

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ А.А. ЕЖЕВСКОГО

АВТОМАТИКА

*Методические указания и контрольные задания
по дисциплине «Автоматика» для студентов очной и заочной форм обучения
направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия (уровень бакалавриата),
профиль «Электрооборудование и электротехнологии в АПК»*

Иркутск 2016

УДК 621.125: 621.438: 621.43(075)

Рецензент:

Доцент кафедры теплоэнергетики Иркутского национального исследовательского государственного технического университета, канд. техн. наук, доцент В.А. Бочкарев

Автоматика: Методические указания и контрольные задания по дисциплине «Автоматика» для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия (уровень бакалавриата), профиль «Электрооборудование и электротехнологии в АПК» / Авт.-сост. Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков, Шпак О.Н. – Иркутск: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 2016. – 40 с.

Методические указания предназначены для изучения курса «Автоматика». Основной целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении контрольной работы.

Для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки:

- 35.03.06 Агроинженерия, профили «Электрооборудование и электротехнологии», «Технические системы в агробизнесе», «Технологическое оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции», «Технический сервис в агропромышленном комплексе»;

© Кудряшев Г.С., Третьяков А.Н., Шпак О.Н. 2016.

© Издательство Иркутского ГАУ, 2016.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Методические указания составлены в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Минобрнауки РФ №1172 от 20.10.2015 г.

Дисциплина Автоматика является одной из базовых в системе подготовки авиационных инженеров и её научной основой является высшая математика, теория вероятности, теоретическая механика и электроника и поэтому она базируется на знании дисциплин: «Математика», «Физика», «Механика», «Электротехника и электроника».

В этой дисциплине рассматриваются конкретные конструкции АС, а изучаются общие закономерности происходящих в них процессов и методы, на которых основываются исследование и расчет подобных систем. В свою очередь, сведения, полученные студентами из курса автоматики, необходимы для изучения ими дисциплин профессионального цикла по профилю направления подготовки, а также для будущей профессиональной деятельности.

Цель курса состоит в формировании у студентов теоретических знаний управлению (регулированию), анализу и синтезу автоматических систем (АС) и применению систем автоматизации в сельском хозяйстве.

Предметом изучения являются виды и типы схем автоматики, функциональная и структурная схемы автоматизации технологических процессов, объект управления, датчик, элемент сравнения, усилитель, исполнительный механизм, регулирующий орган, регулятор, контроллер.

В результате освоения дисциплины «Автоматика» студент должен:

иметь представление:

- о принципах построения и управления систем автоматического регулирования (САР) и управления (САУ);

- о перспективах развития теории автоматического управления, оценивания и идентификации.

знать:

- методы математического описания и исследования элементов и систем регулирования и управления;

- инженерные методы анализа различных классов АС при детерминированных и стохастических воздействиях;

- методы синтеза различных классов АС;

- методы исследования точности и динамических характеристик систем с помощью ЭВМ.

владеть:

- классическими методами исследования и синтеза различных классов САУ и САР.

иметь навыки:

- решения конкретных прикладных инженерных задач;

- анализа процессов в системах автоматического регулирования и управления, оптимизации их параметров;

- применения вычислительной техники при проведении экспериментальных исследований.

1.1. Содержание дисциплины «Автоматика»

Таблица 1. Основные разделы дисциплины

№ п.п.	Наименование разделов и тем	Распределение часов по видам занятий (очное обучение)				Формы текущего контроля
		Л	ПЗ	ЛР	СРС	
1	Автоматическое управление понятие, история создания и развития.	2	2		6	контр. вопросы, опрос, тесты, решение задач
2	Объекты управления и их математическое описание. Понятие объекта и системы автоматического управления.	2	2		6	
3	Математические модели и классификация САУ.	2	2		6	
4	Структурная схема как форма математической модели САУ. Способы построения и преобразования структурных схем.	2	2		6	
5	Элементарные звенья линейных САУ и их характеристики.	2	2		6	
6	Запись передаточных функций: с использованием структурных схем.	2	2		6	
7	Анализ непрерывных линейных САУ.	2	2		6	
8	Область применения датчиков. Коэффициента чувствительности.	2	2		6	
9	Математические модели САУ. Характеристики линейных систем.	2	2		6	
10	Анализ линейных систем управления. Анализ импульсных систем управления.	2	2		6	
11	Цифровое управление САУ. Описание и характеристики цифровых САУ.	2	2		6	
12	Методы анализа линейных объектов и систем.	2	2		6	
13	Методы устойчивости линейных объектов и систем.	4	4		6	
14	Анализ нелинейных объектов и систем управления. Устойчивость нелинейных систем.	4	4		2	
	Итого	32	32		80	

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

2.1. Передаточные функции и структурные преобразования ЛСС. Операторы ЛСС.

1. Что называется оператором АС?

Оператором АС называется правило, однозначно связывающее выходной сигнал АС $y(t)$ с совокупностью входных сигналов $x(t), f_i(t)$:

$$y(t) = F[x(t), f_1(t) \dots f_n(t)].$$

2. Какой оператор называется линейным?

Оператор называется линейным, если он удовлетворяет принципу суперпозиции, который выражается равенством:

$$A[c_1x_1(t) + c_2x_2(t)] = c_1A[x_1(t)] + c_2A[x_2(t)] = c_1y_1(t) + c_2y_2(t).$$

Характерными свойствами линейных систем являются:

1. $A[x_1(t) + x_2(t)] = A[x_1(t)] + A[x_2(t)];$

2. $A[cx(t)] = cA[x(t)];$

3. $A[-x(t)] = -A[x(t)];$

4. $A[0] = 0.$

Если оператор не удовлетворяет хотя бы одному из этих свойств, то он является нелинейным.

3. Какой оператор называется стационарным?

Оператор называется стационарным, если при сдвиге входного сигнала на время t_0 выходной сигнал сдвигается на t_0 при неизменной форме.

$$y(t) = A[x(t)], \text{ тогда } A[x(t - t_0)] = A[x(t - t_0)].$$

4. Какие виды операторов АС вы знаете?

1. Функциональные;

2. Операторы задаваемые ДУ с заданными н.у.;

3. Интегральные;

4. Операторы постоянного запаздывания.

5. Какие типы операторов ЛСС вы знаете?

а) ЛДУ с постоянными коэффициентами при нулевых н.у. Данный оператор может быть представлен в двух формах:

- форма I (справедлива для входного сигнала, дифференцируемого m раз)

$$a_n y^{(n)}(t) + a_{n-1} y^{(n-1)}(t) + \dots + a_0 y(t) = \varepsilon_m x^{(m)}(t) + \varepsilon_{m-1} x^{(m-1)}(t) + \varepsilon_0 x(t).$$

- форма II (справедлива для кусочно-непрерывного выходного сигнала)

$$\begin{cases} a_n u^{(n)}(t) + a_{n-1} u^{(n-1)}(t) + \dots + a_0 u(t) = x(t) & \text{Дифференциальное уравнение} \\ y(t) = \varepsilon_m u^{(m)}(t) + \varepsilon_{m-1} u^{(m-1)}(t) + \dots + \varepsilon_0 u(t) & \text{Функциональное уравнение} \end{cases}$$

Этот оператор применим для более широкого круга входных сигналов и на практике является более предпочтителен.

Для технически реализуемых систем данные операторы удовлетворяют условию $n \geq m$

б) оператор постоянного запаздывания

$$y(t) = K(t-\tau).$$

Задача №1. Задан оператор АС

$$y(t) = A[x(t)] = 3 - 2x(t).$$

Исследовать линейность данного оператора.

Решение:

1. Введем сигналы $x_1(t)$ и $x_2(t)$ и запишем соответствующие реакции на эти сигналы:

$$y_1(t) = A[x_1(t)] = 3 - 2x_1(t)$$

$$y_2(t) = A[x_2(t)] = 3 - 2x_2(t)$$

2. Введем сигнал $x_3(t) = x_1(t) + x_2(t)$ и найдем реакцию АС на этот сигнал

$$y_3(t) = A[x_1(t) + x_2(t)] = 3 - 2[x_1(t) + x_2(t)] = 3 - 2x_1(t) - 2x_2(t)$$

$$\text{где } y_1(t) = 3 - 2x_1(t); \quad y_2(t) = 3 - 2x_2(t)$$

Следовательно:

$$y_3(t) = A[x_1(t) + x_2(t)] \neq y_1(t) + y_2(t).$$

Не выполняется первое свойство линейного оператора, значит оператор нелинейный.

Задача №2. Задан оператор АС

$$y(t) = A[x(t)] = 2tx(t) + 5 \int_0^t x(\tau) d\tau$$

Исследовать линейность оператора.

Решение:

1. Введем сигналы $x_1(t)$ и $x_2(t)$ и определим реакции АС на них $y_1(t)$ и $y_2(t)$:

$$y_1(t) = A[x_1(t)] = 2tx_1(t) + 5 \int_0^t x_1(\tau) d\tau$$

$$y_2(t) = A[x_2(t)] = 2tx_2(t) + 5 \int_0^t x_2(\tau) d\tau$$

2. Определим реакцию АС $y_3(t)$ на входной сигнал $x_3(t) = c_1x_1(t) + c_2x_2(t)$:

$$y_3(t) = A[x_3(t)] = A[c_1x_1(t) + c_2x_2(t)] = 2tx_3(t) + 5 \int_0^t x_3(\tau) d\tau =$$

$$= 2t[c_1x_1(t) + c_2x_2(t)] + 5 \int_0^t c_1x_1(\tau) + c_2x_2(\tau) d\tau =$$

$$= c_1[2tx_1(t) + 5 \int_0^t x_1(\tau) d\tau] + c_2[2tx_2(t) + 5 \int_0^t x_2(\tau) d\tau].$$

$$\text{Где } 2tx_1(t) + 5 \int_0^t x_1(\tau) d\tau = y_1(t); \quad 2tx_2(t) + 5 \int_0^t x_2(\tau) d\tau = y_2(t).$$

3. Следовательно $y_3(t) = c_1y_1(t) + c_2y_2(t)$, что доказывает выполнение равенства

$$A[c_1x_1(t) + c_2x_2(t)] = c_1A[x_1(t)] + c_2A[x_2(t)],$$

Т.е. для заданного оператора это равенство справедливо, поэтому оператор – линейный.

Задача №3 Задан оператор АС

$$y(t) = A \left[x(t) \right] = 5 \int_0^t x(\alpha) d\alpha$$

Исследовать стационарность оператора.

Решение:

1. Определим смещенный на τ выходной сигнал системы

$$y(t - \tau) = 5(t - \tau) \int_0^{t-\tau} x(\alpha) d\alpha.$$

2. Определим реакцию АС $y_c(t)$ на смещенный на время τ входной сигнал $x_c(t) = x(t - \tau)$

$$y_c(t) = A[x_c(t)] = A[x(t - \tau)] = 5t \int_0^t x(\alpha - \tau) d\alpha$$

Введем новую переменную $\beta = \alpha - \tau$, тогда

$$y_c(t) = 5t \int_{-\tau}^{t-\tau} x(\beta) d\beta.$$

Если $\beta = 0$, то $x(\beta) = 0$, следовательно

$$y_c(t) = 5t \int_0^{t-\tau} x(\alpha) d\alpha.$$

3. Проверяем справедливость равенства

$$y(t - \tau) = A \left[x(t - \tau) \right] \quad (*)$$

Из сравнения $y(t - \tau)$ и $y_c(t)$ видим, что

$$y(t - \tau) \neq y_c(t),$$

т.е. для данного оператора равенство (*) несправедливо, т.е. заданный оператор – нестационарный.

Передаточные функции ЛСС.

Передаточной функцией ЛСС с одним входом называется отношение изображения по Лапласу выходного сигнала к изображению по Лапласу входного сигнала при нулевых н.у.:

$$Y(p) = L \left[y(t) \right] = \int_0^{\infty} y(t) e^{-pt} dt,$$

$$\Phi(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}, \quad \text{где } X(p) = L \left[x(t) \right] = \int_0^{\infty} x(t) e^{-pt} dt,$$

$$p = \alpha \pm j\beta;$$

2. Какие типы передаточных функций вы знаете?
– для ЛСС, оператором которой является ЛДУ с нулевыми н.у.:

$$\Phi(p) = \frac{\varepsilon_m p^m + \varepsilon_{m-1} p^{m-1} + \dots + \varepsilon_1 p + \varepsilon_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0} = \frac{B(p)}{A(p)}$$

Многочлен $A(p) = \sum_{i=0}^n a_i p^i$ называется характеристическим полиномом системы. Корни $A(p)$, т.е. комплексные числа $p_1, p_2 \dots p_n$, удовлетворяющие равенствам:

$$A(p_i) = 0, \quad i = \overline{1, n}$$

$$\Phi(p_i) = \infty, \quad i = \overline{1, n}$$

называются полюсами передаточной функции.

Корни $B(p)$, т.е. комплексные числа $p_1^*, p_2^* \dots p_m^*$,

$$B(p_i^*) = 0; \quad i = \overline{1, m}$$

$$\Phi(p_i^*) = 0; \quad i = \overline{1, m}$$

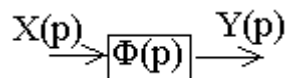
называются нулями передаточной функции.

– для ЛСС, задаваемых оператором постоянного запаздывания:

$$\Phi(p) = Ke^{-p\tau}$$

II. Решение задач.

Задача №4. На вход ЛС АС



действует входной сигнал $x(t) = 2 \cdot I(t)$, при этом $y(t) = 10e^{-0,5t}$.

Определить $\Phi(p)$ и представить её в виде произведения элементарных динамических звеньев.

Решение:

1. Определим изображение по Лапласу входного и выходного сигналов АС:

$$\Phi(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}$$

$$X(p) = L \{I(t)\} = L \{1 \cdot I(x)\} = 2L \{I(t)\} = \frac{2}{p};$$

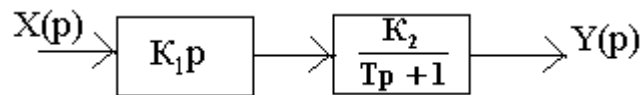
$$Y(p) = L \{10e^{-0,5t}\} \stackrel{\text{по табл.}}{=} = \frac{10}{p+0,5} = \frac{20}{2p+1}.$$

2. Определяем $\Phi(p)$

$$\Phi(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{20p}{(2p+1)2} = \frac{10p}{2p+1} = K_1 p \cdot \frac{K_2}{T p + 1}$$

$$K_1 = 10; \quad K_2 = 1; \quad T = 2.$$

Эквивалентная структурная схема имеет вид:



Задача №5 Задан оператор АС

$$0,5y^{(2)}(t) + 2y^{(1)}(t) + 2y(t) = 2x^{(1)}(t) + 0,1x(t),$$

$$y_0 = y_0^{(1)} = y_0^{(2)} = 0.$$

Определить передаточную функцию АС и представить её в виде произведения элементарных динамических звеньев.

Решение:

1. Определим оператор АС в изображениях по Лапласу:

$$0,5p^2Y(p) + 2pY(p) + 2Y(p) = 2pX(p) + 0,1X(p)$$

2. Определим $\Phi(p)$:

$$\Phi(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{2p + 0,1}{0,5p^2 + 2p + 2} = \frac{0,1(20p + 1)}{2(0,25p^2 + p + 1)} =$$

$$= 0,05 \cdot (20p + 1) \cdot \frac{1}{0,25p^2 + p + 1} \Rightarrow$$

$$K_1(T_1p + 1) \cdot \frac{K_2}{T_2^2 + 2\xi T_2p + 1} =: \xi = 1 := K_1(T_1p + 1) \frac{K_2}{(T_2p + 1)^2},$$

где $K_1 = 0,05$; $K_2 = 1$; $T_1 = 20$; $T_2 = 0,5$.

Задача №6 Угловое движение самолета относительно его продольной оси ОХ описывается уравнением:

$$J\ddot{\gamma}(t) = -M_x^{\dot{\gamma}}\dot{\gamma}(t) + K_{\delta}\delta_{\delta}(t),$$

где $\gamma(t)$ - угол крена самолета – выходной сигнал.

$\delta_{\delta}(t)$ - угол отклонения элеронов – входной сигнал.

$J, K_{\delta}, M_x^{\dot{\gamma}}$ - постоянные коэффициенты, определяемые физическими свойствами самолета в окружающей среде.

Определить передаточную функцию ЛА.

Решение:

1. Определим оператор системы

$$J\ddot{\gamma}(t) + M_x^{\dot{\gamma}}\dot{\gamma}(t) = K_{\delta}\delta_{\delta}(t),$$

2. Определим $\Phi(p)$ самолета:

$Jp^2\gamma(p) + M_x^{\dot{\gamma}}p\gamma(p) = K_{\delta}\delta_{\delta}(t)$ - оператор системы в изображениях по Лапласу

$$\text{б) } \Phi(p) = \frac{\gamma(p)}{\delta_{\delta}(p)} = \frac{K_{\delta}}{Jp^2 + M_x^{\dot{\gamma}}p} = \frac{K_{\delta}}{p(Jp + M_x^{\dot{\gamma}})}$$

Приведем $\Phi(p)$ к стандартному виду:

$$\Phi(p) = \frac{K_1}{p} \cdot \frac{K_2}{(Tp + 1)},$$

где $K_1 = \frac{K_{\delta}}{M_x^{\dot{\gamma}}}$; $K_2 = 1$; $T = \frac{J}{M_x^{\dot{\gamma}}}$.

2.2. Передаточные функции и структурные преобразования ЛСС

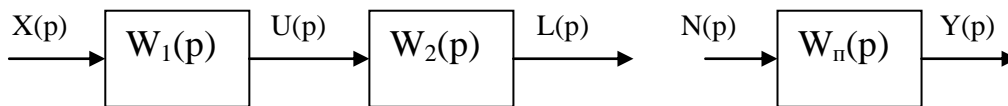
Определение передаточных функций непрерывных АС методом преобразования структурных схем.

1. Что называется передаточной функцией АС?

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}$$

Отношение изображения по Лапласу выходного сигнала $Y(p)$ к изображению по Лапласу входного сигнала при нулевых н.у. и отсутствии возмущений.

2. Чему равна ПФ последовательного соединения звеньев?



$$W_{\Sigma}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}; \begin{cases} U(p) = X(p)W_1(p); \\ L(p) = U(p)W_2(p); \\ \dots\dots\dots \\ Y(p) = L(p)W_n(p). \end{cases}$$

$$Y(p) = L(p)W_{n-1}(p) \cdot W_n(p) = U(p)W_2(p) \cdot \dots \cdot W_{n-1}(p)W_n(p) = X(p)W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p);$$

$$W_{\Sigma}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p).$$

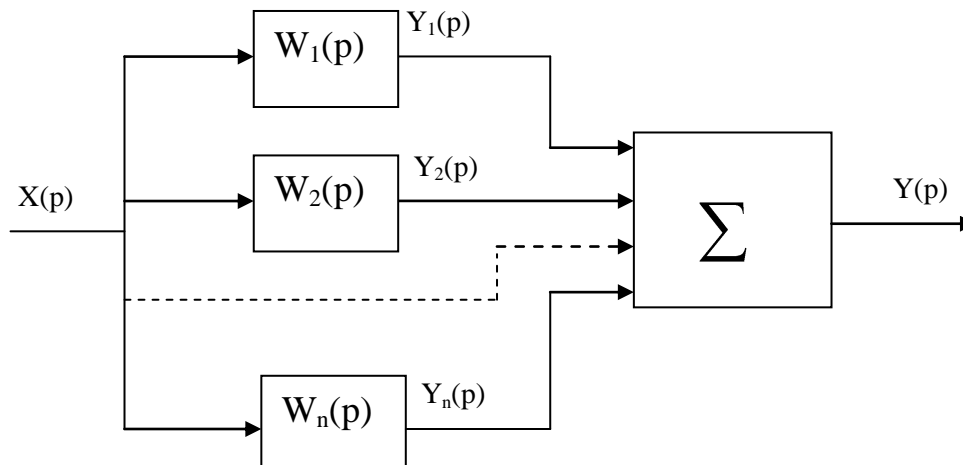
3. Чему равна ПФ параллельного соединения?

$$Y(p) = \sum_{i=1}^n Y_i(p);$$

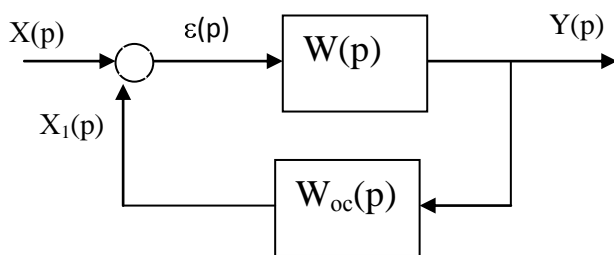
$$Y_i(p) = X(p)W_i(p);$$

$$W_{\Sigma}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)};$$

$$W_{\Sigma}(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p).$$



4. Чему равна ПФ встречно-параллельного соединения?



$$\begin{cases} \varepsilon(p) = X(p) + X_1(p) \\ Y(p) = \varepsilon(p)W(p) \\ X_1(p) = Y(p)W_{oc}(p) \end{cases}$$

$$Y(p) = [X(p) + Y(p)W_{oc}(p)]W(p) = X(p)W(p) + Y(p)W_{oc}(p)W(p);$$

$$Y(p) [1 - W(p)W_{oc}(p)] = X(p)W(p);$$

$$\Phi(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{W(p)}{1 - W(p)W_{oc}(p)} \quad \text{Случай с положительной ОС.}$$

$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)W_{oc}(p)} \quad \text{Случай с отрицательной ОС.}$$

Для следящих систем обычно $W_{oc}(p) = 1$, тогда в общем случае

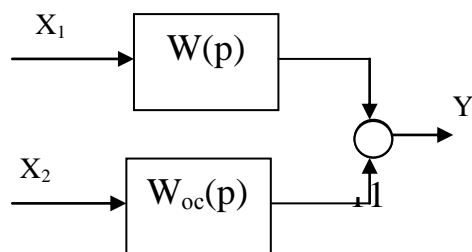
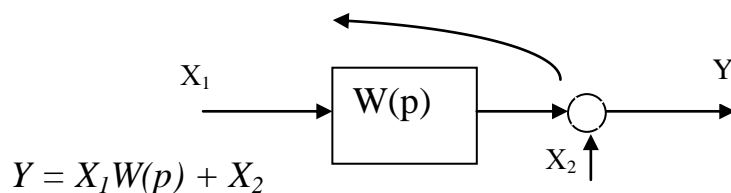
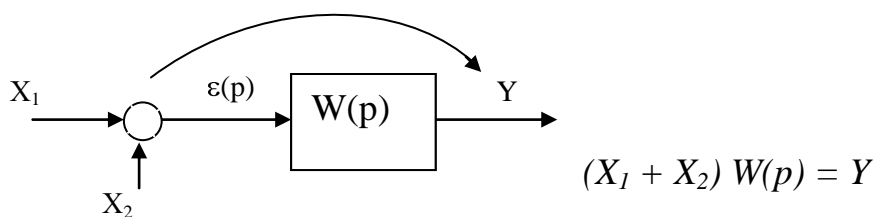
$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)}, \quad \text{где } W(p) \text{ – ПФ разомкнутой АС}$$

$$\text{если } W(p) = \frac{B(p)}{A(p)} \Rightarrow \Phi(p) = \frac{B(p)}{A(p) + B(p)}.$$

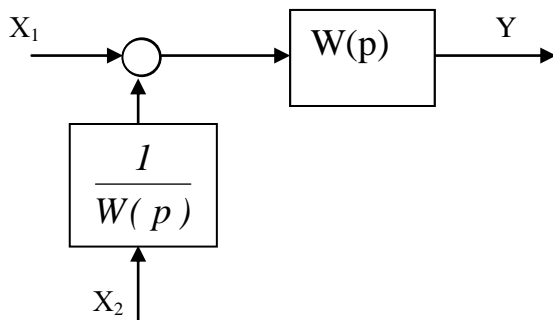
5. Правила структурных преобразований автоматических систем?

Основное правило: преобразования не должны изменять входные и выходные сигналы системы или её непреобразованной части.

а) Перенос сумматора через звено.

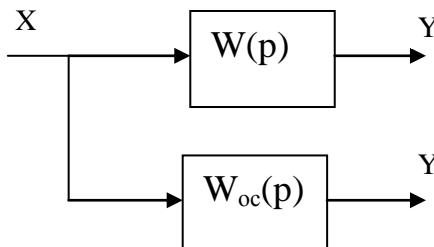
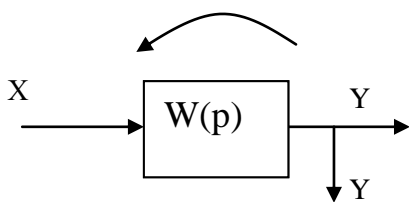
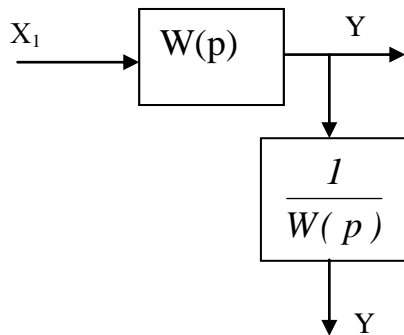
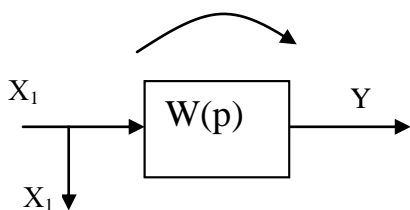


$$Y = X_1 W(p) + X_2 W(p)$$

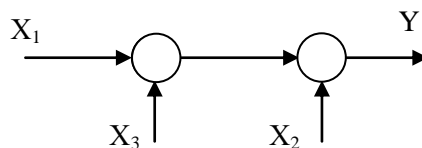
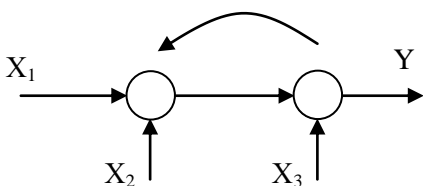


$$Y = \left[X_1 + X_2 \cdot \frac{1}{W} \right] W$$

б) Перенос узла через звено.

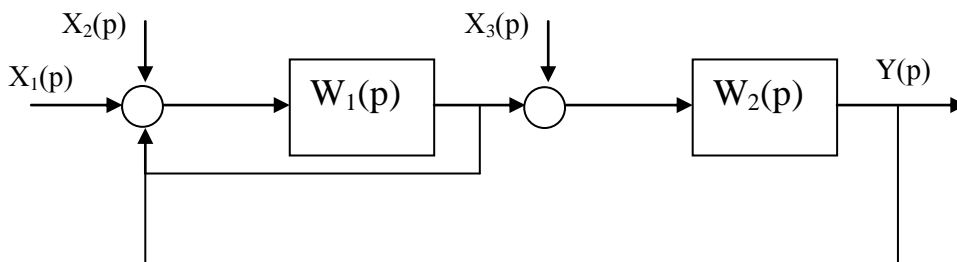


в) Перенос сумматора через сумматор



$$Y = X_1 + X_2 + X_3$$

6. Чему равна передаточная функция АС при воздействии на нее нескольких входных сигналов?



$$Y(p) = X_1(p) \Phi_{X_1Y}(p) + X_2(p) \Phi_{X_2Y}(p) + X_3(p) \Phi_{X_3Y}(p);$$

$$\text{Где } \Phi_{X_1Y}(p) = \frac{Y(p)}{X_1(p)} \Big|_{X_2(p)=X_3(p)=0};$$

$$\Phi_{X_2Y}(p) = \frac{Y(p)}{X_2(p)} \Big|_{X_1(p)=X_3(p)=0};$$

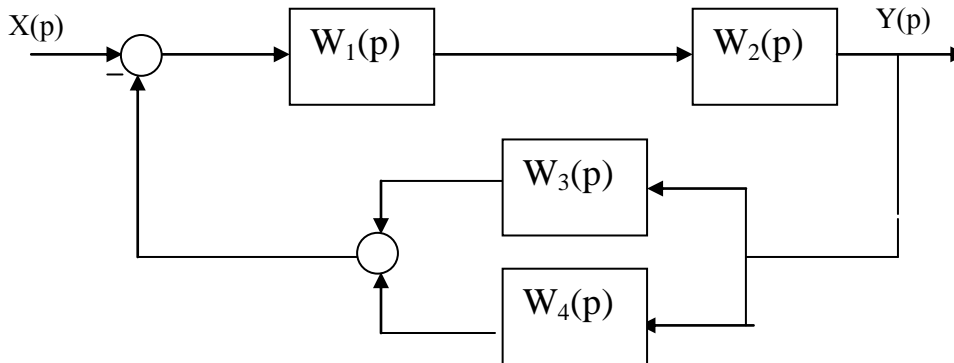
$$\Phi_{X_3Y}(p) = \frac{Y(p)}{X_3(p)} \Big|_{X_1(p)=X_2(p)=0}.$$

Задача №1.

Для АС, структурная схема которой имеет вид (рис.1):

$$\text{где } W_1(p) = \frac{5}{p}; \quad W_2(p) = \frac{2}{2p+1}; \quad W_3(p) = 2; \quad W_4(p) = \frac{5}{p};$$

Определить передаточные функции разомкнутой и замкнутой АС.



Решение:

1. Определим ПФ прямого тракта АС.

Передаточная функция прямого тракта АС представляет собой последовательное соединение W_1 и W_2 :

$$W_{1,2}(p) = W_1 \cdot W_2 = \frac{10}{p(2p+1)};$$

2. Определим ПФ разомкнутой АС:

ПФ разомкнутой АС представляет собой последовательное соединение $W_{1,2}(p)$ и $W_{oc}(p)$

$$W(p) = W_{1,2} W_{oc} = W_1 W_2 (W_3 + W_4)$$

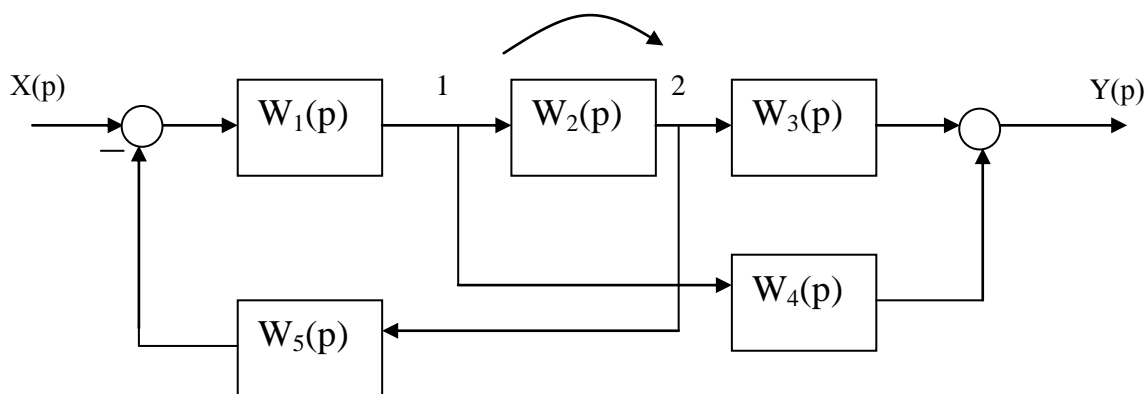
$$W(p) = \frac{10}{p(2p+1)} \left(2 + \frac{1}{p} \right) = \frac{10(2p+1)}{p^2(2p+1)} = \frac{10}{p^2}$$

3. Определим ПФ замкнутой АС:

$$\Phi(p) = \frac{W_{1,2}(p)}{1+W(p)} = \frac{p(2p+1)}{1+\frac{10}{p^2}} = \frac{10p}{(p^2+10)(2p+1)} = \frac{10p}{2p^3+p^2+20p+10} = \frac{10p}{0,2p^3+0,1p^2+10p+1}$$

Задача №2

Для АС, заданной структурой

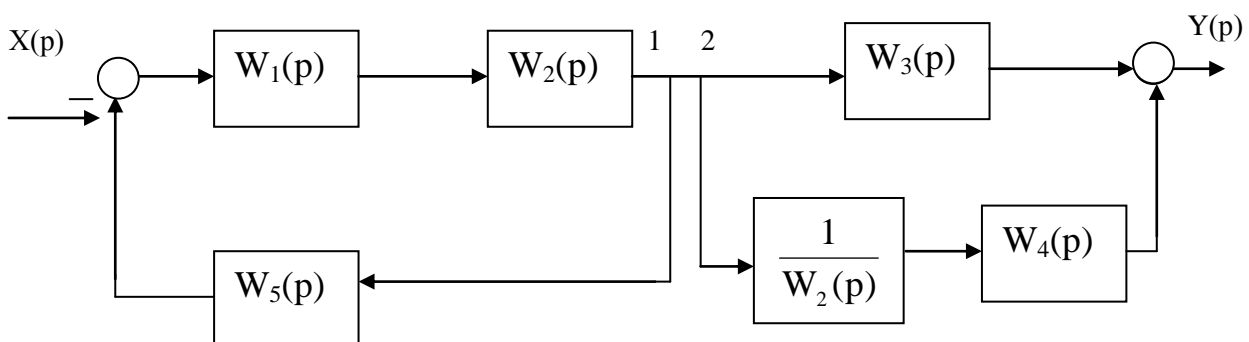


где $W_1(p) = 5$; $W_2(p) = \frac{2}{p}$; $W_3(p) = \frac{2}{p}$; $W_4(p) = 2$; $W_5(p) = 0,5$,

Определить передаточную функцию для выходного сигнала.

Решение:

1. Преобразуем структурную схему перенеся узел 1 через звено $W_2(p)$ и узел 2:



2. Определяем передаточные функции:

а) последовательного соединения $W_1(p)$, $W_2(p)$ и $W_2^{-1}(p)W_4(p)$:

$$W_{13}(p) = W_1(p)W_2(p) = \frac{10}{p};$$

$$W_{33}(p) = W_2^{-1}(p)W_4(p) = p;$$

б) встречно-параллельного соединения $W_{13}(p)$ и $W_5(p)$

$$W_{23}(p) = \frac{W_{13}(p)}{1 + W_{13}(p)W_5(p)} = \frac{10/p}{1 + \frac{10}{p} \cdot 0,5} = \frac{10}{p+5};$$

в) параллельного соединения $W_3(p)$ и $W_{33}(p)$:

$$W_{43} = W_3(p) + W_{33}(p) = \frac{4}{p} + p = \frac{p^2 + 4}{p};$$

г) передаточную функцию АС как последовательное соединение $W_{23}(p)$ и $W_{43}(p)$:

$$\Phi_{XY}(p) = W_{23}(p)W_{43}(p) = \frac{10}{p+5} \cdot \frac{4+p^2}{p} = \frac{10p^2 + 40}{p(p+5)}.$$

Задача №3

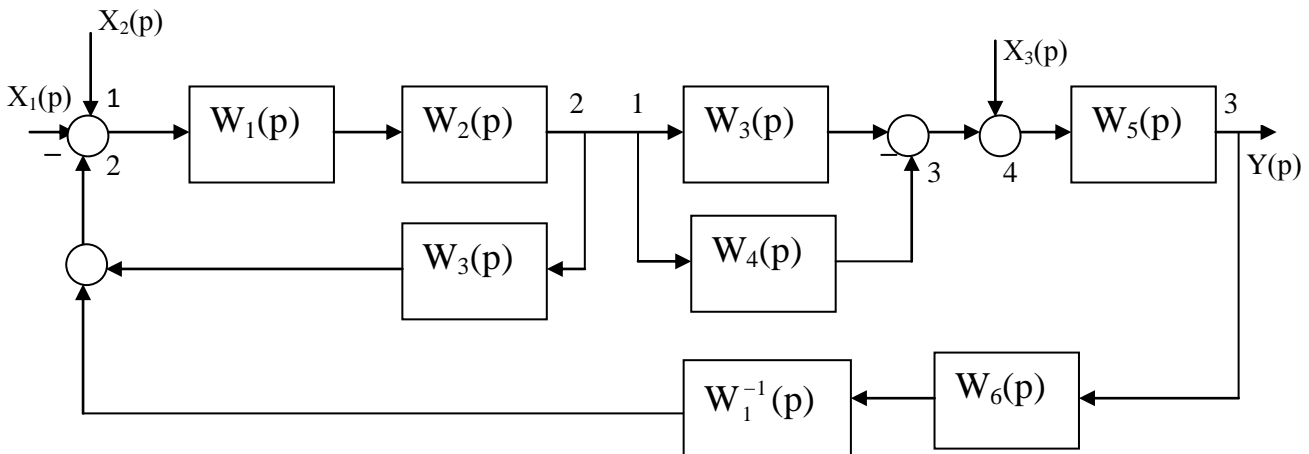
Структурная схема АС имеет вид (рис.2):

где $W_1(p) = 2$; $W_2(p) = \frac{5}{p}$; $W_3(p) = 2$; $W_4(p) = \frac{2}{p}$; $W_5(p) = 0,2$; $W_6(p) = 2$.

Определить передаточные функции АС от каждого входа к выходу.

Решение.

1. Преобразуем структурную схему путем переноса узла 2 через звено $W_3(p)$ и узел 1, а также сумматора 2 через звено $W_1(p)$ и сумматор 1.



2. Определим $\Phi_{X1Y}(p)$ при $X_2(p) = X_3(p) = 0$.

а) $W_{13}(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)} = \frac{10}{p+20};$

б) $W_{33}(p) = W_3(p) - W_4(p) = \frac{2(p-1)}{p};$

$$в) W_{53}(p) = W_{13}(p) W_{33}(p) W_5(p) = \frac{4(p-1)}{p(p+20)};$$

$$г) W_{oc}(p) = W_1^{-1}(p) W_6(p) = 1;$$

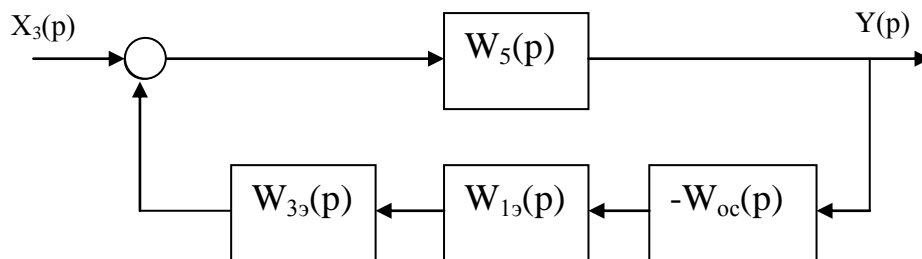
$$д) \Phi_{X_1Y}(p) = \frac{W_{53}(p)}{1 + W_{53}(p) W_{oc}} = \frac{4(p-1)}{p(p+20) + 4(p-1)} = \frac{4p-4}{p^2 + 24p - 4}.$$

3. Определим $\Phi_{X_2Y}(p)$ при $X_1(p) = X_3(p) = 0$.

Так как сигнал $X_2(p)$ воздействует на АС в том месте, что и $X_1(p)$, то

$$\Phi_{X_2Y}(p) = \Phi_{X_1Y}(p).$$

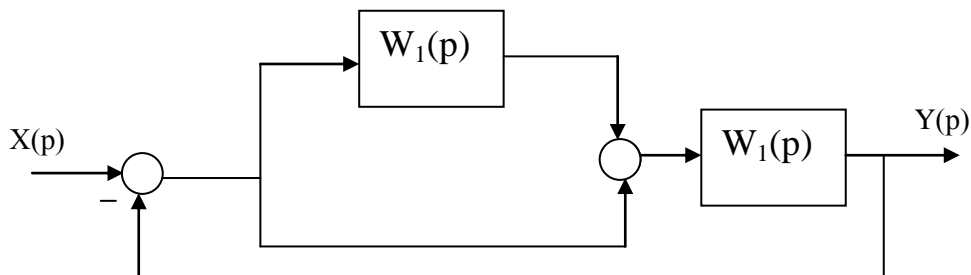
4. Определим $\Phi_{X_3Y}(p)$ при $X_1(p) = X_2(p) = 0$.



$$\begin{aligned} \Phi_{X_3Y}(p) &= \frac{W_5(p)}{1 - W_{33}(p) W_{13}(p) \cdot [-W_{oc}(p)] W_5(p)} = \frac{0,2}{1 + \frac{2(p-1)}{p} \cdot \frac{10}{p+20} \cdot 0,2} = \\ &= \frac{0,2p(p+20)}{p(p+20) + 4(p-1)} = \frac{0,2p^2 + 4}{p^2 + 24p - 4}. \end{aligned}$$

Задача №4

Структурная схема АС имеет вид:



$$\text{где } W_1(p) = 2; W_2(p) = \frac{25}{p^2(2p+1)}.$$

Определить $\Phi(p)$, какому элементарному звену она соответствует и определить его параметры.

$$\Phi(p) = \frac{\overline{W}_1(p) + 1 \overline{W}_2(p)}{1 + \overline{W}_1(p) + 1 \overline{W}_2(p)} = \frac{\frac{25(2p+1)}{p^2(2p+1)}}{1 + \frac{25(2p+1)}{p^2(2p+1)}} = \frac{25}{p^2 + 25};$$

Апериодическое звено второго порядка с параметрами:

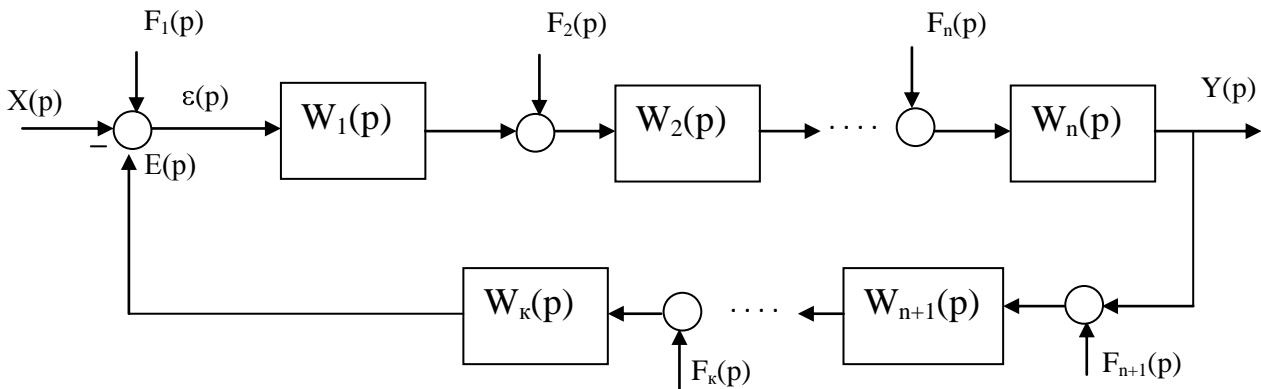
$$\frac{25}{p^2 + 25} = \frac{K}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1} = \frac{1}{\frac{1}{25} p^2 + 1};$$

$$K = 1; T^2 = \frac{1}{25}; T = \frac{1}{5}; 2T\xi = 0; \xi = 0;$$

Полюса этой ПФ будут $p_1 = j5; p_2 = -j5$.

2.3. Передаточные функции по возмущению

1. Что называется передаточной функцией по возмущению?



$$\Phi_{F_i}(p) = \frac{Y(p)}{F_i(p)}, \text{ при } X(p) = F_{j \neq i}(p) = 0; j = 1 \div K;$$

$$Y(p) = X(p)\Phi_{XY}(p) + \sum_{i=1}^k F_i(p)\Phi_{F_i}(p);$$

2. Что называется ПФ для ошибки от полезного входного сигнала?

$$\Phi_{XE}(p) = \frac{E(p)}{X(p)}, \text{ при } F_i(p) = 0;$$

$E(p) = Y(p) - Y_{\text{жс}}(p)$, но $Y_{\text{жс}}(p) = X(p)$ для следящей системы

$$E(p) = Y(p) - X(p).$$

$$\text{Тогда } \Phi_{XE}(p) = \frac{Y(p) - X(p)}{X(p)} = \Phi_{XY}(p) - 1 = \frac{W(p)}{1 + W(p)} - 1 = -\frac{1}{1 + W(p)};$$

3. Чему равна ПФ для ошибки от возмущающего воздействия?

$$\Phi_{F_i E}(p) = \frac{E(p)}{F_i(p)} = \frac{Y(p) - Y_{\text{жс}}(p)}{F_i(p)}.$$

Но $Y_{\text{жс}}(p) = 0$, т.к. $F_i(p)$ – помеха. Тогда $\Phi_{F_i E}(p) = \Phi_{F_i Y}(p)$;

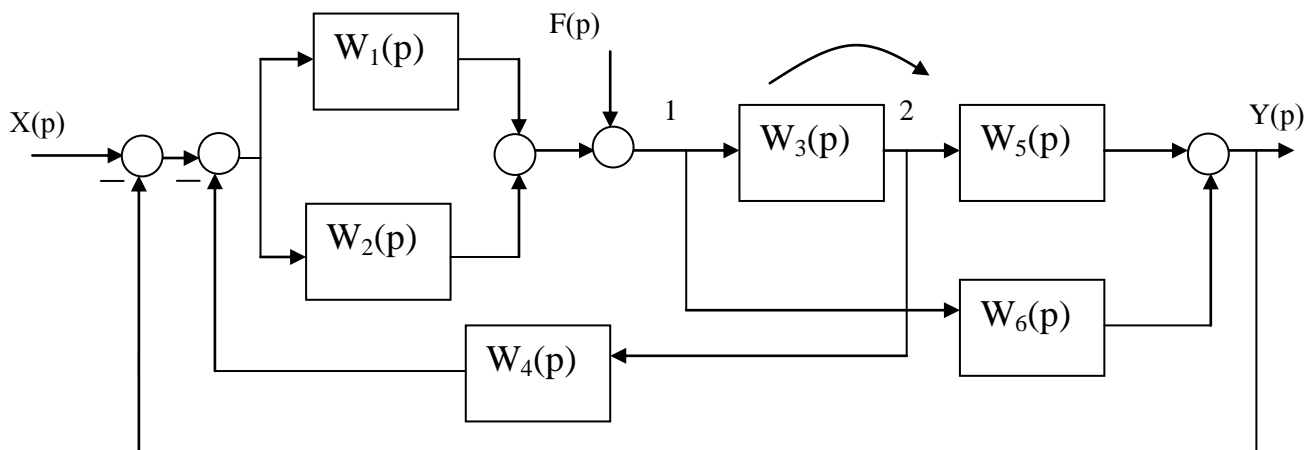
4. Что называется ПФ для рассогласования?

$$\Phi_{x\varepsilon}(p) = \frac{\varepsilon(p)}{X(p)}; \quad \varepsilon(p) = X(p) - Y(p) = -E(p);$$

$$\text{Тогда } \Phi_{x\varepsilon}(p) = -\Phi_{xY}(p) = \frac{1}{1+W(p)};$$

Задача №1

Структурная схема системы имеет вид:



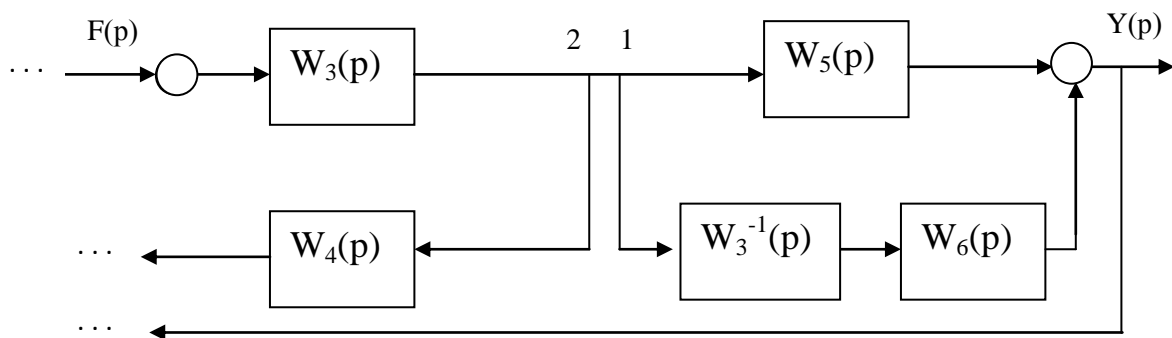
где $W_1(p) = \frac{2}{p}$; $W_2(p) = 1$; $W_3(p) = 0,5$; $W_4(p) = 2$; $W_5(p) = \frac{1}{p}$; $W_6(p) = \frac{2}{p}$.

Определить все основные ПФ АС.

Решение:

1. Определение ПФ разомкнутой системы $W(p)$:

- а) по правилам структурных преобразований приведем данную структуру к одноконтурному виду:
- перенесем узел 1 через звено $W_3(p)$ и узел 2;

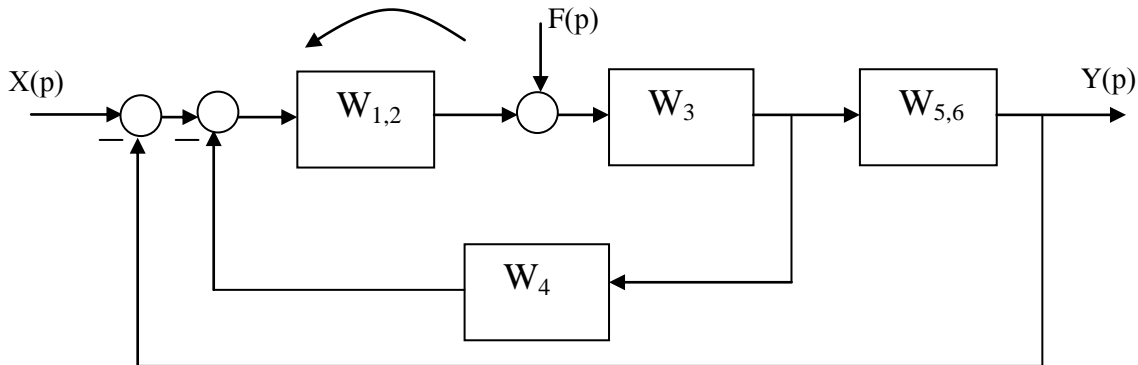


- определим ПФ параллельных соединений:

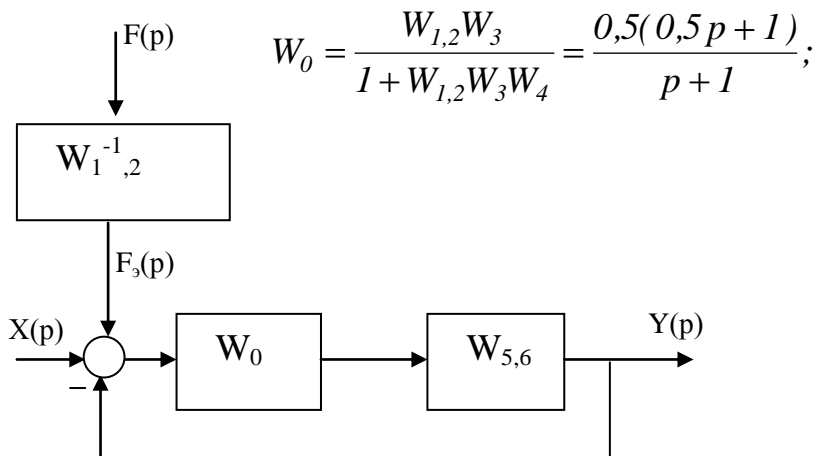
-

$$W_{1,2}(p) = W_1(p) + W_2(p) = \frac{2}{p} + 1 = \frac{2(0,5 + 1)}{p},$$

$$W_{5,6}(p) = W_5(p) + \frac{W_6(p)}{W_3(p)} = \frac{1}{p} + \frac{4}{p} = \frac{5}{p}.$$



- перенесем возмущение $F(p)$ через $W_{1,2}(p)$ и определим ПФ встречно-параллельного соединения $W_0(p)$:



$$W_0 = \frac{W_{1,2}W_3}{1 + W_{1,2}W_3W_4} = \frac{0,5(0,5p + 1)}{p + 1};$$

б) определим $W(p)$:

$$W(p) = W_0(p)W_{5,6}(p) = \frac{0,5(0,5p + 1)}{p + 1} \cdot \frac{5}{p} = \frac{2,5(0,5p + 1)}{p(p + 1)}.$$

2. Определим ПФ для задающего сигнала $\Phi(p)$:

$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)} = \frac{2,5(0,5p + 1)}{2,5(0,5p + 1) + p(p + 1)} = \frac{0,5p + 1}{0,4p^2 + 0,9p + 1}.$$

3. Определим ПФ от возмущения $\Phi_{FY}(p)$:

$$W_{FY}(p) = \frac{1}{W_{1,2}(p)} \Phi(p) = \frac{p}{2(0,5p + 1)} \cdot \frac{0,5p + 1}{(0,4p^2 + 0,9p + 1)} = \frac{0,5p}{0,4p^2 + 0,9p + 1}.$$

4. Определим ПФ для ошибки от задающего воздействия $\Phi_{XE}(p)$ или $S(p)$, помехи $\Phi_{FE}(p)$ и для рассогласования $\Phi_{XE}(p)$ и для рассогласования $\Phi_{X\varepsilon}(p)$:

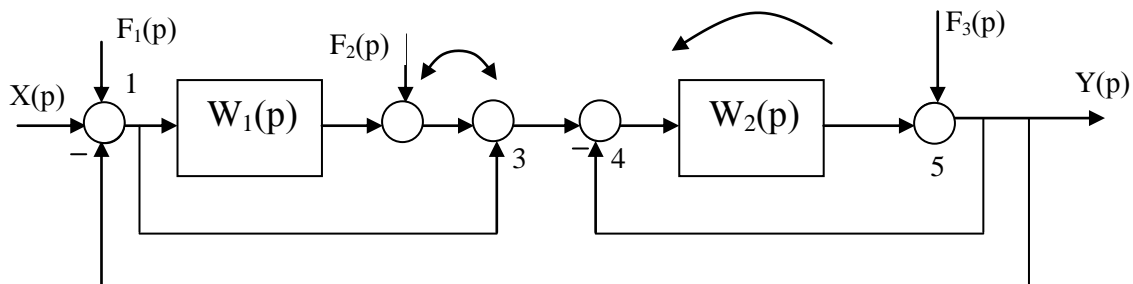
$$W_{XE}(p) = -\frac{1}{1+W(p)} = \Phi(p) - 1 = -\frac{0,4p(p+1)}{0,4p^2 + 0,9p + 1};$$

$$W_{FE}(p) = \Phi_{FY}(p) = -\frac{0,5p}{0,4p^2 + 0,9p + 1};$$

$$\Phi_{X\varepsilon}(p) = -\Phi_{XE}(p) = \frac{0,4p(p+1)}{0,4p^2 + 0,9p + 1};$$

Задача №2

Структурная схема АС имеет вид:



где $W_1(p) = 2$; $W_2(p) = \frac{1}{p}$.

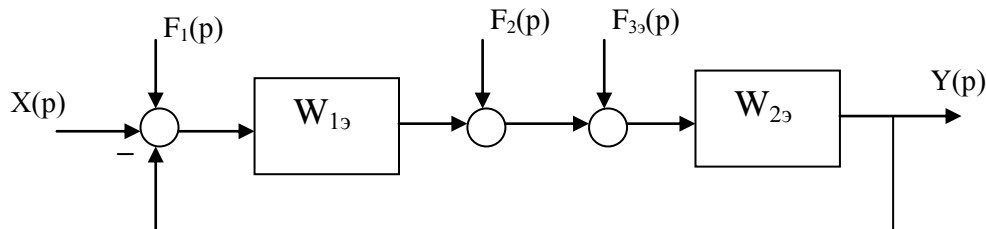
Определить изображение выходного сигнала $Y(p)$ и ошибки $E(p)$.

Решение:

1. Определим $Y(p)$

$$Y(p) = X(p) \Phi(p) + \sum_{i=1}^3 F_i(p) \Phi_{FiY}(p).$$

Для нахождения $\Phi(p)$ и $\Phi_{FiY}(p)$ преобразуем структуру АС, поменяв сумматоры 2, 3 местами и сумматор 5 перенесем через звено $W_2(p)$ и сумматор 4



$$\text{Где } W_{13}(p) = W_1(p) + 1; \quad W_{23} = \frac{W_2(p)}{1 + W_2(p)};$$

$$F_{33}(p) = F_3(p) \cdot W_2^{-1}(p).$$

а) Определим $\Phi(p)$:

$$\Phi(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} \Big|_{F_1=F_2=F_3=0} = \frac{W_{1\vartheta} \cdot W_{2\vartheta}}{1 + W_{1\vartheta} \cdot W_{2\vartheta}} = \frac{(W_1 + 1) \cdot \frac{W_2(p)}{1 + W_2(p)}}{1 + (W_1 + 1) \cdot \frac{W_2(p)}{1 + W_2(p)}} =$$

$$= \frac{(1 + W_1)W_2}{1 + W_2 + W_2(1 + W_1)} = \frac{3}{p + 4},$$

$$\Phi(p) = \frac{0,75}{0,25p + 1};$$

б) Определим $\Phi_{FiY}(p)$:

$$i = 1; \quad \Phi_{F_1Y}(p) = \frac{Y(p)}{F_1(p)} \Big|_{X=F_2=F_3=0} = \frac{W_{1\vartheta} W_{2\vartheta}}{1 + W_{1\vartheta} W_{2\vartheta}} = \Phi(p) = \frac{0,75}{0,25p + 1};$$

$i = 2$;

$$\Phi_{F_2Y}(p) = \frac{Y(p)}{F_2(p)} \Big|_{X=F_1=F_3=0} = \frac{W_{2\vartheta}}{1 + W_{2\vartheta} W_{1\vartheta}} = \frac{W_2}{1 + 2W_2 + W_1 W_2} = \frac{1}{p + 4} = \frac{0,25}{0,25p + 1};$$

$i = 3$;

$$\Phi_{F_3Y}(p) = \frac{Y(p)}{F_3(p)} \Big|_{X=F_1=F_2=0} = \frac{W_2^{-1} W_{2\vartheta}}{1 + W_{1\vartheta} W_{2\vartheta}} = \frac{1}{1 + 2W_2 + W_1 W_2} = \frac{p}{p + 4} = \frac{0,25p}{0,25p + 1}.$$

$$Y(p) = \mathbf{K}(p) + F_1(p) \cdot \frac{0,75}{0,25p + 1} + F_2(p) \cdot \frac{0,25}{0,25p + 1} + F_3(p) \cdot \frac{0,25}{0,25p + 1}.$$

2. Определим $E(p)$:

$$E(p)^{\Delta} = Y(p) - X(p) = -\frac{0,25(p + 1)}{0,25p + 1} X(p) + F_1(p) \frac{0,75}{0,25p + 1} +$$

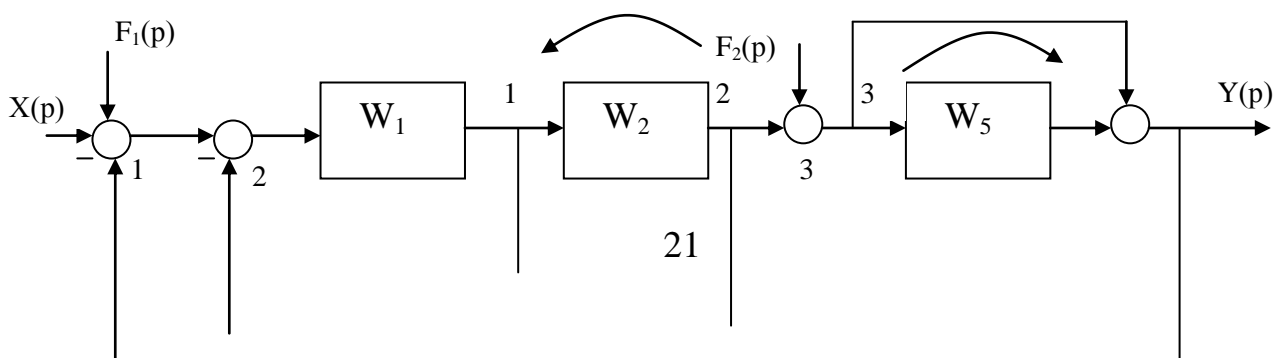
$$F_2(p) \frac{0,25}{0,25p + 1} + F_3(p) \frac{0,25}{0,25p + 1}.$$

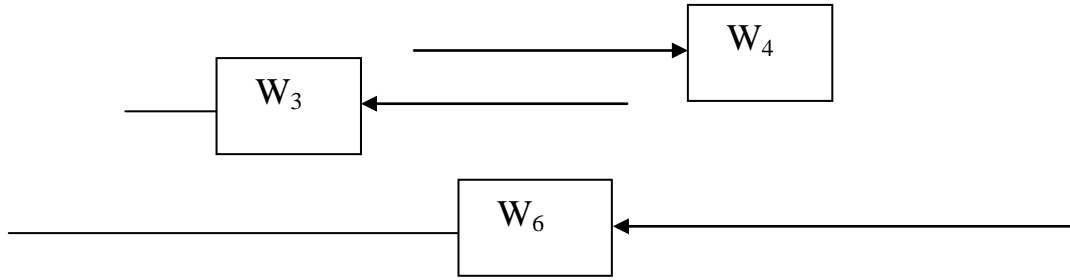
Мы убедились, что составляющие выходного сигнала АС, обусловленные действием на нее помех, полностью входят в ошибку системы.

Мы также убедились, что независимо от места ввода в АС полезного сигнала и помех характеристический полином $A(p)$ один и тот же для всех ПФ АС, т.е. он характеризует саму систему.

Задача №3.

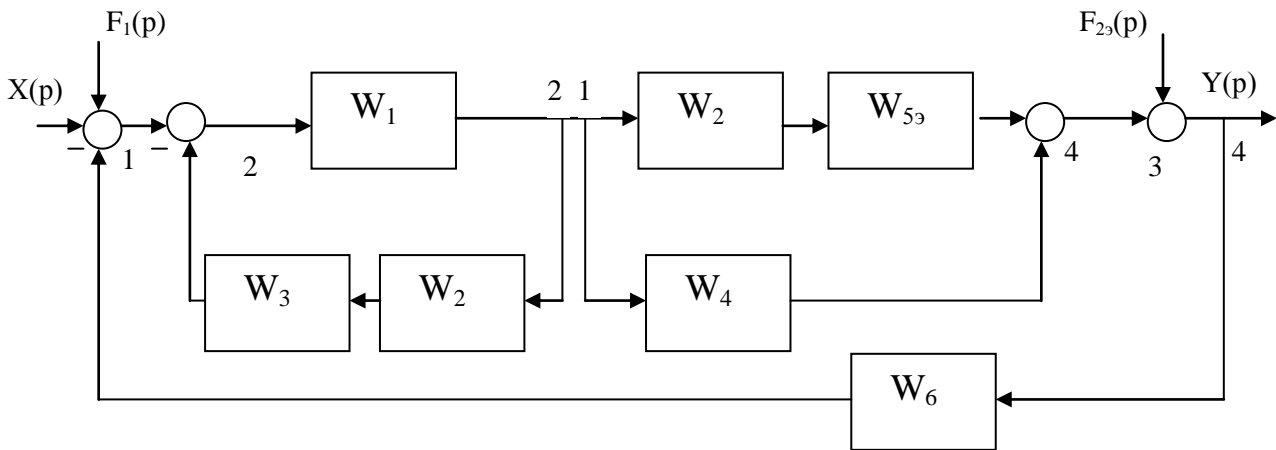
Для автоматической системы с заданной структурой требуется определить все передаточные функции.



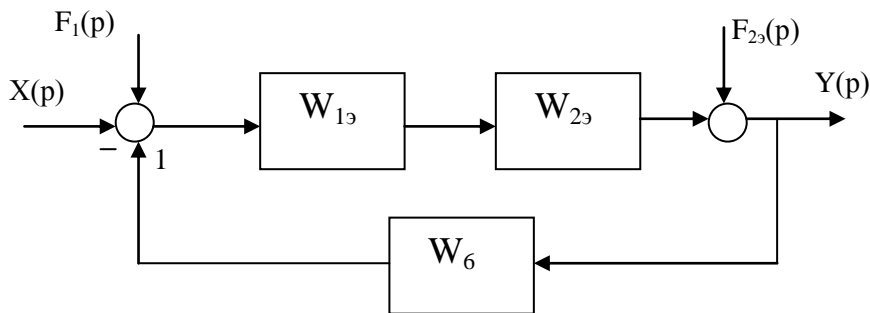


Решение:

1. Преобразуем исходную многоконтурную систему в одноконтурную, для чего перенесем узел 2 через звено $W_2(p)$ и узел 1, а сумматор 3 за сумматором 4, по ходу сигнала.



где $W_{5э} = W_5 + 1$; $F_{2э}(p) = F_2(p) W_{5э}$;



где $W_{1э} = \frac{W_1}{1 + W_1 W_2 W_3}$; $W_{2э} = W_2 W_{5э} + W_4$;

$W(p) = W_{1э} W_{2э}$; $W(p)' = W_{1э} W_{2э} W_6$;

2. Определим основные ПФ АС:

а) ПФ замкнутой АС

$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)'} = \frac{W_{1э} W_{2э}}{1 + W_{1э} W_{2э} W_6};$$

б) ПФ от помехи $F_1(p)$ к выходу

$$\Phi_{F_1 Y}(p) = \Phi(p);$$

в) ПФ от помехи $F_2(p)$ к выходу

$$\Phi_{F_2 Y}(p) = \frac{W_{5э}}{1 + W(p)'};$$

г) ПФ для ошибки от полезного входного сигнала (рассогласования)

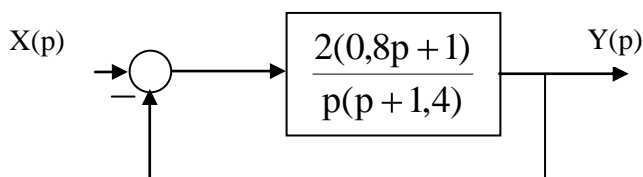
$$S(p) = \Phi(p) - \frac{1}{W_6}; \quad \Phi_{X\varepsilon}(p) = -S(p);$$

д) ПФ для ошибки от помех $F_1(p)$ и $F_2(p)$

$$\Phi_{F1E}(p) = \Phi_{F1Y}(p); \quad \Phi_{F2E}(p) = \Phi_{F2Y}(p)$$

Задача №1.

Структурная схема АС имеет вид:



Необходимо определить $h(0)$; $h(\infty)$; $g(0)$; $g(\infty)$.

Решение:

1. Определяем передаточную функцию замкнутой системы и изображения временных характеристик $H(p)$ и $G(p)$.

$$\Phi(p) = \frac{\frac{2(0,8p+1)}{p(p+1,4)}}{1 + \frac{2(0,8p+1)}{p(p+1,4)}} = \frac{1,6p+2}{p^2+3p+2};$$

$$H(p) = \frac{\Phi(p)}{p} = \frac{1,6p+2}{p(p^2+3p+2)}; \quad G(p) = \Phi(p) = \frac{1,6p+2}{p^2+3p+2}.$$

2. Применяем первую и вторую предельные теоремы.

$$h(0) = \lim_{p \rightarrow 0} p H(p) = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{1,6p+2}{p^2+3p+2} = 0;$$

$$h(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot H(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{1,6p+2}{p^2+3p+2} = 1;$$

$$g(\infty) = \lim_{p \rightarrow \infty} p G(p) = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{p(1,6p+2)}{p^2+3p+2} = \left. \begin{array}{l} \text{По правилу Лопиталя} \\ \text{берем отношение про-} \\ \text{изводных} \end{array} \right| =$$

$$= \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{3,2p+2}{2p+3} = \frac{3,2}{2} = 1,6;$$

$$g(0) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot G(p) = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{p(1,6p+2)}{p^2+3p+2} = \frac{0}{2} = 0.$$

Задача № 2.

Для системы из задачи №1 определить аналитические выражения $h(t)$ и $g(t)$, набрать графики этих функций.

Решение:

1. Изображения $H(p)$ и $G(p)$ имеют вид:

$$H(p) = \frac{1,6p + 2}{p(p^2 + 3p + 2)}; \quad G(p) = \frac{1,6p + 2}{p^2 + 3p + 2}.$$

2. Определяем корни знаменателя $H(p)$ и $G(p)$

$$H(p): p(p^2 + 3p + 2) = 0 \Rightarrow \begin{cases} \tilde{p}_1 = 0 \\ \tilde{p}_2 = -2 \\ \tilde{p}_3 = -1 \end{cases} \quad p_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}; \text{ при } a = 1$$

$$G(p): p^2 + 3p + 2 = 0 \Rightarrow \begin{cases} p_1 = -2 \\ p_2 = -1 \end{cases} \quad -\frac{b}{2} \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4c}}{2};$$

$$p_1 + p_2 = -\frac{b}{a}; \quad p_1 p_2 = \frac{c}{a}.$$

3. Определяем коэффициент C_0, C_i разложения функций $h(t)$ и $g(t)$

$$\Phi(p) = \frac{B(p)}{A(p)};$$

$$\begin{cases} g(t) = C_0 \delta(t) + \sum_{i=1}^n C_i \cdot e^{p_i t}, \quad t \geq 0; \\ C_0 = \frac{b_m}{a_n} = \Phi(\infty), m = n \\ C_0 = 0, \quad m < n \end{cases} \quad C_i = -\frac{B(p_i)}{A'(p_i)}$$

$$\begin{cases} h(t) = \tilde{C}_0 + \sum_{i=1}^n \tilde{C}_i e^{p_i t}, \quad t > 0; \\ \tilde{C}_0 = \frac{b_0}{a_0} = \Phi(0), \\ \tilde{C}_i = \frac{B(p_i)}{p_i A'(p_i)} = \frac{C_i}{p_i}. \end{cases}$$

Производная знаменателей:

$$H(p): \left[p(p^2 + 3p + 2)' \right] = 3p^2 + 6p + 2$$

$$G(p): (p^2 + 3p + 2)' = 2p + 3.$$

Определяем C_0, \tilde{C}_0, C_i и \tilde{C}_i : т.к. $m < n$, то \tilde{C}_0 и $C_0 = 0$.

$$h(t): \quad \tilde{C}_1 = \frac{1,6 + 2}{3p^2 + 6p + 2} \Big|_{\tilde{p}_1=0} = \frac{2}{2} = 1;$$

$$\tilde{C}_2 = \frac{1,6 + 2}{3p^2 + 6p + 2} \Big|_{\tilde{p}_2=-2} = -\frac{1,2}{2} = -0,6;$$

$$\tilde{C}_3 = \frac{1,6 + 2}{3p^2 + 6p + 2} \Big|_{\tilde{p}_3=-1} = -\frac{0,4}{-1} = 0,4;$$

$$g(t): \quad C_1 = \frac{1,6 + 2}{2p + 3} \Big|_{\tilde{p}_1=-2} = \frac{-1,2}{-1} = 1,2;$$

$$C_2 = \frac{1,6 + 2}{2p + 3} \Big|_{\tilde{p}_1=-1} = \frac{0,4}{1} = 0,4.$$

Определяем оригиналы функций $h(t)$ и $g(t)$:

$$h(t) = 1 \cdot e^{0t} + (-0,6)e^{-2t} + (-0,4)e^{-t} = 1 - 0,6e^{-2t} - 0,4e^{-t};$$

$$g(t) = 1,2e^{-2t} + 0,4e^{-t};$$

Проверка:

$$g(t) = h^{(1)}(t);$$

$$g(t) = (1 - 0,6e^{-2t} - 0,4e^{-t})' = 1,2e^{-2t} + 0,4e^{-t}.$$

Проверить $h(0)$ и $g(0)$; $h(\infty)$ и $g(\infty)$.

Добавить:

$$\Phi(p) = \frac{1,6p + 2}{p^2 + 3p + 2} 2e^{-0,5p};$$

$$\Phi(p) = \Phi_0(p)e^{-0,5p};$$

$$\Phi_0(p) = \frac{2(1,6p + 2)}{p^2 + 3p + 2}.$$

Находим $g_0(t)$, а затем сдвигаем её на величину $\tau = 0,5$: $g(t) = g_0(t - \tau)$.

Находим $h_0(t) \Rightarrow \tau \Rightarrow 0,5 \Rightarrow h(t) = h_0(t - \tau)$.

Задача №3

На вход системы

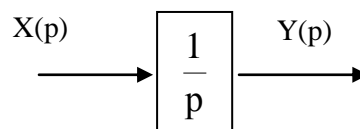
действует входной сигнал

$$x(t) = 2\delta(t - 1) - 3\delta(t - 2) + 4\delta(t - 4).$$

Изобразить график выходного сигнала.

Решение:

Если на вход системы действует δ -импульс, то, по определению, выход системы есть весовая функция $g(t)$. Если на вход ЛС АС действует комбинация δ -импульсов, сдвинутых по времени, то в силу линейности системы её выход будет также линейная комбинация весовых функций с соответствующим сдвигом.



Т.о., выходной сигнал системы

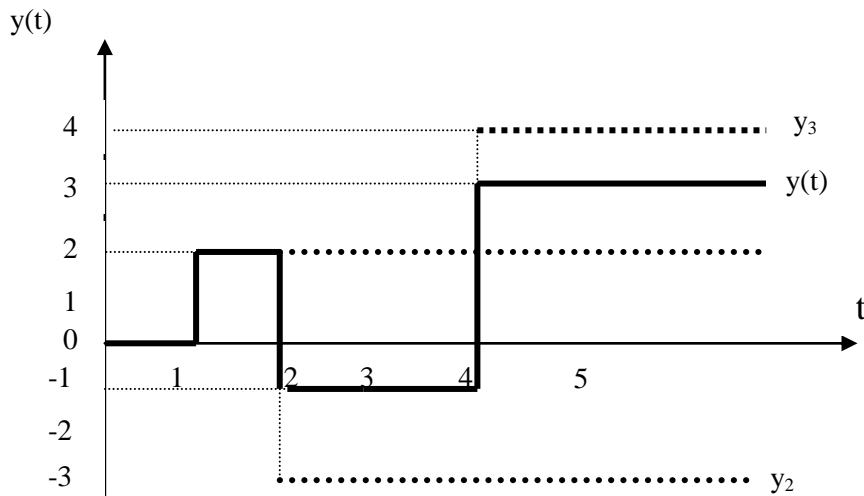
$$y(t) = 2g(t-1) - 3g(t-2) + 4g(t-4).$$

Весовая функция системы (интегрирующего звена):

$$g(t) = L^{-1} [G(p)] = L^{-1} [V(p)] = L^{-1} \left[\frac{1}{p} \right] = I(t),$$

$$\text{т.е. } y(t) = 2 \cdot I(t-1) - 3 \cdot I(t-2) + 4 \cdot I(t-4) = y_1 + y_2 + y_3$$

График такого сигнала имеет вид:

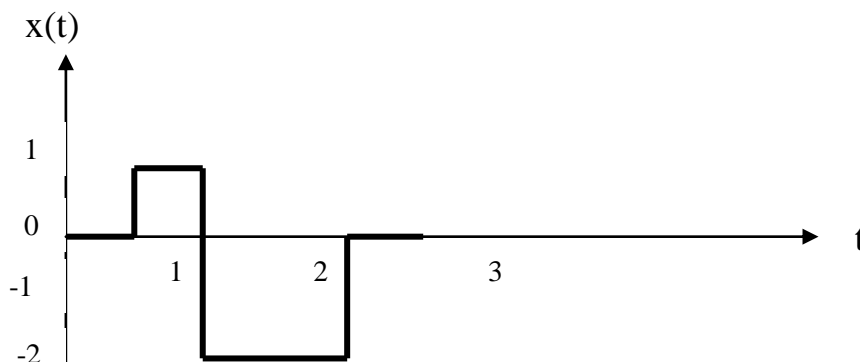


Задача №4.

Переходная функция системы имеет вид:

$$h(t) = 1 - e^{-t}$$

Определить реакцию системы в момент времени $t = 3c$ на сигнал $x(t)$ вида:



Решение:

Запишем аналитическое выражение для входного сигнала:

$$x(t) = I(t-0,5) - 3 \cdot I(t-1) + 2 \cdot I(t-2).$$

Если вход системы есть единичная ступенчатая функция, то, по определению, выход – переходная функция. Поэтому

$$y(t) = h(t - 0,5) - 3h(t - 1) + 2h(t - 2) = 1 - e^{-(t-0,5)} - 3 + 3 \cdot e^{-(t-1)} + 2 - 2 \cdot e^{-(t-2)} = 3 \cdot e^{-(t-1)} - 2 \cdot e^{-(t-2)} - e^{-(t-0,5)}.$$

Тогда

$$y(3) = 3 \cdot e^{-2} - 2e^{-1} - e^{-2,5}.$$

Задача №5

Передаточная функция системы имеет вид: $\Phi(p) = \frac{2(p+1)^2}{(p+3)^3}$.

Определить начальные значения $g(0)$ и $h(0)$.

Решение:

Определяем изображения $G(p)$ и $H(p)$:

$$G(p) = \Phi(p) = \frac{2(p+1)^2}{(p+3)^3}; \quad H(p) = \frac{1}{p} \Phi(p) = \frac{2(p+1)^2}{(p+3)^3}$$

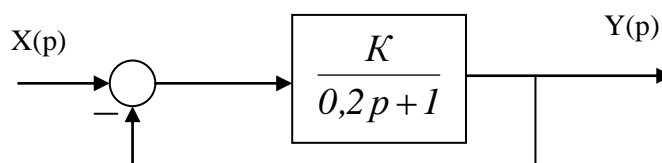
Применяем предельную теорему:

$$g(0) = \lim_{p \rightarrow \infty} pG(p) = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{2p(p+1)^2 / p^3}{(p+3)^3 / p^3} = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{2 \frac{p}{p} \cdot \frac{p+1}{p} \cdot \frac{p+1}{p}}{\frac{p}{p} \cdot \frac{p+3}{p} \cdot \frac{p+3}{p} \cdot \frac{p+3}{p}} = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{2(1 + \frac{1}{p})^2}{(1 + \frac{3}{p})^3} = 2;$$

$$h(\infty) = \lim_{p \rightarrow \infty} p \cdot H(p) = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{p \cdot 2(p+1)^2}{p(p+3)^3} = \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{2(1 + \frac{1}{p})^2}{(1 + \frac{3}{p})^3} = 0.$$

Задача №5

Структурная схема АС имеет вид:



Определить значение коэффициента усиления K , необходимого для обеспечения сдвига фаз между входным и выходным сигналами $\varphi = -45^\circ$, если частота входного гармонического сигнала $f = 1,6$ Гц.

Решение:

Сдвиг фаз между входным и выходным сигналами есть ФЧХ системы:

$$\varphi(\omega_x) = \arg \Phi(j\omega_x),$$

где $\Phi(j\omega_x)$ – АФЧХ системы.

Но $\varphi(\omega_x) = -45^\circ$, тогда $-45^\circ = \arg \Phi(j\omega_x)$.

Следовательно, необходимо определить передаточную функцию замкнутой АС, её АФЧХ, в выражение для которой будет входить неизвестное K , а затем определим численное значение требуемого коэффициента усиления разомкнутой системы.

1. Определим передаточную функцию и выражение для АФЧХ замкнутой АС:

$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1+W(p)}, \text{ или для единичной обратной связи:}$$

$$\Phi(p) = \frac{B(p)}{A(p)+B(p)} = \frac{K}{0,2p+K+1};$$

$$\text{Тогда } \Phi(j\omega) = \frac{K}{0,2j\omega+K+1};$$

2. Из выражения для ФЧХ на частоте входного сигнала $\omega_x = 2\pi f$ определим требуемый коэффициент усиления:

$$\omega_x = 2\pi \cdot 1,6 \approx 10, c^{-1};$$

$$\arg \Phi(j\omega_x) = -45^\circ; \quad -\arctg \frac{0,2\omega_x}{K+1} = 45^\circ;$$

$$\arctg \frac{2}{K+1} = 45^\circ; \quad \text{tg}45^\circ = \frac{2}{K+1}; \quad K = 1.$$

Задача №4.

Изобразить общий вид годографа для АС с передаточной функцией:

$$\Phi(p) = \frac{K}{Tp+1} e^{-p} - \text{простейшая модель человека – оператора (летчика).}$$

Решение:

$$\text{Обозначим } W_1(p) = \frac{K}{Tp+1}; \quad W_2(p) = e^{-p}$$

Тогда $\Phi(p) = W_1(p) W_2(p)$;

$$\Phi(j\omega) = W_1(j\omega) W_2(j\omega);$$

$$\Phi_a(\omega) = |\Phi(j\omega)| = |W_1(j\omega)| |W_2(j\omega)| = W_{1a}(\omega) W_{2a}(\omega);$$

$$\varphi(\omega) = \arg \Phi(j\omega) = \arg[W_1(j\omega) W_2(j\omega)] = \arg W_1(j\omega) + \arg W_2(j\omega).$$

Определим все составляющие выражений для $\Phi_a(\omega)$ и $\varphi(\omega)$.

$$W_1(j\omega) = \frac{K}{Tj\omega+1}; \quad \left| W_1(j\omega) \right| = \frac{|K|}{|Tj\omega+1|} = \frac{K}{\sqrt{T^2\omega^2+1}};$$

$$\arg W_1(j\omega) = \arg K - \arg(Tj\omega+1) = -\arctg T\omega;$$

$$R_1(\omega) = \frac{K}{1+T^2\omega^2}; \quad I_1(\omega) = -\frac{K\omega T}{1+T^2\omega^2};$$

$$W_1(j\omega) = e^{-j\tau\omega}; \quad |W_2(j\omega)| = |e^{-j\tau\omega}| = |\cos\tau\omega - j\sin\tau\omega| = 1;$$

$$\text{Arg}W_2(j\omega) = -\arctg \frac{\sin\tau\omega}{\cos\tau\omega} = -\arctg \tg\tau\omega = -\tau\omega;$$

$$\text{Тогда } \Phi_a(\omega) = W_{1a}(\omega) = \frac{K}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}};$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg T\omega - \tau\omega;$$

Итак, можно сформулировать следующее правило построения годографов для АС, содержащих в своем составе звено постоянного запаздывания e^{-p} .

Правило:

Для того, чтобы построить годограф передаточной функции, содержащей звено e^{-p} , необходимо:

- а) построить годограф части функции без этой составляющей;
- б) каждую строчку построенного годографа сдвинуть по фазе на величину $-\tau\omega$ (по часовой стрелке).

Поступим согласно этого правила:

$$\omega_0 = 0; \rightarrow R(0) = K; \quad I(0) = 0; \quad \varphi_I(0) = 0.$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T} \rightarrow R(\omega_1) = K/2; \quad I(\omega_1) = -K/2; \quad \varphi_I(\omega_1) = -45^\circ.$$

$$\omega \rightarrow \infty \rightarrow R(\infty) = 0; \quad I(\infty) = 0; \quad \varphi_I(\infty) = -90^\circ.$$

3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ И УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Общие указания по выполнению контрольной работы

Контрольная работа должна выполняться студентом после изучения теоретического курса.

Контрольная работа состоит из 5 задач, задания к каждой из них представлены в 18 вариантах. Студент выбирает в таблицах 2-6 тот вариант задания, который соответствует сумме двух последних цифр его учебного шифра.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

- записать условие задачи;
- решение сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором должно быть указано, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу (из условия задачи, из справочника, определена ранее и т.д.);
- вычисления давать в развернутом виде;
- проставлять размерности всех заданных и расчетных величин в международной системе СИ;
- графический материал должен быть выполнен четко в масштабе на миллиметровой бумаге.

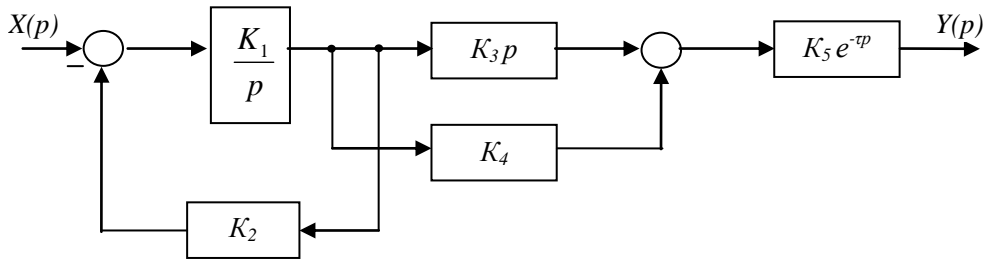
После решения задачи должен быть произведен краткий анализ полученных результатов и сделаны соответствующие выводы.

В конце работы дать перечень использованной литературы.

3.2. Задания для контрольной работы

Задача 1.

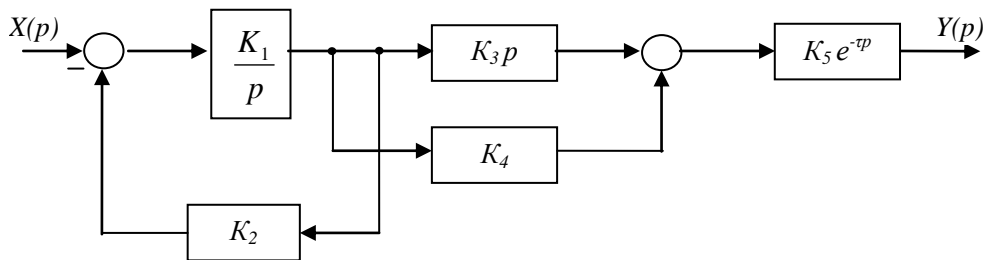
Дана АС со структурной схемой:



Определить передаточную функцию АС $\Phi(p)$, представить её в стандартном виде. Определить аналитические выражения для временных характеристик $q(t)$ и $h(t)$, оценить их начальные и конечные значения, изобразить общий вид графиков $q(t)$ и $h(t)$.

Задача 2.

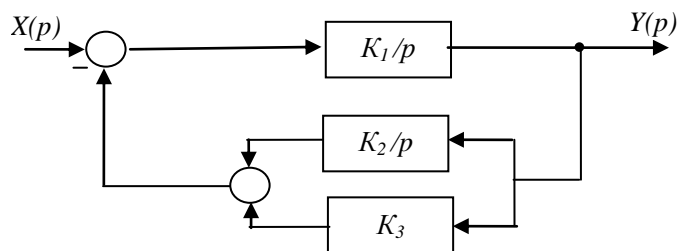
Дана АС со структурной схемой:



Определить передаточную функцию АС $\Phi(p)$, представить её в стандартном виде. Определить аналитические выражения для временных характеристик $q(t)$ и $h(t)$, оценить их начальные и конечные значения, изобразить общий вид графиков $q(t)$ и $h(t)$.

Задача 3.

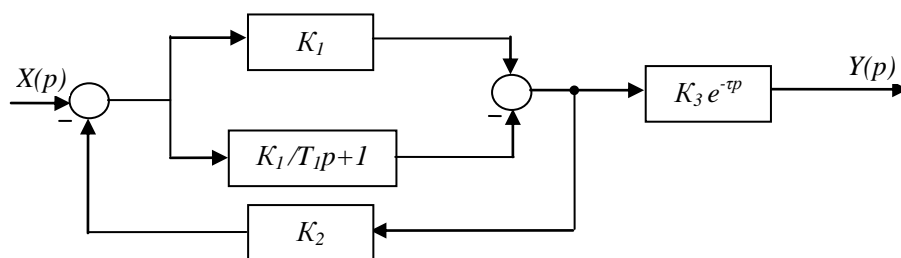
Дана АС со структурной схемой:



Определить передаточную функцию АС $\Phi(p)$, представить её в стандартном виде. Определить аналитические выражения для временных характеристик $q(t)$ и $h(t)$, оценить их начальные и конечные значения, изобразить общий вид графиков $q(t)$ и $h(t)$.

Задача 4.

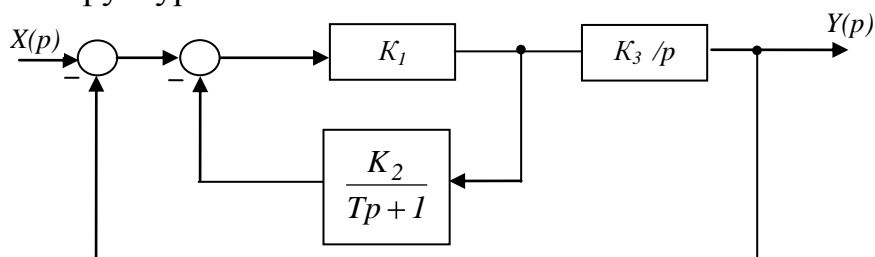
Дана АС со структурной схемой:



Определить передаточную функцию АС $\Phi(p)$, представить её в стандартном виде. Определить аналитические выражения для временных характеристик $q(t)$ и $h(t)$, оценить их начальные и конечные значения, изобразить общий вид графиков $q(t)$ и $h(t)$.

Задача 5.

Дана АС со структурной схемой:



Определить передаточную функцию АС $\Phi(p)$, представить её в стандартном виде. Определить аналитические выражения для временных характеристик $q(t)$ и $h(t)$, оценить их начальные и конечные значения, изобразить общий вид графиков $q(t)$ и $h(t)$.

4. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Таблица 2. Данные для задачи № 1

Сумма двух по- следних цифр шиф- ра	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	τ
0	0,1	5	0,1	0,2	100	0,2
1	0,2	6	0,3	0,2	90	0,3
2	0,4	4	0,5	0,1	70	0,5
3	0,1	2	0,2	0,2	65	0,2
4	0,6	8	0,4	0,3	84	0,4
5	0,4	5	0,3	0,3	98	0,3
6	0,3	7	0,2	0,2	85	0,2
7	0,2	6	0,1	0,1	75	0,1
8	0,1	4	0,2	0,2	90	0,1
9	0,6	3	0,4	0,2	95	0,6
10	0,4	5	0,3	0,3	64	0,4
11	0,2	4	0,1	0,1	88	0,2
12	0,2	8	0,4	0,2	97	0,2
13	0,3	9	0,2	0,2	86	0,3
14	0,4	6	0,5	0,3	84	0,4
15	0,1	7	0,2	0,2	78	0,3
16	0,3	4	0,4	0,4	77	0,5
17	0,2	2	0,1	0,2	95	0,2
18	0,5	5	0,3	0,3	93	0,4

Таблица 3. Данные для задачи № 2

Сумма двух по- следних цифр шиф- ра	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	τ
0	0,2	5	0,2	0,1	100	0,1
1	0,3	6	0,2	0,2	90	0,3
2	0,5	4	0,1	0,4	70	0,5
3	0,2	2	0,2	0,1	65	0,2
4	0,4	8	0,3	0,6	84	0,4
5	0,3	5	0,3	0,4	98	0,3
6	0,2	7	0,2	0,3	85	0,2
7	0,1	6	0,1	0,2	75	0,1
8	0,1	4	0,2	0,1	90	0,2
9	0,6	3	0,2	0,6	95	0,4
10	0,4	5	0,3	0,4	64	0,3
11	0,2	4	0,1	0,2	88	0,1
12	0,2	8	0,2	0,2	97	0,4
13	0,3	9	0,2	0,3	86	0,2
14	0,4	6	0,3	0,4	84	0,5
15	0,3	7	0,2	0,1	78	0,2
16	0,5	4	0,4	0,3	77	0,4
17	0,2	2	0,2	0,2	95	0,1
18	0,4	5	0,3	0,5	93	0,3

Таблица 4. Данные для задачи № 3

Сумма двух по- следних цифр шиф- ра	K	K_1	K_2	K_3
0	0,2	0,1	5	15
1	0,3	0,3	6	12
2	0,5	0,5	4	16
3	0,2	0,2	2	14
4	0,4	0,4	8	15
5	0,3	0,3	5	12
6	0,2	0,2	6	18
7	0,1	0,1	4	10
8	0,1	0,2	7	15
9	0,6	0,4	4	14
10	0,4	0,3	5	16
11	0,2	0,1	6	12
12	0,2	0,4	4	13
13	0,3	0,2	5	14
14	0,4	0,5	6	15
15	0,3	0,2	8	14
16	0,5	0,4	4	12
17	0,2	0,1	3	11
18	0,4	0,3	8	10

Таблица 5. Данные для задачи № 4

Сумма двух по- следних цифр шиф- ра	K_1	T_1	K_2	K_3	τ	K	T
0	10	0,25	1,9	4	0,4	10	5
1	11	0,3	1,5	4	0,3	15	6
2	10	0,25	1,6	5	0,5	12	4
3	12	0,4	1,5	6	0,2	16	2
4	14	0,2	1,4	4	0,4	14	8
5	13	0,3	1,8	8	0,3	15	5
6	15	0,2	1,7	3	0,2	12	6
7	16	0,3	1,6	5	0,1	18	4
8	14	0,35	1,4	4	0,2	10	7
9	12	0,25	1,4	6	0,4	15	4
10	10	0,3	1,5	4	0,3	14	5
11	10	0,1	1,6	5	0,1	16	6
12	15	0,4	1,8	8	0,4	12	4
13	14	0,35	1,9	2	0,2	13	5
14	13	0,2	1,5	3	0,5	14	6
15	12	0,35	1,6	7	0,2	15	8
16	10	0,25	1,7	5	0,4	14	4
17	14	0,2	1,5	4	0,1	12	3
18	16	0,3	1,6	6	0,3	11	8

Таблица 6. Данные для задачи № 5

Сумма двух по- следних цифр шиф- ра	K_1	K_2	T	K_3
0	0,2	2,5	4	11
1	0,3	2,8	6	12
2	0,5	2,9	4	16
3	0,2	3,0	2	14
4	0,4	3,2	8	15
5	0,3	3,5	5	12
6	0,2	2,8	6	18
7	0,1	2,7	4	10
8	0,1	2,6	7	15
9	0,6	2,8	4	14
10	0,4	3,1	5	16
11	0,2	3,5	6	12
12	0,2	2,1	4	13
13	0,3	2,9	5	14
14	0,4	2,8	6	15
15	0,3	2,4	8	14
16	0,5	2,5	4	12
17	0,2	2,2	3	11
18	0,4	2,6	8	10

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесов Л.В. Основы автоматики / Л.В. Колесов. – М.: Колос, 1984. – С. 159-165.
2. Загинайлов В.И. Основы автоматики / В.И. Загинайлов, Л.Н. Шепова-лова. – М.: Колос, 2001. – С. 101-115.
3. Шавров А.В. Автоматика / А.В. Шавров, А.П. Коломиец. – М.: Колос, 2000. – С. 158-172.
4. Мартыненко И.И. Проектирование систем автоматики / И.И. Мартыненко, В.Ф. Лысенко. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 116-143.
5. Автоматика. Расчет частотно-регулируемых асинхронных двигателей: учеб. пособие для вузов / Авт. -сост.: Ю.П. Коськин, А.Г. Иванов, Б.Б. Криссинель, А.Г. Черных; под ред. Ю.П. Коськина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Иркутск: ИрГСХА, 2008. – 285 с.
6. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. – М.: Колос, 2004. – 179 с.
7. Бородин И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин и [др.]. – М.: Колос, 2007. – 214 с.
8. Корнеев Н.В. Теория автоматического управления с практикумом: учеб. пособие для вузов: допущено Учеб.-метод. об-нием / Н.В. Корнеев, Ю.С. Кустарёв, Ю.Я. Морговский. – М.: Академия, 2008. – 219 с.
9. Крылов, Ю.А. Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города. Частотно-регулируемый электропривод: учеб. пособие для вузов / Ю.А. Крылов, А.С. Карандаев, В.Н. Медведев. – СПб.: Лань, 2013. – 176 с.
10. Нагорный В.С. Средства автоматики гидро- и пневмосистем [Электронный ресурс] / В.С. Нагорный. - Электрон. текстовые дан. – Москва: Лань, 2014. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=52612. – ISBN 978-5-8114-1652-3. – Рекомендовано УМО по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Технологические машины и оборудование».
11. Ощепков А.Ю. Система автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Ю. Ощепков. – Электрон. текстовые дан. – Москва: Лань, 2013. – 208 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=5849. – ISBN 978-5-8114-1471-0.
12. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.А. Первозванский. – Электрон. текстовые дан. – Москва: Лань, 2015. – 624 с.: ил. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=68460. – ISBN 978-5-8114-0995-2.
13. Шипицына В.М. Автоматика: типовые задачи и примеры их решения / В.М. Шипицына; Иркут. гос. с.-х. акад. – Иркутск: ИрГСХА, 2008. – 45 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
1.1. Содержание дисциплины «Автоматика».....	4
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	5
2.1. Передаточные функции и структурные преобразования ЛСС. Операторы ЛСС.....	5
2.2. Передаточные функции и структурные преобразования ЛСС.....	10
2.3. Передаточные функции по возмущению.....	17
3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ И УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ.....	30
3.1. Общие указания по выполнению контрольной работы.....	30
3.2. Задания для контрольной работы.....	30
4. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ.....	33
ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	38

Составители
Кудряшев Геннадий Сергеевич
Третьяков Александр Николаевич
Шпак Оксана Николаевна

АВТОМАТИКА

*Методические указания и контрольные задания
по дисциплине «Автоматика» для студентов очной и заочной форм обучения
направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия (уровень бакалавриата),
профиль «Электрооборудование и электротехнологии в АПК»*

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР № 070444 от 11.03.98 г.
Подписано в печать 12.04.2016. Формат 60×86/16. Печ. л. 10,0
Тираж 100 экз.

Издательство Иркутский государственный
аграрный университет
664038, Иркутская обл., Иркутский район
пос. Молодежный