

В. А. НЕХАЕВ, В. А. НИКОЛАЕВ, А. Н. СМАЛЕВ

**ТЕОРИЯ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

ЧАСТЬ 1

ОМСК 2014

2. ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ САУ

2.1. Теоретические сведения

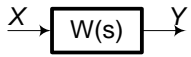
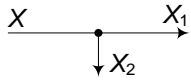
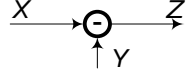
В некоторых случаях для упрощения задачи составления дифференциальных уравнений динамики системы и исследования ее динамических свойств можно воспользоваться представлением системы в виде структурной схемы, состоящей из динамических звеньев с типовыми передаточными функциями, соответствующих отдельным функциональным устройствам реальной САУ. Чтобы проводить дальнейшие расчеты динамических характеристик системы, ее исходную модель, представленную структурной схемой, следует представить в удобном виде, соответственно возникает задача преобразования структурной схемы САУ.

В любой схеме САУ всегда можно выделить следующие основные элементы: одномерное динамическое звено, узел (разветвление), сумматор и устройство сравнения (табл. 3). Более сложные конструкции, имеющие место в частных случаях моделирования отдельных видов систем, могут быть представлены с помощью определенной комбинации указанных базовых элементов. Принципиальной разницы между сумматором и устройством сравнения нет, отличие заключается только в знаке арифметической операции, применяемой к сигналам. Тем не менее у устройства сравнения помимо входов, сигналы на которых вычитаются, как правило, существует единственный вход, в который сигнал пода-

ется со знаком плюс. Именно с этим сигналом производится сравнение остальных, располагается этот вход на одной линии с выходом устройства сравнения. У сумматора в свою очередь все сигналы складываются.

Таблица 3

Базовые элементы структурной схемы САУ

Название элемента	Обозначение на схеме	Свойства
Одномерное динамическое звено		$Y(s) = W(s)X(s)$
Узел (разветвление)		$X(s) = X_1(s) = X_2(s)$
Сумматор		$Z(s) = X(s) + Y(s)$
Устройство сравнения		$Z(s) = X(s) - Y(s)$

При решении данного вида задач исходную структурную схему стремятся привести к типовому виду (рис. 5): в виде единственного динамического звена (для случая исследования разомкнутой системы) либо в виде схемы с единичной (жесткой) отрицательной обратной связью (для случая анализа замкнутой системы).



Рис. 5. Типовая структурная схема линейной разомкнутой (а) и замкнутой (б) системы

Различают три основных вида соединения динамических звеньев (рис. 6): последовательное, параллельное согласное и параллельное встречное. Каждое из указанных соединений можно заменить одним динамическим звеном с передаточной функцией, определяемой по формуле:

для последовательного соединения –

$$W(s) = W_1(s)W_2(s); \quad (27)$$

для параллельного согласного соединения –

$$W(s) = \pm W_1(s) \pm W_2(s); \quad (28)$$

для параллельного встречного соединения –

$$W(s) = \frac{W_1(s)}{1 \mp W_1(s)W_2(s)}. \quad (29)$$

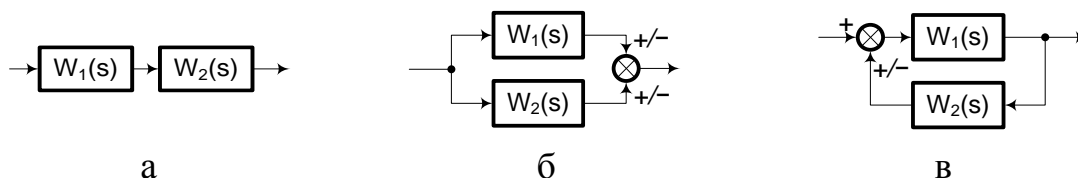


Рис. 6. Виды соединения звеньев САУ: последовательное (а); параллельные согласное (б) и встречное (в)

В формуле (28) знак каждой передаточной функции выбирают в соответствии со знаком арифметической операции, применяемой к сигналу, идущему от звена с данной передаточной функцией. В формуле (29), наоборот, знак «–» относится к положительной обратной связи (ПОС), а знак «+» – к отрицательной (ООС). Следует отметить, что любое параллельное соединение звеньев включает в себя не только динамические звенья, но также узел и сумматор (устройство сравнения), т. е. после замены всего соединения одним динамическим звеном указанные элементы связи необходимо убрать из схемы.

В начале решения задачи по возможности необходимо выделить в схеме простейшие виды соединения (рис. 6) и заменить каждое из них одним звеном, рассчитав их передаточные функции по формулам (27) – (29). Далее следует применить простейшие правила 1 – 3, приведенные в табл. 4. Свойство перестановки линий связи заключается в том, что в пределах одного узла сигнал остается одинаковым независимо от количества ответвлений (правило 1). Перестановка сумматоров или устройств сравнения не вызывает появления в схеме новых элементов, поскольку на данных устройствах выполняются только арифметические операции с сигналами, а они подчиняются коммутативному закону сложения (перестановка слагаемых не меняет суммы). Третье правило позволяет разделить каналы передачи сигнала, если они имеют общий сумматор или устройство сравнения. Для этого необходимо составить выражение для

выхода общего устройства, а затем раскрыть в нем скобки с соответствующими знаками (дистрибутивный закон сложения).

Таблица 4

Правила преобразования фрагментов структурной схемы САУ

Номер правила	Название преобразования	Схема		Соотношения
		исходная	преобразованная	
1	Перемена мест линии связи			$Y = W_1(s) X;$ $Z = W_2(s) Y$
2	Перестановка сумматоров			$V = X - Y + Z;$ $V = X + Z - Y$
3	Перестройка схемы сумматоров			$V = X - (Y + Z);$ $V = X - Y - Z$
4	Перенос линии связи до звена			$Y = W(s) X$
5	Перенос линии связи за звено			$Y = W(s) X;$ $X = W^{-1}(s) Y$
6	Перенос сумматора до звена			$V = W(s) X - Z;$ $V = W(s)[X - W^{-1}(s)Z]$
7	Перенос сумматора за звено			$V = W(s) (X - Y);$ $V = W(s) X - W(s) Y$
8	Перенос линии связи до сумматора			$Z = X - Y$
9	Перенос линии связи за сумматор			$Z = X - Y;$ $X = Z + Y$
10	Замыкание прямого канала жесткой обратной связью			$W(s) = \frac{\Phi(s)}{1 - \Phi(s)}$

В более сложных случаях, когда некоторые контуры являются взаимосвязанными, необходимо преобразовать схему согласно правилам 4 – 7 в табл. 4.

Главное условие такого преобразования: в эквивалентной схеме после преобразования любой выбранный сигнал от начала до конца контура (или канала передачи сигнала) должен последовательно проходить через те же динамические звенья, что и в исходной схеме. Если после преобразования схемы в цепи передачи сигнала какого-то звена не хватает, то его необходимо добавить в соответствующем месте схемы (правила 4 и 7 в табл. 4) так, чтобы оно не попало в канал передачи других сигналов, не связанных с выполняемым преобразованием. И, наоборот, на пути передачи сигнала может появиться лишнее динамическое звено, которого в рассматриваемом канале изначально не было, однако в текущем месте его убрать нельзя, так как через него проходят и другие сигналы. В этом случае его можно исключить, добавив последовательно в рассматриваемый канал звено с обратной передаточной функцией (правила 5 и 6 в табл. 4), не затрагивая линии передачи остальных сигналов.

После каждого подобного преобразования будут обязательно появляться простейшие соединения (см. рис. 6), которые снова необходимо будет упростить.

Если семь первых правил не позволяют далее упростить схему, следует применять правила 8 и 9, благодаря которым можно поменять местами соседние узел и сумматор (устройство сравнения). Формально данные два правила заключаются в переносе узла до сумматора или за него. Чтобы верно определить знаки, необходимо записать выражение для выхода сумматора. После преобразования операции должны быть выполнены с такими знаками, чтобы на обоих устройствах на выходе получался исходный сигнал. Что касается правила 9, для одного из устройств выходной сигнал нужно выразить из полученного выражения. После преобразования фрагмента схемы помимо определения верных знаков операций над сигналами нужно внимательно расставлять линии связи, поскольку появляются дополнительные сумматор и линии связи. В связи с этим данный участок схемы становится трудным для визуального восприятия, и линии связи в пределах этого участка необходимо по возможности провести таким образом, чтобы они не пересекались многократно.

В ходе последовательного выполнения преобразований отдельных контуров схема постепенно будет приведена к типовому виду для системы в разомкнутом состоянии (рис. 5, а). Отметим, что перейти от данной типовой схемы к случаю замкнутой системы можно согласно правилу 10 в табл. 4.

2.2. Задание для самостоятельной работы

Выполнить топологическое преобразование структурной схемы САУ, приведенной на рис. 7 и представить ее в виде типовой структурной схемы в разомкнутом и замкнутом состоянии.

