**1 практика**

по дисциплине “Схемотехника СУ”

**ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ**

**1. Цель практического занятия**

Целью работы является изучение эквивалентных структурных преобразований и нахождения передаточных функций многоконтурных САУ.

**2. Теоретическая часть**

Для наглядного представления сложной системы как совокупности элементов и связей между ними используются структурные схемы.

Структурной схемой называется схема САУ, изображенная в виде соединения ПФ составляющих ее звеньев.

Структурная схема показывает строение автоматической системы, наличие внешних воздействий и точки их приложения, пути распространения воздействий и выходную величину.

Динамическое или статическое звено изображается прямоугольником, в котором указывается ПФ звена. Воздействия на систему и влияние звеньев друг на друга (сигналы) изображаются стрелками. В каждом звене воздействие передается только от входа звена к его выходу.

На динамическое звено может воздействовать лишь одна входная величина, поэтому используются блоки суммирования и сравнения сигналов. Суммироваться и сравниваться могут лишь сигналы одной и той же физической природы.

Структурная схема может быть составлена по уравнению системы в пространстве состояний или по системе [дифференциальных](https://pandia.ru/text/category/differentcial/) уравнений. При составлении структурной схемы удобно начинать с изображения задающего воздействия и располагать динамические звенья, составляющие прямую цепь системы, слева направо до регулируемой величины. Тогда основная обратная связь и местные обратные связи будут направлены справа налево.

**2.1. Структурные схемы.** Структурной схемой САУ называют форму ее графического представления. На структурной схеме отдельные элементы системы управления соединяются между собой с помощью стрелок, указывающих направление передачи информации.

Основными элементами структурной схемы являются звенья, сумматоры, элементы сравнения и узлы. Звено на схеме изображается прямоугольником, в поле которого указывается его динамическая характеристика, чаще всего ПФ. Сумматор – это элемент структурной схемы, имеющий два или более входа и один выход (рис. 1), причем выходная величина равна сумме входных воздействий

.



**×**

Рисунок 1 – Сумматор

Элемент сравнения – это компонент структурной схемы (рис. 2), выходной сигнал которого равен разности входных воздействий

.



**×**

Рисунок 2 – Элемент сравнения

Узел – это элемент структурной схемы, который имеет один вход и два или более выходов (рис. 3), причем все выходные величины равны входному воздействию

, .



Рисунок 3 – Компонент ветвление

**2.2. Правила эквивалентных преобразований структурных схем.** При исследовании САУ структурная схема может использоваться для отыскания ПФ системы. Эта задача является относительно простой для стандартных сочетаний звеньев системы управления.

К числу типовых соединений звеньев в САУ относят последовательное, параллельное согласное и параллельное встречное, представляющее собой охват звена обратной связью.

Поскольку ПФ элемента САУ равна отношению изображений по Лапласу выходной переменной к входному воздействию, то сигнал на выходе любого звена системы может быть найден как произведение входного воздействия для данного компонента САУ на его ПФ. ПФ последовательного соединения звеньев (рис. 4) равна произведению их ПФ.



Рисунок 4 – Последовательное соединение звеньев

Т.к. в этом случае



.

Следовательно,

,

где n – число элементов цепи.

ПФ параллельного согласного соединения звеньев (рис. 5) равна алгебраической сумме их ПФ.



**×**

Рисунок 5 – Параллельное согласное соединение звеньев

Здесь





.

Таким образом, получаем

,

где n – число элементов соединения.

При параллельном встречном соединении звеньев (рис 6) выделяют прямой канал передачи информации



и канал обратной связи (ОС)

.

Различают положительную обратную связь (ПОС), если сигнал ОС суммируется с сигналом на входе соединения, и отрицательную обратную связь (ООС), если сигнал ОС вычитается.



**×**

**×**

Рисунок 6 – Соединение с обратной связью

Переменные величины ,  и  связаны уравнением

.

В свою очередь



.

Откуда вытекает, что

.

Таким образом, ПФ соединения с обратной связью равна дроби, в числителе которой стоит ПФ прямой цепи, а в знаменателе единица плюс или минус произведение ПФ прямой цепи и цепи ОС. Данное определение можно сформулировать иначе. ПФ соединения с обратной связью равна дроби, в числителе которой стоит ПФ прямого канала связи, а в знаменателе единица плюс или минус ПФ разомкнутого контура (рис. 7).Во многих случаях САУ представляет собой сложную систему с большим числом взаимосвязанных элементов. Поэтому прибегают к преобразованиям позволяющим избавиться от перекрестных связей и тем самым упростить схему. Перенос узла с входа на выход звена (рис. 7).



Рисунок 7 – Правило переноса узла

Перенос сумматора с входа на выход звена (рис. 8).



**×**

**×**

Рисунок 8 – Правило переноса сумматора

Перенос узла с выхода на вход звена (9).



Рисунок 9 – Правило переноса узла

Перенос сумматора с выхода на вход звена (рис. 10). Эквивалентность преобразования заключается в том, что ПФ соединения остается постоянной. Для преобразования структурной схемы необходимо типовое соединение звеньев заменить звеном с эквивалентной ПФ.

Затем следует выполнить перенос узлов, сумматоров и другие преобразования, чтобы в полученной схеме образовались новые типовые соединения звеньев. Эти соединения следует заменить эквивалентными и вновь произвести преобразования, если таковые потребуются. Для исключения ошибок следует вычерчивать структурную схему после каждого этапа преобразований.



**×**

**×**

Рисунок 10 – Правило переноса сумматора

**3. Методика выполнения работы**

Методику выполнения практической работы рассмотрим на примерах.

**Пример 1.** Применим рассмотренные правила эквивалентных преобразований для упрощения структурной схемы

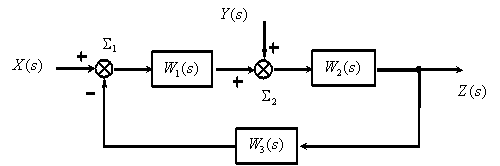


Рисунок 11

Процесс преобразования, который часто называют свертыванием структурной схемы, выглядит следующим образом.

1. Перенесем суммирующее звено D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image014.gifчерез динамическое звено D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image015.gif.

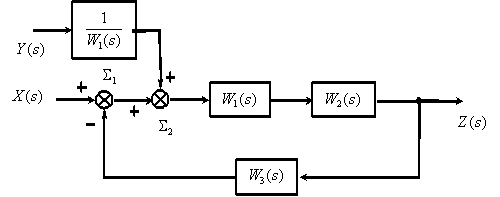


Рисунок 12

2. Поменяем местами суммирующие звенья D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image017.gifиD:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image018.gif.

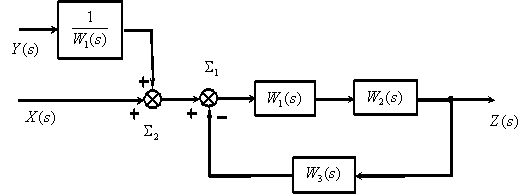


Рисунок 13

3. Преобразуем последовательно включенные динамические звенья *W1(s)* и *W2(s).*

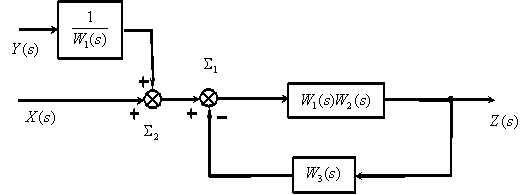


Рисунок 14

4. Преобразуем замкнутый контур с отрицательной обратной связью

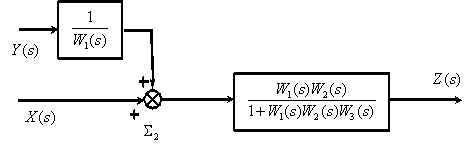


Рисунок 15

5. Перенесем суммирующее звеноD:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image025.gif вправо.

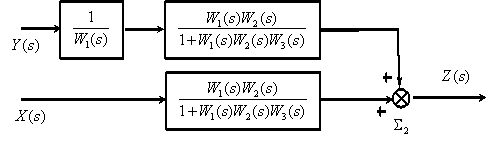


Рисунок 16

6. Преобразуем последовательно включенные звенья

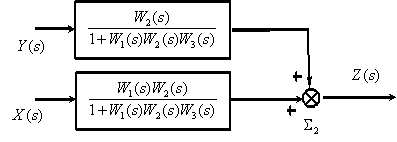


Рисунок 17

В соответствии с полученной структурной схемой запишем операторное уравнение

|  |  |
| --- | --- |
| D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image028.gif | (1) |

Уравнение показывает, что D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image029.gifявляется линейной комбинацией изображений входных сигналов, взятых с коэффициентами D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image030.gifи D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image031.gif. Выясним смысл этих коэффициентов на примере коэффициента D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image032.gif. Для этого положим в (1) D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image033.gif, тогда получим

|  |  |
| --- | --- |
| D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image034.gif | (2) |

Таким образом, из (2) следует, D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image035.gif– это передаточная функция динамического звена, к которому свернута структурная схема в предположении, что изображения всех входных сигналов, кроме *X(s)*, равны нулю.

Теперь становится ясным смысл и самого операторного уравнения (1), описывающего систему. Он заключается в том, что реакция линейной системы на совместно действующие входные сигналы может быть определена в виде суммы частичных реакций, каждая из которых вычисляется в предположении, что на систему действует только один входной сигнал, а остальные равны нулю.

По сути – это формулировка фундаментального принципа, который называют принципом наложения или суперпозиции. Этот принцип можно рассматривать как дополнение к правилам эквивалентных преобразований структурных схем и активно использовать на практике.

**Принцип суперпозиции для линейных систем**

*Для линейных систем справедлив принцип суперпозиции (наложения): реакция системы на несколько одновременно действующих входных воздействий равна сумме реакций на каждое воздействие в отдельности. Это позволяет ограничиться изучением систем с одним входом.*

Практически принцип суперпозиции для нахождения конкретной передаточной функции используют следующим образом. Полагают равными нулю все входные сигналы, кроме необходимого сигнала, а затем выполняют преобразование структурной схемы в одно динамическое звено.

**Пример 2.** Рассмотрим использование принципа суперпозиции на примере показанной на рис. 1 структурной схемы.

1. Полагаем D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image037.gif и изобразим соответствующую этому случаю структурную схему.

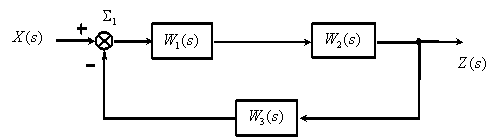


Рисунок 18

Используя эквивалентные преобразования, получим

D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image039.gif.

2. Полагаем D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image040.gif и изобразим соответствующую этому случаю структурную схему

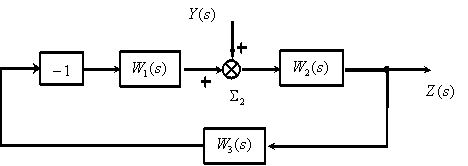


Рисунок 19

Используя эквивалентные преобразования, получим

D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image042.gif.

3. Имея D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image043.gif, в соответствии с принципом суперпозиции получим "свернутую" структурную схему САУ.

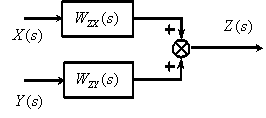


Рисунок 20

**3. Задание**

1. Определите передаточные функции замкнутой САУ по задающему воздействию, по возмущению, по ошибке.

2. Ответьте на контрольные вопросы.

**4. Варианты заданий**

1. Определите передаточные функции

D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image045.gif

по следующей структурной схеме

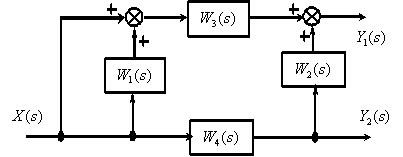


Рисунок 21

2. Определите передаточную функцию, эквивалентную структурной схеме.

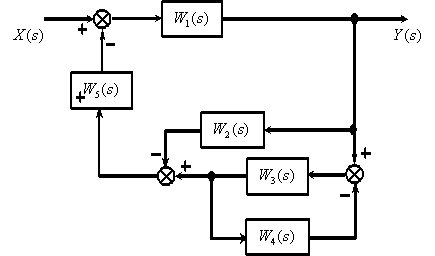


Рисунок 22

3. Определите передаточные функции

D:\Ишимбай. 2019 -2020\2021 г\Лекции\Лекция 7_files\image050.gif

по следующей структурной схеме

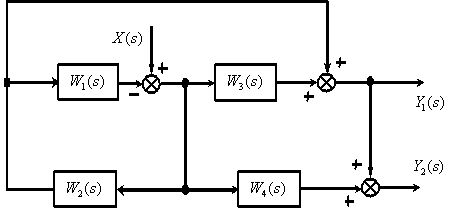
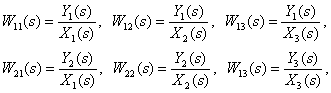


Рисунок 23

4. Определите передаточные функции



по следующей структурной схеме

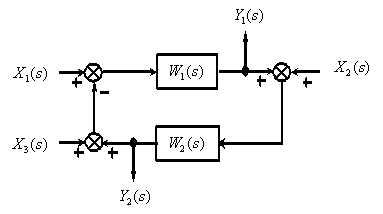


Рисунок 24

**5. Контрольные вопросы**

1. Какие задачи позволяют решать правила эквивалентных преобразований структурных схем?

2. Дайте определение принципа суперпозиции применительно к структурным схемам систем автоматического управления.

3. Как используют принцип суперпозиции на практике?

**6. Литература**

1. Ротач В.Я., Теория автоматического управления: учебник для вузов. /М.: МЭИ, 2020. <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014172.html> (дата обращения: 17.10.2020).

2. Ягодкина Т. В. Теория автоматического управления. М.: Издательство Юрайт, 2019. – 470 с. Текст: электронный // ЭБС:

<https://urait.ru/bcode/433166>. (дата обращения: 17.10.2020).

3. Архипов С.Н. Основы теории управления техническими системами. - Электрон. текстовые данные. ‑ Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. ‑ 166 c.

4. Цветкова О.Л. Теория автоматического управления: – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2016. – 207 с.:

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=443415> (дата обращения: 17.10.2020).

5. Донской Н.В. Теория автоматического управления: учебное пособие. ‑ Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2015. – 234 с.

6. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф., Михеев Н.Н. Теория автоматического управления. - Мн.: Дизайн ПРО, 2000. - 352 с: