**Лабораторная работа №5**

**Расчет настроек ПИД-регулятора различными методами**

**Цель работы:** изучить методики расчета настроек ПИД-регулятора в составе одноконтурной системы автоматического регулирования (САР) методами Копеловича, Ziegler-Nichols, СHR (Chien, Hrones, Reswick), Куна, ручной настройки; провести сравнительный анализ качества регулирования в системе с ПИД-регулятором, рассчитанным различными методами.

**Описание работы**

Наиболее универсальным регулятором, применяемым в промышленных контроллерах, является регулятор, формирующий одновременно как П-, И-, так и Д-закон регулирования. С его помощью можно перейти к любому простому закону, обнулив ту или иную составляющую. Такие регуляторы называются **пропорционально-интегрально-дифференциальными** или, сокращенно, **ПИД-регуляторами**. Они обеспечивают высокое качество регулирования, обладают высоким быстродействием и устраняют статическую ошибку регулирования, поддается оптимизации настроек на различные критерии качества регулирования.

ПИД-регуляторы оказывают воздействие на регулирующий орган пропорционально отклонению регулируемой величины от задания ε(t), интегралу от отклонения регулируемой величины и дифференциалу от отклонения регулируемой величины. Аддитивная форма записи уравнения работы ПИД-регулятора, при которой настройки не зависят друг от друга, имеет вид (5.1).

(5.1)

Кр называют коэффициентом усиления регулятора, постоянные Ти и Тд называют постоянными времени интегрирования и дифференцирования соответственно. Производную вводят в закон регулирования для повышения качества процесса регулирования. Д-составляющая уменьшает инерционность САР. На высоких частотах в начале переходного процесса благодаря Д-составляющей регулятор имеет высокое усиление, а на низких частотах в установившемся режиме благодаря И-составляющей устраняет статическую ошибку. При этом Д-составляющая на низких частотах в установившемся режиме повышает чувствительность к шумам и пульсациям входного сигнала.

Передаточная функция ПИД-регулятора с независимыми настройками определяется соотношением (5.2)

(5.2)

Мультипликативная форма записи уравнения работы ПИД-регулятора с зависимыми настройками имеет вид (5.3)

(5.3)

Постоянную называют временем предварения.

Постоянную называют временем изодрома.

Передаточная функция ПИД-регулятора с зависимыми настройками определяется соотношением (5.4)

(5.4)

Соответствующий график зависимости управляющего воздействия ПИД-регулятора от времени показан на рисунке 5.1.

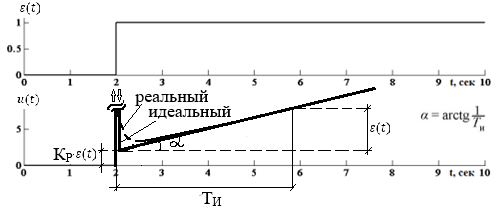


Рисунок 5.1 – Переходная характеристика ПИД-регулятора

По структуре ПИД-регулятор эквивалентен параллельному соединению П-регулятора, И-регулятора и Д-регулятора (рисунок 5.2).

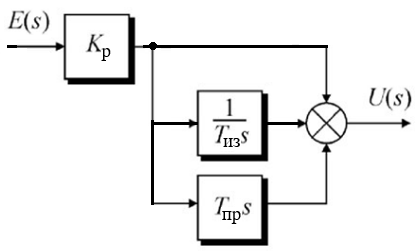
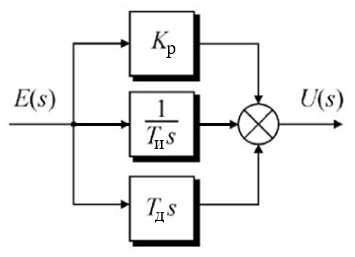


Рисунок 5.2 – Структурная схема ПИД-регулятора: а - с независимыми настройками (аддитивная форма); б - с зависимыми настройками (мультипликативная форма)

Существует множество методов настройки ПИД-регуляторов. Их можно разделить на две основные группы: точные и приближенные. К приближенным методам можно отнести методы Копеловича, Ziegler-Nichols, CHR (Chien, Hrones, Reswick), метод Куна, метод ручной настройки. К точным можно отнести метод логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ).

**Метод Копеловича**.

С его помощью ПИД-регулятор можно настроить на три типовых переходных процесса – апериодический с минимальным tp, с 20%-ным перерегулированием, с 40%-ным перерегулированием (минимальной квадратичной оценкой).

При этом предварительно необходимо аппроксимировать кривую разгона объекта управления апериодическим звеном 1-го порядка с запаздыванием .

Для аппроксимации используют либо графический способ нахождения kоу, Tоу, τоу, заключающийся в дополнительных построениях на полученной кривой разгона. Либо используют интерполяционные способы определения параметров объекта управления, например, по методу Ормана:

1) По кривой разгона объекта управления (рисунок 5.3) находят значения у1 и у2:

y1 = 0.33(y(∞) - y(0)) + y(0)

y2 = 0.7(y(∞) - y(0)) + y(0)

2) Проведя перпендикуляры к кривой разгона, определяют значения t1' и t2'.

3) Определяют значения t1 и t2 по формулам (5.5) и (5.6) соответственно:

t1 = t1' – t0 (5.5)

t2 = t2' – t0 (5.6)

4) Определяют значения времени запаздывания τоу и постоянной времени Тоу по формулам (5.7) - (5.8):

τоу = 0.5(3t1 − t2) (5.7)

Tоу = 1.25(t2 − t1) (5.8)

5) Коэффициент усиления kоу определяется отношением приращений выходной величины объекта Δy к величине входного воздействия на объект Δg по формуле (5.9)

(5.9)

По найденному отношению τоу/Тоу объекта управления определяют настройки регулятора либо по известным номограммам Копеловича, либо по расчетным формулам (таблица 5.1).

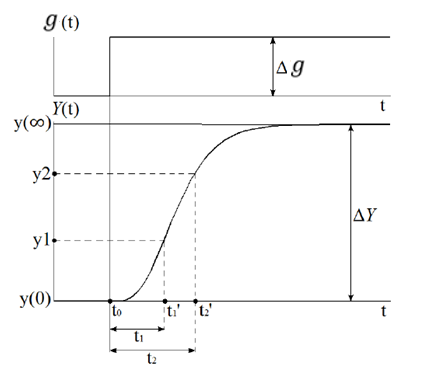


Рисунок 5.3 – Аппроксимация по методу Ормана

Подразумевается, что регулятор имеет зависимые настройки, т.е. по формулам и номограммам определяются время изодрома Тиз и время предварения Тпр. Дальше нужен пересчет на постоянную времени интегрирования Ти и дифференцирования Тд.

Таблица 5.1 – Формулы расчета приближенных настроек ПИД-регулятора с **зависимыми настройками** методом Копеловича

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Регуля-тор | Тип переходного процесса | | | | | | | | |
| Апериодический с min tp | | | 20 % перерегулирование | | | min ∫e2(t)dt | | |
| КР | ТИЗ | ТПР | КР | ТИЗ | ТПР | КР | ТИЗ | ТПР |
| ПИД |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Метод Ziegler-Nichols (1 вариант)**.

Ziegler и Nichols предложили два метода настройки ПИД-регуляторов. Один из них основан на параметрах отклика объекта на единичный скачок, а второй метод основан на частотных характеристиках объекта управления.

Суть первого варианта заключается в определении реакции статического объекта с самовыравниванием с передаточной функцией вида

на ступенчатое изменение управляющего воздействия. Подходит для объектов управления не выше второго порядка с запаздыванием.

Полученные значения kоу, Тоу, τоу используют для расчета настроек регулятора по эмпирическим формулам (таблицы 5.2 - 5.3).

Метод дает удовлетворительные результаты при 0.15 < τоу/ Тоу <0.6.

Таблица 5.2 – Формулы для расчёта коэффициентов ПИД-регулятора с **независимыми настройками** по методу Ziegler–Nichols

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Регулятор | Кр | Ти | Тд |
| ПИД | при Кstep=1(t) |  |  |

В этих формулах предполагается, что настраивается регулятор с независимыми настройками, передаточная функция которого имеет вид (5.2).

Таблица 5.3 – Формулы для расчёта коэффициентов ПИД-регулятора с **зависимыми настройками** по методу Ziegler–Nichols

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Регулятор | Кр | Тиз | Тпр |
| ПИД | при Кstep=1(t) |  |  |

В этих формулах предполагается, что настраивается регулятор с зависимыми настройками, передаточная функция которого имеет вид (5.4).

Регуляторы, параметры которых рассчитаны по методу Ziegler–Nichols, не всегда обеспечивают требуемое качество процесса регулирования. Как правило, требуется дополнительная подстройка их параметров. Несмотря на это, метод Ziegler–Nichols и некоторые его модификации весьма популярны, и многие производители регуляторов рекомендуют их для настройки регуляторов.

Параметры регулятора в методе Ziegler–Nichols определяются, исходя из требования к декременту затухания, равному 4, что дает медленное затухание процесса. При этом метод никак не учитывает требования к запасу устойчивости системы.

**Метод Ziegler-Nichols (2 вариант)**.

Основан на использовании запасов устойчивости и заключается в выводе САР с П-регулятором на режим незатухающих колебаний (на границу устойчивости).

В случае ПИД-регулятора сначала необходимо отключить интегральную и дифференциальную составляющую, сделав Ти = ∞ и Тд = 0. Далее задать некоторое небольшое значение для Kр, например, 0.01. Постепенно увеличивать Кр до момента достижения в системе установившихся незатухающих устойчивых колебаний с постоянной амплитудой (рисунок 5.4).

После вывода системы на границу колебательной устойчивости, необходимо зафиксировать максимальный для данной системы коэффициент Кр\*=Ккр и замерить период колебаний Т\*=Tкр (время одного полного цикла).

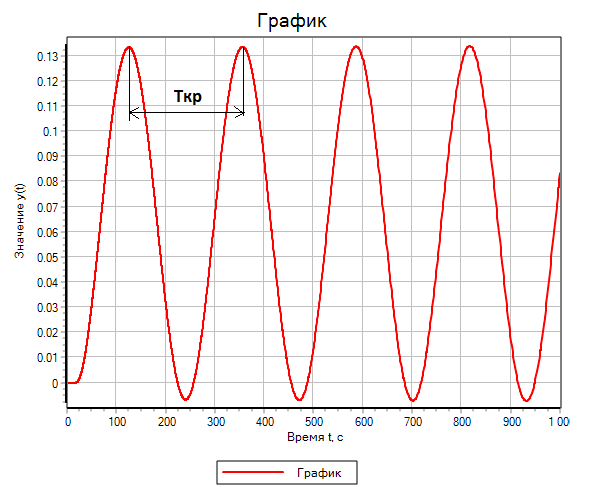


Рисунок 5.4 – Незатухающие колебания в САР с П-регулятором

Полученные значения коэффициента усиления Кр\*=Kкр и периода колебаний Т\*=Tкр используются для расчета настроек регулятора по эмпирическим формулам (таблица 5.3-5.4).

Таблица 5.3 – Формулы расчета приближенных настроек ПИД-регулятора с **зависимыми настройками** методом Ziegler–Nichols

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Регулятор | КР | ТИЗ | ТПР |
| ПИД |  |  |  |

Таблица 5.4 – Формулы расчета приближенных настроек ПИД-регулятора с **независимыми настройками** методом Ziegler–Nichols

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Регулятор | КР | ТИ | ТД |
| ПИД |  |  |  |

Также этим методом можно рассчитать настройки ПИД-регулятора аналитически при известной модели объекта управления или снятой экспериментально АФЧХ.

Если объект управления описывается передаточной функцией вида:

Тогда передаточная функция разомкнутой системы с П-регулятором будет иметь вид:

Подставляя в место s=jω, получаем (5.10):

(5.10)

Замкнутая система будет находится на границе устойчивости, т.е. в системе установятся колебания с постоянной амплитудой, когда АФЧХ будет точно проходить через точку с координатами (-1; j0).

Тогда решая систему уравнений (5.11)

(5.11)

можно определить критическое значение коэффициента усиления П-регулятора и критическую частоту ωКР. Зная критическую частоту, можно определить период колебаний . Дальнейший расчет настроек регулятора произвести по таблицам 5.3-5.4.

Или можно из уравнения определить значение критической частоты ωКР, на которой сдвиг фаз в разомкнутом контуре достигает 180°, а из уравнения найти критическое значение коэффициента усиления П-регулятора. Зная критическую частоту можно определить период колебаний . Дальнейший расчет настроек регулятора также произвести по таблицам 5.3-5.4.

Недостаток метода – необходимость выводить САР на границу устойчивости, что для многих объектов делать не рекомендуется. Медленное затухание переходного процесса, что соответствует практическому отсутствию запаса устойчивости. Подходит для объектов управления 3-го порядка и выше.

**Метод CHR.**

В отличие от методов Ziegler-Nichols, которые используют в качестве критерия качества настройки декремент затухания, равный 4, Chien, Hrones и Reswick (CHR) использовали критерий максимальной скорости нарастания при отсутствии перерегулирования или при наличии не более чем 20%-го перерегулирования. Такой критерий позволяет получить больший запас устойчивости, чем в методе Ziegler-Nichols.

Метод CHR также использует аппроксимацию объекта управления звеном 1-го порядка с запаздыванием .

CHR метод дает две разные системы параметров регулятора. Одна из них получена **при наблюдении отклика на изменение задания** (таблица 5.5), вторая - **при наблюдении отклика на внешние возмущения** (таблица 5.6). Какую систему параметров выбирать - зависит от того, что важнее для конкретного регулятора: качество регулирования при изменении задания, или ослабление внешних воздействий.

Таблица 5.5 – Формулы расчета приближенных настроек ПИД-регулятора с **независимыми настройками** методом CHR при возмущении по заданию

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Регулятор | Тип переходного процесса | | | | | |
| Без перерегулирования | | | 20 % перерегулирование | | |
| КР | ТИ | ТД | КР | ТИ | ТД |
| ПИД |  |  |  |  |  |  |

Таблица 5.6 – Формулы расчета приближенных настроек ПИД-регулятора с **независимыми настройками** методом CHR при действии внешнего возмущения

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Регулятор | Тип переходного процесса | | | | | |
| Без перерегулирования | | | 20 % перерегулирование | | |
| КР | ТИ | ТД | КР | ТИ | ТД |
| ПИД |  |  |  |  |  |  |

В этих формулах предполагается, что настраивается регулятор с независимыми настройками, передаточная функция которого имеет вид (5.2).

**Метод Куна (правило «Т-суммы»).**

В методе вводится суммарная постоянная времени Т∑, которая характеризует быстродействие любого объекта.

Особенностью метода является возможность использования как передаточной функции объекта управления, так и переходной характеристики на входное ступенчатое воздействие.

Для объекта с передаточной функцией в общем виде:

суммарная постоянная времени Т∑ определяется по выражению (5.12)

(5.12)

Метод Куна включает два вида настройки: быструю и нормальную (таблица 5.7). Быстрая применима для систем с объектами первого или второго порядка, а нормальная («осторожная», «медленная») настройка почти всегда дает «хорошие» результаты для систем с объектами более высокого порядка.

Таблица 5.7 – Формулы расчета приближенных настроек ПИД-регулятора с **зависимыми настройками** методом Куна

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Регулятор |  | КР | ТИЗ | ТПР |
| ПИД | Нормальная настройка |  |  |  |
| Быстрая настройка |  |  |  |

В этих формулах предполагается, что настраивается регулятор с зависимыми настройками, передаточная функция которого имеет вид (5.4).

**Метод ручной настройки**.

В ряде случаев расчет параметров регулятора по формулам не может дать оптимальной настройки, поскольку аналитически полученные результаты основываются на сильно упрощенных моделях объекта. В частности, в них не учитывается всегда присутствующая нелинейность типа "ограничение" для управляющего воздействия. Кроме того, модели используют параметры, идентифицированные с некоторой погрешностью. Поэтому после расчета параметров регулятора желательно сделать его подстройку. Подстройку можно выполнить на основе правил, которые используются для ручной настройки. Эти правила получены из опыта, теоретического анализа и численных экспериментов. Они сводятся к следующему:

- увеличение пропорционального коэффициента увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости;

- с уменьшением интегральной составляющей ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее;

- уменьшение постоянной интегрирования уменьшает запас устойчивости;

- увеличение дифференциальной составляющей увеличивает запас устойчивости и быстродействие.

Стоит отметить, что применение правил возможно только после предварительной настройки регулятора по формулам. Попытки настроить регулятор без начального приближенного расчета коэффициентов могут быть безуспешными. Сформулированные выше правила справедливы только в окрестности оптимальной настройки регулятора. Вдали от нее эффекты могут быть иными.

**Порядок выполнения лабораторной работы**

1. Запустите среду **SimInTech**.

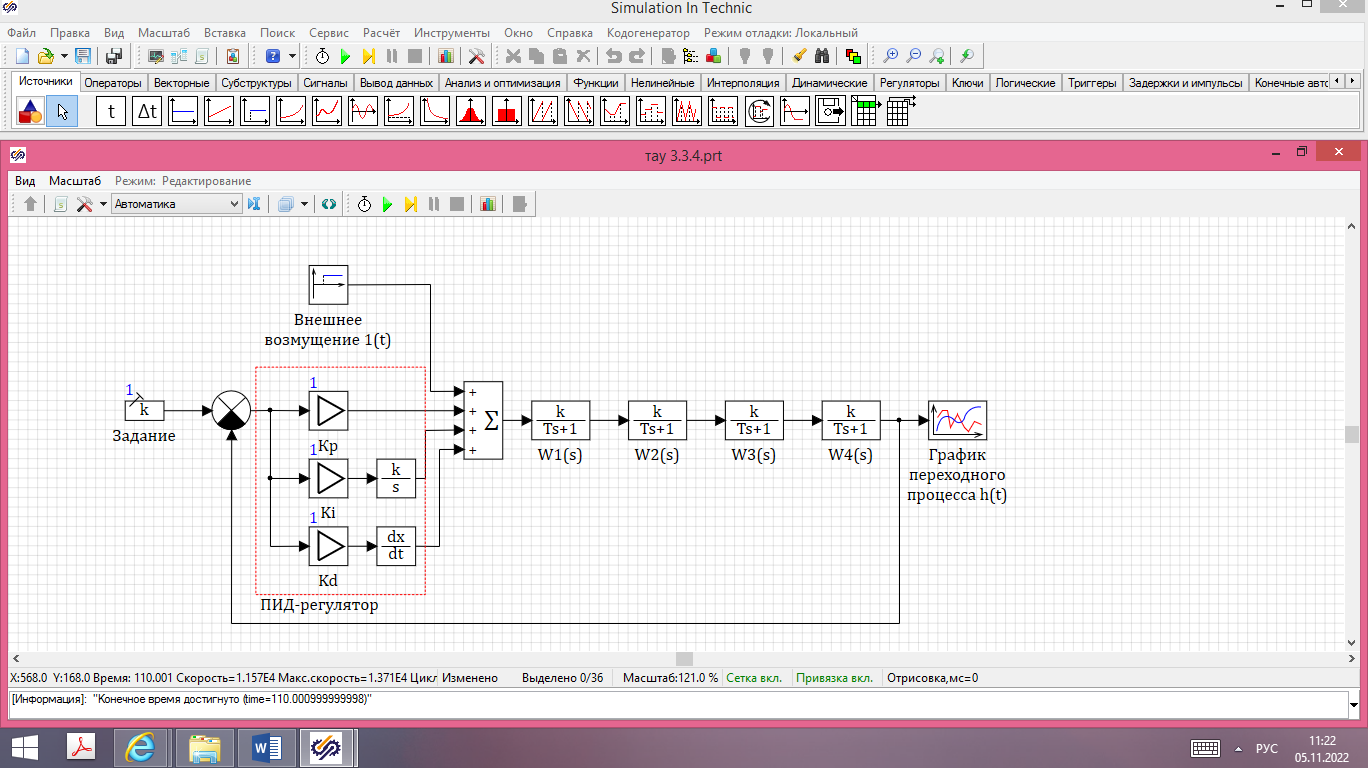
2. Создайте новый проект «**Файл → Новый проект → Схема модели общего вида**».

3. Настройте расчетные параметры схемы. Установите *Начальный шаг интегрирования* **startstep=0**, *Конечное время расчета* **endtime=500** (**выбирается из соображения того, чтобы переходные процессы успевали завершиться**), *Максимальный шаг* **hmax=0.1**.

4. Перед продолжением работы сохраните схему в файл с новым именем в своей рабочей папке. Для этого в **Главном меню** выбрать пункт «**Файл → Сохранить проект как...**» и далее, используя стандартный диалог, сохранить файл, указав соответствующий путь и имя файла – «**Работа ТАУ 5.prt**».

5. Соберите расчетную схему одноконтурной САР с ПИД-регулятором (рисунок 5.5). Для этого на **Схемное окно** **SimInTech** поместите следующие блоки:

* генератор постоянного сигнала 1 шт. (вкладка **Источники → Константа**);
* генератор ступенчатого сигнала 1 шт. (вкладка **Источники → Ступенька**);
* апериодическое звено 4 шт. (вкладка **Динамические → Инерционное звено 1-го порядка**);
* усилительное звено 3 шт. (вкладка **Операторы → Усилитель**);
* интегрирующее звено 1 шт. (вкладка **Динамические → Интегратор**);
* дифференцирующее звено 1 шт. (вкладка **Динамические → Производная**);
* суммирующий элемент 1 шт. (вкладка **Операторы → Сумматор**);
* сравнивающее 1 шт. (вкладка **Операторы → Сравнивающее устройство**);
* график 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Временной график**).



**Рисунок 5.5 – Расчетная схема для исследования работы одноконтурной САР с ПИД-регулятором**

В свойствах блока **Константа** задайте *Значение* a=[1], *Тип данных* src\_type=[double], *Название* txt=[k].

В свойствах блока **Ступенька** задайте *Время срабатывания* t=[**время, через которое завершается переходный процесс при отработке возмущения по заданию**], *Начальное состояние* y0=[0], *Конечное состояние* yk=[1].

В свойствах блока **Инерционное звено 1-го порядка** задайте *Коэффициенты усиления*, *Постоянные времени* **согласно своему варианту из таблицы 4.1 лабораторной работы № 4**, *Начальные условия* x0=[0]. Повторите аналогичную процедуру для остальных **Инерционных звеньев 1-го порядка**.

Чтобы добавить еще дополнительные входы в блоке **Сумматор**, в свойствах блока задайте *Весовые коэффициенты для каждого из входов* a=[1, 1, 1, 1].

6. Определите параметры настройки ПИД-регулятора **по методу** **Копеловича**.

Для этого предварительно необходимо аппроксимировать объект управления апериодическим звеном 1-го порядка с запаздыванием . Воспользуйтесь результатами аппроксимации для своего варианта из лабораторной работы №4.

Полученные ранее значения kоб, τоб, Tоб используйте для расчета ПИД-регулятора по формулам из таблицы 5.1 **на процесс с минимальным временем регулирования**.

Для получения значения коэффициента Ki при интегральной составляющей и значения коэффициента Kd при дифференциальной составляющей нужно воспользоваться формулами пересчета

Введите настройки ПИД-регулятора, найденные по методу Копеловича, в расчетную схему (рисунок 5.5). Для этого в свойствах верхнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kp]. В свойствах среднего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Ki]. В свойствах нижнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kd].

Получите график переходного процесса в САР по заданию и по внешнему возмущению, запустив схему на расчет нажатием кнопки Пуск gif-file, 20KB на **Панели инструментов** или клавиши F9.

Распечатайте полученный график. Обработайте его и найдите показатели качества САР при отработке возмущения по заданию и при отработке внешнего возмущения, используя формулы из лабораторной работы № 4. Результаты занесите в сводную таблицу 5.8.

7. Определите параметры настройки ПИД-регулятора по методу **Ziegler-Nichols 1**, используя реакцию объекта на единичное ступенчатое воздействие.

Для этого предварительно необходимо аппроксимировать объект управления апериодическим звеном 1-го порядка с запаздыванием . Воспользуйтесь результатами аппроксимации для своего варианта из лабораторной работы №4.

Полученные ранее значения kоб, τоб, Tоб используйте для расчета ПИД-регулятора по формулам из таблицы 5.2.

Для получения значения коэффициента Ki при интегральной составляющей и значения коэффициента Kd при дифференциальной составляющей нужно воспользоваться формулами пересчета

Введите настройки ПИД-регулятора, найденные по методу Копеловича, в расчетную схему (рисунок 5.5). Для этого в свойствах верхнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kp]. В свойствах среднего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Ki]. В свойствах нижнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kd].

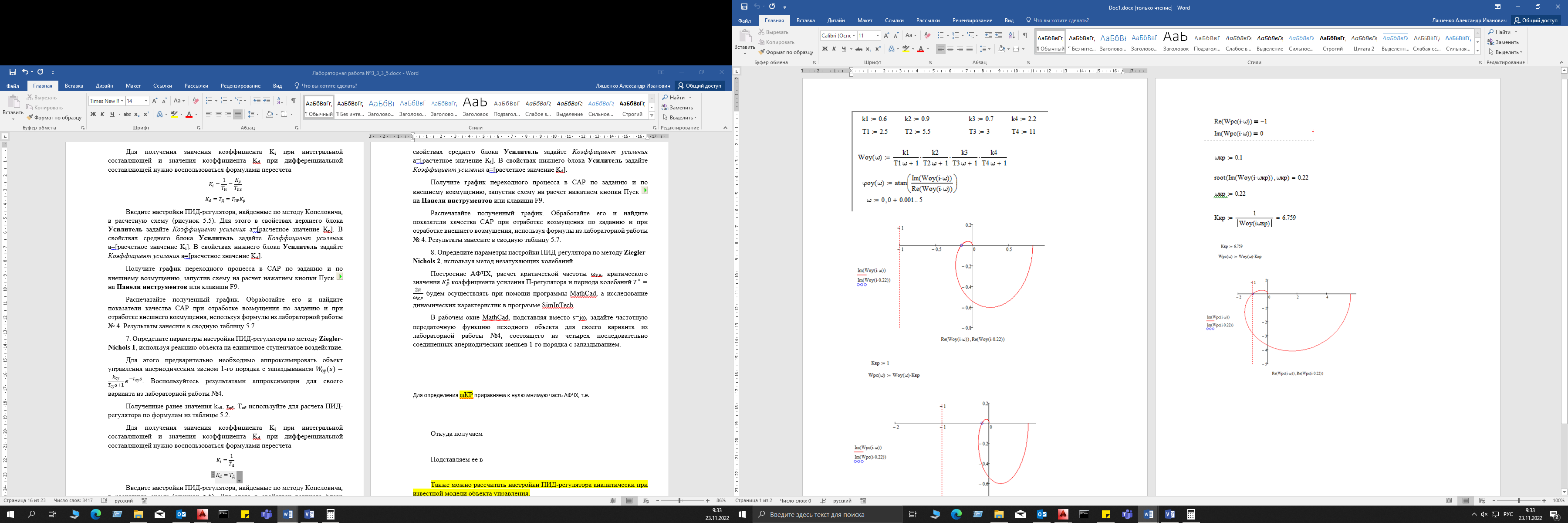
Получите график переходного процесса в САР по заданию и по внешнему возмущению, запустив схему на расчет нажатием кнопки Пуск gif-file, 20KB на **Панели инструментов** или клавиши F9.

Распечатайте полученный график. Обработайте его и найдите показатели качества САР при отработке возмущения по заданию и при отработке внешнего возмущения, используя формулы из лабораторной работы № 4. Результаты занесите в сводную таблицу 5.8.

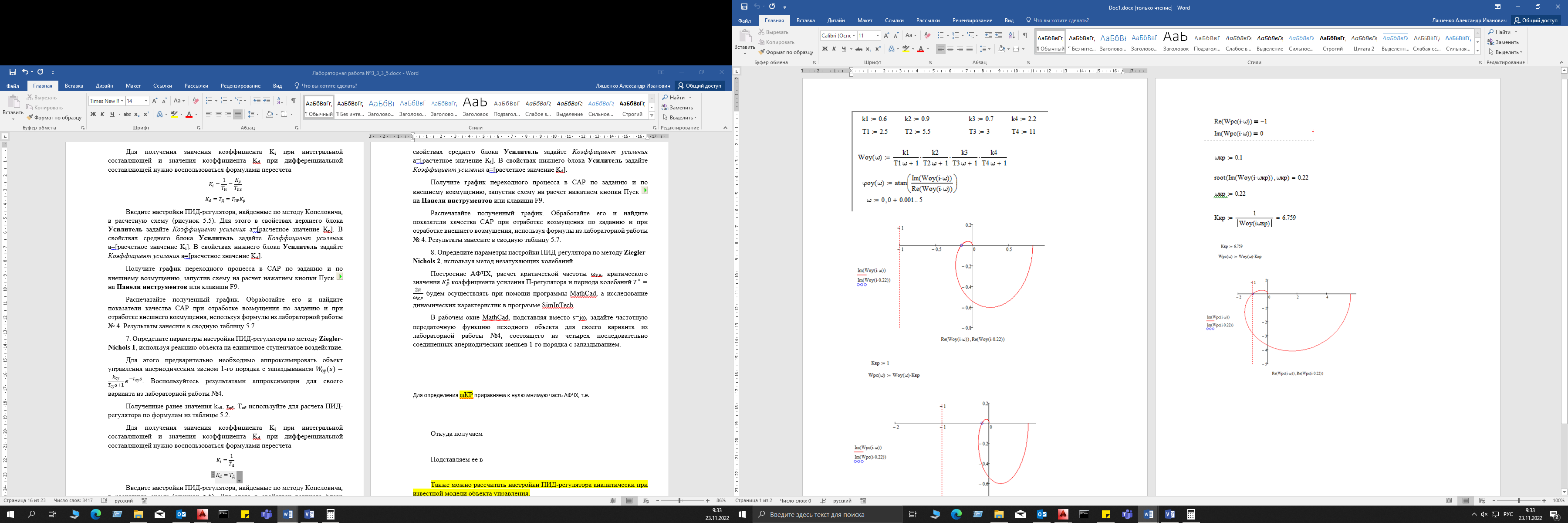
8. Определите параметры настройки ПИД-регулятора по методу **Ziegler-Nichols 2**, используя метод незатухающих колебаний.

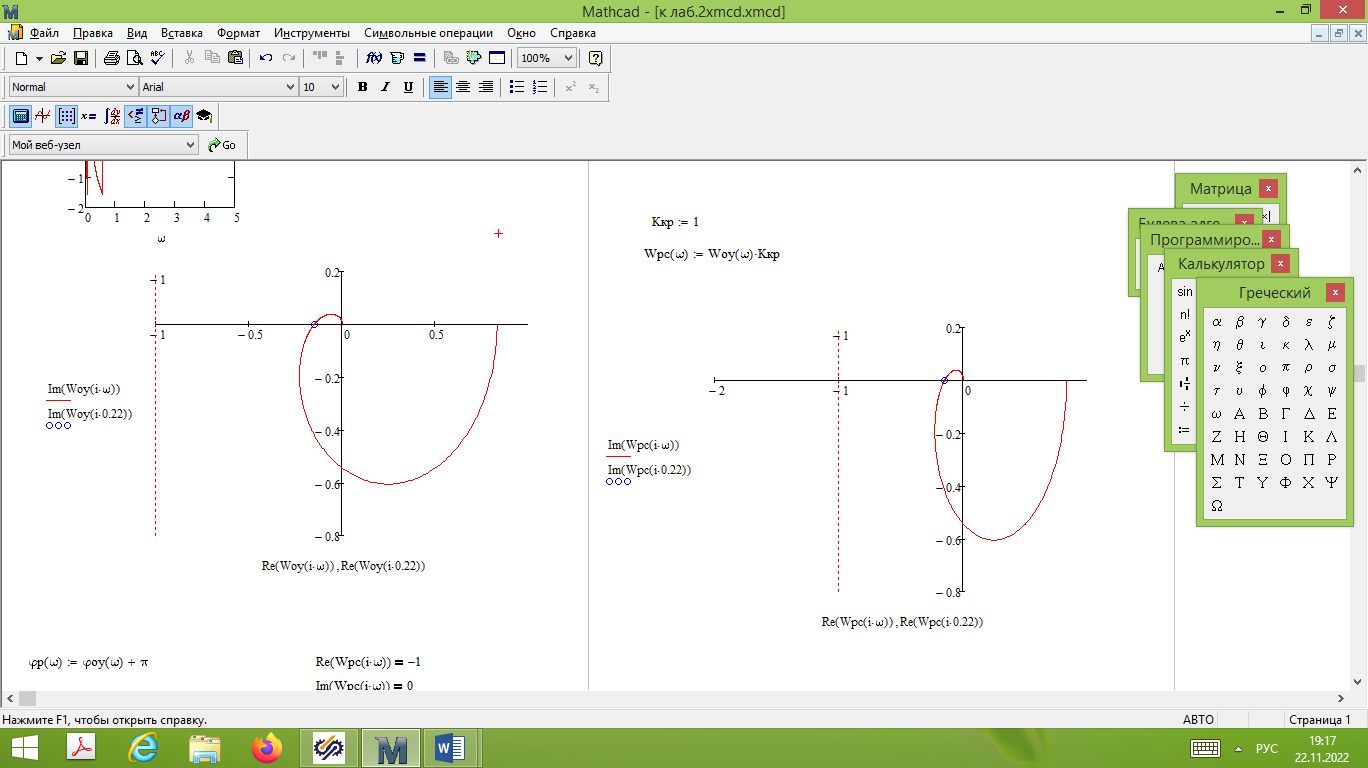
Построение АФЧХ, расчет критической частоты ωКР, критического значения коэффициента усиления П-регулятора и периода колебаний будем осуществлять при помощи программы MathCad, а исследование динамических характеристик в программе SimInTech.

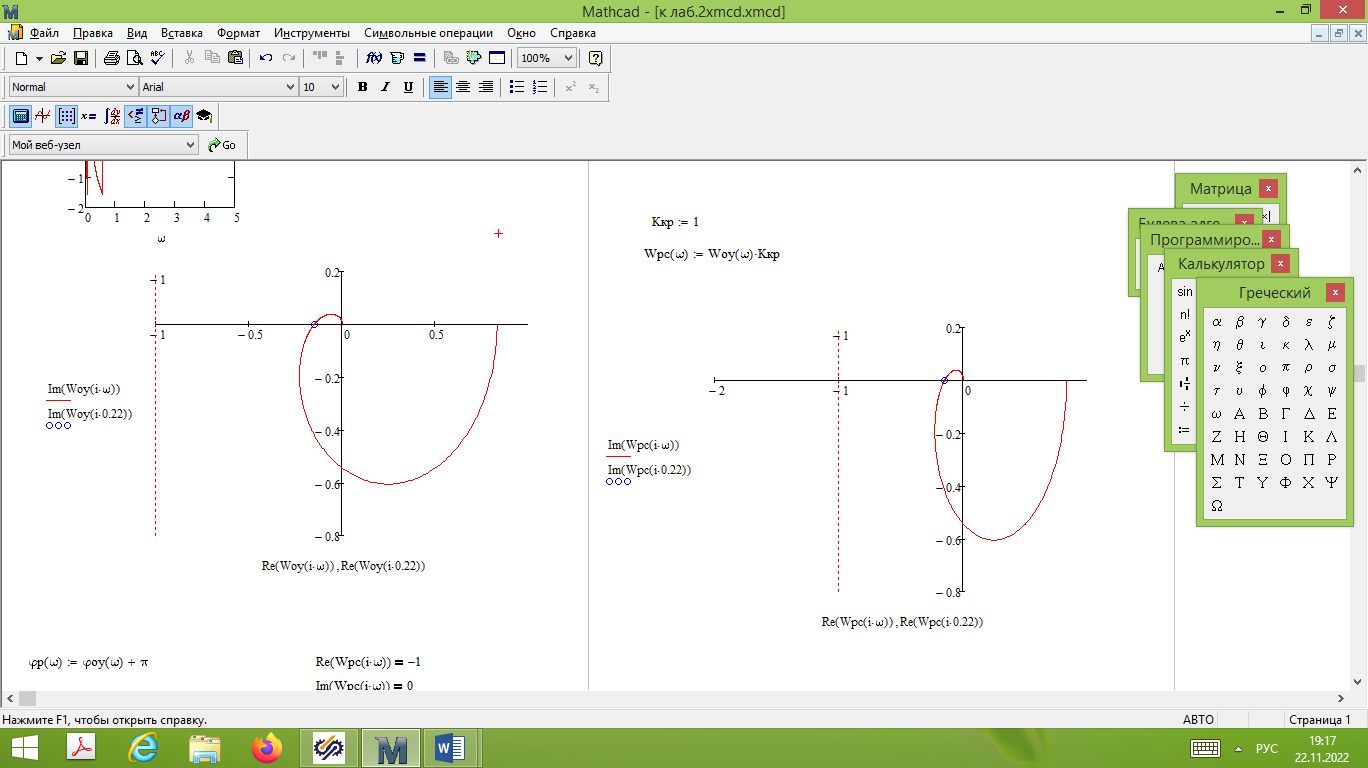
В рабочем окне MathCad, подставляя вместо s=jω, задайте частотную передаточную функцию исходного объекта для своего варианта из лабораторной работы №4, состоящего из четырех последовательно соединенных апериодических звеньев 1-го порядка с запаздыванием.



Постройте АФЧХ разомкнутой системы с П-регулятором

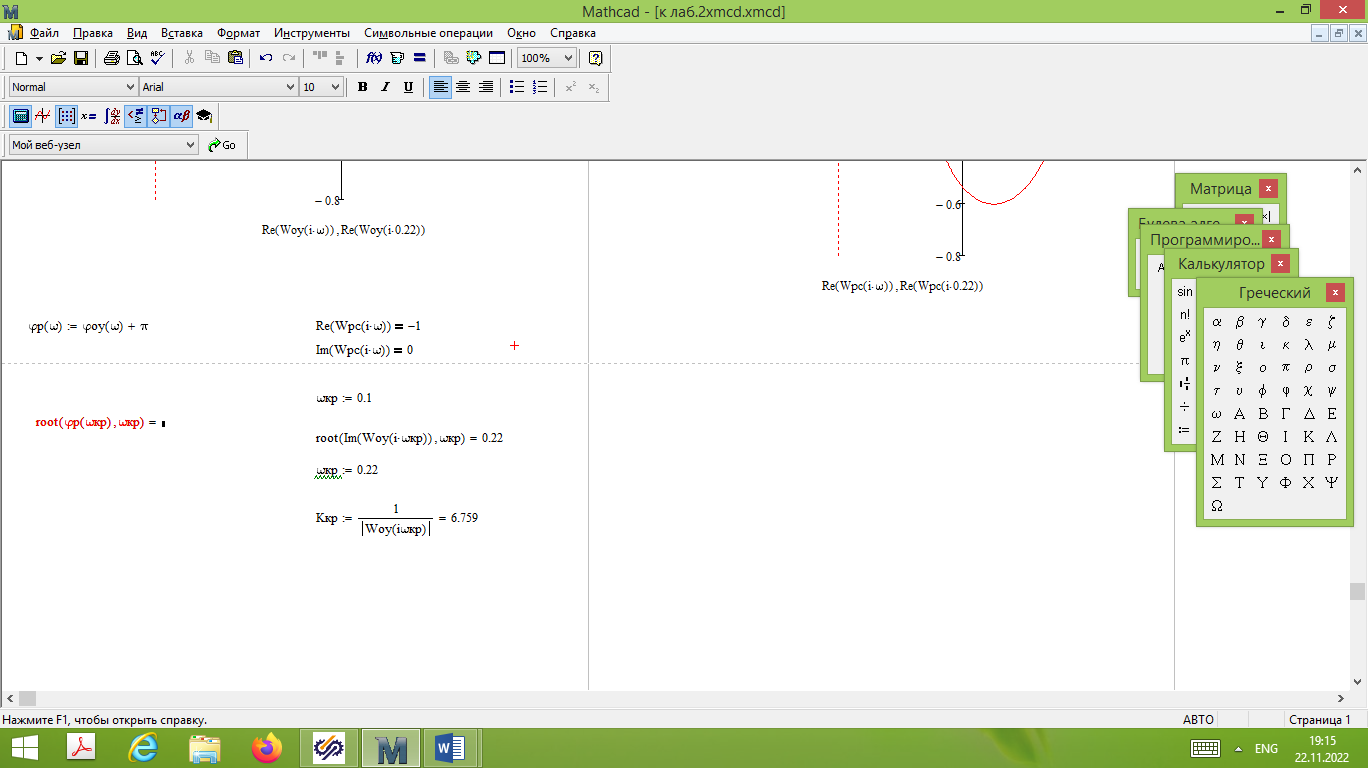


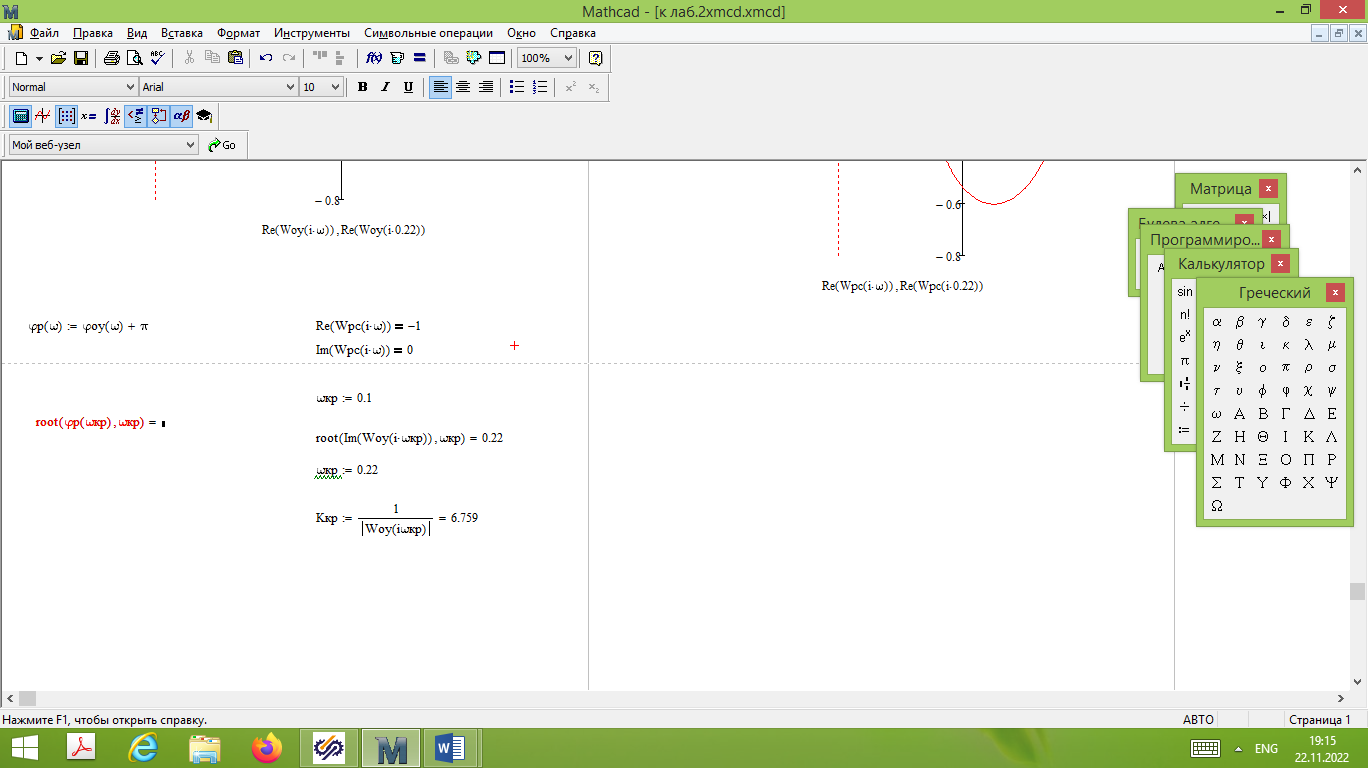




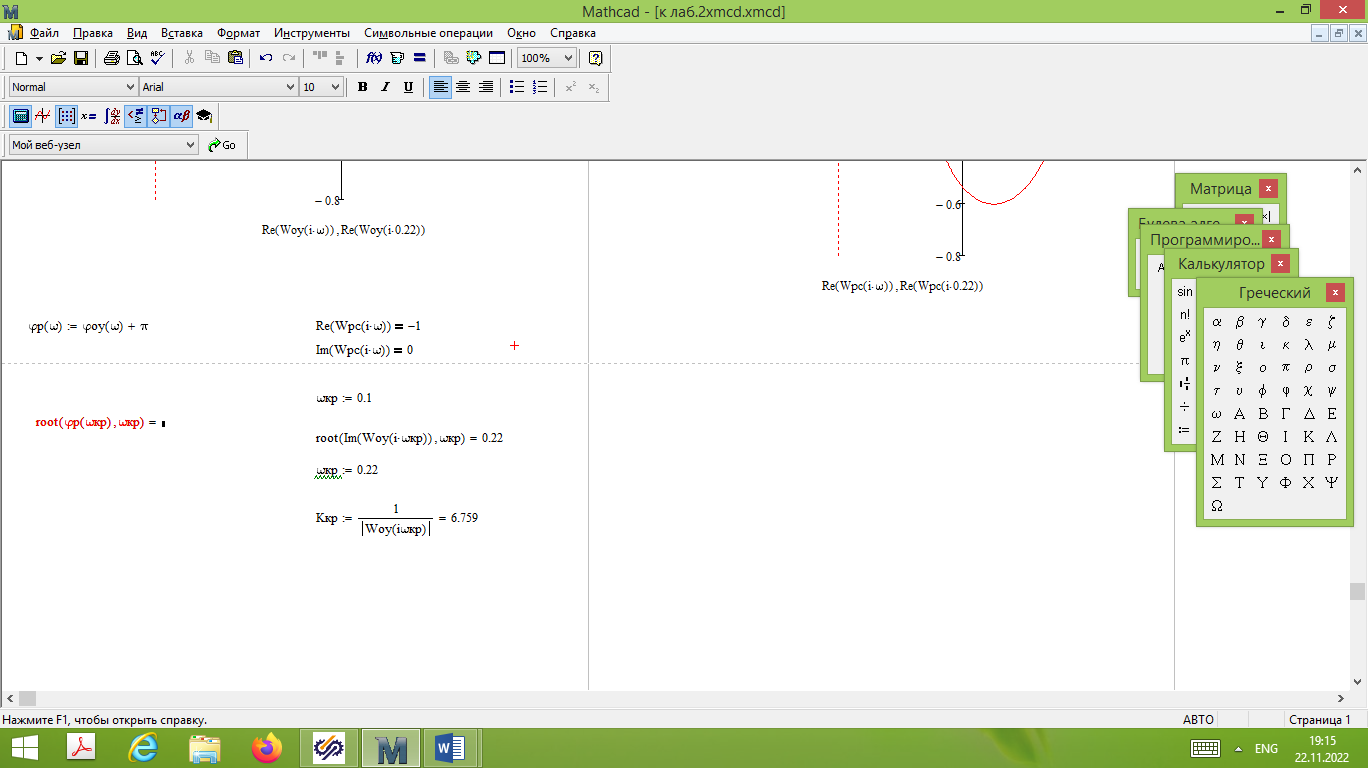
Найдите критическую частоту, при которой система будет находиться на границе устойчивости.

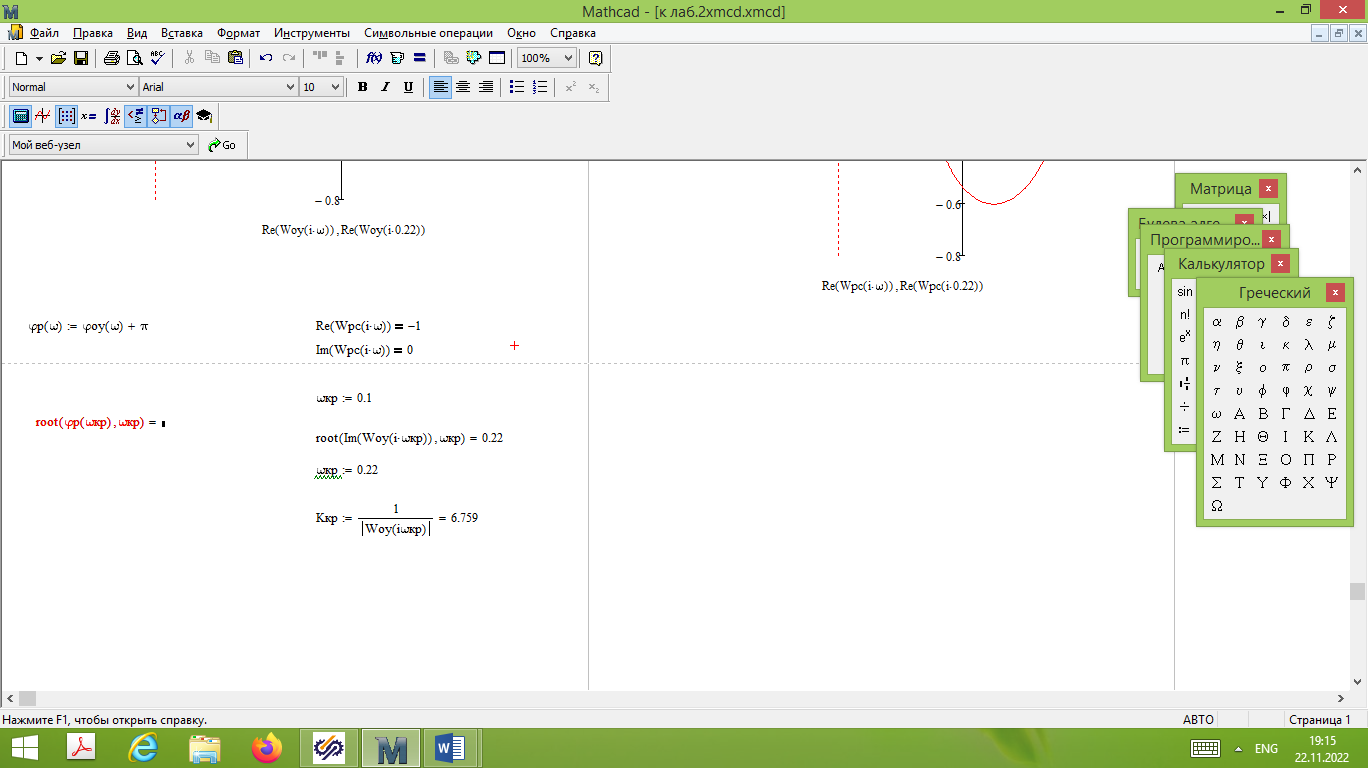
Согласно условию (5.11) приравняйте к нулю мнимую часть АФЧХ разомкнутой системы и найдите соответствующий корень



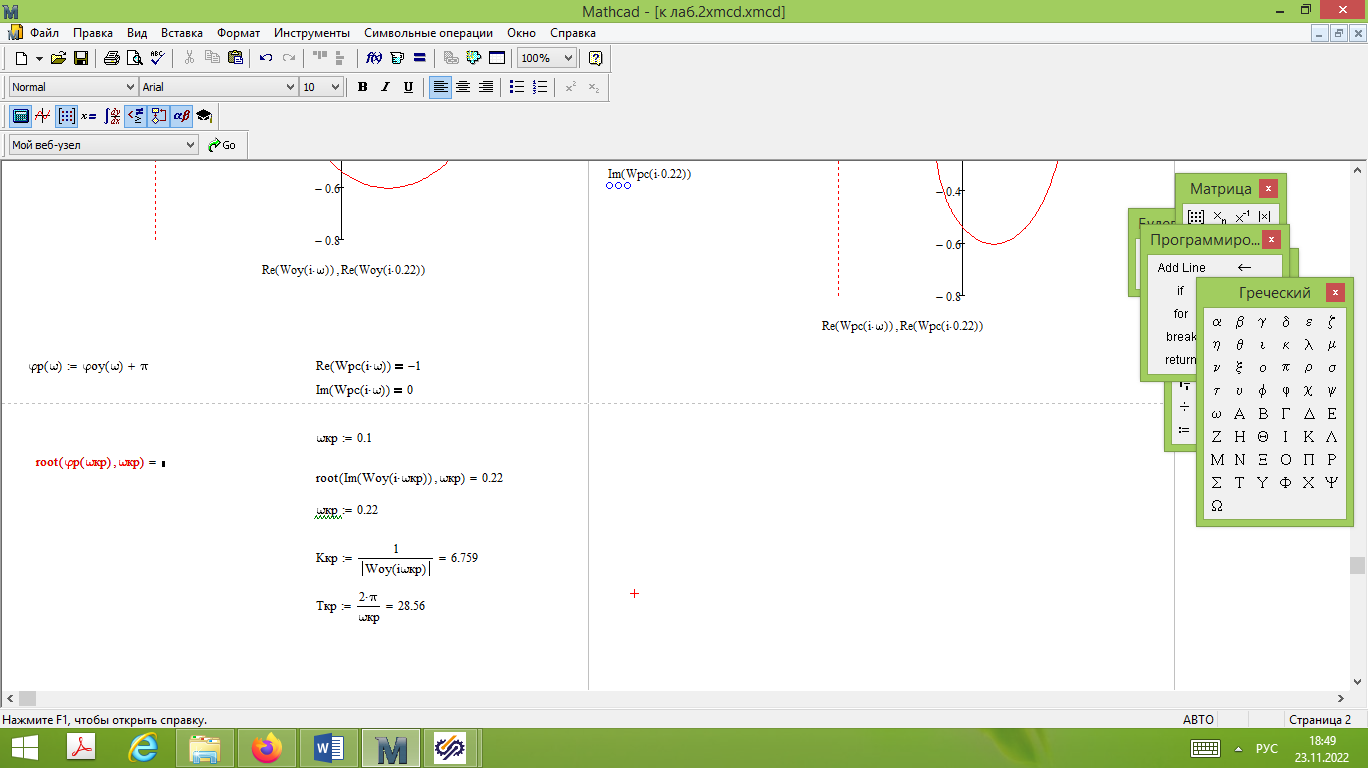


Далее найдите критическое значение коэффициента усиления П-регулятора, при котором

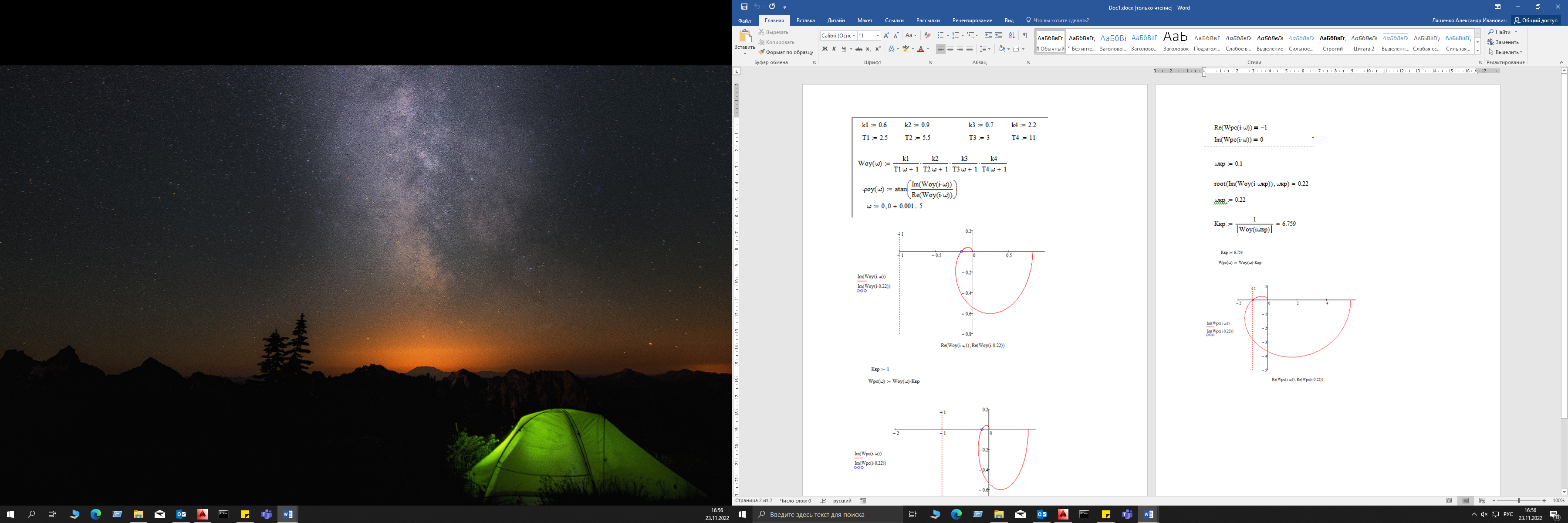




После чего определите период колебаний



Выполните проверку



Найденные значения , используйте для расчета ПИД-регулятора по формулам из таблицы 5.4.

Для получения значения коэффициента Ki при интегральной составляющей и значения коэффициента Kd при дифференциальной составляющей нужно воспользоваться формулами пересчета

Введите настройки ПИД-регулятора, найденные по методу Ziegler-Nichols, в расчетную схему (рисунок 5.5). Для этого в свойствах верхнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kp]. В свойствах среднего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Ki]. В свойствах нижнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kd].

Получите график переходного процесса в САР по заданию и по внешнему возмущению, запустив схему на расчет нажатием кнопки Пуск gif-file, 20KB на **Панели инструментов** или клавиши F9.

Распечатайте полученный график. Обработайте его и найдите показатели качества САР при отработке возмущения по заданию и при отработке внешнего возмущения, используя формулы из лабораторной работы № 4. Результаты занесите в сводную таблицу 5.8.

9. Определите параметры настройки ПИД-регулятора по методу **CHR 1** при наблюдении отклика объекта на преобладающее изменение задания.

Для этого предварительно необходимо аппроксимировать объект управления апериодическим звеном 1-го порядка с запаздыванием . Воспользуйтесь результатами аппроксимации для своего варианта из лабораторной работы №4.

Полученные ранее значения kоб, τоб, Tоб используйте для расчета ПИД-регулятора по формулам из таблицы 5.5 **на процесс с 20%-ным перерегулированием**.

Для получения значения коэффициента Ki при интегральной составляющей и значения коэффициента Kd при дифференциальной составляющей нужно воспользоваться формулами пересчета

Введите настройки ПИД-регулятора, найденные по методу CHR, в расчетную схему (рисунок 5.5). Для этого в свойствах верхнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kp]. В свойствах среднего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Ki]. В свойствах нижнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kd].

Получите график переходного процесса в САР по заданию и по внешнему возмущению, запустив схему на расчет нажатием кнопки Пуск gif-file, 20KB на **Панели инструментов** или клавиши F9.

Распечатайте полученный график. Обработайте его и найдите показатели качества САР при отработке возмущения по заданию и при отработке внешнего возмущения, используя формулы из лабораторной работы № 4. Результаты занесите в сводную таблицу 5.8.

10. Определите параметры настройки ПИД-регулятора по методу **CHR 2** при наблюдении отклика объекта на преобладающие внешние возмущения.

Для этого предварительно необходимо аппроксимировать объект управления апериодическим звеном 1-го порядка с запаздыванием . Воспользуйтесь результатами аппроксимации для своего варианта из лабораторной работы №4.

Полученные ранее значения kоб, τоб, Tоб используйте для расчета ПИД-регулятора по формулам из таблицы 5.6 **на процесс с 20%-ным перерегулированием**.

Для получения значения коэффициента Ki при интегральной составляющей и значения коэффициента Kd при дифференциальной составляющей нужно воспользоваться формулами пересчета

Введите настройки ПИД-регулятора, найденные по методу CHR, в расчетную схему (рисунок 5.5). Для этого в свойствах верхнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kp]. В свойствах среднего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Ki]. В свойствах нижнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kd].

Получите график переходного процесса в САР по заданию и по внешнему возмущению, запустив схему на расчет нажатием кнопки Пуск gif-file, 20KB на **Панели инструментов** или клавиши F9.

Распечатайте полученный график. Обработайте его и найдите показатели качества САР при отработке возмущения по заданию и при отработке внешнего возмущения, используя формулы из лабораторной работы № 4. Результаты занесите в сводную таблицу 5.8.

9. Определите параметры настройки ПИД-регулятора по методу **Куна** **с быстрой настройкой**.

На основе передаточной функции объекта управления согласно своему варианту определите суммарную постоянную времени и коэффициент усиления:

Используя найденные значения и , рассчитайте настройки ПИД-регулятора по формулам из таблицы 5.7.

Для получения значения коэффициента Ki при интегральной составляющей и значения коэффициента Kd при дифференциальной составляющей нужно воспользоваться формулами пересчета

Введите настройки ПИД-регулятора, найденные по методу Куна с быстрой настройкой, в расчетную схему (рисунок 5.5). Для этого в свойствах верхнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kp]. В свойствах среднего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Ki]. В свойствах нижнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kd].

Получите график переходного процесса в САР по заданию и по внешнему возмущению, запустив схему на расчет нажатием кнопки Пуск gif-file, 20KB на **Панели инструментов** или клавиши F9.

Распечатайте полученный график. Обработайте его и найдите показатели качества САР при отработке возмущения по заданию и при отработке внешнего возмущения, используя формулы из лабораторной работы № 4. Результаты занесите в сводную таблицу 5.8.

10. Определите параметры настройки ПИД-регулятора по методу **Куна с** **нормальной настройкой**.

Повторите аналогичные предыдущему пункту действия, только для расчета параметров ПИД-регулятора используйте формулы из таблицы 5.7 для нормальной настройки.

Для получения значения коэффициента Ki при интегральной составляющей и значения коэффициента Kd при дифференциальной составляющей нужно воспользоваться формулами пересчета

Введите настройки ПИД-регулятора, найденные по методу Куна с нормальной настройкой, в расчетную схему (рисунок 5.5). Для этого в свойствах верхнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kp]. В свойствах среднего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Ki]. В свойствах нижнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kd].

Получите график переходного процесса в САР по заданию и по внешнему возмущению, запустив схему на расчет нажатием кнопки Пуск gif-file, 20KB на **Панели инструментов** или клавиши F9.

Распечатайте полученный график. Обработайте его и найдите показатели качества САР при отработке возмущения по заданию и при отработке внешнего возмущения, используя формулы из лабораторной работы № 4. Результаты занесите в сводную таблицу 5.8.

11. Определите параметры настройки ПИД-регулятора **методом ручной настройки**, используя рекомендации теоретической части лабораторной работы и знания, полученные на лекционных занятиях.

В качестве начальных приближений настроек ПИД-регулятора примите настройки, посчитанные одним из ранее рассмотренных способов.

 Введите настройки ПИД-регулятора, найденные по методу ручной настройки, в расчетную схему (рисунок 5.5). Для этого в свойствах верхнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kp]. В свойствах среднего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Ki]. В свойствах нижнего блока **Усилитель** задайте *Коэффициент усиления* a=[расчетное значение Kd].

Получите график переходного процесса в САР по заданию и по внешнему возмущению, запустив схему на расчет нажатием кнопки Пуск gif-file, 20KB на **Панели инструментов** или клавиши F9.

Изменяйте один (или сразу несколько коэффициентов) ПИД-регулятора, и моделируйте работу системы. В зависимости от того, как ведет себя система с выбранными коэффициентами (недо/перерегулирование) опять изменяйте коэффициенты. Повторяйте эксперимент, пока не получите оптимальный на ваш взгляд переходный процесс.

Распечатайте полученный график. Обработайте его и найдите показатели качества САР при отработке возмущения по заданию и при отработке внешнего возмущения, используя формулы из лабораторной работы № 4. Результаты занесите в сводную таблицу 5.8.

При подстройке параметров ПИД-регулятора руководствуйтесь рисунками 5.6-5.8.

**Настройка пропорциональной составляющей Кр (рисунок 5.6)**

Перед настройкой коэффициента пропорциональной составляющей интегральная и дифференциальная составляющие обычно отключаются, постоянная времени интегрирования Ти устанавливается максимально возможной (Ти→∞), а постоянная времени дифференцирования Тд минимально возможной (Тд=0). Пропорциональная составляющая устанавливается максимально возможной.

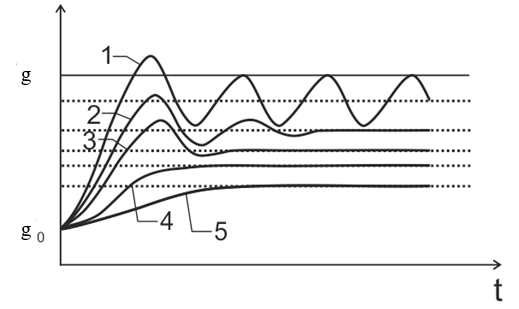


Рисунок 5.6 - Настройка П-части ПИД-регулятора

Переходная характеристика типа 1: значение коэффициента усиления Кр очень велико, переходная характеристика далека от оптимальной. Кр следует значительно уменьшать.

Переходная характеристика типа 2: в переходной характеристике наблюдаются затухающие колебания (5 - 6 периодов). Если в дальнейшем предполагается использовать и дифференциальную составляющую ПИД-регулятора, то выбранное значение коэффициента усиления является оптимальным. Если в дальнейшем дифференциальная составляющая использоваться не будет, то рекомендуется еще уменьшать коэффициент усиления так, чтобы получились переходные характеристики типа 3 или 4.

Переходная характеристика типа 3: в переходной характеристике наблюдаются небольшой выброс (перерегулирование) и быстро затухающие колебания (1 - 2 периода). Этот тип переходной характеристики обеспечивает хорошее быстродействие и быстрый выход на задание. В большинстве случаев его можно считать оптимальным, если в системе допускаются перерегулирование при изменении задания. Перерегулирование устраняется дополнительным уменьшением Кр так, чтобы получилась переходная характеристика типа 4.

Переходная характеристика типа 4: регулируемая переменная плавно подходит к установившемуся значению без перерегулирования и колебаний. Этот тип переходной характеристики также можно считать оптимальным, однако быстродействие регулятора несколько снижено.

Переходная характеристика типа 5: сильно затянутый выход к установившемуся значению говорит о том, что коэффициент усиления пропорциональной части чрезмерно мал. Динамическая и статическая точность регулирования здесь мала.

Во всех рассмотренных выше случаях установившееся значение регулируемой переменной в системе не совпадает со значением задания. Чем меньше коэффициент усиления пропорциональной части, тем больше статическая ошибка регулирования и больше длительность переходных процессов. Таким образом, нужно стремиться выбирать коэффициент усиления Кр как можно больше.

**Настройка дифференциальной составляющей Тд (рисунок 5.7)**

Для случая, когда на предыдущем этапе был задан коэффициент усиления Кр и получена соответствующая переходная характеристика типа 2, в которой присутствуют затухающие колебания (см. рисунок 5.6, кривая 2, рисунок 5.7, кривая 1).

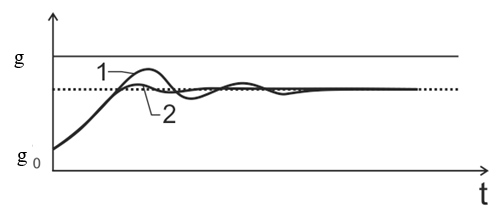


Рисунок 5.7 - Настройка Д-части ПИД-регулятора

Следует установить постоянную времени дифференцирования Тд так, чтобы переходная характеристика имела вид кривой 2 на рисунке 5.7. В качестве первого приближения постоянная времени дифференцирования делается равной Тд = 0,2×∆Т (где ∆Т - период колебаний кривой переходного процесса).

Дифференциальная составляющая устраняет затухающие колебания и делает переходную характеристику, похожую на тип 3 (см. рисунок 5.6). При этом коэффициент усиления Кр больше, чем для типа 3. Это значит, что динамическая и статическая точность регулирования при наличии дифференциальной составляющей (ПД-регулятор) будет выше, чем чисто для П-регулятора.

**Настройка интегральной составляющей Ти (рисунок 5.8)**

После настройки пропорциональной и дифференциальной составляющей получается переходная характеристика, показанная на следующем рисунке 5.8, кривая 1.

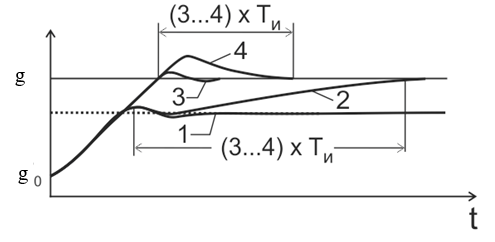


Рисунок 5.8 - Настройка И-части ПИД-регулятора

Интегральная составляющая предназначена для того, чтобы убрать статическую ошибку регулирования между установившимся в системе значением регулируемой переменной и заданием. Начинать настраивать постоянную времени интегрирования следует с величины Ти = ∆Т (где ∆Т - период колебаний кривой переходного процесса).

Переходная характеристика типа 2: получается при чрезмерно большой величине постоянной времени интегрирования. Выход на задание получается очень затянутым.

Переходная характеристика типа 4: получается при слишком малой величине постоянной времени интегрирования. Если постоянную времени интегрирования уменьшить еще, то в системе могут возникнуть колебания.

Переходная характеристика типа 3: оптимальная.

**Таблица 5.8 - Результаты расчета САР с ПИД-регулятором различными методами**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод расчета | Kp | Ki=1/Tи | Kd=Тд | Показатели качества | | | |
| tр | Yдин | σ | Ψ |
|  |  |  |  | возмущение по заданию | | | |
| Метод Копеловича  (tp→min) |  |  |  |  |  |  |  |
| Ziegler-Nichols 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| Ziegler-Nichols 2 |  |  |  |  |  |  |  |
| Метод CHR 1 (20%, Δg) |  |  |  |  |  |  |  |
| Метод CHR 2 (20%, Δf) |  |  |  |  |  |  |  |
| Метод Куна (быстрая настройка) |  |  |  |  |  |  |  |
| Метод Куна (нормальная настройка) |  |  |  |  |  |  |  |
| Метод ручной настройки |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | внешнее возмущение | | | |
| Метод Копеловича |  |  |  |  |  |  |  |
| Ziegler-Nichols 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| Ziegler-Nichols 2 |  |  |  |  |  |  |  |
| Метод CHR 1 (20%, Δg) |  |  |  |  |  |  |  |
| Метод CHR 2 (20%, Δf) |  |  |  |  |  |  |  |
| Метод Куна (быстрая настройка) |  |  |  |  |  |  |  |
| Метод Куна (нормальная настройка) |  |  |  |  |  |  |  |
| Метод ручной настройки |  |  |  |  |  |  |  |

13. Сделайте выводы о влиянии параметров настройки ПИД-регулятора и метода расчета на качество переходного процесса в САР.

14. Сохраните расчетную схему «**Файл → Сохранить проект**». Оформите протокол лабораторной работы, который должен содержать:

* цель работы;
* индивидуальное задание;
* настройки регулятора, рассчитанные различными методами;
* расчетную схему одноконтурной САР с ПИД-регулятором;
* графики всех переходных процессов в одноконтурной САР с ПИД-регулятором, рассчитанным различными методами, при регулировании по заданию и по возмущению;
* таблицу результатов расчетов показателей качества САР с ПИД-регулятором, рассчитанным различными методами, при регулировании по заданию и по возмущению;
* выводы.

**Контрольные вопросы**

1. Охарактеризуйте особенности работы ПИД-регулятора.
2. Приведите две формы записи уравнения для управляющего воздействия ПИД-регулятора и поясните смысл параметров, входящих в эти уравнения.
3. Приведите две формы записи передаточной функции ПИД-регулятора и поясните смысл параметров, входящих в передаточные функции.
4. Приведите возможные варианты структурной схемы ПИД-регулятора.
5. Приведите график управляющего воздействия во времени ПИД-регулятора.
6. Как влияет П-составляющая ПИД-регулятора на качество переходного процесса в САР.
7. Как влияет И-составляющая ПИД-регулятора на качество переходного процесса в САР.
8. Как влияет Д-составляющая ПИД-регулятора на качество переходного процесса в САР.
9. Как перейти от ПИД-регулятора к П-регулятору.
10. Как перейти от ПИД-регулятора к И-регулятору.
11. Как перейти от ПИД-регулятора к Д-регулятору.
12. Запишите передаточную функцию ПИД-регулятора с независимыми настройками.
13. Запишите передаточную функцию ПИД-регулятора с зависимыми настройками.
14. Что такое аддитивная и мультипликативная формы записи.
15. Приведите последовательность расчета ПИД-регулятора методом Копеловича.
16. Приведите последовательность расчета ПИД-регулятора методами Ziegler-Nichols.
17. Приведите последовательность расчета ПИД-регулятора методом CHR.
18. Дайте сравнительную оценку рассмотренных методов расчета настроек ПИД-регулятора. Приведите плюсы и минусы.
19. Дайте сравнительную оценку прямых показателей качества переходного процесса при регулировании по заданию и по возмущению в САР с ПИД-регулятором, рассчитанным различными методами.