

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра двигателей летательных аппаратов

В.В. Никонов

**АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ГТД**

*КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К
ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ*

по дисциплине

"ОСНОВЫ АВТОМАТИКИ "

для студентов всех форм обучения
по специальности 130300

Москва - 2004

УДК 621.81 (075.8)

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Московского государственного технического университета ГА

Рецензенты: проф., д.т.н. Умушкин Б.П., МГТУ ГА;

Никонов В.В. АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ГТД

Контрольная работа и методические указания к ее выполнению по
дисциплине "ОСНОВЫ АВТОМАТИКИ". - М.: МГТУ ГА, 2004. -с. - Ил.
6, табл. 6, список лит. 4 наим.

ISBN

Методические указания издаются в соответствии с учебной програм-
мой для студентов очного и заочного форм обучения по специальности
130300.

Представленные методические указания рассмотрены и одобрены на за-
седаниях кафедры "Двигатели летательных аппаратов" 18.10.04 г. и методиче-
ского совета 09.11.04г.

ББК

ISBN

с Московский государственный
технический университет ГА,
2004

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1.ЗАДАЧА №1: ПРАВИЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ САР.....	5
1.1.. Цель, исходные данные и последовательность решения задачи	5
1.2.Теоретические сведения к задаче №1	5
1.2.1.Понятие о структурных схемах и их элементах.....	5
1.2.2.Правила преобразования структурных схем.....	10
2.ЗАДАЧА №2: ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТИПОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ОБОРОТОВ ГТД.....	16
2.1.Цель, порядок выполнения и выбор варианта задания.....	16
2.2.Теоретические сведения к задаче №2.....	16
2.2.1.Принципиальные схемы простейших систем автоматического регули- рования оборотов двигателя.....	16
2.2.2. Общие принципы и пример решения задачи.....	21
3. ЗАДАЧА №3: ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ РАЗОМКНУТЫХ И ЗАМКНУТЫХ САР.....	23
3.1. Цель, исходные данные и последовательность решения задачи	23
3.2.Выбор варианта задачи и рекомендации по расчетам и оформле- нию.....	23
3.3. Краткие теоретические сведения к задаче №3	26
3.3.1. Понятие об устойчивости.....	26
3.3.2. Алгебраические критерии Рауса и Гурвица.....	26
3.3.3. Частотные критерии Михайлова и Найквиста.....	29
ЛИТЕРАТУРА.....	31

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация современных летательных аппаратов практически невозможна без наличия автоматизированных систем. Конструкция аэрокосмической техники, военных и гражданских самолетов включает в себя огромное количество автоматически действующих агрегатов и узлов. Пожалуй, ни одно наземное транспортное средство по их количеству не может с ними сравниться.

Существует чрезвычайное разнообразие автоматических систем, выполняющих те или иные функции по управлению физическими процессами. Они содержат множество механических, гидравлических, электронных и других устройств, составляя сложный комплекс взаимодействующих элементов, описание функционирования которых в общем случае представляется довольно сложной проблемой.

Решению этой проблемы и посвящена автоматика, как область теоретических и прикладных знаний об автоматически действующих устройствах и системах. Теоретической основой автоматики служит теория автоматического управления (регулирования), главные положения которой излагаются в курсе «Основы автоматики».

Настоящая контрольная работа позволяет закрепить приобретенные теоретические знания по данной дисциплине и получить необходимые практические навыки в анализе и синтезе систем автоматического регулирования (САР), применяемых в газотурбинных двигателях (ГТД) воздушных судов (ВС).

Контрольная работа включает в себя вопросы, связанные:

с терминологией и основными понятиями теории автоматического регулирования;

с особенностями конструктивного исполнения, принципами действия и характеристиками САР, входящих в автоматику ВС и ГТД;

с оценкой САР на устойчивость;

с методами математического моделирования САР.

Работа включает в себя три блока вопросов, представляющих собой отдельные задания. Каждый блок связан с определенной учебной темой. Краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения контрольной работы, приводятся.

1. ЗАДАЧА №1: ПРАВИЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ САУ.

1. Цель, исходные данные и последовательность решения задачи.

Целью выполнения настоящего задания является закрепление полученных знаний по использованию передаточных функций при исследовании сложных САУ и получения их дифференциальных уравнений.

Задание включает в себя следующие этапы.

1. Выбрать соответствующую Вашему номеру (последняя цифра) зачетной книжки одну из структурных схем, приведенных на рис.1.1. и изобразить ее.

2. Используя правила преобразования структурных схем, привести структурную схему к простейшему виду - одному элементу с результирующей передаточной функцией. Каждый этап преобразования должен сопровождаться соответствующими рисунками и формулами.

3. Найти выражение для эквивалентных (результирующих) передаточных функций САУ в разомкнутом и замкнутом состояниях - $W_{САУ}^P(\hat{s})$ и $W_{САУ}^3(\hat{s})$.

4. Выбрать по табл.1.1. соответствующие Вашему варианту конкретные значения передаточных функций и подставить их в соотношения для полученных на предыдущем этапе эквивалентных передаточных функций. Выбор варианта осуществляется по предпоследней цифре номера зачетной книжки.

5. Записать уравнения динамики САУ в операторной форме и в форме линейного дифференциального уравнения

1.2. Теоретические сведения к задаче №1

1.2.1. Понятие о структурных схемах и их элементах.

Составление основных уравнений систем автоматического регулирования во многих случаях может быть значительно облегчено использованием структурных схем.

Часто САУ можно рассматривать как комбинацию звеньев с определенными типовыми или нетиповыми передаточными функциями. Изображения САУ в виде совокупности динамических звеньев с указанием связи между ними носит название *структурной схемы*. Структурная схема может быть составлена на основе известных уравнений системы, и наоборот, уравнения системы могут быть получены из структурной схемы. Элементы структурных схем приведены в табл.1.2.

Схема № 1

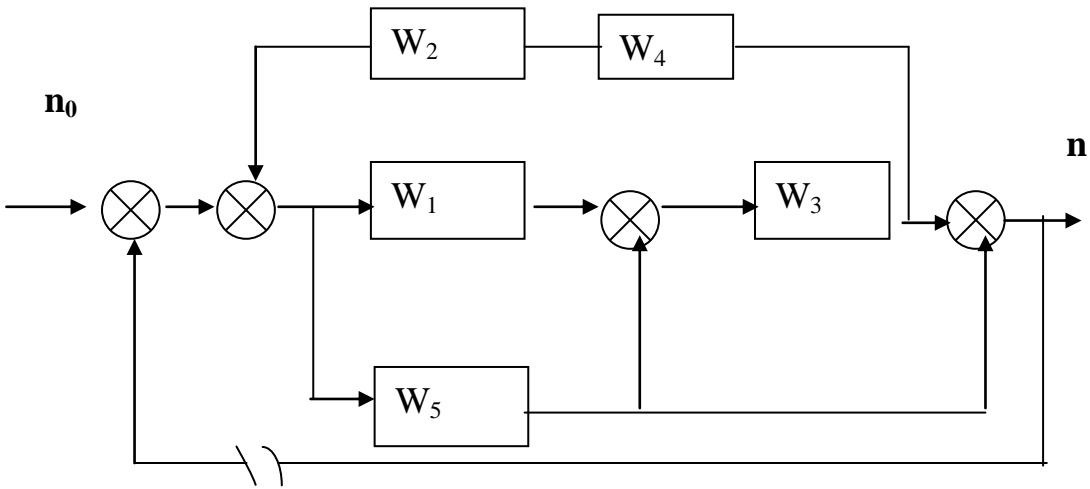


Схема № 2

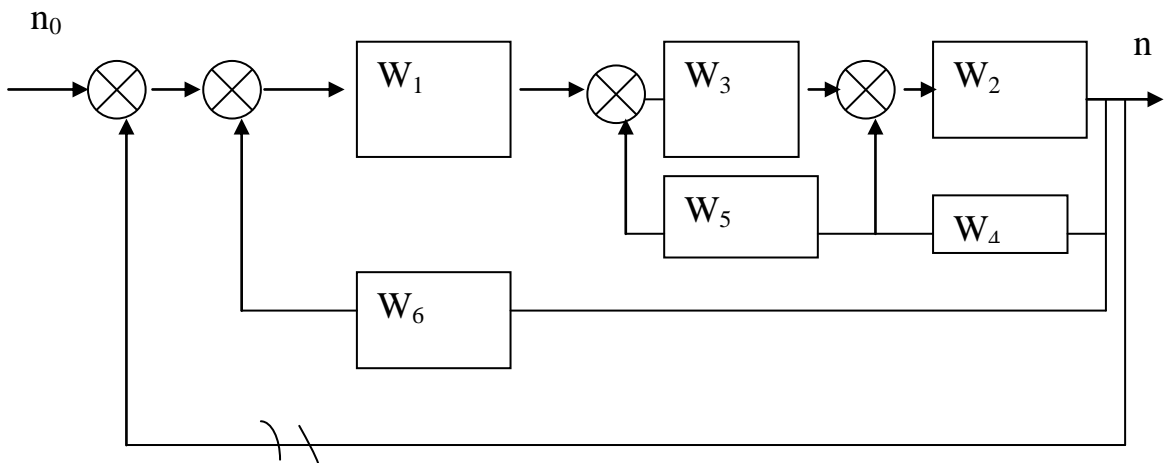


Схема №3

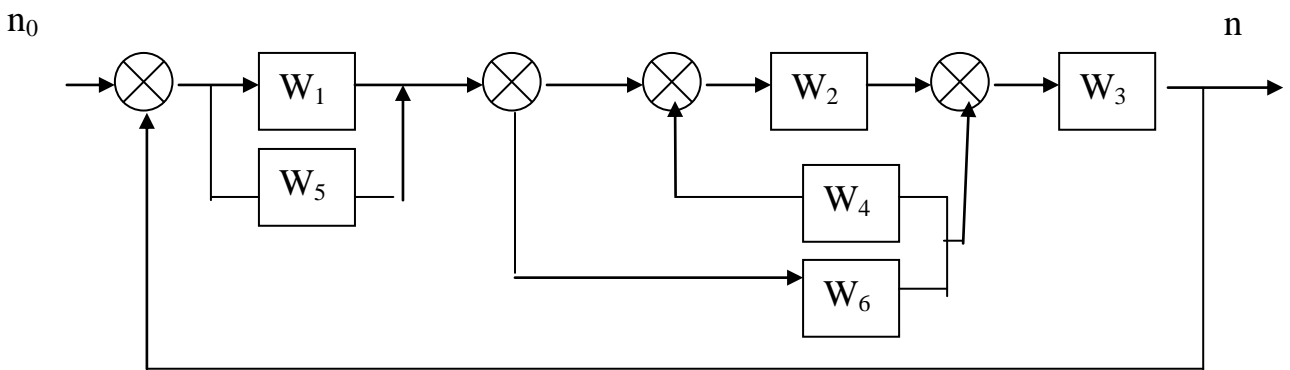


Рис. 1.1

Схема №4

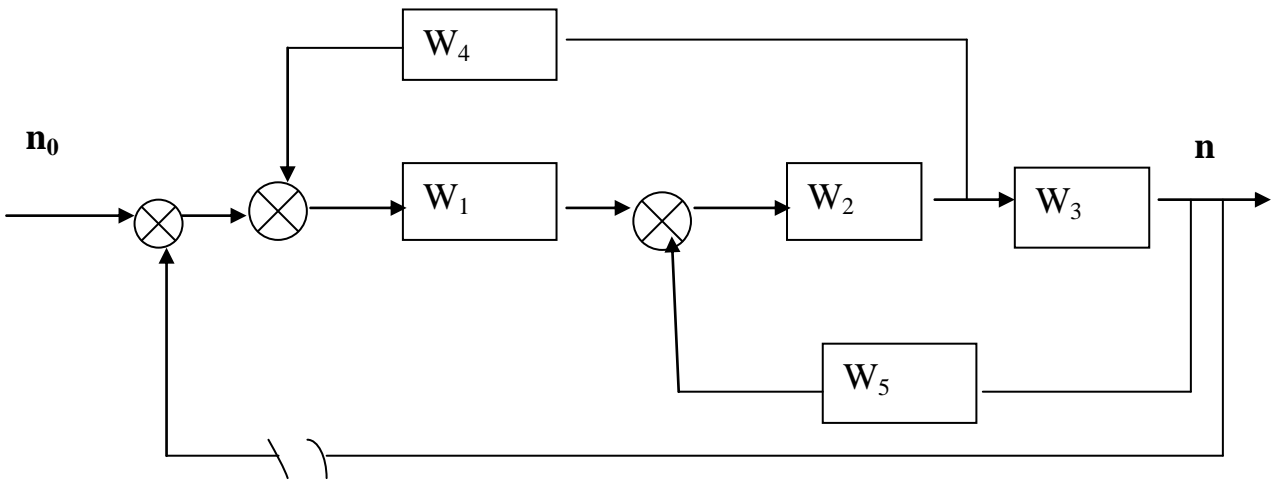


Схема №5

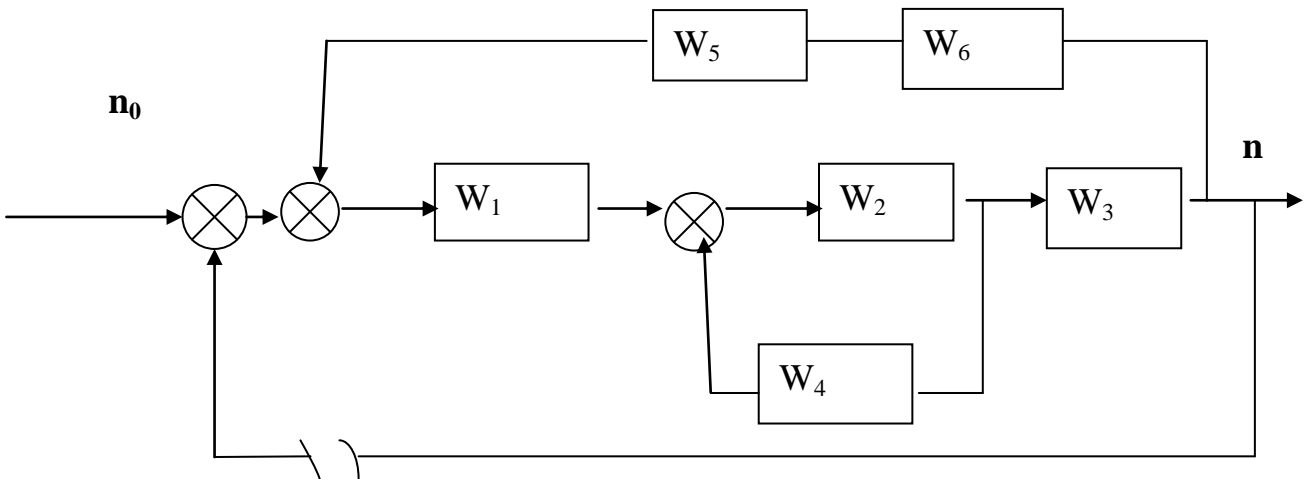


Схема №6

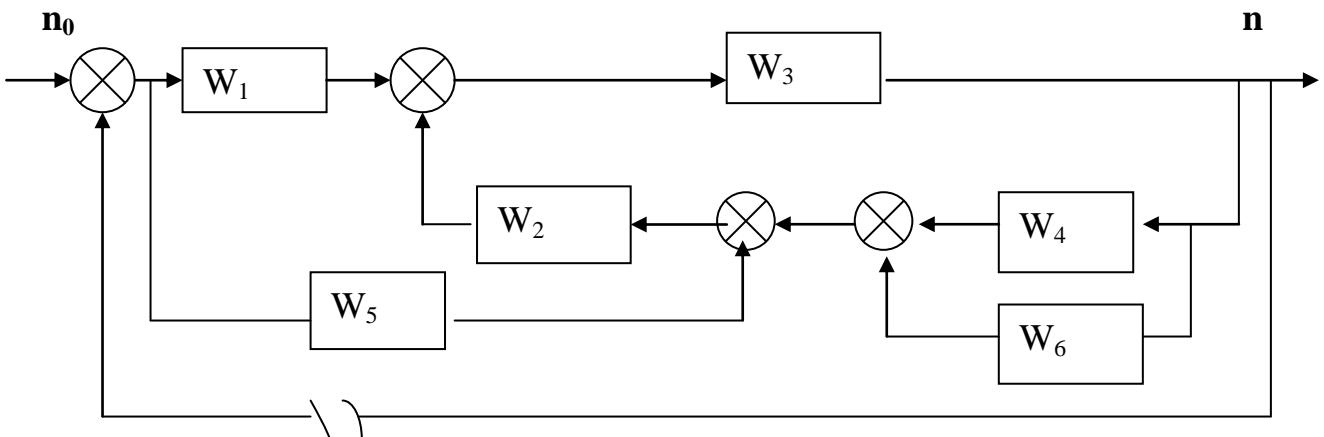


Рис.1.1. (продолжение)

Схема №7

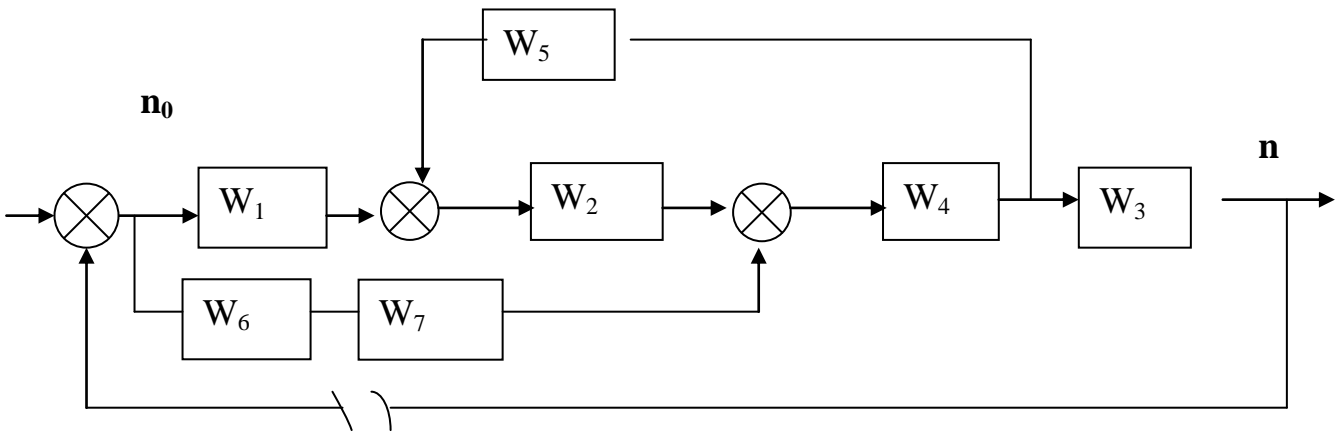


Схема №8

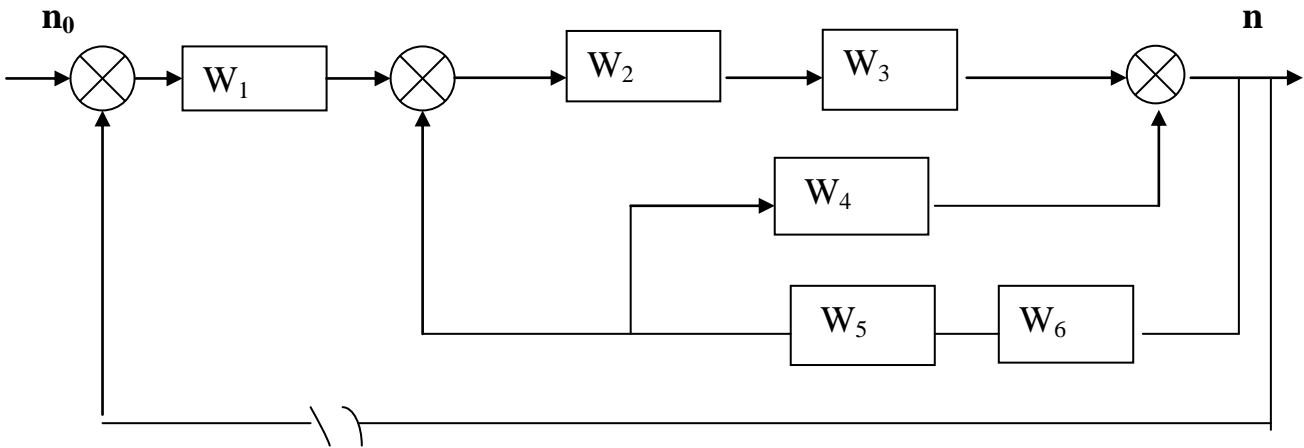


Схема №9

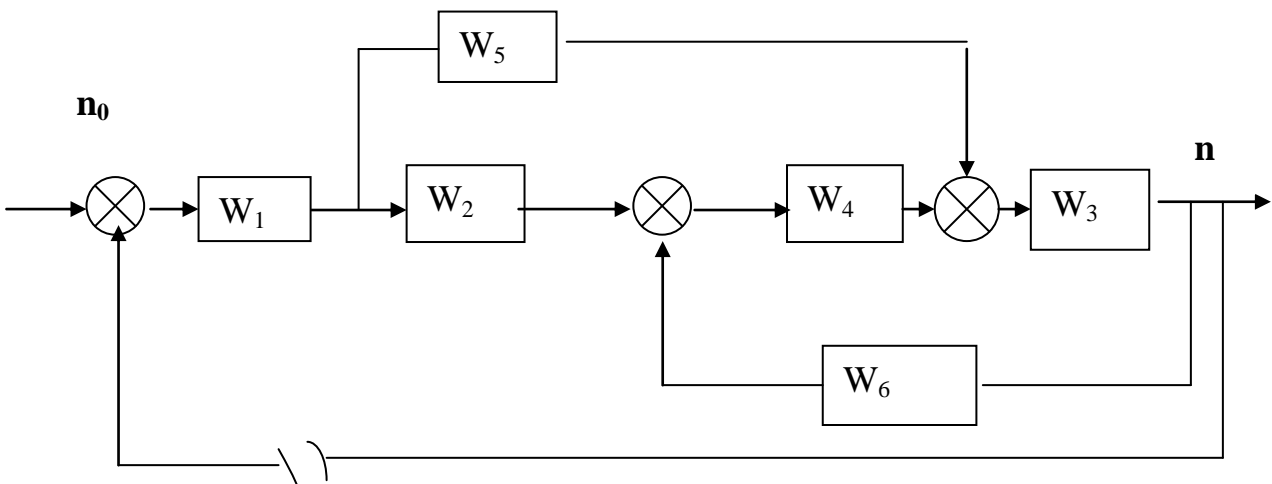


Рис. 1.1. (продолжение)

Схема № 10

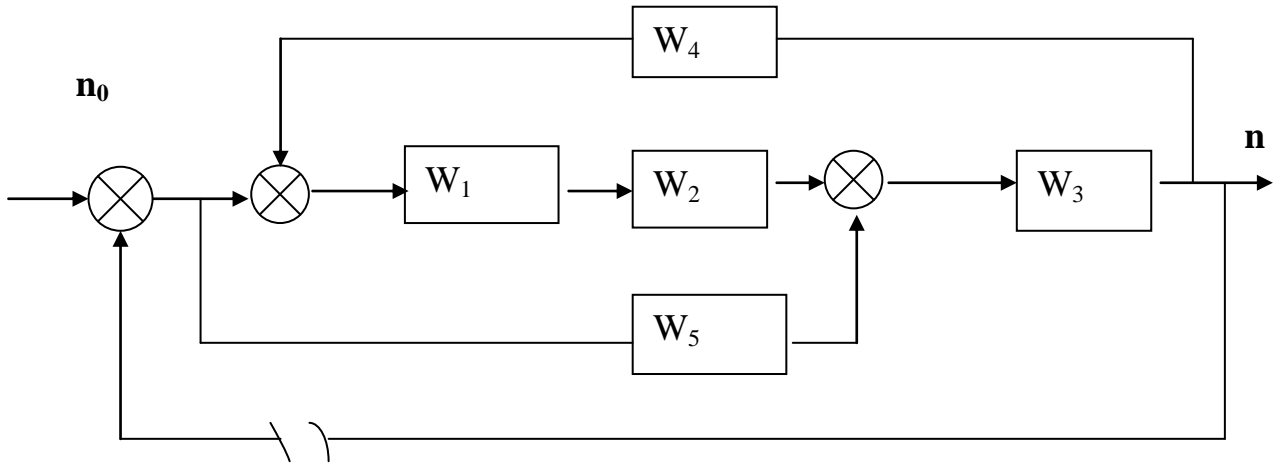


Рис.1.1, (продолжение)

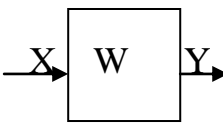
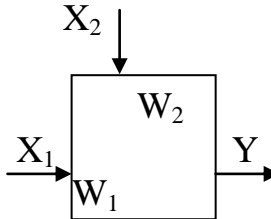
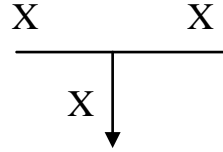
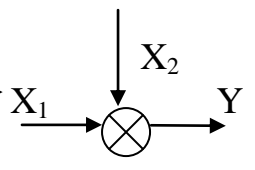
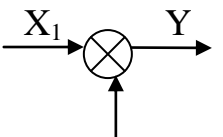
Значения передаточных функций к схемам Рис.1.1

Таблица 1.1

Предпол. цифра шифра	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
1	$\frac{k_1}{T_2 p^2 + T_1 p + 1}$	k_2	1	1	k_5	$k_6 p$	k_7
2	«	«	«	«	«	«	«
3	«	«	«	$k_4 p$	$k_5 p$	«	«
4	«	«	«	«	«	k_6	«
5	$\frac{k_1}{T_1 p + 1}$	«	k_3	«	«	$k_6 p$	«
6	«	«	«	p	«	«	«
7	$\frac{k_1 p}{T_1 p + 1}$	«	1	«	«	k_6	1
8	«	«	«	«	$\frac{k_5}{T_5 p}$	«	«
9	«	«	«	$\frac{p}{T_4 p + 1}$	k_5	«	«
0	$\frac{T_2 p + k_1}{T_2 p^2 + T_1 p + 1}$	«	$\frac{k_3}{p}$	«	«	«	«

Таблица 1.2

Элементы структурных схем

Звено с одним выходом	Звено с двумя выходами	Узел (разветвление)	Сумматор	Элемент сравнения
 $Y = W X$	 $Y = W_1 X_1 + W_2 X_2$		 $Y = X_1 + X_2$	 $Y = X_1 - X_2$

1.2.2. Правила преобразования структурных схем.

Рассмотрим вначале простейшие сочетания звеньев.

Последовательное соединение звеньев. Последовательным называют такое соединение звеньев, у которого каждая входная величина последующего звена является выходной предыдущего (Рис.1.2). В этом случае нетрудно показать, что результирующая передаточная функция равна произведению передаточных функций отдельных звеньев.

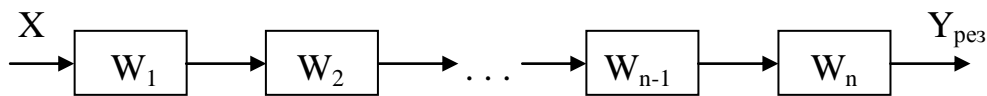


Рис.1.2

$$W_{\text{рез}} = W_1 W_2 \dots W_{n-1} W_n \quad (1.1)$$

Параллельное соединение звеньев. Параллельным называют такое соединение звеньев, у которых имеется общая входная величина, а выходная - представляет собой сумму выходных величин всех звеньев, входящих в соединение (рис.1.3). В этом случае результирующая передаточная функция равна сумме

передаточных функций звеньев.

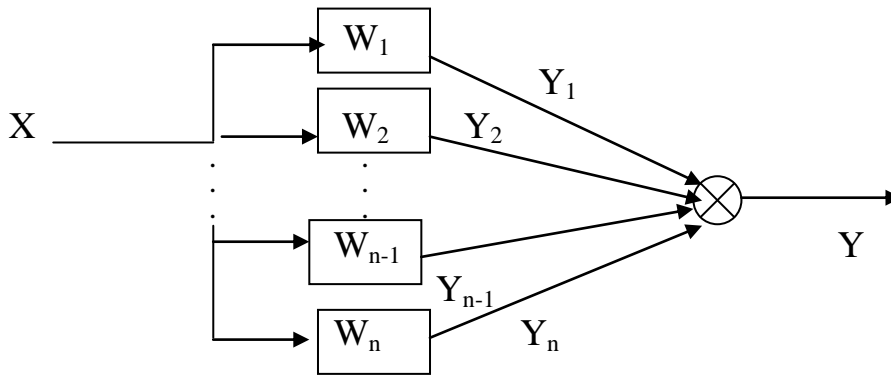


Рис.1.3

$$W_{\text{рез}} = W_1 + W_2 + \dots + W_{n-1} + W_n \quad (1.2)$$

Соединения с обратной связью. В этих соединениях два звена соединены так, что входная величина одного звена подается обратно на его вход через другое звено (в частном случае это звено может быть звено с единичной передаточной функцией, т.е. формально отсутствовать). Такое соединение звеньев изображено на рис. 1.4. Звено с передаточной функцией W_1 называют звеном прямого канала, а звено с передаточной функцией W_2 - звеном цепи обратной связи. В зависимости от знака выходной величины звена обратной связи, соединение может быть как с отрицательной (рис.1.4 ,а), так и с положительной (рис.1.4 ,б) обратной связью.

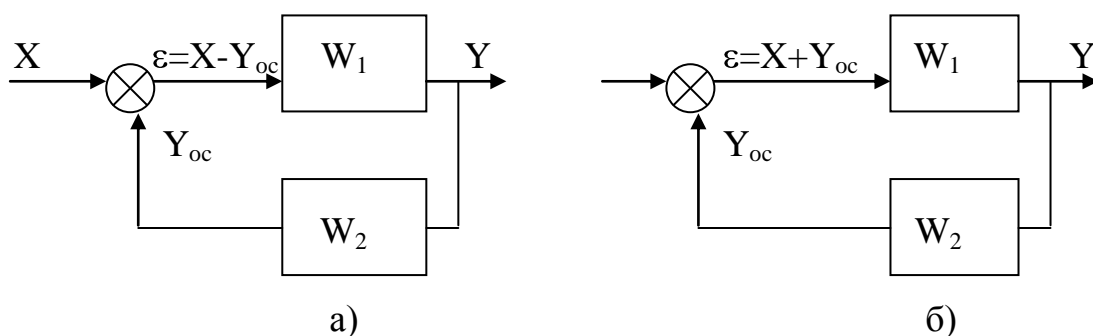


Рис.1.4

Определим в качестве примера результирующую передаточную функцию для такого сочетания звеньев.

В случае отрицательной обратной связи можно записать

$$Y = W_1 \varepsilon = W_1 X - W_1 Y_{oc} \quad , \quad (1.3)$$

в свою очередь,

$$Y_{oc} = W_2 Y \quad . \quad (1.4)$$

Подставляя (1.4) в (1.3), получим

$$Y = \frac{W_1}{1 + W_1 W_2} X \quad (1.5)$$

Из (1.5) следует

$$W_{рез} = \frac{W_1}{1 + W_1 W_2} \quad (1.6)$$

Аналогично определяется передаточная функция для соединений звеньев с положительной обратной связью

$$W_{рез} = \frac{W_1}{1 - W_1 W_2} \quad (1.7)$$

С помощью соотношений (1.1),(1.2),(1.6),(1.7), данных табл.1.2 и табл.1.3, определяющих эквивалентные замены типовых соединений звеньев, можно привести структурные схемы линейных замкнутых цепей САР к одной принципиальной схеме, показанной на рис.1.5,а. На этой схеме W_{01} передаточная функция объекта регулирования по управляющему воздействию и W_{02} - передаточная функция объекта регулирования по возмущающему воздействию, W_p - передаточная функция регулятора, Y – регулируемая величина, f - возмущающее воздействие, X - задающее (командное) воздействие, $e = X - Y$ - ошибка регулирования (рассогласование между командным воздействием и регулируемой величиной), U - управляющее (регулирующее) воздействие.

В этой структурной схеме элемент сравнения условно вынесен из регулятора. Поскольку регулятор в замкнутых САР всегда включен в отрицательную обратную связь, то на этот факт в обобщенной структурной схеме указывает отрицательный сектор сумматора против входа регулируемой величины Y в элемент сравнения. По каждому из входных сигналов (X , f , e) динамика системы может характеризоваться различными передаточными функциями: W_x (пе-

редаточная функция САР относительно регулируемой величины по отношению к задающему воздействию); W_f (передаточная функция САР относительно регулируемой величины по отношению к возмущающему воздействию); W_ε (передаточная функция САР сигнала ошибки по отношению к командному воздействию)

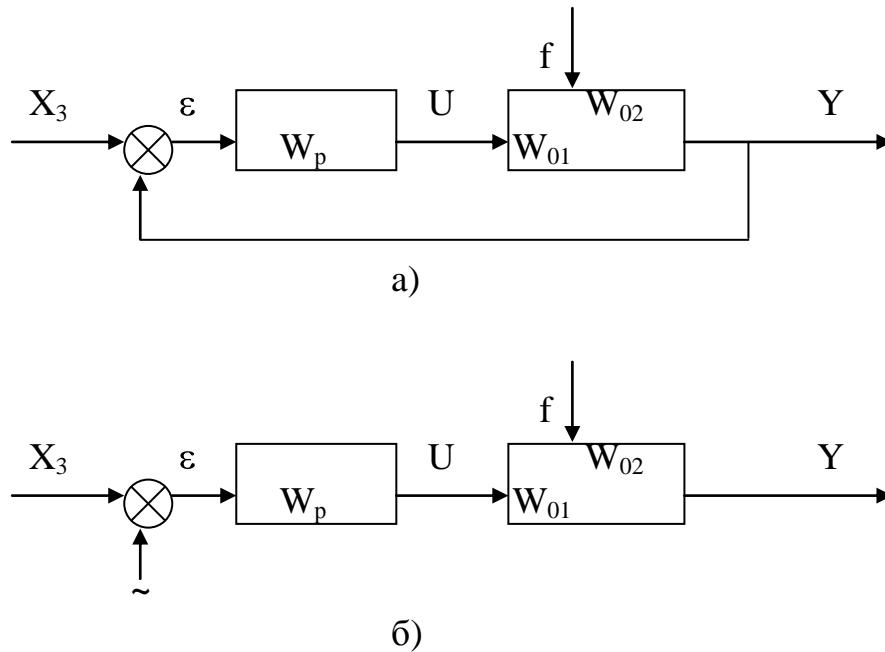


Рис.1.5.

Найдем соотношения, определяющие каждую из этих передаточных функций, через передаточные функции объекта и регулятора. Соотношение для передаточной функции W_x следует из выражения (1.6).

$$W_x = \frac{W_p W_{01}}{1 + W_p W_{01}} \quad (1.8)$$

Для определения передаточной функции выходной величины САР по отношению к возмущающему воздействию f положим $X_3 = 0$.

Тогда

$$W_x = \frac{W_{02}}{1 + W_p W_{01}} \quad (1.9)$$

Передаточная функция ошибки рассогласования выходной величины САР с командным сигналом по отношению к командному воздействию будет иметь вид

$$W_e = \frac{1}{1 + W_p W_{01}} \quad (1.10)$$

Полученные выражения для характерных передаточных функций замкнутых САР можно обобщить в одно

$$W_{\text{зам}} = \frac{W_{xy}}{1 + W_{\text{раз}}}, \quad (1.11)$$

где $W_{\text{зам}}$ - передаточная функция замкнутой цепи САР от любого входного до любого выходного сигнала; W_{xy} - передаточная функция участка цепи от места приложения воздействия X до любой величины Y ; $W_{\text{раз}}$ - передаточная функция разомкнутой САР.

Действительно, анализируя выражения (1.9), (1.10), (1.11), легко убедиться, что в числителе всегда стоит передаточная функция участка цепи от входного воздействия до рассматриваемой координаты. В знаменателе всюду стоит сумма $1 + W_{\text{раз}}$, в которой второе слагаемое соответствует передаточной функции последовательного соединения объекта с регулятором. Она получается при размыкании САР по линии обратной связи (рис.1.5,б). После операции размыкания соединение объекта с регулятором становится последовательным, для которого выполняется равенство $W_{\text{раз}} = W_p W_{01}$. Итак, обобщенное правило для составления передаточной функции замкнутой системы автоматического регулирования формулируется следующим образом: *для нахождения передаточной функции замкнутой САР необходимо в ее числителе записать передаточную функцию соединения звеньев от места приложения воздействия до рассматриваемой координаты, а в знаменателе – $\{1 + \text{передаточная функция соответствующей САР разомкнутой цепи}\}$.*

Следует отметить, что иногда составление структурной схемы сопряжено с большими трудностями и может быть сделано только с помощью детального анализа дифференциальных уравнений САР. В этом случае структурная схема не облегчает нахождение основных уравнений системы, но является весьма ценной, так как на ней в наглядной форме представлены все узлы исследуемой системы и все существующие между ними связи. Это может оказаться полезным во всех дальнейших исследованиях.

Правила преобразования структурных схем

Таблица 1.3

Операция	Исходная схема	Эквивалентная схема
Перестановка сумматоров или элементов сравнения	<p>$x_5 = x_1 - x_2 + x_3 + x_4$</p>	<p>$x_5 = x_1 - x_2 + x_3 + x_4$</p>
Перестановка звеньев		
Перенос узла с выхода на вход сумматора		
Перенос узла с входа на выход сумматора		
Перенос узла с выхода на вход звена		
Перенос узла с входа на выход звена		
Перенос сумматора с выхода на вход звена		
Перенос сумматора с входа на выход звена		
Замена звеньев прямой и обратной цепей		
Переход к единичной обратной связи		