

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»  
Институт электроэнергетики и информатики  
Кафедра микропроцессорной управляющей вычислительной техники

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ  
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ»  
для студентов специальности 050501.65 Профессиональное обучение  
(информатика, вычислительная техника и компьютерные технологии)  
специализации «Вычислительная техника» (030502.06)

Екатеринбург 2012

Задания и методические указания для выполнения контрольной работы по дисциплине «Основы теории автоматического управления». Екатеринбург, ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2012, 11 с.

Составитель канд.физ.-мат.наук, доцент С.Б. Петров

Одобрена на заседании кафедры микропроцессорной управляющей вычислительной техники 12.01.2012 г., протокол № 6.

Заведующий кафедрой МТ

С.Б. Петров

Рекомендована к печати методической комиссией ЭлИн РГППУ 16.01.2012 г., протокол № 4.

Председатель методической комиссии ЭлИн

А.А. Карасик

© ФГАОУ ВПО «Российский  
государственный  
профессионально-  
педагогический  
университет», 2012

## ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа по дисциплине «Основы теории автоматического управления» является одной из форм учебной работы студентов по изучению основных принципов структурной организации, функционирования и анализа автоматических систем управления техническими объектами. Выполнение контрольной работы позволяет студентам глубже освоить основные положения и методы теории автоматического управления, используемые при разработке реальных систем.

Цель контрольной работы - закрепить у студентов теоретические знания и сформировать практические навыки по решению задач анализа систем автоматического управления.

Контрольная работа включает в себя два задания, посвященные структурным преобразованиям и оценке устойчивости систем автоматического управления. Каждое задание имеет 30 вариантов исходных данных, которые задаются преподавателем.

Перед выполнением контрольной работы необходимо проработать соответствующий учебный материал по рекомендуемой литературе или по иным источникам, уровень которых соответствует рабочей программе дисциплины «Основы теории автоматического управления».

С целью более четкого понимания сущности решаемых задач и повышения качества выполнения контрольной работы все задания снабжены краткими методическими указаниями и примерами конкретного решения.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие правила по её оформлению:

1. На первой странице тетради для контрольной работы должны быть указаны:

- фамилия, имя, отчество студента;
- шифр учебной группы;
- наименование дисциплины;
- номер заданного варианта.

2. Выполнению каждого контрольного задания должны предшествовать постановка задачи и исходные данные, соответствующие заданному варианту.

3. Все задания необходимо выполнить аккуратно и заблаговременно зарегистрировать контрольную работу в деканате.

## ЗАДАНИЕ 1

Произвести преобразование исходной структурной схемы линейной системы автоматического регулирования и записать передаточную функцию разомкнутой и замкнутой системы.

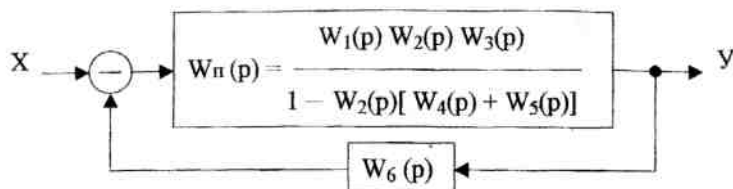
Вид исходной структурной схемы системы автоматического регулирования задается преподавателем.

### *Методические указания к выполнению задания*

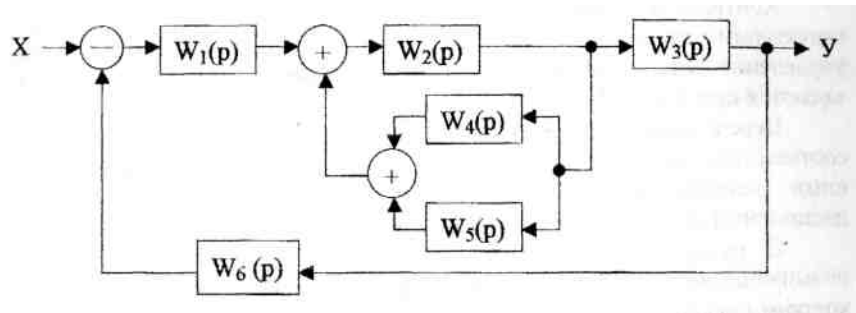
Для определения передаточных свойств систем автоматического регулирования их структурные схемы преобразуют к эквивалентному расчетному виду, позволяющему получать передаточные функции разомкнутых и замкнутых систем. Преобразования структурных схем выполняются в соответствии с определенными правилами. Основные правила преобразования структурных схем линейных частей систем приведены в таблице 1.

В результате структурных преобразований многоконтурная разветвленная структура преобразуется в одноконтурную. Например, исходная структурная схема линейной системы автоматического регулирования имеет вид:

С учетом правила 2 для прямой цепи, структура примет вид:



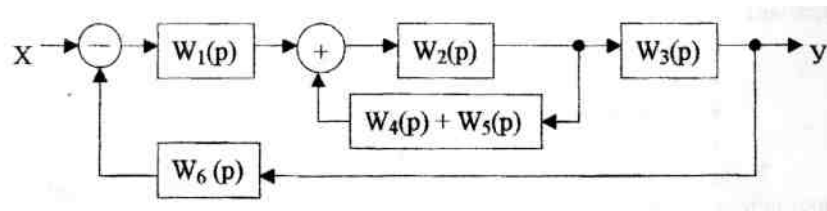
В итоге, для полученной структурной схемы, передаточные функции разомкнутой  $W_p(p)$  и замкнутой  $W_a(p)$  систем определяются равными:



$$W_p(p) = W_n(p) W_6(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_6(p)}{1 - W_2(p)[W_4(p) + W_5(p)]};$$

$$W_3(p) = \frac{W_n(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)}{1 - W_2(p)[W_4(p) + W_5(p)] + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_6(p)}.$$

Используя правило 1 для параллельно включенных звеньев внутреннего контура, исходную структурную схему можно преобразовать к виду:



Применив правило 5 к внутреннему контуру, имеющему положительную обратную связь, получим:

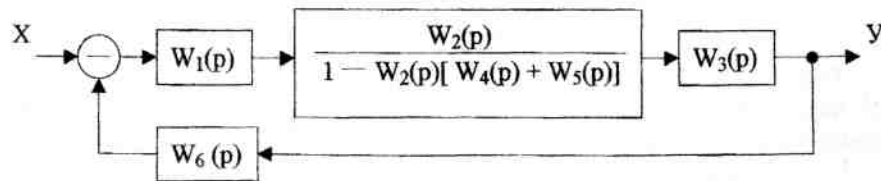


Таблица 1

Правила преобразований структурных схем

№ п/п	Исходная схема	Эквивалентная схема
1		
2		
3		

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Исходная схема	Эквивалентная схема
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

## ЗАДАНИЕ 2

По передаточной функции  $W_p(p)$  разомкнутой системы автоматического управления построить амплитудно-фазовую частотную характеристику и определить, используя критерий Найквиста, устойчивость замкнутой системы и запас устойчивости по амплитуде и фазе.

Вид и параметры передаточной функции разомкнутой системы задаются преподавателем.

### Методические указания к выполнению задания

Критерий Найквиста позволяет оценивать устойчивость замкнутой системы по амплитудно-фазовой частотной характеристике разомкнутой системы. Для систем неустойчивых в разомкнутом состоянии критерий Найквиста имеет следующую формулировку:

*если система неустойчива в разомкнутом состоянии и имеет  $N$  корней в правой полуплоскости, то для устойчивости соответствующей замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы для частот  $0 < \omega < \infty$  охватывала на комплексной плоскости  $N/2$  раз точку с координатами  $(-1, j 0)$ .*

Для наиболее часто встречающегося на практике случая, когда разомкнутая система состоит из устойчивых звеньев и не имеет внутренних обратных связей, критерий Найквиста имеет формулировку:

*если система устойчива в разомкнутом состоянии, то для устойчивости соответствующей замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы амплитудно-фазовая частотная характеристика для частот  $0 < \omega < \infty$  не охватывала на комплексной плоскости точку с координатами  $(-1, j 0)$ .*

Запас устойчивости системы по амплитуде и фазе можно определить по удаленности амплитудно-фазовой частотной характеристики от критической точки с координатами  $(-1, j 0)$ .

Например, передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$W_p(p) = \frac{K}{(T_1 T_2 p^2 + T_1 p + 1) [T_3 T_4 p^2 + (T_3 + T_4) p + 1] (T_5 p + 1)}$$

Значения параметров соответственно равны:  $T_1 = 1$  сек.;  $T_2 = 0,01$  сек.;  $T_3 = 0,1$  сек.;  $T_4 = 0,2$  сек.;  $T_5 = 0,5$  сек.;  $K = 6$ .

Подставляя значения параметров в передаточную функцию и заменяя  $p$  на  $j\omega$  получим частотную функцию системы в числовом виде:

$$W_p(j\omega) = \frac{6}{(0,0117\omega^4 - 0,98\omega^2 + 1) + j(0,0001\omega^5 - 0,188\omega^3 + 1,8\omega)}$$

Далее необходимо представить частотную функцию в виде вещественной и мнимой составляющих:

$$W_p(j\omega) = \text{Re}(\omega) + j \text{Im}(\omega).$$

Умножим числитель и знаменатель частотной функции на сопряженный знаменатель  $(0,0117\omega^4 - 0,98\omega^2 + 1) - j(0,0001\omega^5 - 0,188\omega^3 + 1,8\omega)$  с целью исключения мнимых составляющих из знаменателя и проведя преобразования, получим:

$$\text{Re}(\omega) = \frac{6(0,0117\omega^4 - 0,98\omega^2 + 1)}{(0,0117\omega^4 - 0,98\omega^2 + 1)^2 + (0,0001\omega^5 - 0,188\omega^3 + 1,8\omega)^2};$$

$$\text{Im}(\omega) = \frac{-6(0,0001\omega^5 - 0,188\omega^3 + 1,8\omega)}{(0,0117\omega^4 - 0,98\omega^2 + 1)^2 + (0,0001\omega^5 - 0,188\omega^3 + 1,8\omega)^2}.$$

Определим численные значения величин  $\text{Re}(\omega)$  и  $\text{Im}(\omega)$  при изменении частоты  $\omega$  от 0 до  $+\infty$ , помещая результаты в таблицу 2.

Таблица 2

$\omega$	$\text{Re}(\omega)$	$\text{Im}(\omega)$
0	6	0
0,25	5,2	-2,47
0,5	3,45	-3,93
1	0,074	-3,72
1,2	-0,644	-3,13
1,4	-1,1	-2,53
2	-1,38	-1,06
2,5	-1,15	-0,389
3	-0,873	0,044
5	-0,209	0,184
10	0,0046	0,037
$\infty$	0	0

На рисунке 1 изображена комплексная плоскость, на которой по данным таблицы 2 в координатах реальной и мнимой составляющих построена амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы. Поскольку разомкнутая система устойчива и амплитудно-фазовая частотная

характеристика не охватывает критическую точку с координатами  $(-1, j0)$ , то замкнутая система при заданных параметрах устойчива. Определение запаса устойчивости системы по амплитуде и фазе рассмотрим на рисунке 2.

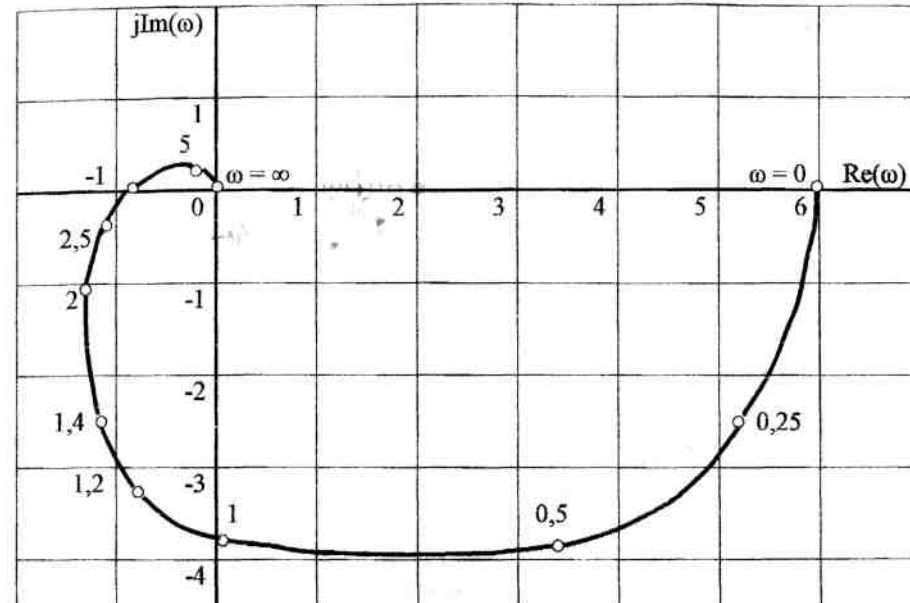


Рис. 1. Амплитудно-фазовая характеристика разомкнутой системы

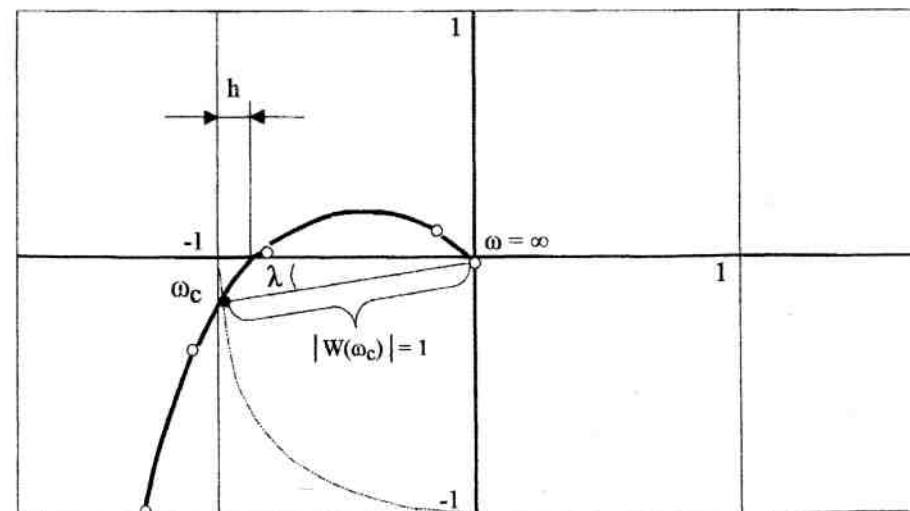


Рис. 2. Определение запаса устойчивости системы по амплитуде и фазе

Запас устойчивости по фазе равен значению угла  $\lambda$  для частоты среза  $\omega_c$ , при которой  $|W(\omega_c)| = 1$ . Запас устойчивости по амплитуде равен значению величины отрезка  $h$  оси абсцисс между точкой  $(-1, j 0)$  и амплитудно-фазовой частотной характеристикой. Для рассматриваемого примера запасы устойчивости соответственно составляют:  $h \approx 0,15$ ;  $\lambda \approx 10^\circ$ .

Амплитудно-фазовая частотная характеристика может быть построена и в полярных координатах, так как частотную функцию  $W_p(j\omega)$  можно представить в виде:

$$W_p(j\omega) = \text{Re}(\omega) + j \text{Im}(\omega) = |W_p(j\omega)| e^{j\varphi(\omega)},$$

где

$$|W_p(j\omega)| = \sqrt{\text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)},$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)}.$$

В этом случае на комплексной плоскости для определенной частоты  $\omega$  можно изобразить вектор длиной  $|W_p(j\omega)|$  и углом наклона  $\varphi(\omega)$ , отсчитываемым от вещественной положительной полуоси. Амплитудно-фазовая частотная характеристика будет представлять собой кривую, которую описывает конец этого вектора при изменении частоты  $\omega$  от 0 до  $\infty$ .

## Литература

*Коновалов Б.И., Лебедев Ю.М.* Теория автоматического управления: Учебное пособие. 3-е изд., доп. и перераб. - СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 224 с.

*Гальперин М.В.* Автоматическое управление: учебник. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2010. – 224 с.

*Первозванский А.А.* Курс теории автоматического управления: Учебное пособие. 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. -624 с.

*Никулин Е.А.* Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем/ Учеб. пособие для вузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 640 с.

*Ерофеев АЛ.* Теория автоматического управления: Учебник для вузов. -2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002. - 302 с: ил. Теория автоматического управления; Учеб. для машиностроит. спец. вузов / В.Н. Брюханов, М.Г. Косов, СП. Протопопов и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. - 3-е изд., стер. - М.: Высш. шк.; 2000. – 268 с: ил.

*Густав Олссон, Джангуадо Лиани.* Цифровые системы автоматизации и управления. - СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с: ил.

*Коновалов Г.Ф.* Радиоавтоматика: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника». - М.: Высш. шк., 1990. – 335 с: ил.

Теория автоматического управления: Учеб. для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2-х ч. Ч. I. Теория линейных систем автоматического управления / Н.А. Бабаков, А.А. Воронов, А.А. Воронова и др.; Под. ред. А.А. Воронова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1986. – 367 с: ил.

*Топчиев ЮЖ* Атлас для проектирования систем автоматического регулирования: Учеб. пособ. для втузов. - М.: Машиностроение, 1989. – 752 с: ил.



**ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
для выполнения контрольной работы по дисциплине  
«Основы теории автоматического управления»

Подписано в печать                      Формат 60x84/16. Бумага для множ. аппаратов.  
Печать плоская. Усл.печ.л.    Уч.-изд.л.    Тираж                      экз. Заказ  
ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический  
университет». Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.  

---

Ризограф ФГАОУ ВПО РГППУ. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.