (т. е. полностью определена структура всей системы), дальнейшее проектирование сводится к решению задачи анализа, а при необходимости — задачи синтеза.

Третий этап проектирования — решение задачи анализа или синтеза. При решении первой задачи проектировщик располагает полной структурой системы, что намного упрощает процесс проектирования, который сводится к расчетно-теоретической работе, выполняемой вручную или автоматически. При этом необходимо построить ММ замкнутых и разомкнутых систем (обычно сложных и представляющих собой последовательно и параллельно соединенные группы элементов с внутренними и внешними обратными связями) и определить их передаточные функции.

Для упрощения указанных выше операций широко используют правила структурных преобразований, позволяющие представить многоконтурные системы в виде одноконтурных. Следует отметить, что такие преобразования существенно различаются для линейных и нелинейных систем, что связано с невозможностью применения принципа суперпозиции и необходимостью сохранения амплитуды сигнала на входе нелинейной части неизменной независимо от выполняемых преобразований. Поэтому нельзя перемещать линейные элементы за нелинейные. Преобразование линейных передаточных функций (матриц), расположенных перед нелинейным элементом или за ним, выполняют обычными способами. В результате таких преобразований в большинстве случаев удастся разделить систему на нелинейную и линейную части, что позволяет упростить выполнение расчетов.

Принятый порядок анализа САУ состоит в исследовании устойчивости, качества и точности системы с помощью соответствующих методов.

В самом простом случае задача синтеза сводится к выбору типа и параметров последовательных, параллельных и последовательно-параллельных корректирующих устройств, обеспечивающих наиболее точное воспроизведение регулярных сигналов управления. Возможна и более сложная постановка задачи, когда требуется определить тип и параметры корректирующего устройства, обеспечивающего минимальную среднюю квадратичную ошибку, обусловленную помехами, при заданных динамической ошибке и времени протекания переходного процесса. В результате решения задачи синтеза в обоих случаях в систему вводят линейные корректирующие устройства, реализуемые в виде RC -фильтров или программ для микроконтроллеров.

Четвертый этап проектирования — моделирование системы. Если результаты моделирования соответствуют техническим условиям, на этом процесс проектирования заканчивают и составляют эскизный проект САУ. Затем на его основании выполняют техническое проектирование и проводят испытания (полунатурные или натурные).

В данных методических указаниях приведены обозначения и правила преобразования структурных схем САУ. Практическое применение правил преобразования структурных схем показано на примере. Даны варианты домашнего задания, используемого для закрепления знаний студентов по изучаемой теме. Также приведен список литературы, который включает как учебники и учебные пособия, так и сборники задач по теории автоматического регулирования и управления.

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

К основным вопросам линейной теории автоматического регулирования относятся методы составления и преобразования структурных схем линейных непрерывных стационарных САУ, исследование их устойчивости, качества и точности процессов регулирования и управления, а также синтез корректирующих устройств.

Условная схема, представленная в виде динамических типовых звеньев, определенным образом соединенных между собой, называется структурной схемой системы. Структурная схема рассматривается как схема прохождения и преобразования сигналов в САУ. Она используется для расчета динамики САУ. Отдельные звенья структурной схемы не обязательно соответствуют определенным конструктивным элементам системы — они изображают части системы, характеризуемые определенными переходными или передаточными функциями. Точки разветвления и узлы суммирования сигналов обычно разделяют отдельные звенья. Один конструктивный элемент системы может быть представлен не-

сколькими типовыми звеньями, а иногда несколько элементов объединяются в одно типовое звено. Все это облегчает расчет и конструирование САУ.

Структурную схему составляют на основании функциональной схемы, причем вначале определяют связи, по которым сигналы могут распространяться только в одном (прямом) направлении. Звенья при этом соединяют определенным образом, указывая стрелками направления распространения сигналов. Затем находят связи обратного прохождения сигналов и также наносят их на структурную схему. После этого в схему вводят возмущающие воздействия.

ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СТРУКТУРНЫХ СХЕМАХ

В структурных схемах применяют четыре основных элемента.

1. **Основной структурный элемент** имеет вид прямоугольного блока (рис. 1). Внутри блока записывают динамическую характеристику элемента (например, его передаточную функцию).



Рис. 1

2. **Элемент сравнения** может быть суммирующим (рис. 2, а) и вычитающим (рис. 2, б).

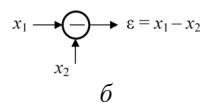
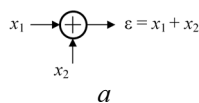


Рис. 2

3. **Элемент связи** имеет вид стрелки, указывающей направление сигнала (рис. 3).



Рис. 3

Связи классифицируются:

- по направлению — на прямые (рис. 4, *а*) и обратные (рис. 4, *б*);



Рис. 4

- по знаку — на положительные (рис. 5, *а*) и отрицательные (рис. 5, *б*).



Рис. 5

Обратные связи разделяют также по динамическим характеристикам: на жесткую (рис. 6, *а*) и гибкую (рис. 6, *б*).



Рис. 6

4. Точка разветвления показана на рис. 7.

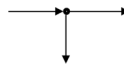


Рис. 7

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ

1. Преобразование последовательного соединения звеньев в одно звено показано на рис. 8. Передаточная функция полученного звена имеет вид

$$W(s) = W_1(s) W_2(s) W_3(s) \dots W_n(s).$$

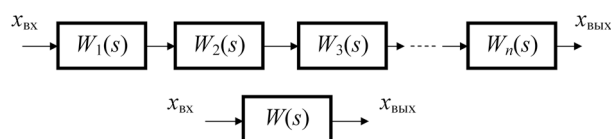


Рис. 8

2. Преобразование согласно-параллельного соединения звеньев в одно звено осуществляется в соответствии со схемами, показанными на рис. 9. При этом передаточная функция полученного звена имеет вид

$$W(s) = W_1(s) + W_2(s) + W_3(s) + \dots + W_n(s).$$

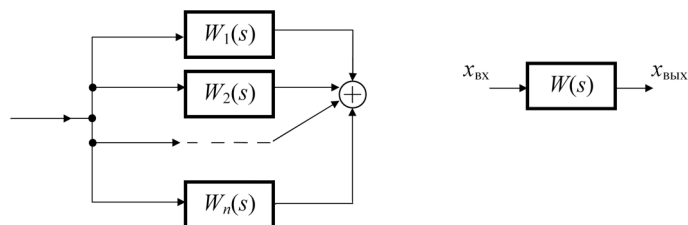


Рис. 9

3. Контур с жесткой обратной связью преобразуется согласно схемам, приведенным на рис. 10.

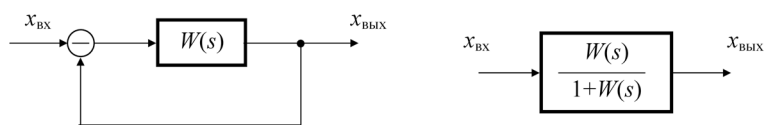


Рис. 10

4. Контур с гибкой обратной связью преобразуется в соответствии со схемами, показанными на рис. 11.

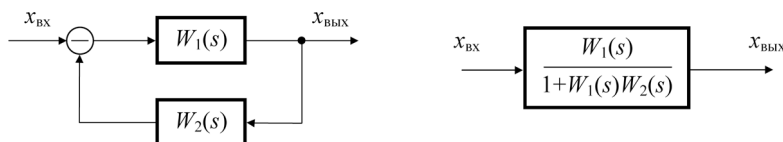


Рис. 11

5. Перестановка узла суммирования через звено против хода сигнала осуществляется следующим образом (рис. 12).

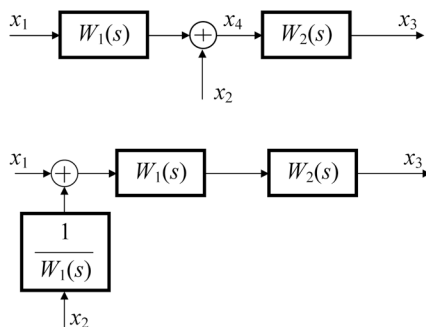


Рис. 12

6. Перестановка узла суммирования через звено по ходу сигнала выполняется, как показано на рис. 13.

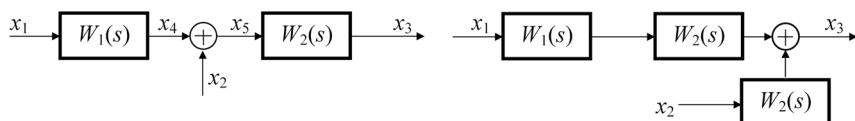


Рис. 13

7. Перестановка точки разветвления через звено против хода сигнала реализуется в соответствии со схемами, показанными на рис. 14.

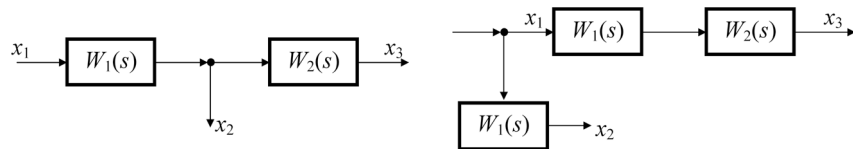


Рис. 14

8. Перестановка точки разветвления через звено по ходу сигнала соответствует рис. 15.

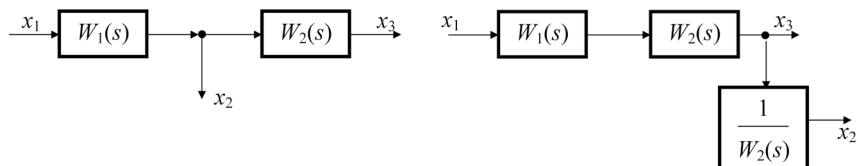


Рис. 15

9. Перестановка точек разветвления показана на рис. 16.

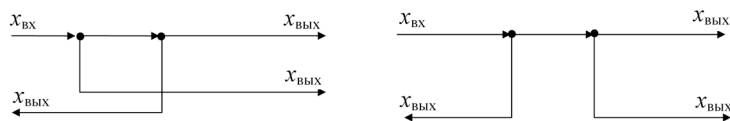


Рис. 16

10. Перестановка узла разветвления через узел суммирования осуществляется, как показано на рис. 17.

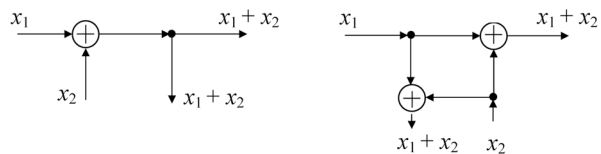


Рис. 17

11. Перестановка сравнивающих устройств осуществляется согласно схемам, показанным на рис. 18.

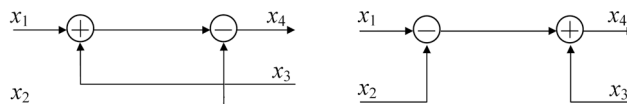


Рис. 18

ПРИМЕР ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ

Рассмотрим многоконтурную САУ, показанную на рис. 19. Требуется упростить структурную схему и определить ее передаточную функцию.

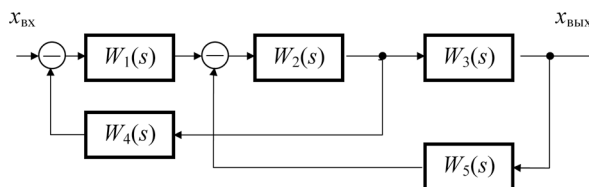


Рис. 19

Свертывание схемы можно начинать, выполнив предварительно перенос таких элементов схемы, как сумматор или узел, через звено в сторону совмещения их с одноименными элементами (узел с узлом или сумматор с сумматором). Перенесем первый сумматор через звено $W_1(s)$ по ходу сигнала (рис. 20).

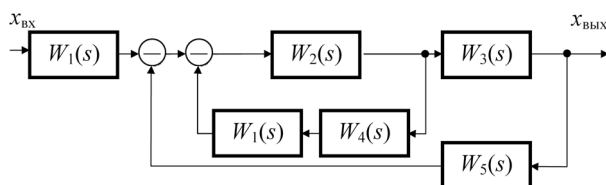


Рис. 20

Мы получили многоконтурную схему с отрицательными неперекрестными связями. Далее свертывание следует вести, начиная с внутреннего контура обратной связи (рис. 21).

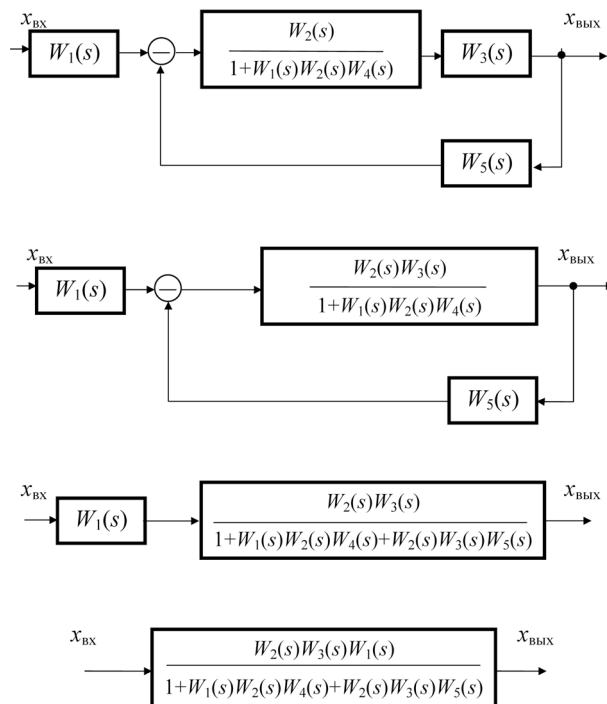


Рис. 21

Таким образом, мы получили свернутую передаточную функцию данной схемы и, кроме того, установили правило, что передаточная функция многоконтурной схемы с отрицательными неперекрестными обратными связями равна передаточной функции прямого тракта, деленной на единицу плюс сумма передаточных функций всех разомкнутых контуров.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача 1. Определить передаточную функцию САУ, преобразовав ее структурную схему (рис. 22).

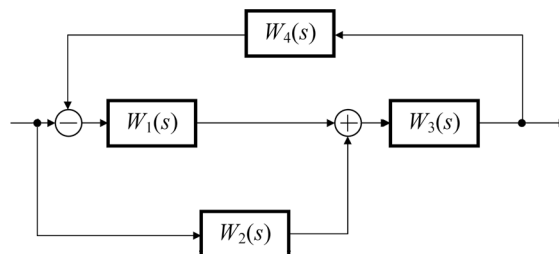


Рис. 22

Задача 2. Определить передаточную функцию САУ, преобразовав ее структурную схему (рис. 23).

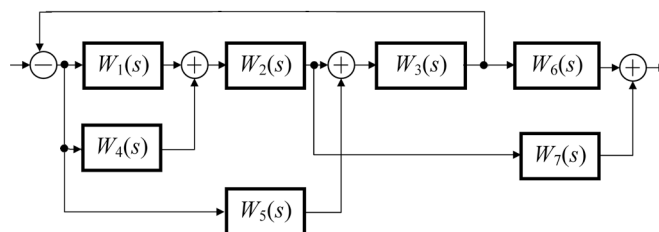


Рис. 23

Задача 3. Определить передаточную функцию САУ, преобразовав ее структурную схему (рис. 24).

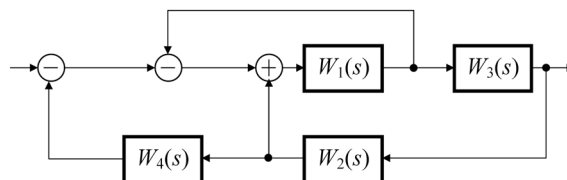


Рис. 24

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широко применяемые в теории автоматического регулирования структурные схемы представляют собой условное графическое изображение дифференциальных уравнений. Поскольку разбивка основного дифференциального уравнения системы на элементарные уравнения более низких порядков может быть проведена неоднозначно, то и структурная схема системы получается неоднозначной. Таким образом, можно составить множество различных структурных схем, соответствующих одному и тому же дифференциальному уравнению. Пользуясь приведенными выше правилами, каждую из этих структурных схем можно преобразовать в другую. Подобные преобразования широко применяются для упрощения структурных схем сложных элементов, объектов и систем.

ЛИТЕРАТУРА

Андрющенко В.А. Теория систем автоматического управления: Учеб. пособие. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1990.

Воронов А.А. Теория систем автоматического управления: Линейные системы. М.; Л.: Энергия, 1989.

Задачник по теории автоматического управления / Под ред. А.С. Шаталова. М.: Энергия, 1971.

Куропаткин П.В. Теория автоматического управления: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1973.

Методы теории автоматического управления: Учеб.: В 5 т. / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.

Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления / Под ред. В.А. Бесекерского. М.: Наука, 1969.

Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Теория автоматического управления техническими системами. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993.

Топчиев Ю.И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования: Учеб. пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1989.

Топчиев Ю.И., Цыпляков А.И. Задачник по теории автоматического регулирования. М.: Машиностроение, 1977.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Структурные схемы систем автоматического регулирования и управления	6
Обозначения, применяемые в структурных схемах	7
Основные правила преобразования структурных схем.....	9
Пример преобразования структурной схемы	12
Задачи для самостоятельного решения	13
Заключение	15
Литература	16