

Тема 3. Структурная схема. Режимы работы САУ. Эквивалентные преобразования структурных схем.

Структурные схемы САУ и их преобразования

Элементы структурных схем.

Структурной называют схему САУ, показывающую из каких элементов состоит эта САУ и как они соединены между собой. Фактически структурная схема представляет собой графическое изображение математической модели САУ, связывающее входные и выходные переменные элементов САУ через их передаточные функции.

Динамические звенья на структурной схеме изображают в виде прямоугольника. Суммирующее звено (рисунок 3.1 а), реализующее уравнение $y=x_1+x_2$ и сравнивающее звено (рисунок 3.1 б), реализующее уравнение $y=x_1-x_2$, изображают в виде круга, разделенного на сектора, причем сектор, куда подается вычитаемое, зачерняют. Соединение, показанное на рисунке 3.1 в, называют узлом, реализующим функцию размножения сигнала $y=x_1=x_2$.

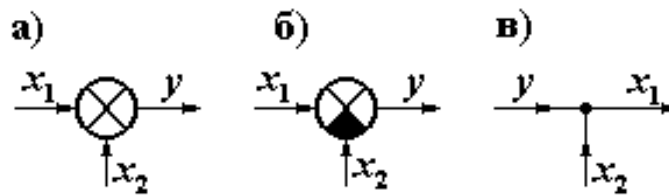


Рисунок 3.1 Обозначения суммирующего (а) , сравнивающего звена (б) и узла (в) в на структурной схеме

Правила преобразования структурных схем.

В результате синтеза САУ может получиться ее сложная структурная схема, содержащая последовательно и параллельно включенные звенья, часть из которых может быть охвачена обратными связями. Для проведения практических расчетов такую структурную схему желательно упростить. Выполняется это по нижеизложенным правилам.

1) Последовательное соединение звеньев (рисунок 3.2 а).

Задачей преобразования является замена цепи из последовательно соединенных звеньев одним звеном с передаточной функцией, эквивалентной этому соединению (рисунок 3.2 б).

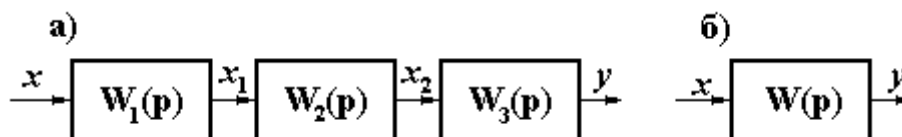


Рисунок 3.2 - Структурная схема последовательного соединения звеньев (а) и эквивалент соединения (б)

Из схемы соединения следует:

$$x_1=W_1(p)x; x_2=W_2(p)x_1; y=W_3(p)x_2.$$

Исключая из этих уравнений промежуточные переменные x_1 и x_2 , получим

$$y=W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)x,$$

откуда

$$W(p)=\prod_{i=1}^n W_i(p),$$

т.е. передаточная функция последовательно соединенных звеньев равна произведению передаточных функций этих звеньев.

2) Параллельное соединение звеньев (рисунок 3.3). При параллельном соединении на вход всех звеньев подается один и тот же сигнал, а выходные сигналы складываются.

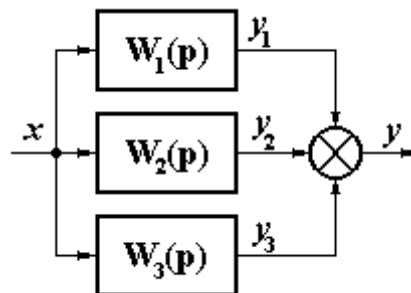


Рисунок 3.3 - Структурная схема параллельного соединения звеньев

Из схемы соединения звеньев следует:

$$y=y_1+y_2+y_3=W_1(p)x+ W_2(p)x+ W_3(p)x=[W_1(p)+W_2(p)+W_3(p)]x,$$

откуда

$$W(p)=\sum_{i=1}^n W_i(p)$$

т.е. передаточная функция параллельно соединенных звеньев равна сумме передаточных функций этих звеньев.

3) Звено, охваченное обратной связью (рисунок 3.4).

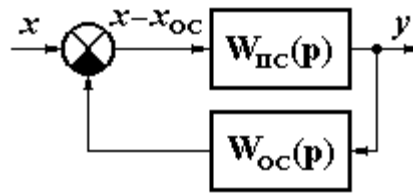


Рисунок 3.4 – Структурная схема звена, охваченного обратной связью

Под обратной связью понимают подачу выходной величины звена (звена прямой связи $W_{пс}(p)$) через другое звено (звено обратной связи $W_{ос}(p)$), снова на его вход. Обратная связь может быть положительной, если выходная величина звена обратной связи $x_{ос}$ складывается с входной величиной x , и отрицательной, если вычитается.

Из схемы соединения следует:

$$y = W_{пс}(p)(x - x_{ос}); \quad x_{пс} = W_{ос}(p)y.$$

Исключая из этих уравнений переменную $x_{ос}$, получим

$$y[1 + W_{пс}(p) \cdot W_{ос}(p)] = W_{ос}(p)x,$$

откуда

$$y = \frac{W_{пс}(p)}{1 + W_{пс}(p)W_{ос}(p)} x = W(p)x.$$

Таким образом, передаточная функция соединения звеньев с обратной связью определяется выражением

$$W(p) = \frac{W_{пс}(p)}{1 \pm W_{пс}(p)W_{ос}(p)}.$$

В этой формуле знак плюс в знаменателе ставится при отрицательной обратной связи, и знак минус при положительной.

Если передаточная функция звена обратной связи $W_{ос}(p)=1$, то обратная связь называется единичной, а само звено обратной связи на структурной схеме не изображается.

4) Перенос сумматора (рисунок 3.5).

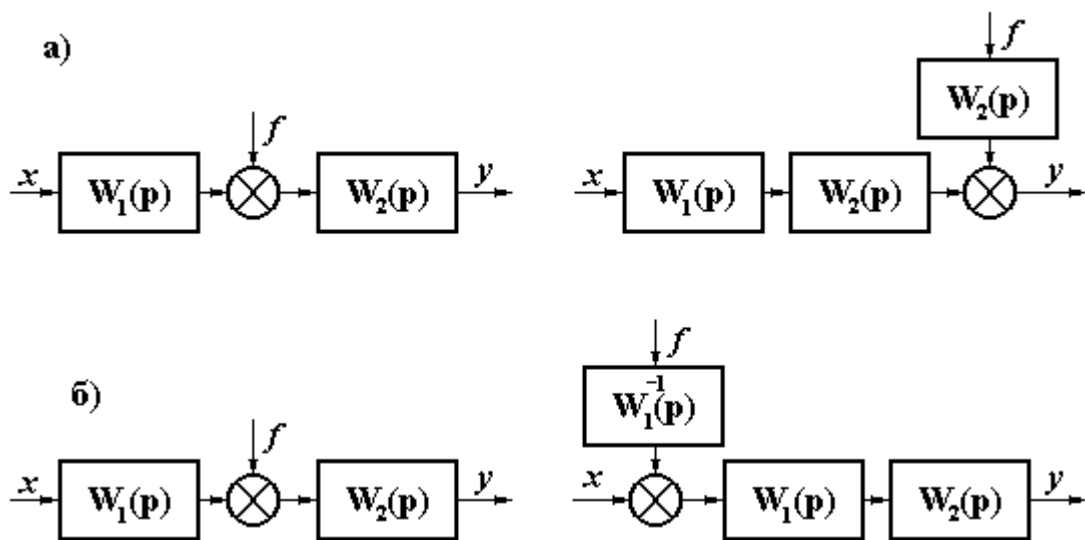


Рисунок 3.5 Структурные схемы, поясняющие перенос сумматора

При переносе сумматора по ходу сигнала в структурную схему необходимо добавить звено с передаточной функцией звена, через которое переносится сумматор (рисунок 3.5 а).

При переносе сумматора против хода сигнала необходимо добавить звено с передаточной функцией, равной обратной передаточной функции звена, через которое переносится сумматор (рисунок 3.5 б).

5) Перенос узла (рисунок 3.6).

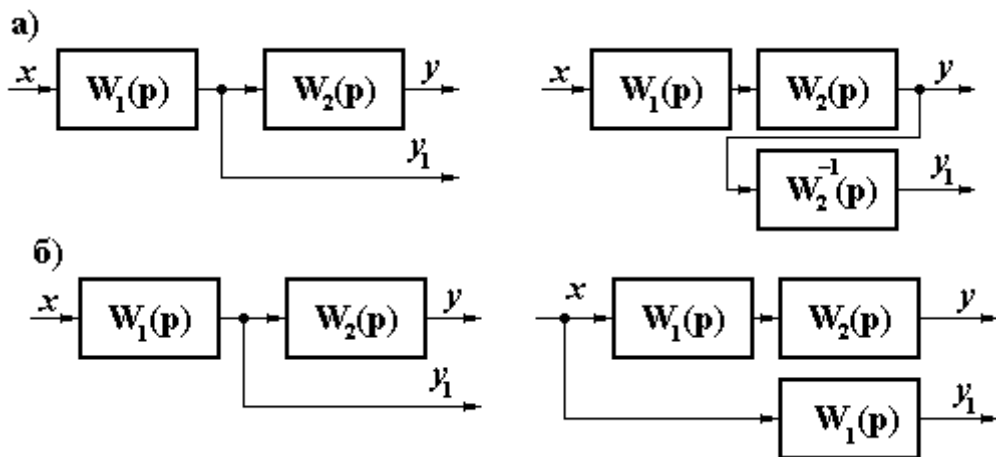


Рисунок 3.6 - Структурные схемы, поясняющие перенос узла

При переносе узла по ходу сигнала необходимо добавить звено с передаточной функцией, равной обратной передаточной функции звена, через которое переносится узел.

При переносе узла против хода сигнала необходимо добавить звено с передаточной функцией звена, через которое переносится узел (рисунок 3.6 б).

Преобразование многоконтурных структурных схем.

Многоконтурной называют схему, если она, кроме главной обратной связи, содержит местные обратные связи. Целью преобразования является приведение многоконтурной системы, структурная схема которой показана на рисунке 3.7, к эквивалентной ей одноконтурной.

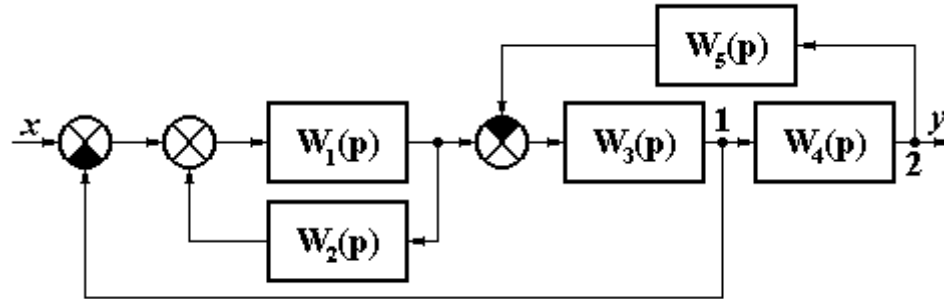


Рисунок 3.7 – Многоконтурная структурная схема САУ

На первом этапе заменим соединение $W_1(p)$ и $W_2(p)$ им эквивалентным и перенесем узел 1 в узел 2. Тогда получим следующую схему (рисунок 3.8):

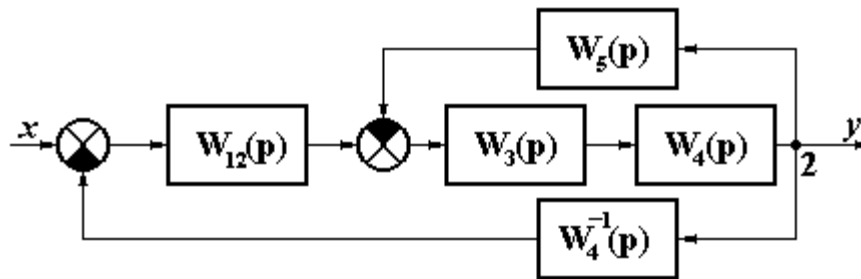


Рисунок 3.8 – Структурная схема САУ с эквивалентным соединением

В схеме по рис. 3.8 имеем

$$W_{12}(p) = \frac{W_1(p)}{1 - W_1(p)W_2(p)},$$

Заменяя в рисунке 3.8 соединение с отрицательной обратной связью эквивалентным звеном, получаем эквивалентную одноконтурную схему (рисунок 3.9).

В этой схеме

$$W_{345}(p) = \frac{W_3(p)W_4(p)}{1 + W_3(p)W_4(p)W_5(p)}.$$

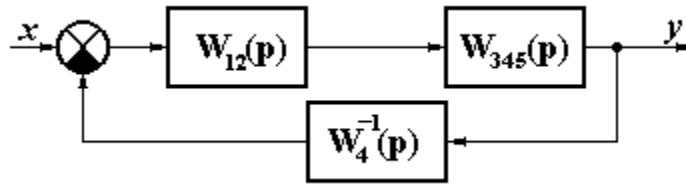


Рисунок 3.9 - Эквивалентная структурная одноконтурная схема САУ

Синтез структурной схемы САУ

Рассмотрим в качестве примера вывод дифференциальных уравнений и передаточных функций САУ резервуара с принудительным стоком, аппаратная реализация которой, представлена на рисунке 3.10.

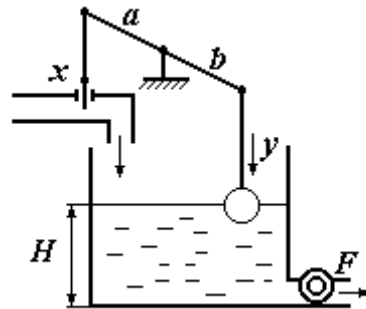


Рисунок 3.10 - Схема аппаратная реализации САУ резервуара с принудительным стоком

Созданию САУ обычно предшествует исследование технологического агрегата как объекта автоматизации, в результате которого устанавливается регулируемая величина, регулирующее воздействие, наиболее действенные возмущения и предварительный закон регулирования.

Для рассматриваемой САУ устанавливаем в качестве выходной величины y – изменение уровня, входной величины (регулирующего воздействия x) – перемещение клапана на притоке, возмущения (нагрузки объекта f) – изменение производительности насоса. Принимаем пропорциональный П-закон регулирования.

Вначале определяем дифференциальные уравнения и передаточные функции отдельных элементов, входящих в рассматриваемую систему.

1) Объект регулирования.

Для рассматриваемого объекта ранее нами было выведено уравнение

$$\frac{dy}{dt} = k_{op}x + k_{oe}f.$$

Из этого уравнения следует, что как по отношению к регулируемому, так и по отношению к возмущающему воздействию динамические свойства объекта одинаковы и подобны динамическим свойствам интегрирующего звена. В таких случаях принято возмущения, действующие на объект, независимо от места их приложения, учитывать как приложенные ко входу объекта и выражать в долях коэффициента подачи объекта по регулируемому воздействию, т.е. $k_{об} = k \cdot k_{оп}$, где k – коэффициент пропорциональности. Тогда уравнение объекта переписывается следующим образом

$$\frac{dy}{dt} = k_{оп}x + k_{об}f = k_{оп}(x + kf)$$

Передаточная функция объекта по регулируемому воздействию

$$W_{об}(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{k_{оп}}{p}$$

Передаточная функция объекта по возмущающему воздействию

$$W_{об}(p) = \frac{y(p)}{f(p)} = \frac{kk_{оп}}{p}$$

Структурная схема объекта показана на рисунке 3.11.

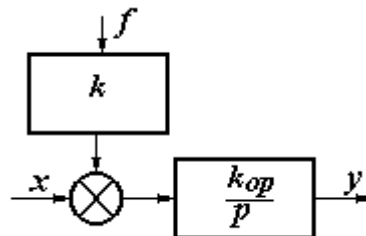


Рисунок 3.11 - Структурная схема объекта

2) Регулятор.

Уравнение П-регулятора $u = k_p \varepsilon$, где u – выходная величина регулятора, являющаяся входной величиной объекта x ; $k_p = a/b$ – коэффициент передачи регулятора. $W_p(p) = k_p$. Структурная схема регулятора показана на рисунке 3.12.

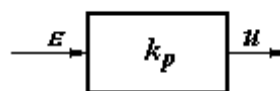


Рисунок 3.12 - Структурная схема регулятора

3) Звено сравнения.

В явном виде оно не входит в состав системы. Будем иметь в виду, что задающее воздействие в системе определяется местом крепления поплавка на штанге. Уравнение звена $\varepsilon = g - y$, где g – заданное значение отклонения уровня от равновесного значения. Сравнивающее звено имеет два входа и описывается двумя передаточными функциями:

- передаточной функцией по каналу задающего воздействия

$$W_{3C}(p) = \frac{\varepsilon(p)}{g(p)} = 1;$$

- передаточной функцией по входу регулируемой величины

$$W_{3C}(p) = \frac{\varepsilon(p)}{y(p)} = -1;$$

Структурная схема звена сравнения показана на рисунке 3.13.

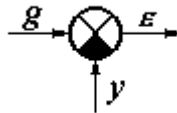


Рисунок 3.13 - Структурная схема звена сравнения

Используя структурные схемы отдельных элементов САУ, составляем ее структурную схему (рисунок 3.14).

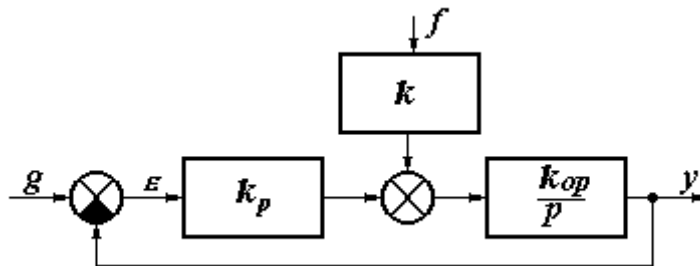


Рисунок 3.14 - Структурная схема САУ

Найдем передаточные функции САУ, для чего воспользуемся правилом нахождения передаточных функций одноконтурных систем. Передаточная функция разомкнутой системы. Передаточная функция САУ по задающему воздействию

$$W_{раз}(p) = \frac{k_p k_{op}}{p}.$$

$$W(p) = \frac{y(p)}{g(p)} = \frac{k_p k_{op} / p}{1 + k_p k_{op} / p} = \frac{1}{Tp + 1}, \quad (3.1)$$

где $T = \frac{1}{k_p k_{op}}$ – постоянная времени системы.

Передаточная функция САУ по возмущающему воздействию

$$W(p) = \frac{y(p)}{f(p)} = \frac{k k_{op} / p}{1 + k_p k_{op} / p} = \frac{k k_{op}}{p + k_p k_{op}} = \frac{k / k_p}{Tp + 1}. \quad (3.2)$$

Режимы работы САУ

Система автоматического управления может находиться в одном из двух режимов работы: статическом либо динамическом.

Статический, или установившийся, режим имеет место тогда, когда воздействия на систему (как возмущающие, так и управляющие) не изменяются во времени. При этом на объекте регулирования наблюдается равенство подвода и отвода энергии либо вещества, обуславливающее неизменность во времени регулируемой величины. Свойства САУ в статике принято иллюстрировать с помощью статических характеристик. Это зависимости регулируемой величины от возмущения (статическая характеристика режима возмущения) и от управляющего воздействия (статическая характеристика режима управления), снятые на различных установившихся режимах.

Динамический режим, иначе называемый переходным процессом, возникает тогда, когда воздействие на систему изменяется во времени. При этом на объекте регулирования возникает небаланс подвода и отвода энергии либо вещества и, как следствие, происходит изменение во времени регулируемой величины. Динамической характеристикой САУ называется зависимость регулируемой величины от времени при некоторых заранее оговоренных формах внешних воздействий