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

Энгельс 2024

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:

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

2. Апериодическое звено (инерционное звено первого порядка)

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

3. Колебательное звено (инерционное звено второго порядка)

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

4. Интегрирующее звено

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

5. Дифференцирующее звено реальное

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

Во всех формулах Т– постоянная времени, р – оператор дифференцирования.

Рассмотрим примеры.

Пример 1.

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

$$m_r = \frac{E_Г}{I_В} = 108 \left(В/А \right) \qquad (1),$$

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

$$U_В = L_В p I_В + R_В I_В .$$

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

$$U_В = \frac{L_В p E_r}{m_r} + \frac{R_В E_В}{m_r};$$

преобразуем это выражение:

$$\frac{U_В m_r}{R_В} = \frac{L_В p E_r}{R_В} + E_r = E_r \left(\frac{p L_В}{R_В} + 1 \right).$$

Обозначим

$$\frac{m_r}{R_В} = K_r; \quad \frac{L_В}{R_В} = T,$$

и запишем передаточную функцию

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

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

$$K_Г = \frac{m_r}{R_В} = \frac{108}{65{,}5} = 1{,}65;$$

$$T = \frac{L_В}{R_В} = \frac{27{,}5}{65{,}5} = 0{,}42;$$

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

Пример 2.

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

$L_Я$ = 0,24 Г; сопротивление $R_Я$ = 3,2 Ом; момент инерции якоря двигателя $I_И$ = 0,00125 кгм^2.

Запишем уравнение ЭДС и моментов:

$$U = L_Я p I_Я + R_Я I_Я + E_{ДВ}; \quad (2)$$

$$M_{ВР} = M_C, \quad (3)$$

где U – напряжение, подведенное к якорю; $I_Я$ – ток в якоре; $E_{ДВ}$ – ЭДС якоря двигателя; $M_{ВР}$ и M_C – соответствующий вращающий момент и момент сопротивления на валу двигателя.

ЭДС двигателя пропорциональна скорости вращения якоря:

$$E_{ДВ} = C_e \cdot \omega,$$

где ω – угловая скорость.

Момент вращения $M_{ВР} = C_M \cdot I_Я$.

Предположим, что двигатель нагружен только динамическим моментом, обусловленным механической инерцией якоря $M_C = I_И p \cdot \omega$. Подставим значения $E_{ДВ}$; $M_{ВР}$ и M_C в формулы (2) и (3):

$$U = L_Я p I_Я + R_Я I_Я + C_e \omega. \quad (3\ а)$$

Из формулы (3 а) выразим $I_Я$, подставим в (2) и после преобразований получим:

$$\frac{U}{C_e} = \frac{L_Я R_Я I_n}{R_Я C_e C_M} p^2 \omega + \frac{R_Я I_n}{C_e C_M} p\omega + \omega. \quad (4)$$

Обозначим

$$\frac{I}{C_e} = K; \quad \frac{L_Я}{R_Я} = T_Э; \quad \frac{R_Я I_n}{C_e C_M} = T_M,$$

где $T_Э$ – электромагнитная постоянная времени, T_M – электромеханическая постоянная времени. Подставим числовые значения:

К = 1/0,276 = 3,62;

$T_Э$ = 0,024/3,2 = 0,0075 с;

T_M = 3,2° * 0,00125 / (0,276 * 0,24) = 0,06 с.

Запишем выражение (4) в операторной форме:

$$KU = \omega\left(T_Э T_M p^2 + T_M p + 1\right),$$

отсюда найдем передаточную функцию двигателя по скорости:

$$W(p) = \frac{K}{T_Э T_M p^2 + T_M p + 1}.$$

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 $T_Э$. Обычно при $T_М \geq 10T_Э$ влиянием $T_Э$ пренебрегают, в этом случае передаточную функцию двигателя представляют в упрощенном виде: $W(p) = K/(T_М * p + 1)$.

Пример 3.

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

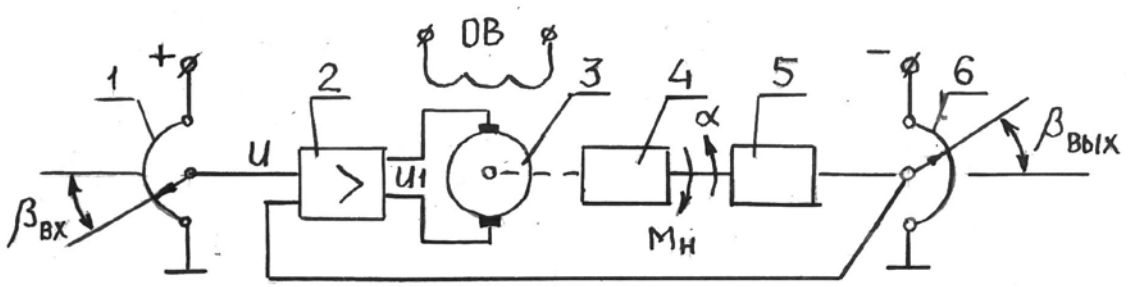

Рис.1. Функциональная схема следящей системы

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 3 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) потенциометрический 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 $(1+pT_у)U_1 = K_2U$, где

$T_у$ – 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:

$$T_M = \frac{I_И R_Я}{C_Я C_M} = \frac{I_И \pi n_{xx}}{M_H\ 30},$$

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

Момент инерции можно определить из следующего соотношения:

$$I_И = I_Я + I_Р + \frac{I_H}{i^2},$$

где $I_Я$ – момент инерции якоря; $I_Р$ – момент инерции редуктора;
I_H – 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 I вольт (определяется по паспортным данным),

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

Передаточную функцию представим отдельно для управляющего напряжения $W_Д(p) = K_3/[p(T_Мp+1)]$ и нагрузки, воздействующей с коэффициентом передачи K_4:

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

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

Представим структурную схему

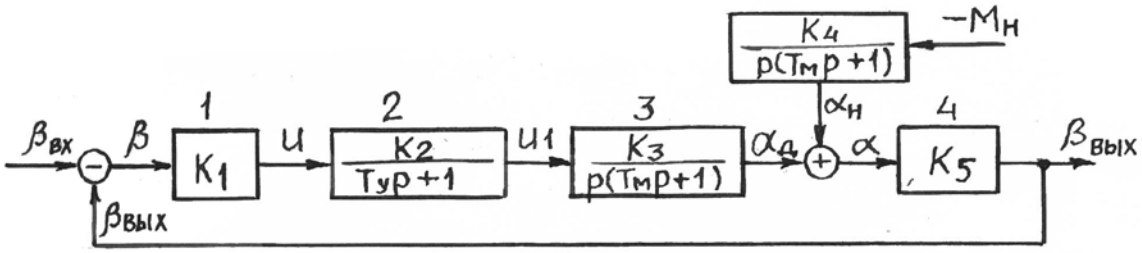

Рис. 2. Структурная схема следящей системы

Запишем передаточную функцию разомкнутой цепи по управляющему воздействию:

$$W(p)=\frac{K_1K_2K_3K_5}{\left[p(1+T_У p)(1+T_M p)\right]}.$$

Передаточная функция замкнутой цепи

$$\Phi(p)=\frac{K_1K_2K_3K_5}{p(1+T_У p)(1+T_M p)+K_1K_2K_3K_5}.$$

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