



---

---

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Брянский государственный технический университет

---

---

УТВЕРЖДАЮ

Ректор университета

\_\_\_\_\_ О.Н. Федонин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Методические указания к выполнению  
контрольных работ для студентов заочной формы обучения,  
направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и  
электротехника», квалификация «бакалавр»

БРЯНСК 2016

УДК: 681.5.011

Теория автоматического управления: [Текст] + [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению контрольных работ для студентов заочной формы обучения по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», квалификация «бакалавр» – Брянск: БГТУ, 2016. – 14 с.

Разработал: В.А. Хвостов,  
кандидат технических наук, доцент

Научный редактор  
Компьютерный набор

А.Ю. Дракин  
В.А. Хвостов

Рекомендовано кафедрой «Промышленная электроника и электротехника» БГТУ (протокол № 2 от 31.09.2016).

**Методические указания публикуются в авторской редакции**

Темплан 2016 г.

---

Подписано в печать                      Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Офсетная печать. Усл. печ.л. 0,82. Уч.-изд.л. 0,82. Тираж 1 экз. Бесплатно

---

Брянский государственный технический университет  
Кафедра «Промышленная электроника и электротехника»  
241035, Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7, БГТУ, тел. 58-82-32

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемые методические указания к контрольным работам по дисциплине “Теория автоматического управления” предназначены для студентов заочной формы обучения по направлению подготовки 13.03.02 - «Электроэнергетика и электротехника», квалификация «бакалавр».

Выполнению контрольной работы должна предшествовать домашняя подготовка, заключающаяся в проработке теоретического материала по соответствующим разделам рекомендуемой литературы и конспекта обзорных лекций. После выполнения контрольной работы каждый студент оформляет отчет в соответствии с требованиями, изложенными в методических указаниях.

Учебным планом предусмотрено выполнение 4 контрольных работ, в ходе которых исследуется те или иные аспекты системы автоматического управления (САУ) с заданной структурной схемой, общий вид которой показан ниже на рис.1.

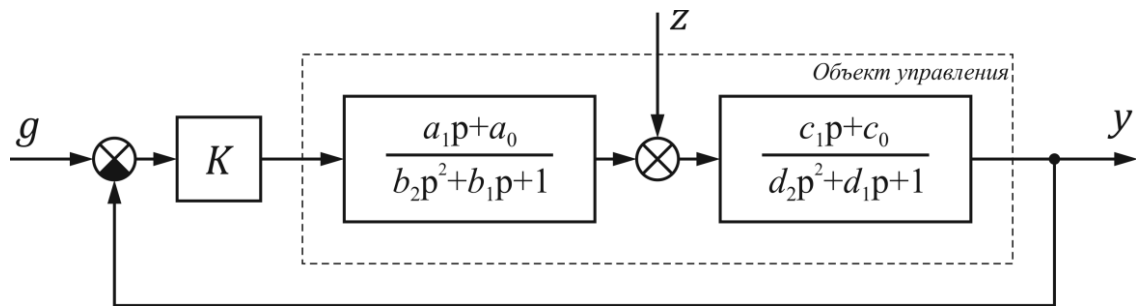


Рис.1. Структурная схема системы автоматического управления

Значения коэффициентов в передаточных функциях звеньев приведены далее в таблице 1. Вариант задания для каждого студента определяется по двум последним цифрам шифра зачетной книжки. Коэффициент усиления  $K$  определяется в ходе выполнения контрольной работы № 1, исходя из требований обеспечения статической точности не ниже 2%.

Таблица 1

Исходные данные к контрольным работам

№	$a_1$	$a_0$	$b_2$	$b_1$	$c_1$	$c_0$	$d_2$	$d_1$	$g$	$z$
1	0	5	0,002	0,09	0,1	2	0	0,13	2 ... 6	-8
2	0	9	0,01	0,587	0,08	5	0	0,05	0,9 ... 13	-6
3	0	8	0,037	0,883	0,06	3	0	0,07	0,8 ... 12	-6
4	0	5	0,044	2,021	0,09	8	0	0,1	2,4 ... 8	-7
5	0	7	0,048	1,745	0,04	9	0	0,17	2,4 ... 8	-9
6	0,07	8	0	0,1	0	6	0,006	0,18	0,7 ... 7	-7
7	0,12	3	0	0,19	0	5	0,047	0,442	2,1 ... 8	-9
8	0,15	7	0	0,15	0	8	0,011	0,804	1,9 ... 11	-9
9	0,04	5	0	0,12	0	9	0,036	1,47	2,3 ... 5	-10
10	0,17	3	0	0,16	0	1	0,009	0,863	0,8 ... 9	-6
11	0	8	0,016	1,126	0,04	9	0	0,15	1,4 ... 12	-5
12	0	1	0,015	0,706	0,07	9	0	0,16	1,1 ... 11	-7
13	0	4	0,034	1,821	0,18	3	0	0,06	1,4 ... 10	-8
14	0	2	0,044	0,405	0,12	8	0	0,15	0,6 ... 6	-5
15	0	4	0,04	1,077	0,13	5	0	0,17	1,5 ... 6	-8
16	0,08	5	0	0,12	0	4	0,048	0,986	0,9 ... 8	-6
17	0,13	9	0	0,16	0	9	0,047	1,273	0,8 ... 13	-10
18	0,07	5	0	0,12	0	2	0,021	0,244	2,1 ... 12	-7
19	0,04	6	0	0,1	0	7	0,048	1,353	1,6 ... 11	-7
20	0,14	10	0	0,19	0	6	0,009	0,25	1,4 ... 8	-8
21	0	4	0,004	0,616	0,16	7	0	0,18	1,3 ... 10	-9

Отчет по каждой контрольной работе должен содержать:

1. Название контрольной работы, фамилию, инициалы и шифр группы студента.
2. Краткое содержание рабочего задания.
3. Решение расчетных заданий с комментариями.
4. Список литературы, использованной при выполнении работы.

## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

### Содержание контрольной работы

1. Расчёт коэффициента усиления САУ, обеспечивающего требуемую максимально допустимую статическую ошибку в заданном диапазоне изменения входных воздействий
2. Расчёт и построение внешних статических характеристик замкнутой системы.

#### 1.1. Расчёт коэффициента усиления САУ

Расчёт коэффициента усиления  $K$  системы автоматического управления проводится для определения его значения, при котором статическая ошибка САУ не будет превышать допустимой величины.

Кроме коэффициента усиления на величину ошибки влияют значения задающего и возмущающего воздействий. Причём наибольшая величина ошибки достигается при действии на систему минимального задающего  $g_{\min}$  и максимального возмущающего воздействий  $z_{\max}$ . Исходя из этого, при единичном коэффициенте передачи цепи обратной связи (рис. 1) статическая ошибка может быть найдена как:

$$\varepsilon_{\max} = \left| \frac{y_{\text{ном}} - y_{\max}}{y_{\text{ном}}} \right| = \left| \frac{g_{\min} - y}{g_{\min}} \right|, \quad 1)$$

где  $y_{\text{ном}}$  – номинальное (желаемое) значение выходной переменной,  $y_{\max}$  – максимальное значение выходной переменной при минимальном задающем и максимальном возмущающем воздействиях.

Зависимость выходной переменной  $y$  от входных воздействий описывается уравнением статического режима САУ. Это уравнение можно записать в соответствии с принципом суперпозиции, представляя реакцию системы, как сумму реакции

на задающее воздействие при отсутствии возмущений и реакции на возмущающее воздействие при нулевом задании. Уравнение статического режима представляют в виде:

$$y = K_g g + K_z z. \quad 2)$$

Здесь  $K_g$  и  $K_z$  – эквивалентные коэффициенты передачи соответственно задающего и возмущающего воздействия. Они определяются по передаточным функциям эквивалентных звеньев, работающих в статическом режиме.

Подставляя уравнение статического режима (2) в выражение (1) и решая полученное уравнение относительно  $K$  (входящего в выражения для  $K_g$  и  $K_z$ ), определяют искомый коэффициент передачи САУ, при котором статическая ошибка не превышает определённой в задании величины в 2%. При выполнении последующих этапов задания будем использовать полученное значение  $K$ .

Необходимо отметить, что не рекомендуется округление и усечение получаемых значений при расчёте коэффициента передачи САУ и далее, поскольку это может привести к погрешности результатов расчёта. Последней значащей цифрой можно считать третью после разделителя дробной части.

**Пример 1.** Для приведённой на рис. 2 САУ определить коэффициент передачи  $K$ , при котором максимальная статическая ошибка системы не превышает 1% для заданных значений задающего и возмущающего воздействий.

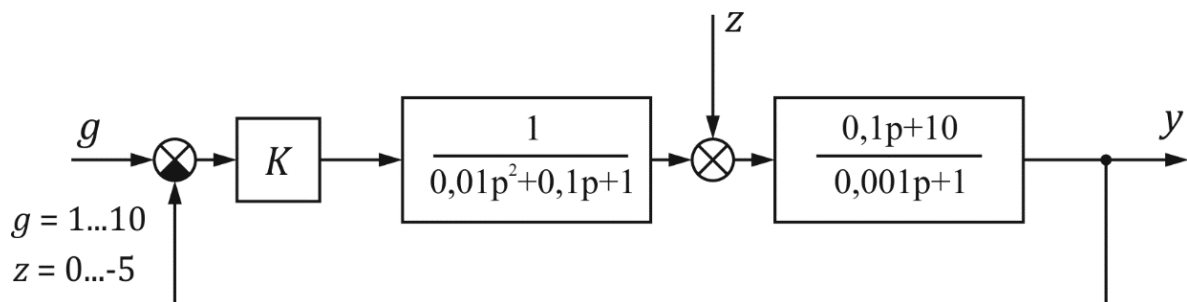


Рис. 2. Структура исследуемой системы

Рассмотрим структуру САУ в статическом режиме, полагая  $p = 0$ , поскольку в статическом режиме значения производных равны нулю:

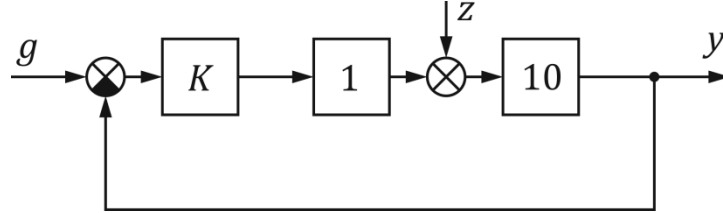


Рис.3. Структура исследуемой системы в статическом режиме

Запишем выражение для коэффициента передачи по задающему воздействию  $K_g$  и коэффициента передачи по возмущающему воздействию  $K_z$ , используя принцип суперпозиции:

$$K_g = \frac{10K}{1 + 10K} , \quad (3)$$

$$K_z = \frac{10}{1 + 10K} . \quad (4)$$

На рис. 4 показаны варианты структурных схем, поясняющих получение выражений (3) и (4).

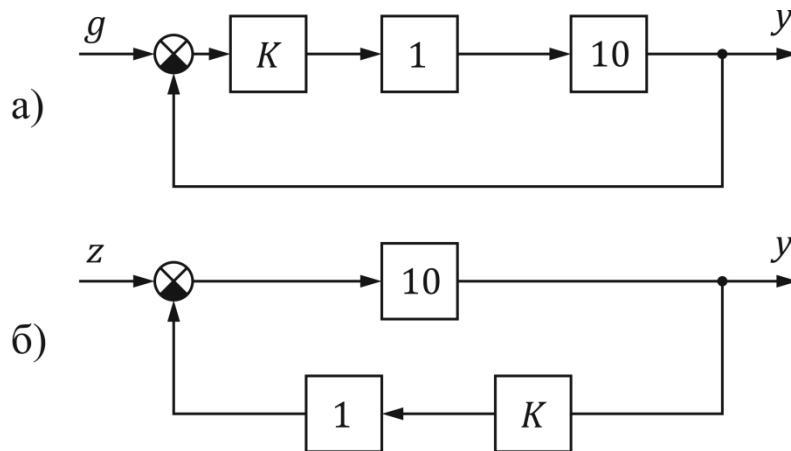


Рис. 4. Структурная схема САУ в статическом режиме: а) при отсутствии возмущений, б) при нулевом задании

Таким образом, уравнение статического режима для рассматриваемой САУ запишется в виде:

$$y = K_g g + K_z z = \frac{10K}{1 + 10K} g + \frac{10}{1 + 10K} z. \quad 5)$$

Вычислим значение выходной переменной, соответствующее наибольшему отклонению при  $g_{\min} = 1$  и  $z_{\max} = -5$ :

$$y = \frac{10K}{1 + 10K} - \frac{10}{1 + 10K} 5 = \frac{10K - 50}{1 + 10K}. \quad 6)$$

Исходя из допустимой статической ошибки в 1%, найдём численное значение выходной переменной, соответствующее наибольшему отклонению по выражению (1):

$$\varepsilon_{\max} = \left| \frac{g_{\min} - y}{g_{\min}} \right| \Rightarrow y = g_{\min} - g_{\min} \varepsilon_{\max} = 1 - 0,01 = 0,99. \quad 7)$$

Приравнявая (6) и (7), вычислим коэффициент передачи САУ, обеспечивающий заданную максимальную статическую ошибку:

$$\begin{aligned} \frac{10K - 50}{1 + 10K} &= 0,99 \\ 10K - 50 &= 0,99 + 9,9K \\ 0,1K &= 50,99 \\ K &= 509,9 \end{aligned} \quad 8)$$

Таким образом, для обеспечения максимальной статической ошибки 1% при заданных диапазонах изменения задающего воздействия  $g$  и возмущающего воздействия  $z$ , коэффициент передачи САУ должен быть не менее 509,9.



## 1.2. Расчёт и построение внешних статических характеристик

На этом этапе контрольной работы необходимо рассчитать и построить семейство внешних статических характеристик замкнутой САУ в заданном диапазоне изменения  $g$  и  $z$ .

Внешняя статическая характеристика отражает изменение выходного параметра САУ при изменении возмущающего воздействия для заданного постоянного значения задающего воздействия. Несколько характеристик, построенных для различных значений задания  $g$ , образуют семейство внешних статических характеристик.

Для расчёта статических характеристик используют уравнение статического режима САУ (2), в которое подставляют необходимые значения входных параметров.

В данной контрольной работе выполняется расчёт трёх внешних статических характеристик, образующих семейство, для граничных значений задающего воздействия и произвольного значения  $g$ , выбранного примерно в середине диапазона его изменения.

Целесообразно свести все рассчитанные точки характеристик в таблицу, а при построении использовать разрывы оси ординат для улучшения наглядности графика. При этом масштаб оси ординат в пределах непрерывных участков должен быть одинаковым!

При оформлении графика статических характеристик ручным или автоматизированным способом необходима аккуратность. На графике должны быть обозначены: наименования координатных осей, величина  $g$  и  $\varepsilon_{\max}$  для каждой характеристики.

Пример оформления статических характеристик показан далее на рис. 5.

**Пример 2.** Для САУ с параметрами из примера 1 рассчитать и построить семейство внешних статических характеристик.

Воспользуемся уравнением статического режима (5), в которое подставим найденное значение коэффициента передачи  $K$ :

$$y = \frac{10 \cdot 509,9}{1 + 10 \cdot 509,9} g + \frac{10}{1 + 10 \cdot 509,9} z = 0,999g + 0,002z. \quad 9)$$

По виду уравнения статики очевидно, что характеристики являются прямыми. Рассчитаем по две точки, соответствующие граничным значениям возмущающего воздействия для максимального задания:

$$y(g, z) = y(10, 0) = 0,999 \cdot 10 + 0,002 \cdot 0 = 9,99$$

$$y(g, z) = y(10, -5) = 0,999 \cdot 10 - 0,002 \cdot 5 = 9,98$$

Аналогичным образом рассчитаем точки характеристик для минимального задающего воздействия  $g = 1$  и произвольного, например,  $g = 5$ :

$$y(1, 0) = 0,999 \cdot 1 + 0,002 \cdot 0 = 0,999$$

$$y(1, -5) = 0,999 \cdot 1 - 0,002 \cdot 5 = 0,989$$

$$y(5, 0) = 0,999 \cdot 5 + 0,002 \cdot 0 = 4,995$$

$$y(5, -5) = 0,999 \cdot 5 - 0,002 \cdot 5 = 4,985$$

Результаты вычислений занесём в таблицу 2.

*Таблица 2*

*Результаты расчета статических характеристик*

$g \backslash z$	0	-5
1	0,999	0,989
5	4,995	4,985
10	9,99	9,98

Рассчитаем статические ошибки для характеристик по выражению (1), подставляя необходимые величины  $g$  и  $u$ , и выразим их в процентах:

$$\varepsilon(10) = \left| \frac{10 - 9,98}{10} \right| \cdot 100\% = 0,2\%$$

$$\varepsilon(5) = \left| \frac{5 - 4,985}{5} \right| \cdot 100\% = 0,3\%$$

$$\varepsilon(1) = \left| \frac{1 - 0,989}{1} \right| \cdot 100\% = 1,1\%$$

В последнем случае величина статической ошибки из-за округления до третьей значащей цифры получилась больше, чем заданная. Допускается превышение расчётного значения не более чем на 20%. В противном случае следует проверить расчёты.

По результатам расчета строим внешние статические характеристики (рис. 5).

## **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2**

### **Содержание контрольной работы**

1. Определение передаточной функции исходной САУ, расчет корней характеристического уравнения, определение по корням вида и параметров переходной характеристики САУ.

2. Расчет и построение частотных характеристик эквивалентной разомкнутой САУ: АФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определение запасов устойчивости по частотным характеристикам

### **2.1. Определение передаточной функции и расчет корней характеристического уравнения**

Расчёт корней характеристического уравнения замкнутой САУ выполняется для получения представления о виде переходной характеристики без её явного вычисления.

Для определения характеристического уравнения необходимо записать передаточную функцию замкнутой системы.

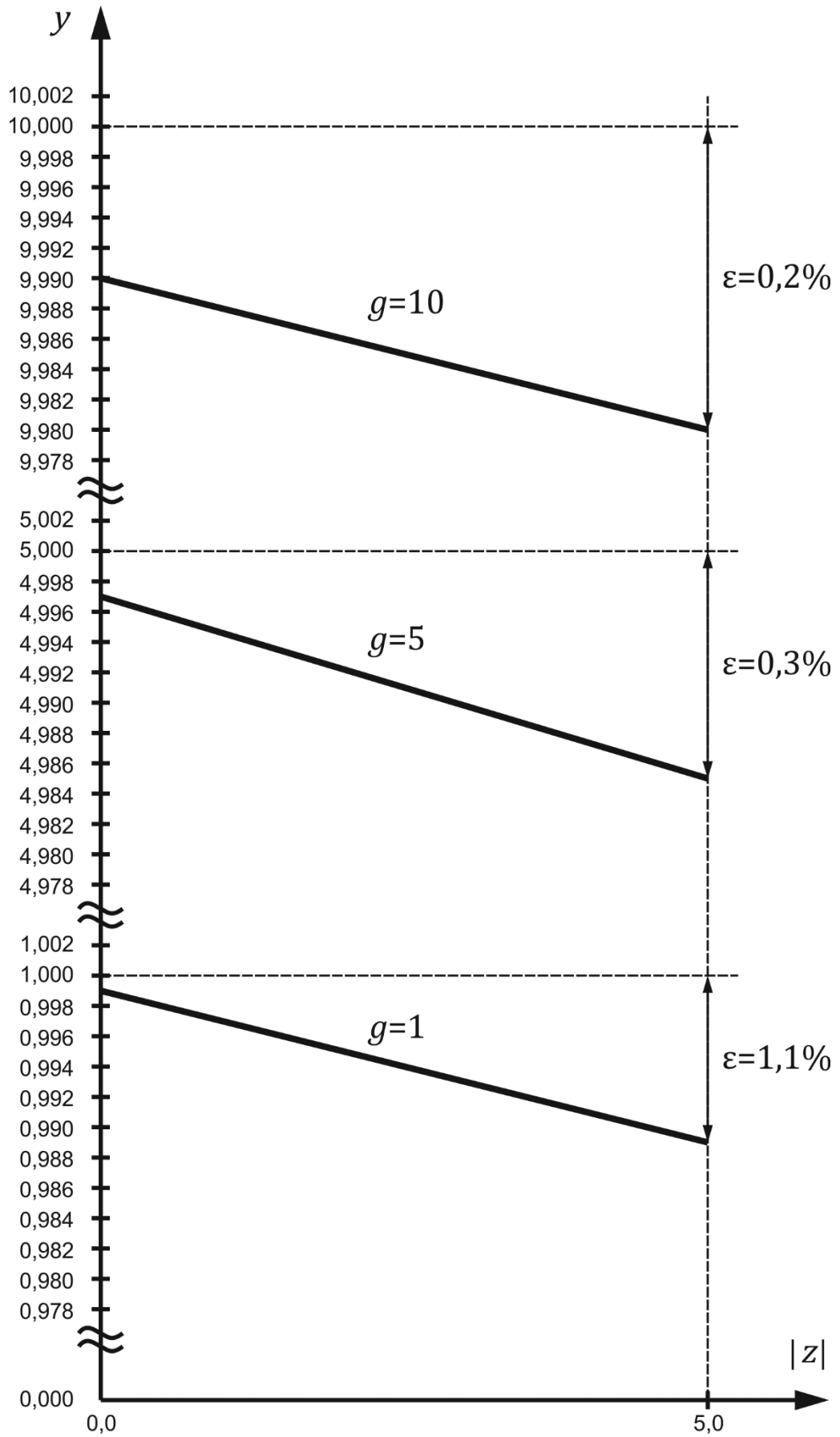


Рис. 5. Семейство внешних статических характеристик

Передаточная функция замкнутой системы формируется по структурной схеме исходной САУ (рис. 1). На первом этапе необходимо получить передаточную функцию разомкнутой системы, которая состоит из трёх последовательно включённых звеньев:  $K$ ,  $W_1$  и  $W_2$ , где  $W_1$ ,  $W_2$  – передаточные функции соответственно первого и второго звеньев.

$$W_p(p) = KW_1W_2 \quad 10)$$

Далее передаточная функция замкнутой системы определяется как передаточная функция разомкнутой системы, охваченной единичной обратной связью:

$$W_3(p) = \frac{W_p}{1 + W_p}. \quad 11)$$

Характеристическое уравнение (знаменатель передаточной функции замкнутой системы) представляет собой алгебраическое уравнение третьей степени. Найти корни уравнения третьей степени можно аналитическими методами, например, методом Кардано или с помощью специализированного программного обеспечения. Далее в примере приведены необходимые команды для поиска корней алгебраического уравнения произвольной степени в пакете Matlab<sup>®</sup>.

Алгебраическое уравнение третьей степени в общем виде имеет один действительный корень и пару комплексно-сопряжённых корней. Решение однородного дифференциального уравнения третьего порядка во временной области представляет собой гармонические колебания с затухающей или расходящейся огибающей амплитуд.

Характер изменения огибающей зависит от знака коэффициента затухания (вещественной части корня), а частота собственных колебаний определяется мнимой частью корня.

Если в решении характеристического уравнения присутствует хотя бы один корень с положительной

вещественной частью, то с увеличением времени колебания будут иметь возрастающую амплитуду. Следовательно, переходная характеристика будет иметь вид расходящихся колебаний. При наличии отрицательной вещественной части у всех корней характеристического уравнения, колебания будут затухать во времени. Интенсивность затухания или расхождения определяется величиной коэффициента затухания.

На практике для определения степени затухания или расхождения амплитуды колебаний чаще используют логарифмический декремент затухания или расхождения – отношение двух соседних амплитуд на периоде колебаний.

Связь корней характеристического уравнения с логарифмическим декрементом  $\delta$  определяется выражениями:

$$\delta = e^{\alpha T} = e^{\alpha \frac{2\pi}{\omega}}. \quad (12)$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания;  $T$  – период колебаний, с;  $\omega$  – угловая частота колебаний, рад/с;

Коэффициент затухания и угловая скорость определяются вещественной и мнимой частями корня соответственно:

$$\lambda = \operatorname{Re}[\lambda] + j\operatorname{Im}[\lambda] = \alpha + j\omega. \quad (13)$$

**Пример 3.** Для САУ с параметрами из примера № 1 вычислить значения корней характеристического уравнения, определить вид переходных характеристик и ее параметры, рассчитать декремент колебаний.

Воспользуемся выражениями (10) и (11) для определения передаточных функций разомкнутой и замкнутой САУ:

$$\begin{aligned} W_p(p) &= 509,9 \frac{1}{(0,01p^2 + 0,1p + 1)} \frac{0,1p + 10}{(0,001p + 1)} = \\ &= \frac{50,99p + 5099}{10^{-5}p^3 + 10,1 \cdot 10^{-3}p^2 + 0,101p + 1} \end{aligned}$$

$$W_3(p) = \frac{\frac{50,99p+5099}{10^{-5}p^3+10,1\cdot 10^{-3}p^2+0,101p+1}}{\frac{50,99p+5099}{10^{-5}p^3+10,1\cdot 10^{-3}p^2+0,101p+1} + 1} =$$

$$= \frac{50,99p + 5099}{10^{-5}p^3 + 10,1 \cdot 10^{-3}p^2 + 51,091p + 5100}$$

Далее необходимо решить уравнение третьей степени:

$$10^{-5}p^3 + 10,1 \cdot 10^{-3}p^2 + 51,091p + 5100 = 0.$$

14)

Воспользуемся командной строкой пакета Matlab<sup>®</sup>. Определим переменную  $A$ , в которую последовательно укажем коэффициенты уравнения (14). Затем выполним команду  $roots(A)$  чтобы вычислить корни уравнения. Команда  $formatshorte$  необходима для настройки формата отображения чисел с плавающей точкой. Вывод командной строки Matlab<sup>®</sup> показан на рис. 6.

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Examples, or read Getting Started.

>>
>> format short e
>> A = [1e-5 10.1e-3 51.091 5100]

A =

    1.0000e-05    1.0100e-02    5.1091e+01    5.1000e+03

>> R = roots(A)

R =

   -4.5417e+02 + 2.1933e+03i
   -4.5417e+02 - 2.1933e+03i
   -1.0166e+02
fx >> |

```

Рис. 6. Вычисление корней характеристического уравнения в Matlab<sup>®</sup>

Таким образом, исходная САУ имеет корни:

$$\lambda_1 = -101,66$$

$$\lambda_{2,3} = -454,17 \pm j2193,3.$$

Наличие трёх корней с отрицательной вещественной частью свидетельствует о затухающих колебаниях. Частота собственных колебаний САУ  $\omega = 2193,3 \text{ рад/с}$ , коэффициент затухания колебаний  $\alpha = -454,17$ .

Определим логарифмический декремент затухания колебаний по выражению (12):

$$\delta = e^{\alpha \frac{2\pi}{\omega}} = e^{-454,17 \frac{2\pi}{2193,3}} = e^{-1,301} = 0,272.$$

Далее, при выполнении контрольной работы № 3 осуществляется проверка правильности расчёта параметров переходной характеристики САУ на основании результатов имитационного моделирования.

## 2.2. Расчет и построение частотных характеристик САУ

Для построения частотных характеристик необходимо провести замену оператора Лапласа  $p$  в передаточной функции разомкнутой САУ на  $j\omega$  ( $W(p) \rightarrow W(j\omega)$ ). В результате получим комплексно-частотную функцию, из которой необходимо выделить действительную ( $\text{Re}$ ) и мнимую части ( $\text{Im}$ ) и вычислить значения АЧХ и ФЧХ.

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{\text{Re}^2 [W(j\omega)] + \text{Im}^2 [W(j\omega)]} - \text{АЧХ}$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im} [W(j\omega)]}{\text{Re} [W(j\omega)]} - \text{ФЧХ}$$

Построив в комплексной плоскости значение амплитуды и фазы получим АФЧХ разомкнутой системы.



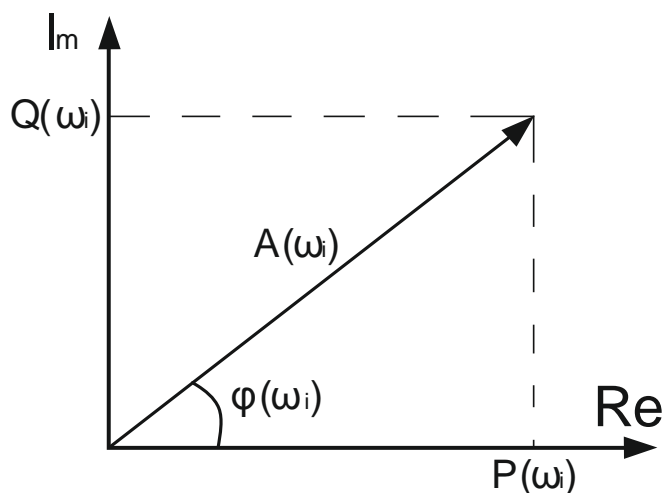


Рис. 7. Положение вектора АФЧХ для заданной частоты

Также необходимо рассчитать и построить логарифмические амплитудную частотную (ЛАЧХ) и фазовую частотную (ЛФЧХ) характеристики замкнутой системы. Требования и рекомендации по выполнению этого пункта такие, как и в предыдущем. Дополнительно на графиках логарифмических характеристик необходимо указать запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

### КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

#### Содержание контрольной работы

1. Проверка на устойчивость исходной САУ по критерию Гурвица и Найквиста.
2. Моделирование переходных характеристик исходной САУ:
  - а) при отсутствии возмущений для граничных значений  $g$ ;
  - б) при воздействии максимального возмущения в установившемся режиме по заданию для граничных значений  $g$ .
3. Проверка соответствия параметров собственных колебаний, полученных в ходе моделирования, рассчитанным в контрольной работе 2, и определение типовых показателей качества САУ в динамике.

### 3.1. Проверка САУ на устойчивость

В рамках этого задания предполагается проверка на устойчивость замкнутой САУ согласно заданию на контрольную работу с помощью алгебраического критерия Гурвица и частотного критерия Найквиста. Примеры определения устойчивости САУ и формулировки критериев можно найти в рекомендуемой литературе или конспекте лекций по теории автоматического управления.

Получение неустойчивой системы при выполнении этого задания свидетельствует об ошибке, допущенной в расчетах текущего или первого пункта. В этом случае необходимо проверить расчеты по этим пунктам и по необходимости выполнить их повторно.

Проверка устойчивости замкнутой САУ по критерию Найквиста осуществляется по поведению амплитудной фазовой частотной характеристики (АФЧХ) разомкнутой системы, которую целесообразно рассчитать и построить на ЭВМ, применяя соответствующее программное обеспечение (MatLAB, MathCAD и др.). В этом случае пояснительная записка должна содержать аналитический вывод выражений для АФЧХ.

### 3.2. Моделирование временных характеристик нескорректированной САУ.

Переходная характеристика САУ отражает реакцию системы на внешние воздействия. Согласно рис. 1 это может быть управляющее или возмущающее воздействие. При выполнении этого пункта необходимо рассчитать и построить графики следующих переходных процессов:

- для минимального значения управляющего воздействия  $g_{min}$  и при отсутствии возмущающего  $z$  исходной САУ;
- для максимального значения управляющего воздействия  $g_{max}$  и при отсутствии возмущающего  $z$  исходной САУ.

Выполнение этого пункта задания рекомендуется проводить на ЭВМ, используя комплекс MatLab, MathCad или аналогичную по назначению программу.

По полученным графикам переходных процессов необходимо определить типовые показатели каждого из процессов, к которым относятся: перерегулирование, время переходного процесса и колебательность. Типовые показатели качества должны быть по возможности показаны на соответствующих графиках.

Результаты моделирования должны быть сопоставлены с результатами расчетов в контрольной работе № 2.

## **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4**

### **Содержание контрольной работы**

1. Синтез корректирующих устройств для исходной САУ и её упрощённого эквивалента, обеспечивающих настройку обеих САУ на технический оптимум для нечетных вариантов и на симметричный оптимум для четных.

2. Моделирование переходных процессов в обоих вариантах настроенной САУ при ступенчатом изменении задающего и возмущающего воздействий. Определение типовых показателей качества САУ в динамике. Оценка влияния упрощения САУ на показатели качества, соответствующие заданному оптимуму.

3. Проверка соответствия параметров переходного процесса, полученных в ходе моделирования, стандартным значениям заданного оптимального процесса.

#### **4.1. Синтез корректирующего устройства**

Синтез корректирующего устройства проводится для обеспечения оптимальных показателей качества регулирования САУ путем настройки ее на технический оптимум или симметричный оптимум.

Желаемая передаточная функция разомкнутой системы, настроенной на технический оптимум, имеет вид:

$$W_{ж} = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)}$$

где  $T_{\mu}$  – наименьшая постоянная времени нескорректированной системы.

Желаемая передаточная функция разомкнутой системы, настроенной на симметричный оптимум, имеет вид:

$$W_{жс} = \frac{1 + 4T_{\mu}p}{8T_{\mu}^2 p^2 (1 + T_{\mu}p)}$$

где  $T_{\mu}$  – также наименьшая постоянная времени нескорректированной системы.

Обозначив как  $W_{кy}(p)$  передаточную функцию корректирующего устройства (регулятора) и определив передаточную функцию разомкнутой системы  $W_p(p)$ ,  $W_{кy}(p)$  можно отыскать следующим образом:

$$W_{кy}(p) = \frac{W_{жс}(p)}{W_p(p)}$$

Преобразовав полученное выражение и представив передаточную функцию регулятора в виде типовых звеньев ТАУ, определяют параметры регулятора: коэффициенты усиления и постоянные времени.

## **8. Определение типовых показателей качества оптимальной (скорректированной) системы**

При выполнении этого пункта необходимо рассчитать и построить графики следующих переходных процессов:

- для минимального значения управляющего воздействия  $g_{min}$  и при отсутствии возмущающего  $z$  скорректированной САУ;
- для максимального значения управляющего воздействия  $g_{max}$  и при отсутствии возмущающего  $z$  скорректированной САУ;
- для произвольного значения управляющего воздействия  $g$  из диапазона  $g_{min} \dots g_{max}$  и при максимальном возмущении  $z_{max}$  скорректированной САУ.

По полученным графикам переходных процессов необходимо определить типовые показатели каждого из процессов, к которым относятся: перерегулирование, время переходного процесса и колебательность. Типовые показатели качества должны быть по возможности показаны на соответствующих графиках.

Необходимо построить частотные диаграммы: Боде, АФЧХ, ЛАЧХ, ЛФЧХ и др., с помощью которых необходимо отразить изменение поведения скорректированной системы по отношению к исходной. Указать на диаграммах запасы по фазе и амплитуде, сопоставить результаты с теоретическими.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### *а) основная литература:*

1. Коновалов, Б.И., Лебедев Ю.М. Теория автоматического управления: учеб. пособие для вузов / Б.И. Коновалов, Ю.М. Лебедев - изд. 3-е, доп. и перераб. Спб. [и др.]: Лань, 2010.- 218 с.
2. Теория автоматического управления: учеб. для вузов / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев, Н.Н. Кузьмин; под ред. В.Б. Яковлева изд. 3-е, стер.-М.: Высш. шк., 2009.-567 с.

### *б) дополнительная литература:*

3. Ким, Д.П. Теория автоматического управления: учеб. пособие для вузов: в 2 т.т. 1: линейные системы / Д.П. Ким. - Изд. 2-е, испр. и доп. . М.: Физматлит, 2007.-310 с.
4. Ким, Д.П. Теория автоматического управления: учеб. пособие для вузов: в 2 т.т. 2: многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. / Д.П. КИМ-изд. 2-е, испр. И доп. .-м.: физматлит, 2007. -440 с.
5. Востриков, А.С. Теория автоматического регулирования: учеб. пособие для вузов / А.С. Востриков, Г.А. Французова. - изд. 2-е, стер.- М.: Высш. шк., 2006.-365 с.
6. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов / В. Н. Брюханов, М. Г. Косов, С. П. Протопопов, Ю. М. Соломенцев; Под ред Ю. М. Соломенцева. – М.: Высш. шк., 1999.
7. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов. – Ч. 1. Теория линейных систем автоматического управления / Под ред. А. А. Воронова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986.
8. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов: В 2 ч. – Ч. 2. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления / Под ред. А. А. Воронова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986.
9. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления. / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов - Изд. 4-е, перераб. и доп.- Спб.: Профессия, 2003. -747 С.