Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

СОСТАВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ САУ. ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ В СТАТИКЕ

Методические указания
к выполнению практической работы
для студентов направления
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2025

Цель работы: получение навыков в математическом описании динамических звеньев, составлении и преобразовании структурных схем систем автоматического управления (САУ), определение передаточных функций звеньев и систем.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматические системы можно подразделить на два класса: циклические или разомкнутые, действующие по жесткой программе, (станки-автоматы), и ациклические или замкнутые, действующие на основе принципа обратной связи. Принцип обратной связи заключается в том, что оптимальное поведение объекта управления сравнивается с его действительным поведением и возникающая при этом ошибка рассогласования используется в системе автоматического управления таким образом, чтобы величина этой ошибки стремилась к нулю или была в заданных пределах. Автоматическое управление представляет собой наиболее эффективный принцип автоматизации, а системы автоматического управления являются основным средством для создания автоматизированных производств.

ВЫБОР СТРУКТУРЫ И ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ СХЕМЫ САУ

При изучении теории автоматического управления внимание уделяется не техническим свойствам отдельных элементов, а функциям, которые они выполняют в системе управления. Наглядное представление об этом дают функциональные схемы. Функциональная схема объясняет процессы, протекающие в отдельных цепях изделия или в изделии в целом. Все многообразие элементов, входящих в САУ, можно свести к ограниченному количеству их типов, различающихся по назначению, поэтому САУ можно рассматривать как некоторую обобщенную типовую схему. На рис.1 показана обобщенная функциональная схема автоматического регулирования. Система автоматического регулирования (САР) состоит из объекта регулирования 5 и автоматического регулятора. Устройства, входящие в регулятор, классифицируют следующим образом. Задающее устройство 1 преобразует управляющее воздействие $X_{ВХ}$ в управляющий сигнал $X_У$, который поступает на элемент сравнения ЭС. В результате сравнения управляющего сигнала и сигнала обратной связи $X_{ОС}$ элемент сравнения вырабатывает сигнал ошибки $X_{ОШ}$. Преобразующее устройство 2 преобразует физическую величину одного вида в другую

физическую величину, удобную для использования в процессе регулирования. Усилительный элемент 3 предназначен для усиления мощности сигнала управления, он управляет потоком энергии, поступающей от постороннего источника. Исполнительное устройство 4 вырабатывает регулирующее воздействие X_P на объект регулирования 5. Схема содержит элементы местной 6 и главной обратной связи 7. Функциональная схема является основой для составления структурной схемы.

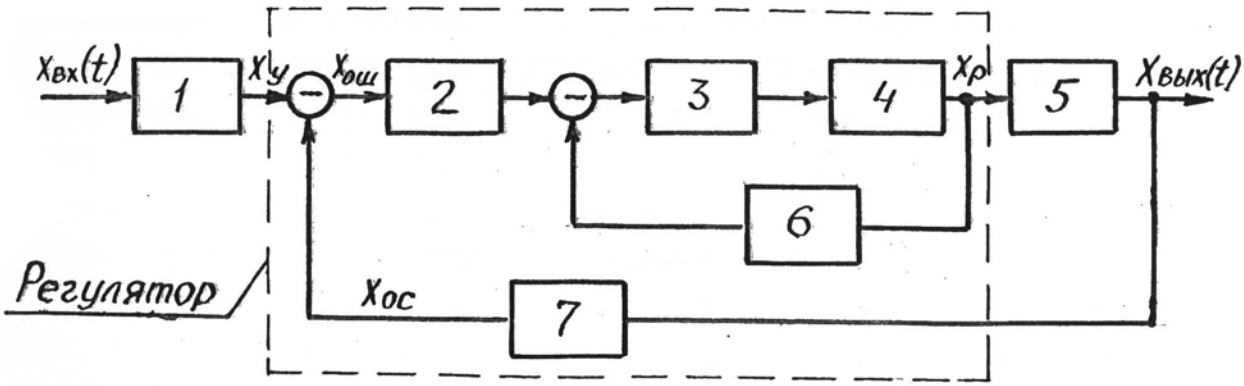

Рис.1. Функциональная схема автоматического регулирования

Структурной схемой называется графическое представление математической модели САР в виде соединений звеньев, условно обозначаемых прямоугольниками, с указанием входных и выходных величин и передаточной функции.

Рассмотрим пример составления структурной схемы следящего электрогидропривода объемного регулирования. На рис. 2 представлена его полуконструктивная схема. Электрогидропривод содержит следующие функциональные узлы. Фазовый дискриминатор (ФД) представляет собой устройство, предназначенное для преобразования разности фаз двух синусоидальных колебаний одинаковой частоты в напряжение. Основной характеристикой ФД является зависимость выходного напряжения от разности фаз двух входных напряжений: рабочего (опорного), представленного выражением $U_P(t) = U_P \sin \omega t$, и сигнала обратной связи $U_{OC}(t) = U_P \sin(\omega t + \varphi)$. Электромагнитный преобразователь (ЭМП) преобразует электрические сигналы, поступающие от ФД и усиленные электронным усилителем, в соответствующее механическое перемещение. Принцип действия основан на взаимодействии ферромагнитных тел с магнитным полем, создаваемым управляющим электрическим сигналом $U_У$. Якорь преобразователя механически связан с четырехщелевым золотником гидроусилителя (ГУ).

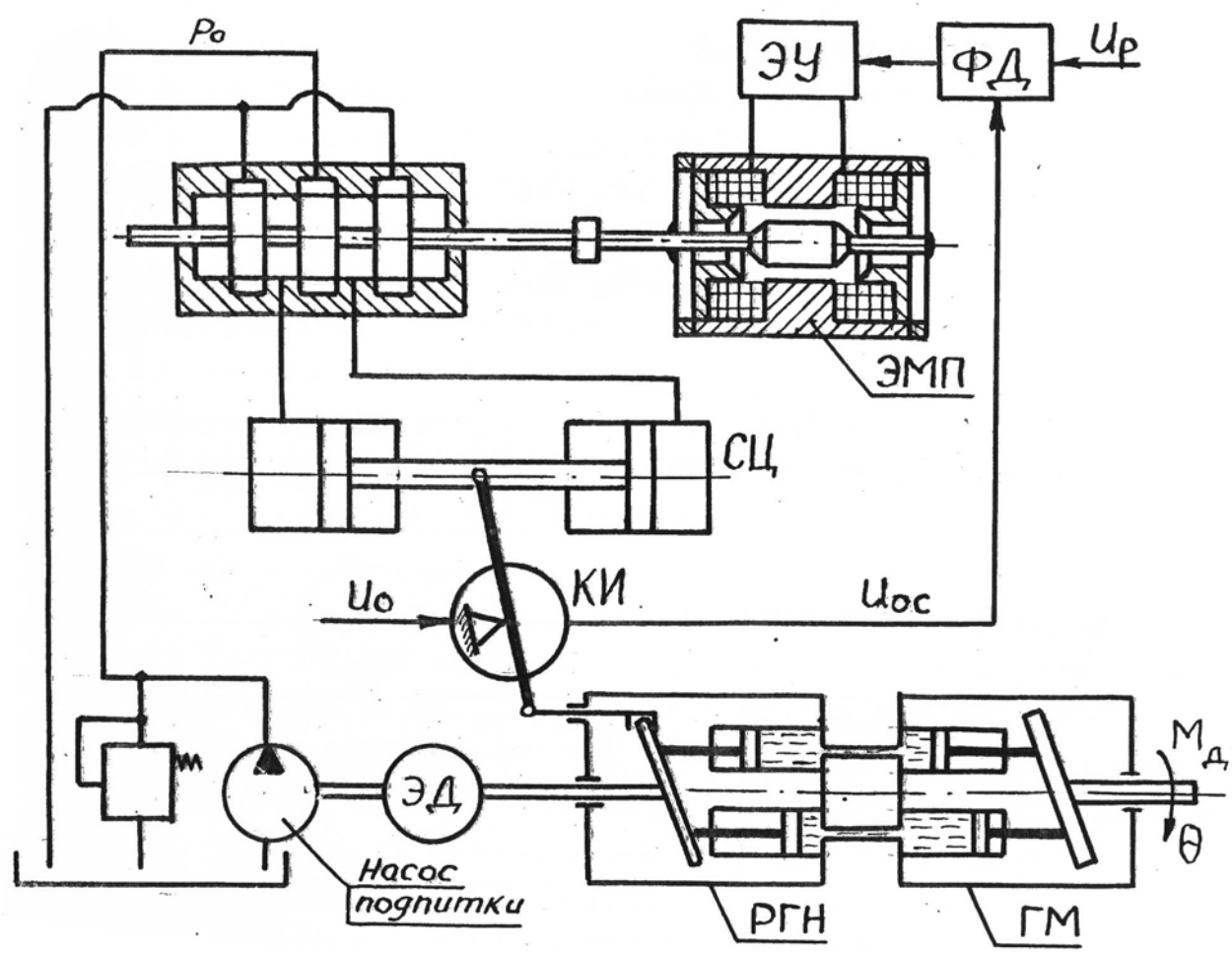

Рис. 2. Полуконструктивная схема электрогидропривода

Сервоцилиндр служит для поворота люльки регулируемого аксиального поршневого насоса.

Регулируемый гидронасос (РГН) приводится во вращение автономным электродвигателем (ЭД), с осью которого жестко связан дополнительный гидронасос подпитки для системы управления. На оси поворота рычага у связывающего шток сервоцилиндра с люлькой регулируемого гидронасоса, установлен круговой индуктосин (КИ), предназначенный для определения фактического положения рабочего органа (угла поворота), на котором он установлен. КИ состоит из двух шкал: одна – неподвижная, а другая – подвижная (нониус). Неподвижная шкала представляет собой круглую пластику из фольгированного текстолита, на которую методом печатного монтажа нанесены по окружности зигзагообразные проводники (меандр). Проводники образуют витки катушки. Подвижная шкала конструктивно выполнена аналогично неподвижной и отличается от нее тем, что проводники образуют две катушки со смещенными по окружности проводниками на

1/4 часть шага витка друг относительно друга. Шаг витка соответствует одному градусу. Шкалы накладывают друг на друга с зазором 0,2 мм. Подобные измерители являются циклическими, т.к. измеряют положение рабочего органа в пределах одного шага. На обе обмотки подвижной шкалы подаются синусоидальные колебания с частотой 4 кГц (в некоторых конструкциях 10 кГц) равной амплитуды, но сдвинутые по фазе на 90°. На первой обмотке напряжение

$$U_1 = U_0 \sin \varphi_{зад} ,$$

на второй

$$U_2 = U_0 \sin \varphi_{зад} ,$$

где $\varphi_{зад}$ является заданным углом смещения, пропорциональным величине перемещения рабочего органа. При перемещении подвижных обмоток на выходе неподвижной обмотки индуцируется напряжение

$$U_{OC} = U_0 \cdot \sin(\varphi_{зад} - \varphi_{ф}) ,$$

где $\varphi_{ф}$ – фактический угол смещения фазы, отражающий фактическое перемещение рабочего органа. Если рабочий орган находится в заданном положении, то

$$\varphi_{зад} = \varphi_{ф} \quad и \quad U_{OC} = 0 .$$

Электрогидропривод работает следующим образом. Рассмотрим сначала работу разомкнутого по положению привода, предназначенного для поддержания постоянства частоты вращения гидромотора. При подаче на вход фазового дискриминатора (ФД) и в канал питания кругового индуктосина (КИ) напряжений U_0 и U_P с частотой ω_0 , отличающихся по фазе на величину φ, на вход ЭМП в начальный момент будет поступать сигнал управления, пропорциональный сдвигу фаз φ_P, а именно:

$$U_У = K \cdot \varphi_P .$$

При этом сместится якорь ЭМП и передвинет четырехщелевой дроссельный золотник ГУ от среднего положения, например, влево, и подаст масло в полость правого сервоцилиндра СЦ, кинематически связанного с люлькой насоса РГН. Сервоцилиндр начнет поворачивать люльку (наклонную шайбу) аксиально-поршневого насоса от среднего положения на угол γ, изменяя подачу насоса. Одновременно через ось поворота люльки движение сообщится круговому индуктосину, на выходе которого образуется синусоидальное напряжение U_{OC}, пропорциональное сдвигу по фазе индуктосина. На ФД поступят рабочий сигнал U_P и сигнал обратной связи U_{OC}. По мере поворота люльки разность этих сигналов будет уменьшаться, и при достижении $U_У$ величины, равной нулю, золотник вернется в среднее положение и гидромотор ГМ будет вращаться с частотой, определяемой величиной сдвига фазы φ входного сигнала U_P.

Если уменьшить сдвиг фазы входного сигнала, то в начальный момент времени сигнал обратной связи будет превышать рабочий сигнал $U_Р$, и сигнал управления изменит свой знак. ЭМП переместит золотник вправо, гидроцилиндр начнет разворачивать люльку РГН в направлении увеличения угла γ, а также будет возвращать круговой индуктосин в исходное положение. Движение прекратится, когда фаза входного сигнала будет равна фазе сигнала обратной связи. Рассмотренный порядок работы схемы осуществляет управление режимом работы гидромотора по программе, задаваемой сигналом $U_Р$, и применяется в регулируемых приводах главного движения станков, когда требуется поддержание постоянства частоты вращения шпинделя или изменение режима его работы по заданной программе.

Составим структурную схему. Примем фазовый дискриминатор за элемент сравнения с коэффициентом передачи $К_{ФД}$, в этом случае его передаточная функция равна:

$$W(p)_{ФД} = K_{ФД}\,.$$

Электронный усилитель (У) имеет коэффициент передачи $К_{ЭУ}$. Электромагнитный преобразователь серийного исполнения имеет две постоянные времени: $Т_М$ – постоянная времени подвижных механических частей, приведенных к якорю (в т.ч. золотник), и $Т_Э$ – постоянная времени электрической части. Если $Т_М \geq 10Т_Э$, то передаточная функция равна:

$$W_{ЭМП}(p) = \frac{K_{ЭМП}}{T_M^2 p^2 + 2\xi_M T_M p + 1}\,.$$

Гидроусилитель (золотник и сервоцилиндр) примем за одно звено передаточной функцией

$$W_{ГУ}(p) = \frac{K_{ГУ}}{p\left(T^2 p^2 + 2\xi T p + 1\right)},$$

где параметры Т, $К_{ГУ}$, ξ можно определить по [2, с. 564]. В этом звене за входной параметр принимают перемещение золотника, а выходным параметром считают перемещение штока сервоцилиндра. Гидродвигатель объемного регулирования совместно с регулируемым гидронасосом примем за одно звено, у которого входным параметром принимается угол поворота ротора гидронасоса, а выходным параметром считают угол поворота ротора гидродвигателя. Передаточная функция имеет вид:

$$W(p) = \frac{K}{p\left(T^2 p^2 + 2\xi T p + 1\right)}\,.$$

Структурная схема электрогидравлического следящего привода при-

ведена на рис. 3. Для определения передаточной функции разомкнутой системы регулятора преобразуем структурную схему, заменив последовательно включенные звенья прямой цепи одним эквивалентным звеном с передаточной функцией:

$$W_1(p) = K_{ЭУ} \cdot W_{ЭМП}(p) \cdot W_{ТУ}(p).$$

Тогда передаточная функция разомкнутой цепи регулятора примет вид:

$$W_{раз}(p) = K_{ОС} \cdot W_1(p),$$

а передаточная функция по управляющему воздействию

$$W_{упр}(p) = \frac{\gamma}{U_P} = \frac{W_1(p)}{[1 + W_1(p) \cdot K_{ОС}]}.$$

Окончательно передаточная функция электрогидропривода будет представлена как функция двух последовательно включенных звеньев: регулятора и исполнительного звена:

$$W_{ГП}(p) = \frac{\Theta}{U_P} = W_{упр}(p) \cdot W(p) = \frac{W_1(p) \cdot W(p)}{[1 + W_1(p) \cdot K_{ОС}]}.$$

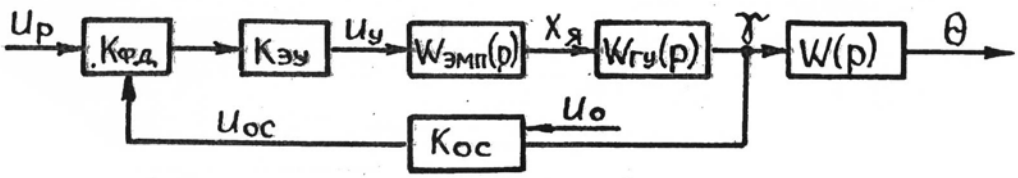

Рис. 3. Структурная схема следящего электрогидродривода

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с руководством по выполнению практической работы, получить задание у преподавателя.
2. Изучить материалы методических указаний и литературы.
3. Подготовить отчет.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет представляется каждым студентом в письменном виде и должен содержать следующее:

1) название работы;
2) цель работы;

3) исходные данные для расчетов и условия задач;
4) вывод по результатам работы.

На титульном листе должны быть указаны номер группы и фамилия студента, представившего отчет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров К. В. Основы теории автоматического регулирования / К. В. Егоров. – М.: Энергия. 1967. – 698 с.
2. Солодовников В. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В. В. Солодовников. – М.: Машиностроение, 1985. – 536 с.
3. Иващенко Н. Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н.Н. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1973. – 606 с.
4. Сборник задач по теории автоматического регулирования / под ред. В. А. Бесекерского. – М.: Наука, 1969. – 588 с.
5. Васильев Д. В. Системы автоматического управления. Примеры расчета / Д. В. Васильев, В. Г. Чуич. – М.: Высшая школа, 1967. – 419 с.

СОСТАВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ САУ.
ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ В СТАТИКЕ

Методические указания
к выполнению практической работы

Составил: ТИХОНОВ Денис Александрович

Рецензент М. В. Стекольников