

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

ТИПОВЫЕ ЗВЕНЬЯ САР И ИХ ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ

Методические указания
к выполнению практических работ
для студентов направления

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

очной и заочной форм обучения

Цель работы: получение навыков в математическом описании динамических звеньев, определении передаточных функций отдельных элементов электроавтоматики и систем в целом.

УРАВНЕНИЯ И ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И ИХ ЗВЕНЬЕВ

Математическое описание САУ производится путем составления системы дифференциальных уравнений. Уравнения представляют в операторной форме и в виде передаточных функций. Структурная схема, для всех звеньев которой передаточные функции определены, представляет собой наглядную форму записи дифференциальных уравнений системы управления в операторной форме. Технические средства автоматики могут быть сведены к типовым звеньям направленного действия:

1. Безынерционное звено:

$$W(p) = \frac{X_{\text{вых}}(p)}{X_{\text{вх}}(p)} = K;$$

2. Апериодическое звено (инерционное звено первого порядка)

$$W(p) = \frac{K}{(Tp + 1)};$$

3. Колебательное звено (инерционное звено второго порядка)

$$W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1};$$

4. Интегрирующее звено

$$W(p) = \frac{Kn}{p};$$

5. Дифференцирующее звено реальное

$$W(p) = \frac{Tp}{(Tp + 1)}.$$

Во всех формулах T – постоянная времени, p – оператор дифференцирования.

Рассмотрим примеры.

Пример 1.

Определить передаточную функцию генератора постоянного тока с независимым возбуждением. Сопротивление обмотки возбуждения $R_B = 65,5$ Ом, индуктивность $L_B = 27,5$ Гн, угловой коэффициент характеристики холостого хода

$$m_r = \frac{E_r}{I_B} = 108 \left(\frac{B}{A} \right) \quad (1),$$

где E – ЭДС генератора. Запишем уравнение цепи возбуждения генератора в операторной форме:

$$U_B = L_B p I_B + R_B I_B.$$

Подставим в это уравнение значение тока возбуждения из уравнения (1):

$$U_B = \frac{L_B p E_r}{m_r} + \frac{R_B E_B}{m_r};$$

преобразуем это выражение:

$$\frac{U_B m_r}{R_B} = \frac{L_B p E_r}{R_B} + E_r = E_r \left(\frac{p L_B}{R_B} + 1 \right).$$

Обозначим

$$\frac{m_r}{R_B} = K_r; \quad \frac{L_B}{R_B} = T,$$

и запишем передаточную функцию

$$W_r(p) = \frac{E_r(p)}{U_B(p)} = \frac{K_r}{(pT + 1)}.$$

Мы получили передаточную функцию типового апериодического звена направленного действия с коэффициентом передачи K_r и постоянной времени T . Подставим численные значения:

$$K_r = \frac{m_r}{R_B} = \frac{108}{65,5} = 1,65;$$

$$T = \frac{L_B}{R_B} = \frac{27,5}{65,5} = 0,42;$$

$$W(p) = \frac{1,65}{(1 + 0,42 p)}.$$

Пример 2.

Определить передаточную функцию двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Параметры двигателя: коэффициент пропорциональности между ЭДС на обмотке якоря и скоростью его вращения $C_e = 0,276$ Вс/рад; коэффициент пропорциональности (постоянная двигателя) между моментом, развиваемым якорем, и протекающим по нему током $C_M = \frac{M}{I_A} = 0,24 \left(\frac{H \cdot m}{A} \right)$; индуктивность якоря

$L_{\text{я}} = 0,24 \text{ Г}$; сопротивление $R_{\text{я}} = 3,2 \text{ Ом}$; момент инерции якоря двигателя $I_{\text{и}} = 0,00125 \text{ кгм}^2$.

Запишем уравнение ЭДС и моментов:

$$U = L_{\text{я}} p I_{\text{я}} + R_{\text{я}} I_{\text{я}} + E_{\text{дв}}; \quad (2)$$

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{с}}, \quad (3)$$

где U – напряжение, подведенное к якорю; $I_{\text{я}}$ – ток в якорю; $E_{\text{дв}}$ – ЭДС якоря двигателя; $M_{\text{вр}}$ и $M_{\text{с}}$ – соответствующий вращающий момент и момент сопротивления на валу двигателя.

ЭДС двигателя пропорциональна скорости вращения якоря:

$$E_{\text{дв}} = C_e \cdot \omega,$$

где ω – угловая скорость.

$$\text{Момент вращения } M_{\text{вр}} = C_M \cdot I_{\text{я}}.$$

Предположим, что двигатель нагружен только динамическим моментом, обусловленным механической инерцией якоря $M_{\text{с}} = I_{\text{и}} p \cdot \omega$. Подставим значения $E_{\text{дв}}$; $M_{\text{вр}}$ и $M_{\text{с}}$ в формулы (2) и (3):

$$U = L_{\text{я}} p I_{\text{я}} + R_{\text{я}} I_{\text{я}} + C_e \omega. \quad (3 \text{ а})$$

Из формулы (3 а) выразим $I_{\text{я}}$, подставим в (2) и после преобразований получим:

$$\frac{U}{C_e} = \frac{L_{\text{я}} R_{\text{я}} I_{\text{н}}}{R_{\text{я}} C_e C_M} p^2 \omega + \frac{R_{\text{я}} I_{\text{н}}}{C_e C_M} p \omega + \omega. \quad (4)$$

Обозначим

$$\frac{I}{C_e} = K; \quad \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} = T_{\text{э}}; \quad \frac{R_{\text{я}} I_{\text{н}}}{C_e C_M} = T_{\text{м}},$$

где $T_{\text{э}}$ – электромагнитная постоянная времени, $T_{\text{м}}$ – электромеханическая постоянная времени. Подставим числовые значения:

$$K = 1/0,276 = 3,62;$$

$$T_{\text{э}} = 0,024/3,2 = 0,0075 \text{ с};$$

$$T_{\text{м}} = 3,2 \cdot 0,00125 / (0,276 \cdot 0,24) = 0,06 \text{ с}.$$

Запишем выражение (4) в операторной форме:

$$KU = \omega (T_{\text{э}} T_{\text{м}} p^2 + T_{\text{м}} p + 1),$$

отсюда найдем передаточную функцию двигателя по скорости:

$$W(p) = \frac{K}{T_{\text{э}} T_{\text{м}} p^2 + T_{\text{м}} p + 1}.$$

Подставим числовые значения величин:

$$W(p) = \frac{3,62}{0,00046p^2 + 0,06p + 1}.$$

В двигателях малой и средней мощности электромагнитные переходные процессы затухают быстрее механических вследствие малой величины T_{Σ} . Обычно при $T_M \geq 10T_{\Sigma}$ влиянием T_{Σ} пренебрегают, в этом случае передаточную функцию двигателя представляют в упрощенном виде: $W(p) = K/(T_M * p + 1)$.

Пример 3.

Составить структурную схему и найти передаточную функцию разомкнутой $W(p)$ и замкнутой $\Phi(p)$ следящей системы по управляющему воздействию, функциональная схема системы приведена на рис.1.

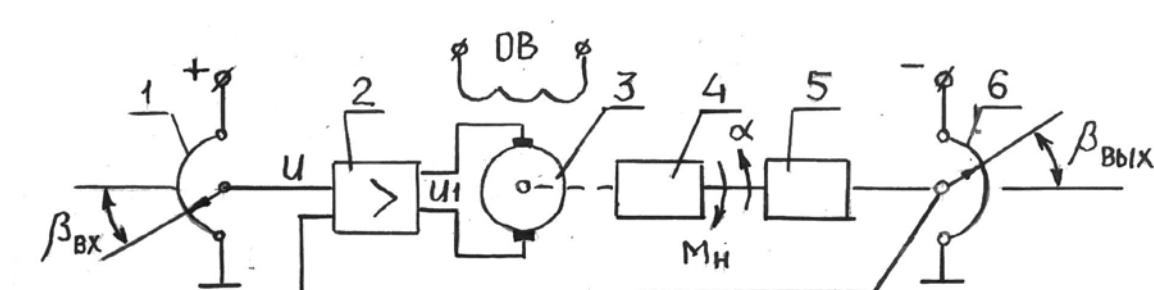


Рис.1. Функциональная схема следящей системы

Входная величина в виде угла поворота $\beta_{вх}$ движка потенциометра – датчика 1, преобразованная в электрический сигнал, подается на вход усилителя 2. Полученное после усилителя напряжение воздействует на обмотку якоря двигателя постоянного тока 3, который через редуктор 4 обеспечивает поворот объекта управления 5. Ось объекта управления связана с движком потенциометра – приемника 6, создающего на входе усилителя 2 через линию обратной связи сигнал противоположной полярности, пропорциональный углу поворота $\beta_{вых}$. Поворот оси объекта управления будет происходить до тех пор, пока сигнал на входе усилителя не станет равным нулю.

Звенья системы описываются следующими уравнениями:

- 1) элемент сравнения: $\beta = \beta_{вых} - \beta_{вх}$;
- 2) потенциметрический датчик 1, для которого входной величиной является угол поворота движка $\beta_{вх}$, а выходной – напряжение U : $U = K_1\beta_{вх}$, где K_1 коэффициент передачи;
- 3) усилитель с передаточной функцией $(1+pT_y)U_1 = K_2U$, где

T_y – постоянная времени усилителя, K_2 – коэффициент передачи;
 4) электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением, описывается следующим уравнением (см. пример 2):

$$(1 + pT_M)p\alpha = K_3U_1 - K_4M_H,$$

где T_M – электромеханическая постоянная времени:

$$T_M = \frac{I_H R_{\text{я}}}{C_{\text{я}} C_M} = \frac{I_H \pi n_{\text{xx}}}{M_H 30},$$

где I_H – момент инерции всех связанных с валом двигателя подвижных частей; M_H – момент сопротивления нагрузки.

Момент инерции можно определить из следующего соотношения:

$$I_H = I_{\text{я}} + I_{\text{р}} + \frac{I_{\text{н}}}{i^2},$$

где $I_{\text{я}}$ – момент инерции якоря; $I_{\text{р}}$ – момент инерции редуктора;
 $I_{\text{н}}$ – момент инерции объекта управления, приведенный к валу двигателя;
 i – передаточное отношение редуктора.

Коэффициент передачи по управляющему напряжению, определяющий изменение частоты вращения якоря при изменении напряжения на 1 вольт (определяется по паспортным данным),

$$K_3 = \frac{\omega_{\text{xx}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{\pi n_{\text{xx}}}{30U_{\text{ном}}}.$$

Передаточную функцию представим отдельно для управляющего напряжения $W_{\text{д}}(p) = K_3/[p(T_M p + 1)]$ и нагрузки, действующей с коэффициентом передачи K_4 :

$$W_H(p) = -K_4/[p(pT_M + 1)].$$

5) редуктор $\beta_{\text{вых}} = K_5 \alpha$, где α – угол поворота якоря двигателя (входного вала редуктора).

Представим структурную схему

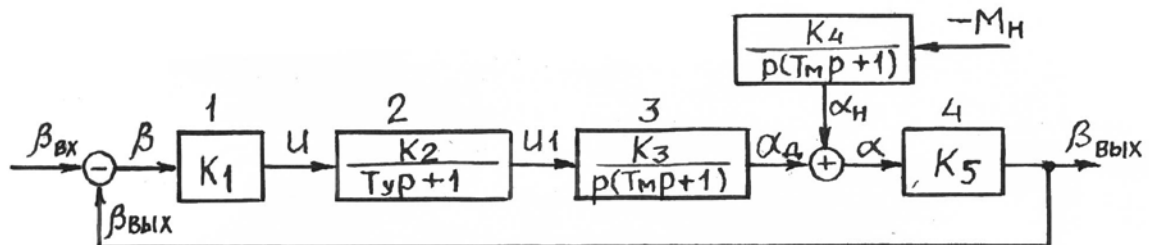


Рис. 2. Структурная схема следящей системы

Запишем передаточную функцию разомкнутой цепи по управляющему воздействию:

$$W(p) = \frac{K_1 K_2 K_3 K_5}{[p(1 + T_y p)(1 + T_M p)]}.$$

Передаточная функция замкнутой цепи

$$\Phi(p) = \frac{K_1 K_2 K_3 K_5}{p(1 + T_y p)(1 + T_M p) + K_1 K_2 K_3 K_5}.$$

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 следующие пункты:

- 1) название работы;
- 2) цель работы;
- 3) исходные данные для расчетов и условия задач;
- 4) Вывод по результатам работы.

На титульном листе отчета 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.

ТИПОВЫЕ ЗВЕНЬЯ САР И ИХ ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ

Методические указания
к выполнению практических работ

Составили: **ТИХОНОВ Денис Александрович**
Рецензент **М.В. Стекольников**