

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Промышленная электроника»

Ю. Е. Котова, В. А. Хананов

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по курсовому проектированию для студентов
специальности 1-53 01 07 «Информационные
технологии и управление в технических системах»
дневной формы обучения**

Гомель 2019

УДК 681.5.01(075.8)
ББК 32.965-01я73
К73

*Рекомендовано научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 03.12.2018 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *В. В. Брель*

Котова, Ю. Е.
К73 Теория автоматического управления : учеб.-метод. пособие по курсовому проектированию для студентов специальности 1-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах» днев. формы обучения / Ю. Е. Котова, В. А. Хананов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – 47 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elibr.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Предназначено для закрепления и систематизации в процессе курсового проектирования теоретических знаний, полученных из лекционной части курса, а также на практических и лабораторных занятиях, требуемых в рамках учебной программы по предмету «Теория автоматического управления».

Для студентов специальности 1-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах» дневной формы обучения.

УДК 681.5.01(075.8)
ББК 32.965-01я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2019

Введение

Дисциплина «Теория автоматического управления» рассматривает вопросы анализа и синтеза автоматических систем. Изучение этого курса позволяет студентам получить знания по теоретическим основам автоматического управления и практические навыки расчета автоматических систем.

Дисциплина охватывает широкий круг вопросов, овладение которыми позволит успешно решать инженерные задачи разработки и эффективной эксплуатации систем автоматического управления (САУ), усвоить общие принципы их построения, расчета, математического моделирования, исследования и настройки.

В теории автоматического регулирования решаются такие проблемы, как: анализ устойчивости и качества переходных процессов, анализ статической и динамической точности, анализ автоколебаний, задачи оптимизации и синтеза систем управления.

Курсовой проект по данному курсу является неотъемлемой частью программы подготовки инженеров по специальности 1-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах».

Курсовой проект по дисциплине состоит из расчетно-пояснительной записки (не менее 35-40 страниц) и графического материала (2 листа формата А1); расчеты выполняются в пакете для инженерных расчетов «*SciLab*».

Целью курсового проекта являются: развитие, систематизация и закрепление теоретических знаний, полученных из лекционной части курса, практических и лабораторных занятий, а также получение практических навыков использования программного обеспечения для анализа и синтеза автоматических систем на примере исследования конкретной системы автоматического управления.

В соответствии с индивидуальным заданием производится анализ и структурно-параметрическая оптимизация автоматической системы.

1 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Пояснительная записка (ПЗ) курсового проекта (КП) должна содержать структурные элементы и разделы, которые располагают в следующей последовательности:

- титульный лист;
- задание на курсовое проектирование;
- рецензия на КП (заполняется руководителем КП);
- содержание;
- введение (является разделом пояснительной записки, но не нумеруется);
- разделы пояснительной записки, раскрывающие содержание курсового проекта, нумеруются арабскими цифрами последовательно: 1, 2, 3 и т.д.;
- заключение (раздел без нумерации);
- список использованных источников (раздел без нумерации);
- приложения (схемы, спецификации, таблицы, графики и т.д.).

Графическая часть должна содержать функциональную схему оптимизированной САР (лист 1, формат А1), а также отражать необходимые для защиты курсового проекта временные диаграммы, графики, формулы и т.д. (лист 2, формат А1).

Рассмотрим элементы пояснительной записки подробнее.

Титульный лист – официальный документ, является первым листом ПЗ.

Задание на курсовое проектирование – второй лист ПЗ, подписанный студентом, руководителем проекта и утвержденный заведующим кафедрой.

Рецензия на курсовой проект – третий лист КП, заполняется руководителем КП при проверке.

Содержание включает название всех разделов и подразделов ПЗ с указанием номера страницы, на которой размещается начало раздела, подраздела. Нумерация страниц документа – сквозная, начиная с титульного листа, на котором номер не проставляется. Страницы ПЗ нумеруются арабскими цифрами, слово «Содержание» записывают в виде заголовка с прописной буквы (см. приложение Б).

В разделе *введение* обосновывается актуальность темы курсового проекта, определяется цель и задачи проекта.

В первом разделе – разделе «*аналитический обзор*» приводится обзор по литературным или другим источникам используемых методов и (или) методик, известных технических решений, полностью или частично решающих поставленную в задании задачу. Производится сравнительная оценка рассмотренных решений и обосновывается выбор направления решения поставленной задачи. В данном разделе следует дополнительно проанализировать показатели качества управления замкнутой САР, акцентируя внимание на том, какие параметры могут влиять на устойчивость и длительность переходного процесса. Рассмотреть, каким образом достигается запас устойчивости по амплитуде и по фазе, проанализировать, какие меры необходимо предпринимать для уменьшения погрешности (статической ошибки), а также для компенсации действий возмущений на объект управления. Объем данного раздела – 5-10 страниц.

Во втором разделе «*анализ структурной схемы*» проводится анализ исходных данных, описываются элементы структурной схемы и поясняется принцип работы системы автоматического регулирования. В данном разделе обязательно должна быть приведена структурная схема системы до оптимизации. Объем данного раздела – 3-5 страниц.

Третий раздел «*построение структурно-аналитической модели САР*» должен содержать: во-первых, расчет передаточных функций элементов САР, во-вторых, расчет передаточной функции разомкнутой системы, в-третьих, моделирование структуры САР в САПР, например в среде *SciLab*.

В четвертом разделе «*анализ устойчивости разомкнутой САР и ее предварительная коррекция*» необходимо рассмотреть проблемы устойчивости разомкнутых и замкнутых систем, обосновать выбор критерия, по которому будет оцениваться устойчивость. Требуется осуществить стабилизацию неустойчивого разомкнутого контура САР путем изменения коэффициента усиления и (или) постоянной времени звена обратной связи.

Пятый раздел «*оптимизация модели и оценка параметров качества управления*» должен содержать анализ устойчивости замкнутой системы по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой системы. По этим же характеристикам необходимо проверить выполняется ли обеспечение рекомендуемых в литературе запасов устойчивости по фазе и амплитуде, а также коэффициента

усиления САР. Если эти условия не выполняются, проводится структурно-параметрическая оптимизация системы автоматического регулирования путем введения в контур управления П- или ПИ-регулятора.

Шестой раздел «реализация дискретного регулятора» должен содержать преобразование аналогового непрерывного регулятора в дискретный. Аналогично пятому разделу требуется провести анализ устойчивости и качества регулирования, и при необходимости оптимизацию-настройку коэффициентов дискретного регулятора.

Качество управления контролируется в переходном режиме: перерегулирование должно составлять $20 \div 30\%$; и в статическом: относительная статическая ошибка должна быть минимальной.

В заключении приводят основные выводы по всем разделам ПЗ, которые должны отражать особенности КП. Кратко формулируют основные результаты (положительные и отрицательные), полученные в ходе выполнения проекта.

В списке использованных источников указываются современная отечественная и зарубежная техническая и патентная литература, использованная в ходе проектирования, перечень использованных методических указаний и Web-сайтов.

В приложениях должны присутствовать материалы, представленные на защите. Это может быть описание последовательности оптимизации САР, таблицы с экспериментальными данными и т.д.

2 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

Содержание данного пункта методических указаний по выполнению курсового проекта обеспечивает студентам освоение и закрепление следующих вопросов:

- уметь составлять и технически грамотно оформлять результаты проделанной работы;
- уметь выполнять и читать технические документы (схемы, чертежи и т.п.);
- знать требования государственных стандартов на правила и условности при выполнении технических документов (по специальности).

Расстояние от рамки до границ текста в начале и в конце строк – не менее 3мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10 мм. Рекомендуемые параметры при использовании текстового редактора WORD: шрифт Times New Roman, 14 пунктов, абзацный отступ 1,25см, межстрочный интервал – 1,5.

Текст ПЗ делится на разделы (главы), подразделы (параграфы) и пункты. Разделам присваиваются порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами без точки после цифры. При наличии подразделов, пунктов ставятся двух- и трехкратные номера, разделяемые точками. Например, пункт 2 подраздела 3 раздела 1 обозначается 1.3.2. и т.д. Подчеркивать заголовки и переносить слова в заголовках нельзя. Текст каждого подраздела должен быть разбит по смысловому значению на абзацы.

Если в заголовке имеются два или более предложений, их разделяют точкой. Заголовки в содержании ПЗ должны точно соответствовать заголовкам в тексте, не допускается сокращение заголовков.

Заголовок отделяется от предыдущего текста двумя одинарными интервалами, а от последующего текста – одним.

Нумерация страниц документа и приложений, входящих в состав этого документа, должна быть сквозная.

«Содержание», «Введение», «Заключение», «Список использованных источников» записываются в виде заголовка.

Располагаются по центру, начинаются с прописной буквы, остальные строчные, после этих заголовков одинарный интервал.

Лист «Содержание» пишется на листах с рамкой и штампом. Остальные листы пишутся в рамке.

2.1 Требования к изложению текста

В тексте ПЗ все слова должны быть написаны полностью, за исключением союза т.е. (то есть), и т.п. (и тому подобное), и др. (и другие), и пр. (и прочие). Все принятые сокращения следует оговорить при первом упоминании термина (например, Система автоматизированного регулирования (САР) состоит...). В последующем тексте принятое сокращение пишется без скобок. Сокращаются термины, принятые в научной и технической литературе: ЭДС, ОУ, ШИМ и др.

Текст документа должен однозначно интерпретироваться и не должен допускать различных толкований.

В тексте записки не допускается применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы. Текст пояснительной записки должен быть кратким, четким изложен в безличной форме. Не следует употреблять выражения «мы (или, тем более, я) сделали ...», «...в нашей работе...», «...на рисунке мы видим ...» и т.п. Следует писать «в работе было выполнено ...», «на рисунке представлена схема ...», «...получена формула ...» и т.д.

При этом допускается использовать повествовательную форму изложения текста например: «применяют», «указывают» и т.п.

2.2 Формулы

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения

должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него, с абзацного отступа.

Например:

$$W(p) = \frac{K_{\text{оу}}}{T_{\text{оу}}p + 1} e^{-p\tau} \quad (2.1)$$

где $W(p)$ – передаточная функция объекта управления;

$K_{\text{оу}}$ – коэффициент усиления объекта управления;

$T_{\text{оу}}$ – постоянная времени объекта управления;

τ – время запаздывания.

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой. Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых алгебраических операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак «×».

Формулы, за исключением формул, помещаемых в приложении, должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Одну формулу обозначают – (1). Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, в формуле (1). Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (2.1) – первая формула второго раздела.

2.3 Оформление иллюстраций и приложений

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту документа (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце его. Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Иллюстрации, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией или в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера рисунка, разделенных точкой.

Иллюстрации должны иметь наименование или пояснительные данные (подрисуночный текст) с выравниванием «по ширине». Подрисуночный текст отделяется от самого рисунка и слова «Рис. ...» одинарным интервалом. После подрисуночного текста точка не ставится. Слово «Рис.» и его наименование (пояснительная надпись) располагается после иллюстрации по центру.

Иллюстрации отделяются от текста сверху и снизу одинарным интервалом. После наименования рисунка точка не ставится. Если наименование рисунка не умещается на одной строке, то текст переносится на другую строчку (слова переносятся полностью, в словах нет переноса), причем, текст располагается под текстом, а не под словом «Рис. 1.3 -» .

Приложение оформляют как продолжение данного документа на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного документа. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения.

Приложения обозначают заглавными, буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность. Приложения, как правило, выполняют на листах формата А4.

2.4 Ссылки на источники литературы

Ссылки следует приводить по порядку упоминания их в тексте, указывая порядковый номер по списку, выделенный двумя квадратными скобками.

Список использованных источников располагают после заключения (перед приложениями). Использованные источники в списке следует располагать в алфавитном порядке, начиная с ГОСТов и нормативных документов.

Примеры записи использованных источников.

Для стандартов:

ГОСТ. ЕСКД 2.721-74 Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.

Для книг:

Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник/ Под ред. С.В. Якубовского.-М.: Радио и связь,1989.-496с.

Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учебн. пособие для приборостроит. спец. вузов.2-е изд., перераб. и доп.-М.: Высш. школа,1991.-622с.

Для сети Интернет:

Смирнов И.Г. Структурированные кабельные системы.
[www/smartcity.ru/books/-content/html](http://www.smartcity.ru/books/-content/html).

3 ТЕМЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Для курсового проектирования предлагается шесть тем; выбор одной из них для каждого студента осуществляет преподаватель при выдаче технического задания на курсовой проект.

1. Анализ и оптимизация системы автоматического регулирования частоты вращения вала двигателя постоянного тока.

2. Анализ и оптимизация автоматической системы передачи угла поворота с исполнительным двигателем.

3. Анализ и оптимизация автоматической системы измерения угла (курса, поворота антенны).

4. Анализ и оптимизация автоматической системы привода антенны РЛС.

5. Анализ и оптимизация следящей системы управления зеркалом телескопа.

6. Анализ и оптимизация автоматической системы стабилизации платформы «на качке».

Задания и функциональные схемы САР по предложенным тематическим вариантам курсового проектирования содержатся в Приложении А. Расчет передаточных функций элементов системы автоматического управления выполняется в соответствии с номером студента N по журналу группы.

Далее в разделах 4 – 7 приведен пример выполнения и подробный анализ одной из тем курсового проектирования. Пример выполнения проекта начинается со второго раздела: «анализ структурной схемы», т.к. требования к предыдущим разделам подробно были описаны ранее.

4 АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ

Темой курсового проектирования является оптимизация системы автоматического регулирования (САР) частоты вращения вала двигателя постоянного тока, функциональная схема которой, представлена на рис. 4.1.

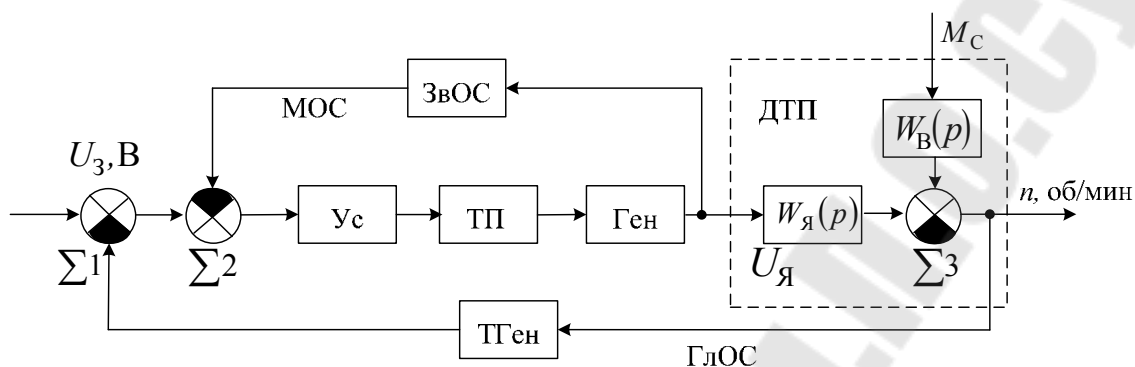


Рис. 4.1 Функциональная схема САР

На рис. 4.1 обозначены:

U_3 – напряжение задания;

U_c – усилитель;

ТП – тиристорный преобразователь;

Ген – генератор;

ДПТ – двигатель постоянного тока;

ТГен – тахогенератор;

МОС – местная гибкая обратная связь по напряжению;

ЗвОС – звено обратной связи;

ГлОС – главная обратная связь;

ДПТ – двигатель постоянного тока независимого возбуждения;

$\Sigma 1$, $\Sigma 2$, $\Sigma 3$ – сумматоры, 1, 2, 3 соответственно

U_3 – напряжение задания;

M_c – возмущающий момент силы;

$U_я$ – напряжение якоря двигателя.

САР частоты вращения вала двигателя постоянного тока представляет собой замкнутый контур главной обратной связи (ГлОС), который осуществляет управление по отклонению. В системе имеется гибкая местная обратная связь (МОС), которая предназначена для стабилизации, т.е. способствует повышению устойчивости САР.

Наличие обратных связей в САР свидетельствует о том, что система может быть неустойчивой, поэтому анализ САР должен включать оценку ее устойчивости в замкнутом и разомкнутом состоянии, для того чтобы при необходимости предпринять меры для её стабилизации. Объект управления – двигатель постоянного тока (ДПТ); управляемая величина – частота вращения вала двигателя.

Следует отметить, что в предлагаемой схеме для коррекции устойчивости предполагается изменять только параметры усилителя и звена местной обратной связи (ЗВОС), а так же коэффициент усиления усилителя.

4.1 Описание принципа действия САР

Как уже говорилось выше, в функциональной схеме САР, представленной на рис. 4.1, двигатель постоянного тока независимого возбуждения – это объект управления, а его выходной сигнал является управляемой величиной. Таким образом, задача регулирования сводится к поддержанию частоты вращения n вала ДПТ на заданном уровне согласно изменению напряжения задания U_3 . На вал ДПТ действует возмущающий момент силы M_C со стороны машины, которую он приводит в действие.

Усилитель усиливает входной сигнал напряжения до величины, необходимой для управления тиристорным преобразователем, основной задачей которого является обеспечение плавного пуска двигателя, а также регулирование скорости вращения вала ДПТ.

МОС – гибкая местная обратная связь по напряжению, которая моделируется инерционно-дифференцирующим звеном. Она вводится для устранения рассогласования между напряжением якоря $U_я$, которое подается на ДПТ, и напряжением, которое поступает на электродвигатель с генератора.

В статическом режиме входные, а, следовательно, и выходные, сигналы САР не изменяются.

На первый сумматор ($\Sigma 1$) контура главной обратной связи, который функционально представляет собой сравнивающее устройство, подается задающая величина напряжение U_3 и напряжение с выхода тахогенератора $U_{ТГ}$, пропорциональное частоте вращения вала n .

Разностный сигнал, равный $e = U_3 - U_{ТГ}$, где напряжение тахогенератора определяется как $U_{ТГ} = K_{ТГ} n$, имеет малую величину. Этот сигнал усиленный усилителем, тиристорным преобразователем и генератором, является входным управляющим сигналом ДПТ (объекта управления), т.е. напряжением якоря $U_я$, которое обеспечивает вращение вала двигателя.

Это означает, что частота n вращения вала с некоторой точностью пропорциональна напряжению задания U_3 . Звено, стоящее в обратной связи – инерционно-дифференцирующее, т.е. обратная связь по напряжению – гибкая, следовательно, эта обратная связь не влияет на работу САР в статике.

Изменение частоты вращения вала n , вызванное, к примеру, возмущающим моментом на валу двигателя, вследствие наличия главной обратной связи приводит к соответствующему изменению сигнала рассогласования e . Это изменение отклонения усиливается и изменяет величину напряжения на якоре таким образом, что отклонение частоты, вызванное возмущением, компенсируется.

Таким образом, регулирование САР заключается в поддержании частоты вращения вала пропорциональной напряжению задания и компенсации возмущений за счет обратной связи.

4.2 Построение структурно-аналитической модели САР

4.2.1 Определение передаточных функций элементов САР

Для анализа устойчивости и управляемости САР требуется задаться ее аналитической моделью в виде математического описания передаточной функции разомкнутой и замкнутой систем.

Для этого необходимо рассчитать передаточные функции отдельных звеньев.

Расчет передаточных функций выполняется в соответствии с номером варианта N , который выбирается равным порядковому номеру студента по журналу группы.

Усилитель моделируется апериодическим звеном с передаточной функцией:

$$W_{yc} = \frac{K_{yc}}{1 + pT_{yc}}, \quad (4.1)$$

где $K_{yc} = 20 + N$ – коэффициент усиления;

$T_{yc} = 0.05 + 0.001 \cdot N$, [с], – постоянная времени усилителя.

Передачная функция тиристорного преобразователя, выполняющего функцию плавной регулировки скорости вращения двигателя постоянного тока, имеет следующий вид:

$$W_{TP} = \frac{K_{TP}}{1 + pT_{TP}}, \quad (4.2)$$

где $K_{TP} = 15 + 2 \cdot N$ – коэффициент передачи тиристорного преобразователя;

$T_{TP} = 0.06 + 0.001 \cdot N$, [с] – постоянная времени тиристорного преобразователя.

Генератор, который подает напряжение на объект управления САР

$$W_{Г} = \frac{K_{Г}}{1 + pT_{Г}}, \quad (4.3)$$

где $K_{Г} = 0,1(13 + 0,1N)$ – коэффициент передачи генератора;

$T_{Г} = 0.01(8 + N)$, [с] – постоянная времени генератора.

ЗВОС – звено местной обратной связи по напряжению, моделируется инерционно-дифференцирующим звеном. Его функциональное назначение – это оценка рассогласования между напряжением якоря, которое подается на ДПТ и напряжением, которое поступает на электродвигатель с генератора.

$$W_{OC} = \frac{K_{OC} \cdot p \cdot T_{OC}}{1 + pT_{OC}}, \quad (4.4)$$

где $K_{OC} = 0.1(1.5 + 0.1N)$ – коэффициент передачи ОС по напряжению;

$T_{OC} = 0.01(5 + N)$, [с] – постоянная времени обратной связи по напряжению.

ТГ – тахогенератор, усилительное (пропорциональное) звено. Входит в состав контура главной обратной связи. Его передачная функция определяется следующим образом:

$$W_{TG} = K_{TG} = 0.01(2 + 3N), \quad (4.5)$$

где $K_{ТГ}$ – коэффициент усиления тахогенератора.

Двигатель постоянного тока (ДПТ) является объектом, для управления которым была создана рассматриваемая система. Его передаточная функция по каналу управления:

$$W_{ДПТ} = \frac{K_D}{p^2 T_{я} T_M + p T_M + 1}, \quad (4.6)$$

где $K_D = 0.1(12 + N)$, [об/(В·с)] – коэффициент передачи ДПТ;

$T_{я} = 0.01(6 + 32N)$, [с] – постоянная времени якоря двигателя;

$T_M = 0.1(5 + 5N)$, [с] – постоянная времени, учитывающая момент силы, воздействующий на вал двигателя.

4.2.2 Построение аналитической модели структурной схемы.

После определения передаточных функций элементов функциональной схемы требуется построить структурно-аналитическую модель, представляющую собой передаточную функцию замкнутой и разомкнутой САР.

Передаточную функцию разомкнутой системы следует определить аналитически. Для этого, используя правила преобразования структурных схем, необходимо заменить контур местной обратной связи одним звеном (см рисунке 4.1) с эквивалентной передаточной функцией в виде:

$$W_{\text{экв}} = \frac{W_{Ус} W_{ТГ} W_{Г}}{1 + W_{Ус} W_{ТГ} W_{Г} W_{МОС}}. \quad (4.5)$$

После преобразования требуется разомкнуть контур главной обратной связи после тахогенератора. Полученная преобразованная структурная схема для расчета передаточной функции разомкнутой САР представлена на рисунке 4.1.

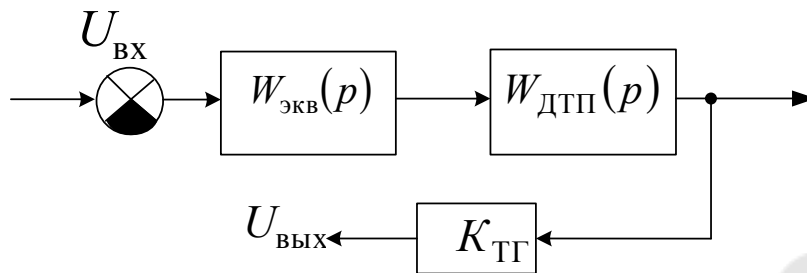


Рис. 4.1 Преобразованная структурная схема для расчета передаточной функции разомкнутой САПР

Передаточная функция разомкнутой системы определится как

$$W_{\text{раз}} = W_{\text{экв}} W_{\text{ДТП}} K_{\text{ТГ}}.$$

Для получения аналитической модели используется САПР (среда *Scilab* – это система компьютерной математики, которая предназначена для выполнения инженерных и научных вычислений, таких как:

- решение нелинейных уравнений и систем;
- решение задач линейной алгебры;
- решение задач оптимизации;
- дифференцирование и интегрирование;
- обработка экспериментальных данных (интерполяция и аппроксимация, метод наименьших квадратов);
- решение обыкновенных дифференциальных уравнений и систем.

Основным преимуществом системы *Scilab* является тот факт, что она содержит достаточное количество встроенных команд, операторов и функций. При этом пользователь может создать любую новую команду или функцию, а затем использовать ее наравне со встроенными. К тому же, система имеет собственный язык программирования высокого уровня, что позволяет решать самые трудные задачи.

Выбор данного пакета обусловлен тем фактом, что данный программный продукт по своим возможностям сопоставим с известным математическим пакетом *Mathcad*. Однако, в отличие от программного обеспечения *Mathcad*, который стоит немало денег, *Scilab* является бесплатным и может быть загружен с www.scilab.org, причем существуют версии для различных операционных систем.

Используя полученные данные, требуется построить структурную схему модели системы автоматического регулирования частоты вращения вала двигателя постоянного тока при помощи пакета *Scilab* (Рис. 4.2).



Рис. 4.2 – Модель замкнутой САУ, реализованная при помощи пакета *Scilab*

5 АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗОМКНУТОЙ САР И ЕЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ

Система считается устойчивой, если:

- 1) после снятия воздействия по окончании переходного процесса система возвращается в исходное равновесное состояние;
- 2) после изменения воздействия на постоянную величину по окончании переходного процесса система приходит в новое равновесное состояние.

Физический признак устойчивости можно определить следующим образом:

- система устойчива, если свободная составляющая $y_{св}(t)$ переходного процесса с увеличением времени стремится к нулю,
- неустойчива, если она стремится к бесконечности,
- нейтральна (находится на границе устойчивости), если она стремится к некоторой постоянной величине (амплитуде).

С целью упрощения анализа устойчивости систем разработано ряд специальных методов, которые получили название критерии устойчивости. Критерии устойчивости делятся на две группы: алгебраические и частотные. Алгебраические критерии являются аналитическими, а частотные – графо-аналитическими. Критерии устойчивости позволяют также оценить влияние параметров системы на устойчивость.

5.1 Анализ устойчивости разомкнутой САР

Для анализа устойчивости разомкнутой САР требуется рассчитать полюса ее передаточной (разомкнутой) функции. Согласно необходимому условию, для устойчивости системы необходимо, чтобы полюса передаточной функции лежали в левой половине комплексной плоскости.

К примеру, для передаточной функции в виде:

$$W_{\text{раз}}(p) = \frac{10}{8 \cdot 10^{-7} p^4 + 8.04 \cdot 10^{-4} p^3 + 0.204 p^2 + p + 10},$$

полюса (корни характеристического уравнения) являются

отрицательными: $p_{1,2} = -500.1 \pm i7.1$, $p_{3,4} = -2.4 \pm i6.65$, что свидетельствует об устойчивости разомкнутой системы с данной передаточной функцией. Если же при расчете выявится хотя бы один положительный полюс, система будет неустойчивой, и ее параметры потребуют корректировки.

Для анализа устойчивости подходит также реакция системы на любое типовое входное воздействие, т.е. форма сигнала $y_{\text{вын}}(t)$.

Студентам при проектировании предлагается самостоятельно выбрать метод исследования САР на устойчивость.

Рассмотрим самый простой способ, основанный на определении устойчивости по ее физическим признакам: устойчивость САР можно оценить по переходной характеристике, т.е. по реакции системы на входной единичный скачок (единичную ступень.)

На рисунке 5.1 представлена реакция САР на единичный скачок, по которой видно, что замкнутая система неустойчива, т.к. имеет место резкий рост амплитуды незатухающих колебаний.

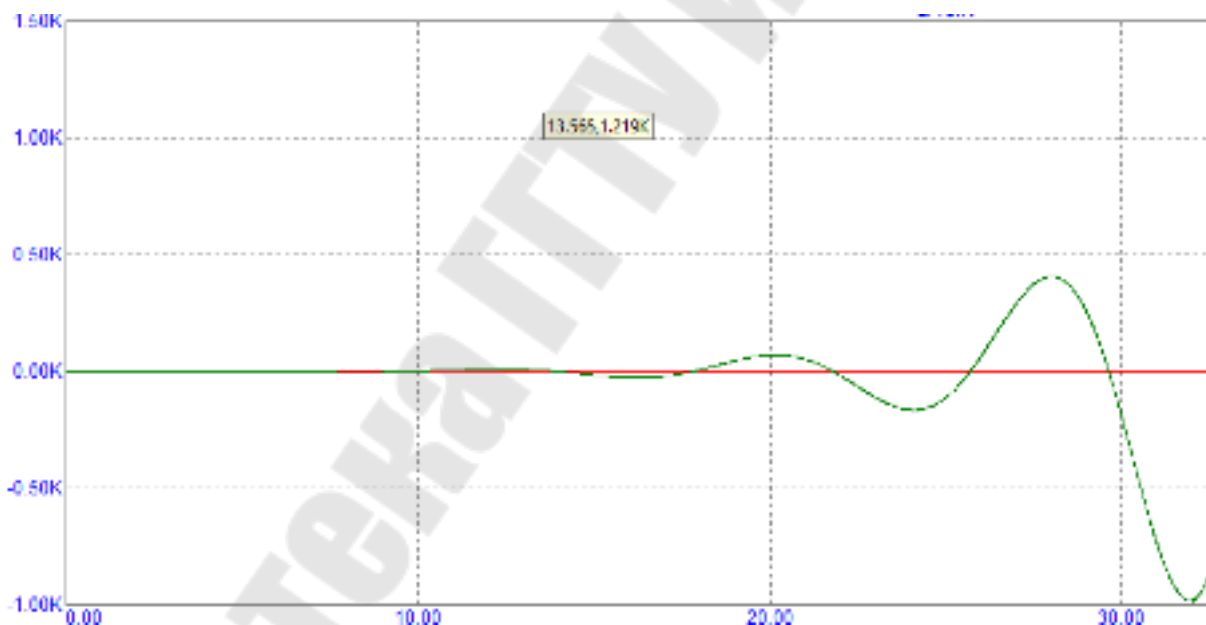


Рис. 5.1 Реакция замкнутой САР на единичный скачок

Можно также исследовать устойчивость системы и по критерию Михайлова.

Формулировка критерия Михайлова: замкнутая система устойчива, если ее годограф, начинаясь при $\omega = 0$ на положительной действительной полуоси, при изменении ω от 0 до ∞ обходит

последовательно в положительном направлении (против часовой стрелки) n квадрантов, где n – порядок системы.

На рисунке 5.2 представлен годограф Михайлова, который подтверждает вывод о неустойчивости схемы, сделанный при анализе переходной характеристики.

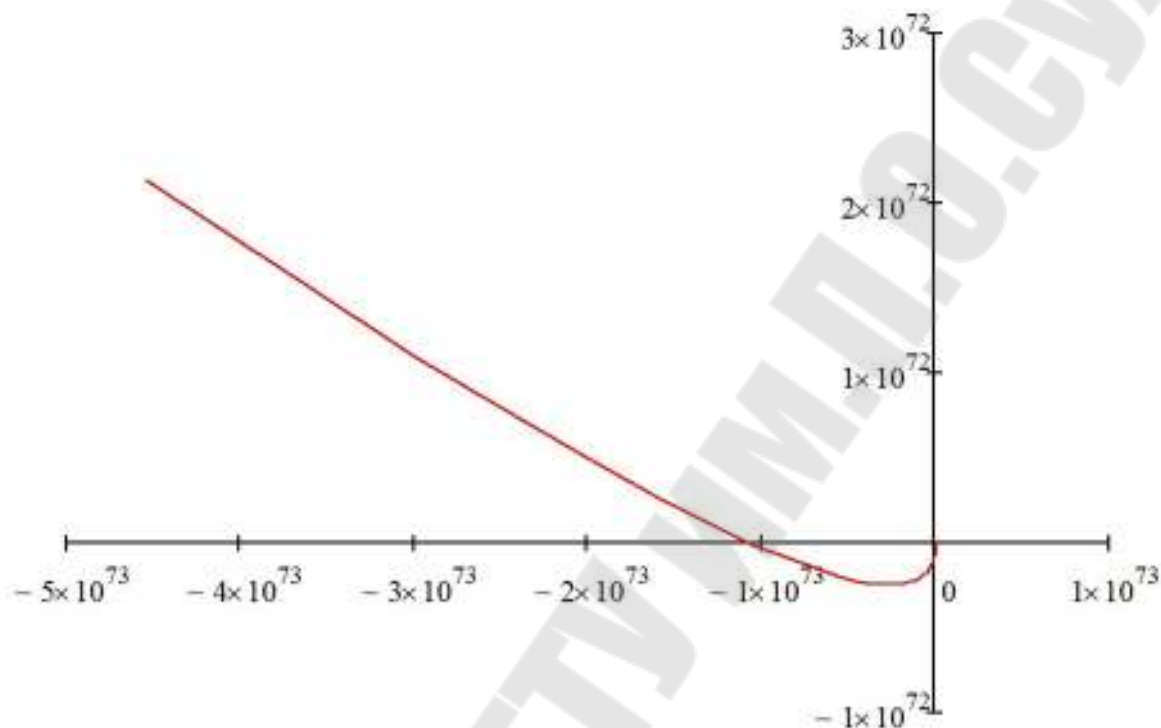


Рис. 5.2 Исследование САР на устойчивость при помощи годографа Михайлова

Из формулировки критерия следует, что система устойчива, если годограф Михайлова, начавшись на действительной оси при $\omega = 0$, несколько раз последовательно пересекает действительную и мнимую ось. Значения ω , при которых происходят эти пересечения, являются корнями уравнения $Y(\omega) = 0$ (при пересечении с действительной осью) и уравнения $X(\omega) = 0$ (при пересечении с мнимой осью). Следовательно, оценить устойчивость системы можно и без построения годографа: достаточно, чтобы корни указанных уравнений чередовались друг с другом. Но, поскольку наша система имеет шестой порядок делать это не совсем удобно.

На практике более широкое применение, по сравнению с критерием Михайлова, нашел частотный критерий Найквиста,

который позволяет судить об устойчивости замкнутой системы по частотным характеристикам этой системы в разомкнутом состоянии.

Очевидно, что для обеспечения устойчивости потребуется коррекция параметров функциональных составляющих системы и, возможно, структуры САР.

5.2 Коррекция разомкнутой САР

Параметры исходной разомкнутой САР нуждаются в корректировке для обеспечения достаточного запаса устойчивости по амплитуде и фазе.

Нетрудно заметить, что потеря устойчивости разомкнутой САР возникает из-за наличия местной обратной связи (системы, составленные из устойчивых звеньев, при охвате обратной связью могут терять устойчивость). Тем не менее, эта гибкая обратная связь вводится именно для того, чтобы обеспечить достаточную устойчивость и качество регулирования САР. Неустойчивость системы указывает на то, что параметры звена местной обратной связи по напряжению заданы неудачно и требуют коррекции.

В *Scilab* имеется возможность корректировать вид переходной характеристики при помощи изменения параметров отдельных звеньев структурной схемы. Стабилизация САР таким образом требует некоторого практического опыта, на основании которого можно определить в каких звеньях системы следует провести изменения параметров. Например, привести разомкнутую САР к границе устойчивости можно путем увеличения коэффициента усиления усилителя или изменяя постоянную времени звена обратной связи по напряжению.

5.2.1 Стабилизация разомкнутого контура САР путем изменения коэффициента усиления усилителя.

Рассмотрим, как осуществляется стабилизация разомкнутого контура путем изменения коэффициента усиления усилителя. Требуется программно варьировать (уменьшать или увеличивать) коэффициент усиления усилителя K_{yc} . Данная процедура

производится до тех пор, пока разомкнутый контур не будет переведен к граничному состоянию между устойчивым и неустойчивым режимами (см. рис. 5.3).

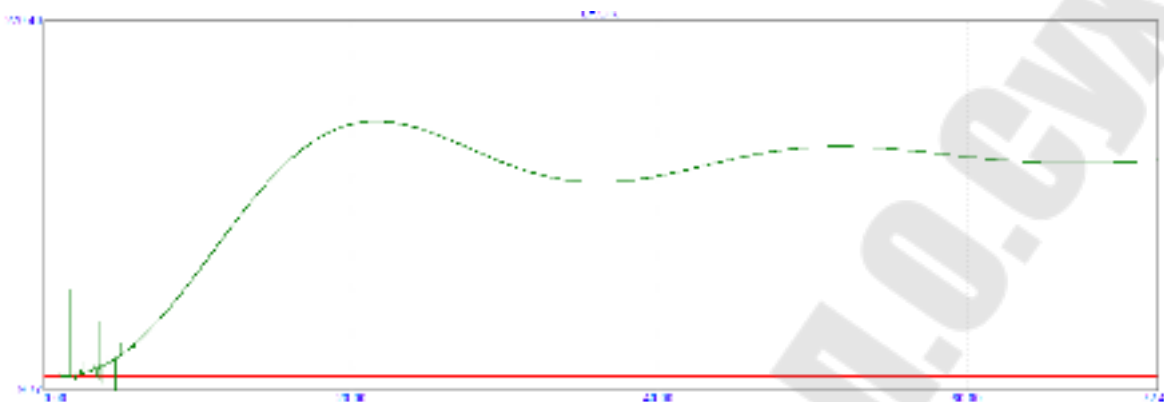


Рис. 5.3 Коэффициент усиления усилителя САР уменьшен в 100 раз.

Представленная на рисунке 5.3 переходная характеристика разомкнутой САР имеет в своем составе колебательную компоненту $y_{\text{вын}}(t)$, амплитуда которой сравнительно медленно увеличивается со временем. Разомкнутый контур все еще не устойчив, но близок к граничному (или критическому) режиму.

Для того, чтобы обеспечить стабилизировать разомкнутую САР, требуется обеспечить минимальный (двукратный, т.е. в 6 дБ) запас устойчивости контуру местной обратной связи. С этой целью уменьшаем коэффициент усиления усилителя K_{yc} еще в два раза. Полученная после этого переходная характеристика САР изображена на рисунке 5.4.

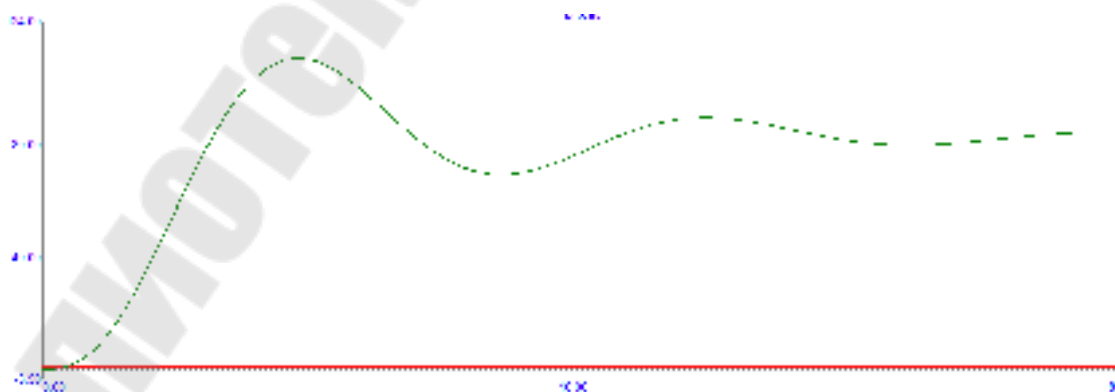


Рис. 5.4 Переходная характеристика стабилизированной разомкнутой САР

Из графика переходной характеристики, представленной на рисунке 5.4, видно, что установившееся значение выходной величины стремится к постоянному значению, равному 80. Вид переходного процесса соответствует устойчивому состоянию системы разомкнутого контура САР.

5.2.2 Стабилизация разомкнутого контура САР путем изменения постоянной времени звена обратной связи по напряжению и коэффициента усиления усилителя

Если изменением только коэффициента усиления усилителя не удается получить удовлетворительных переходных характеристик разомкнутого контура САР, требуется более детальная стабилизация.

Для достижения этого требуется варьировать (уменьшать или увеличивать) постоянную времени звена обратной связи T_{OC} , контролируя также и коэффициент усиления усилителя K_{yc} .

В САР, переходная характеристика которой приведена на рисунке 5.4, коэффициент усиления усилителя $K_{yc} \approx 0,2$. Цель стабилизации разомкнутого контура состоит в том, чтобы вывести контур на границу устойчивости при гораздо большем коэффициенте усиления усилителя, изменяя постоянную времени звена обратной связи T_{OC} . При этом пакет моделирования выполняет основную вычислительную работу, требуется только изменять параметры, запускать программу на счет и анализировать полученные результаты.

Примечание. Уменьшая значения постоянной времени T_{OC} при исследовании характеристик САР следует помнить о том, чтобы шаг интегрирования был примерно на порядок меньше наименьшей постоянной времени элементов системы, т.е. при необходимости шаг интегрирования следует уменьшать.

Переходная характеристика разомкнутой САР, полученная после изменения параметров T_{OC} и K_{yc} (см. рис. 5.5), свидетельствует о том, что система находится на границе устойчивости.

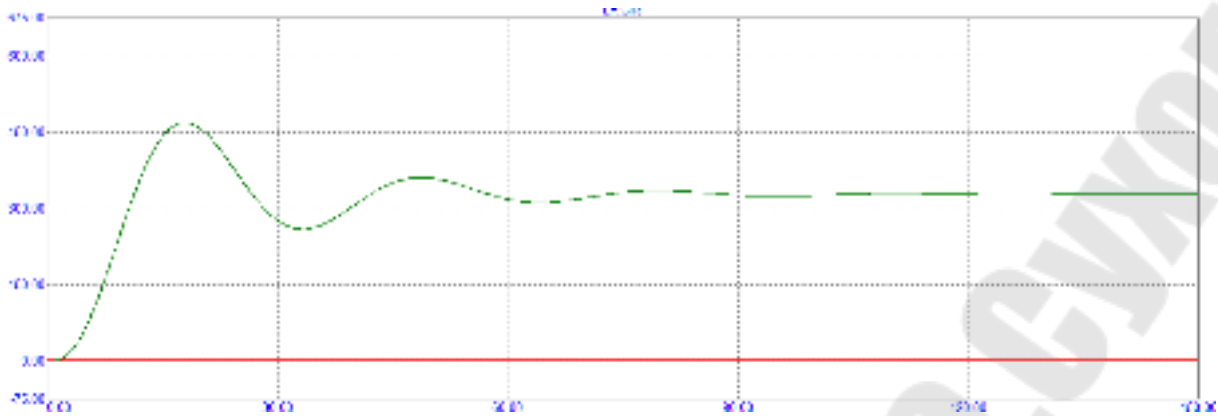


Рис. 5.5 Переходная характеристика разомкнутой САР, полученная в результате изменения параметров T_{OC} и K_{yc}

При нахождении системы на границе устойчивости переходная характеристика представляет собой либо колебательный процесс с постоянной частотой колебаний и/или незначительное увеличение амплитуды переходной функции относительно ее установившегося значения.

Как видно из рисунка 5.5, уменьшение в 10 раз постоянной времени звена обратной связи T_{OC} позволило увеличить значение коэффициента усиления усилителя в критическом, граничном режиме САР до величины 140. В данном рассматриваемом примере в увеличении K_{yc} нет необходимости, но при низком коэффициенте усиления требуется воспользоваться такой возможностью.

Привести разомкнутую САР (рис. 5.5), находящуюся на границе в устойчивое состояние возможно путем уменьшения коэффициента усиления усилителя K_{yc} . В результате получаем переходную характеристику устойчивой разомкнутой САР (рис. 5.6).



Рис. 5.6 Переходная характеристика устойчивой разомкнутой САР

Значение коэффициента усиления усилителя (рис. 5.6) уменьшено в 10 раз (на 20 дБ) по сравнению с его значением в критическом режиме (рис. 5.5). Эту величину можно считать запасом устойчивости по амплитуде контура местной обратной связи. При первоначальной коррекции (передаточная характеристика САР на рис. 5.4) запас по амплитуде составлял 6 дБ.

Общий коэффициент усиления разомкнутого контура САР равен 100, что составляет 40 дБ. Это определяется по установившемуся значению переходной функции на рисунке 5.6. Для обеспечения требуемого качества управления САР желательно иметь коэффициент усиления разомкнутой системы в пределах $10 \div 100$ (20 ÷ 40 дБ), а запас устойчивости по амплитуде в пределах $2 \div 10$ (6 ÷ 20 дБ).

5.3 Анализ устойчивости замкнутой САР

При охвате системы отрицательной обратной связью, устойчивая в разомкнутом состоянии САР может оказаться как устойчивой, так и не устойчивой. Для оценки устойчивости замкнутой САР удобно использовать логарифмический критерий устойчивости Найквиста. Этот критерий позволяет наглядно оценить степень устойчивости замкнутой САР, по логарифмическим характеристикам разомкнутой системы, при этом можно определить, какие меры и средства могут быть применены для параметрической и структурно-параметрической оптимизации САР.

Чтобы проверить обеспечены ли запасы устойчивости по частоте и по фазе построим логарифмические амплитудно-частотную (ЛАЧХ) и фазо-частотную (ЛФЧХ) характеристики.

На рисунке 5.7. представлены логарифмические характеристики разомкнутой стабилизированной САР. Для построения ЛАЧХ и ЛФЧХ необходимо задать пределы частотного диапазона, их следует выбирать таким образом, чтобы на графиках отчетливо были видны все их характерные особенности.

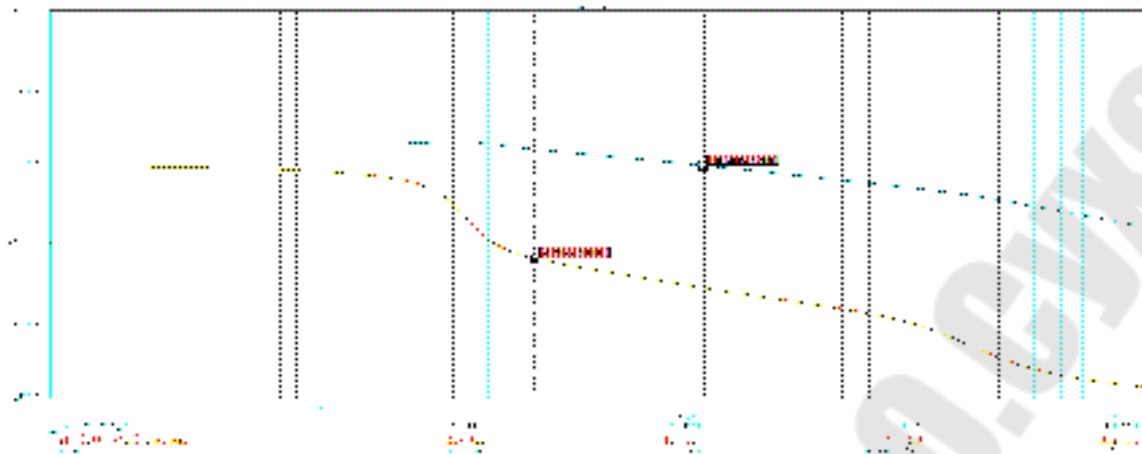


Рис. 5.7 ЛАЧХ и ЛФЧХ САР устойчивой в разомкнутом состоянии

Из анализа полученных характеристик (рис. 5.7) следует, что, согласно логарифмическому критерию Найквиста, при замыкании данная система будет неустойчива, т.к. частота $\omega_{-\pi}$, при которой ЛФЧХ достигает значения $\varphi(\omega_{-\pi}) = -\pi$, ниже, чем частота среза $\omega_{ср}$.

Убедимся в этом, построив переходную характеристику замкнутой САР, устойчивой в разомкнутом состоянии. На рисунке 5.8, представлена переходная характеристика замкнутой САР.



Рис. 5.8 Реакция замкнутой САР на единичный скачок.

Очевидно, что устойчивая в разомкнутом состоянии САР, при замыкании становится неустойчивой, т.к. на переходной характеристике (рис. 5.8) наблюдаются колебания с увеличивающейся амплитудой. Следовательно, модель требует оптимизации и дополнительной коррекции.

6 ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛИ И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ САР

Параметрическая оптимизация модели осуществляется с целью обеспечения рекомендуемых в литературе запасов устойчивости по фазе и амплитуде, и коэффициента усиления контура. Если эти условия не выполняются, проводится структурно-параметрическая оптимизация САР путем введения в контур управления П- или ПИ-регулятора.

6.1 Анализ частотных характеристик и предварительная коррекция САР

Предварительная коррекция замкнутой САР осуществляется посредством вариации значения коэффициента усиления разомкнутого контура. Это достигается введением в модель, показанную на рис. 5.1, а, П-регулятора (усилителя (*gain*) между сумматорами $\sum 1$ и $\sum 2$).

П-регулятор – корректирующее устройство управления САР, реализующее пропорциональный закон управления.

Требуется подобрать такое значение коэффициента усиления П-регулятора, при котором замкнутая система становится устойчивой. В этом случае на логарифмических характеристиках разомкнутой САР должно быть видно, что частота $\omega_{-\pi}$ (частота, при которой ЛФЧХ принимает значение $-\pi$) становится ниже, чем частота среза $\omega_{ср}$ (частота при которой ЛАЧХ пересекает ось частот). Кроме того, для корректной работы САР необходимо обеспечить запас устойчивости: по фазе – в пределах $40^\circ \div 70^\circ$, по амплитуде – $12 \div 20$ дБ. При этом следует учитывать, что для статической системы желательно иметь коэффициент усиления $20 \div 40$ дБ (от 10 до 100 в линейном масштабе).

На рисунке 6.1. представлены логарифмические характеристики скорректированной САР с П-регулятором, которая будет устойчива в разомкнутом и замкнутом состоянии.

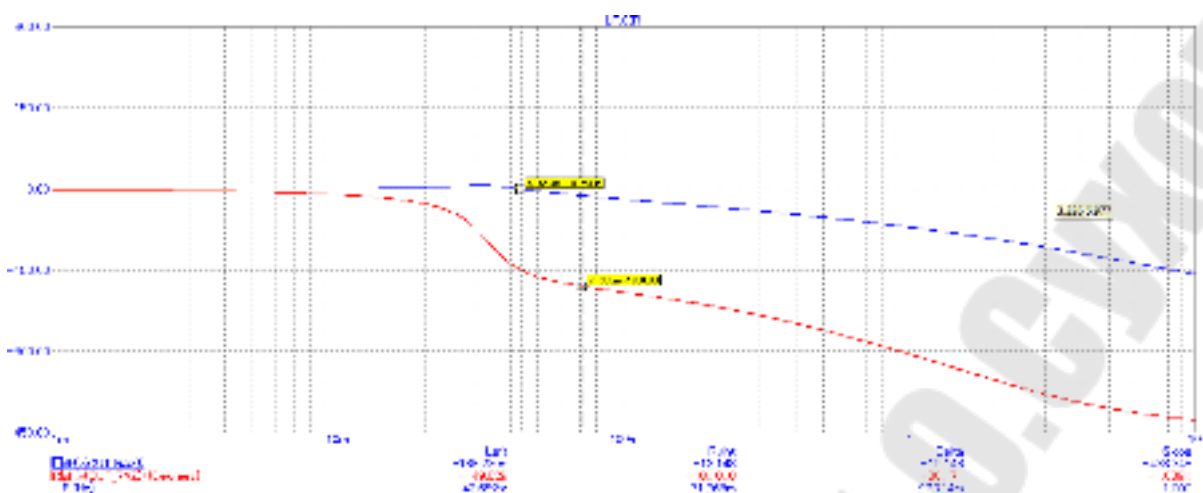


Рис. 6.1 Логарифмические характеристики САР с П-регулятором с усилением, равным 0,01

Как видно из сравнения характеристик (рис. 5.7, рис. 6.1), требуемые запасы устойчивости по фазе и амплитуде возникают при смещении ЛАЧХ вниз, т.е. при уменьшении коэффициента усиления контура, что достигается моделированием П-регулятора с коэффициентом равным 0,01. Запас устойчивости по амплитуде соответствует 20 дБ, а запас по фазе – 14 дБ.

Достигнутое в результате моделирования уменьшение усиления контура в 100 раз соответствует опусканию ЛАЧХ на 40 дБ. Таким образом, результирующее усиление САР составляет 0 дБ, что крайне мало для качественной работы САР в установившемся режиме. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим переходную характеристику САР с П-регулятором (рис. 6.2).

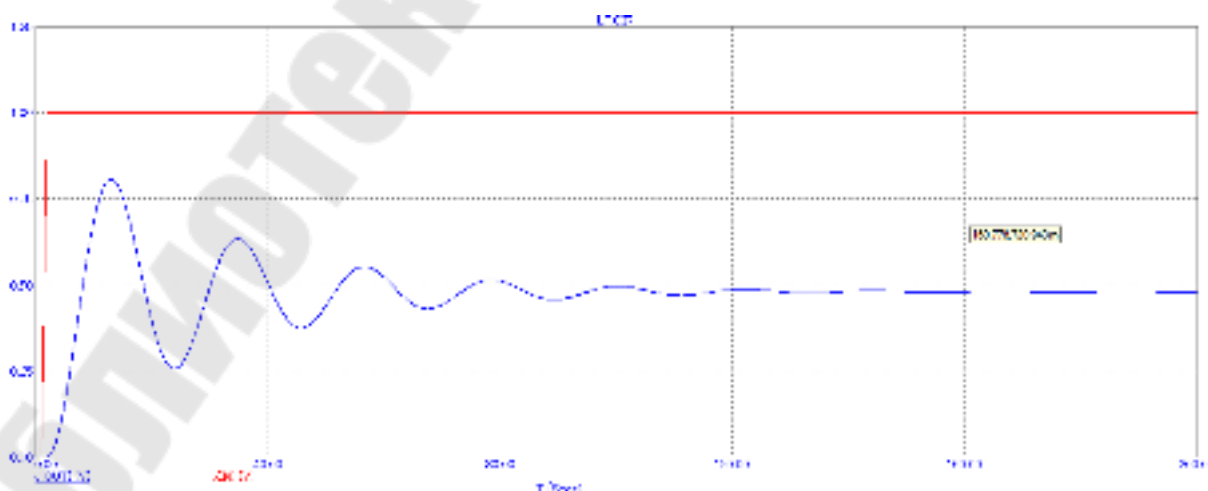


Рис. 6.2 Переходная характеристика САР с П-регулятором

6.2 Оценка показателей качества управления САР

Качество САР оценивается прямыми и (или) косвенными показателями переходного и установившегося режимов.

Косвенные показатели это запасы устойчивости САР по фазе и амплитуде и порядок астатизма. Для статических систем следует назвать и коэффициент усиления контура. Существует и множество других косвенных показателей качества [1].

Прямые показатели качества разделяются на:

– показатели переходного режима – время регулирования $t_{\text{рег}}$ и перерегулирование σ %;

– показатели установившегося режима, основным из которых является установившаяся относительная ошибка (для статических систем) и коэффициенты ошибок по положению C_0 , по скорости C_1 и по ускорению C_2 (для астатических).

Параметр $t_{\text{рег}}$ – это время, соответствующее моменту вхождения графика переходного процесса $h(t)$ в коридор значений выходной величины в пределах 2Δ , где $\Delta = 5\% h_{\text{max}}$.

Перерегулирование – параметр, который определяется в процентах относительно максимального и установившегося значения выходной величины на переходной характеристике по формуле:

$$\sigma = \frac{h_{\text{max}} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} \cdot 100\%.$$

Из анализа полученной переходной характеристики (рис. 6.2) следует, что САР с П-регулятором устойчива, но имеет более длительный переходный процесс по сравнению с исходной. Это происходит из-за уменьшения частоты среза, что увеличивает время переходного процесса (при этом $t_{\text{рег}} = 80$ с), т.е. САР обладает низким быстродействием и достаточно большим перерегулированием ($\sigma \approx 60\%$). Достаточным считается качество управления, при котором величина перерегулирования составляет $10 \div 30\%$.

Рассмотрим, какую величину составляет относительная ошибка регулирования при реакции на единичный скачок ($U_{\text{вх}} = 1$).

Она определяется следующим образом:

$$\delta_{\text{отн}} = \frac{V_{\text{зад}} - V_{\text{уст}}}{V_{\text{зад}}} \cdot 100\%,$$

где $V_{\text{зад}} = \frac{1}{K_{\text{TГ}}}$, об/с – заданная скорость вращения вала при входном единичном сигнале;

$K_{\text{TГ}}$ – коэффициент усиления тахогенератора;

$V_{\text{уст}}$, об/с – установившаяся величина скорости вращения вала (соответствует установившемуся значению на переходной характеристике на рисунке 6.2)

В данном примере $K_{\text{TГ}} = 0,98$, $V_{\text{зад}} = \frac{1}{K_{\text{TГ}}} = \frac{1}{0,98} \approx 1$, $V_{\text{уст}} = 0,47$,

тогда относительная ошибка регулирования составляет:

$$\delta_{\text{отн}} = \frac{1 - 0,47}{1} \cdot 100\% = 53\%,$$

что безусловно является большой величиной.

Таким образом, оптимизация модели путем введения П-регулятора не позволяет получить САР удовлетворительного качества. Поэтому следует провести более серьезную коррекцию САР на основе структурно-параметрической оптимизации. В данном случае это означает, что нужно ввести ПИ-регулятор в контур управления вместо П-регулятора и оптимизировать его настроечные параметры.

6.3 Оптимизация модели САР путем введения ПИ-регулятора и оценка ее показателей качества

Задача оптимизации сводится к нахождению настроечных параметров ПИ-регулятора. ПИ-регулятор – корректирующее устройство управления, которое реализуют пропорционально-интегральный закон управления (ПИ-закон).

Передаточная функция ПИ-регулятора определяется в виде:

$$W_{\text{ПИ}} = \frac{K_{\text{ПИ}}}{1 + pT_{\text{ПИ}}},$$

где $K_{\text{ПИ}}$ – коэффициент усиления ПИ-регулятора;

$T_{\text{ПИ}}$ – постоянная времени ПИ-регулятора.

Определить настроечные параметры ПИ-регулятора можно приближенно по логарифмическим частотным характеристикам предварительно скорректированной САР с П-регулятором (рис.6.2). Для этого на данной характеристике требуется провести две

асимптоты с наклонами 0 дБ/дек и -20 дБ/дек и определить частоту их сопряжения $\omega_{сопр}$. Величина обратная этой частоте: $T_{ПИ} = \frac{1}{\omega_{сопр}}$

и будет являться постоянной времени ПИ-регулятора.

На рисунке 6.3 представлены логарифмические характеристики скорректированной САР с ПИ-регулятором, которая будет устойчива в разомкнутом и замкнутом состоянии.

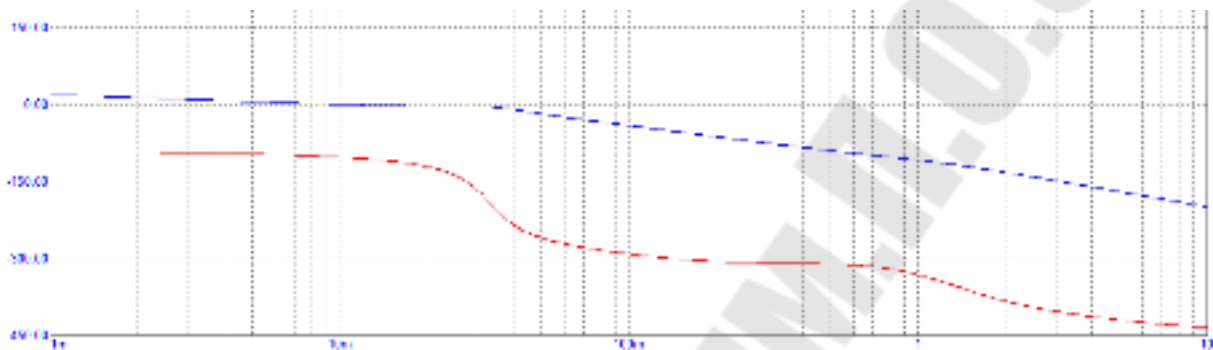


Рис. 6.3 Логарифмические характеристики САР с ПИ-регулятором

Как видно из полученных характеристик, достигнут желаемый коэффициент усиления и обеспечены требуемые запасы устойчивости по фазе и амплитуде. (хорошо бы вставить их значения).

Чтобы проверить качество переходного процесса, построим переходную характеристику САР с ПИ-регулятором (рис. 6.4).

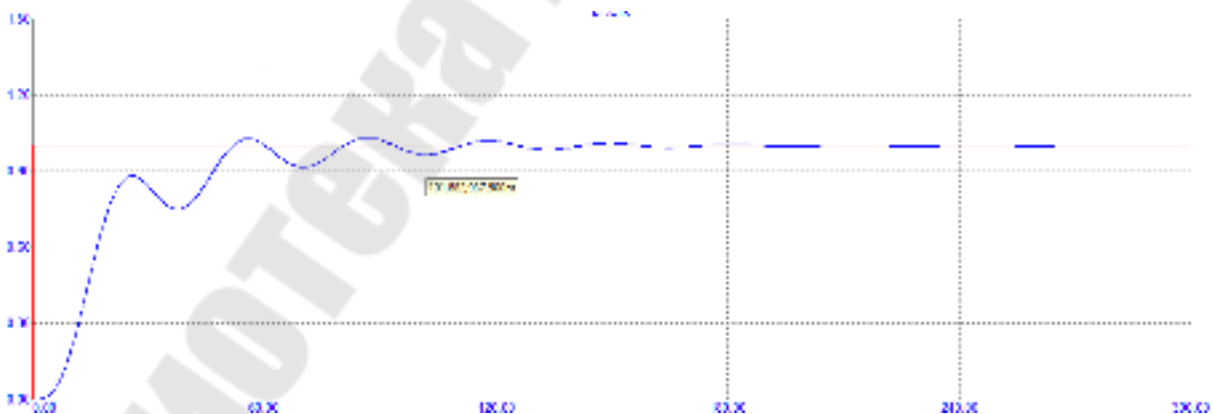


Рис. 6.4 Переходная характеристика САР с ПИ-регулятором

Из анализа полученной переходной характеристики следует, что САР устойчива, время переходного процесса по сравнению с

исходной САР уменьшилось и составляет $t_{\text{пер}} = 120\text{с}$, т.е. система обладает достаточным быстродействием. Значительно снижена колебательность переходного процесса, что было достигнуто введением ПИ-регулятора. Перерегулирование составляет $\sigma \approx 5\%$. Установившаяся относительная ошибка также сведена к нулю за счет интегральной составляющей ПИ-регулятора. При выполнении курсового проекта требуется достичь апериодического переходного процесса с нулевым перерегулированием.

Функциональная схема оптимизированной САР приведена на рисунке 6.5.

Примечание. В пояснительной записке и графическом материале курсового проекта рекомендуется привести на полученной функциональной схеме вместе с условным обозначением блоков рассчитанное значение их передаточных функций.

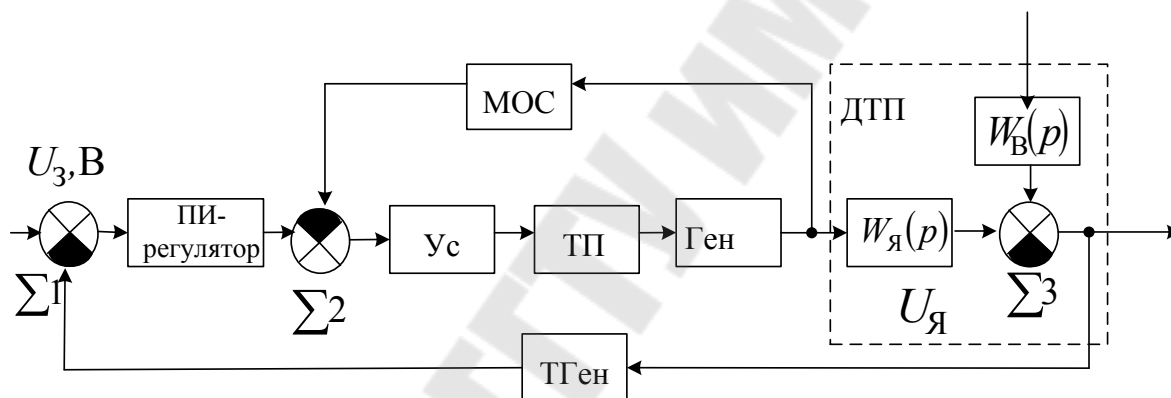


Рис. 6.5 Функциональная схема оптимизированной САР

7 РЕАЛИЗАЦИЯ ДИСКРЕКТНОГО РЕГУЛЯТОРА

Задача управления непрерывным объектом с помощью цифрового (дискретного) регулятора в курсовом проекте сводится к синтезу его параметров. Простой метод синтеза основывается на дискретизации передаточной функции предварительно настроенного непрерывного П- или ПИ-регулятора.

7.1 Методы дискретизации

Один из подходов к дискретизации аналоговых регуляторов – применение одного из методов численного интегрирования: прямого метода Эйлера, обратного метода Эйлера, метода трапеций. Полученные дискретные регуляторы только приближенно заменяют непрерывный, фактически они всегда будут работать несколько хуже, чем их прототип.

Дискретизация по методу Эйлера сводится к замене дифференциального оператора s в передаточной функции аналогового регулятора на:

$$s \leftarrow \frac{z-1}{T}, \quad (7.1)$$

где T – период дискретизации.

Такая замена наиболее проста с точки зрения математических вычислений, но приводит к наибольшей расстройке регулятора-аналогового прототипа.

Дискретизация по обратному методу Эйлера:

$$s \leftarrow \frac{z-1}{z \cdot T}. \quad (7.2)$$

Дискретизация аналогового прототипа, основанная на методе трапеций в теории управления называется преобразованием Тастина. Используя преобразование Тастина, дифференциальный оператор s можно аппроксимировать следующим образом:

$$s \leftarrow \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1}. \quad (7.3)$$

При использовании этого метода происходит достаточно точная дискретизация с сохранением всех свойств системы.

Стоит обратить внимание, что формулы замены (7.2) и (7.3) эквивалентны с точки зрения требований к вычислительной мощности и точности полученной дискретной модели. Выбор между методами (7.2) и (7.3) остается на стороне студента.

Бывают случаи, когда моделирование системы построенной методом Тастина и обратным методом Эйлера не возможно, или занимает слишком много времени. Тогда имеет смысл воспользоваться заменой (7.1).

7.2 Структурная модель цифрового регулятора

Для работы дискретного регулятора на его вход необходимо подавать дискретные во времени выборки значений аналогового сигнала. Простейший элемент, выполняющий дискретизацию и восстанавливающий непрерывный сигнал по дискретным значениям – это *фиксатор нулевого порядка*. Захватив очередное значение аналогового сигнала, он удерживает его в течение всего периода дискретизации.

В среде *Scilab* фиксатор нулевого порядка реализуется на устройстве выборки хранения.

Функциональная схема САР с дискретным регулятором представлена на рисунке 7.1

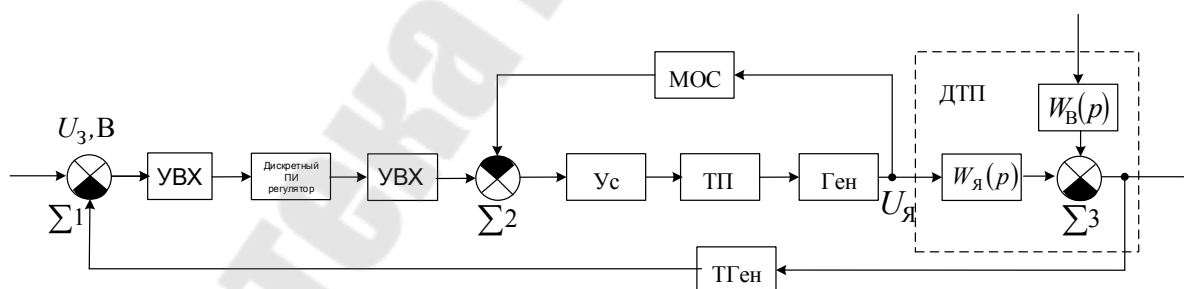


Рис. 7.1 – Функциональная схема САР с дискретным регулятором

Следует обратить внимание, что получение дискретных во времени выборок значений аналогового сигнала – дискретизация – согласно теореме Котельникова-Шеннона должно производиться с частотой по крайней мере в 2 раза превышающей максимальную частоту в спектре сигнала. Таким образом период дискретизации

должен быть минимум в 2 раза меньше, чем наименьшая постоянная времени разработанной САР.

После замены аналогового прототипа на дискретный регулятор требуется повторно провести оценку качества регулирования. Если характеристики САР будут неудовлетворительными, потребуется провести повторную оптимизацию (см. раздел 6 данного руководства).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения курсового проекта была произведена оптимизация системы автоматического регулирования (САР) частоты вращения вала двигателя постоянного тока. Работа над проектом способствовала закреплению лекционного материала по дисциплине «Теория автоматического управления» и повышению практических навыков в решении технических задач. В проекте были проработаны следующие вопросы:

- проведен аналитический обзор по теме курсового проекта, в ходе которого принято решение воспользоваться логарифмическим критерием Найквиста для оценки устойчивости САР;

- проведен анализ структурной схемы, в результате которого был сделан вывод о том, что из-за наличия обратных связей САР может быть неустойчивой в замкнутом положении;

- построена структурно аналитическая модель САР;

- произведен анализ устойчивости САР в разомкнутом и замкнутом состояниях, на основании чего было принято решение о структурно-параметрической оптимизации модели САР;

- при оценке качества регулирования был сделан вывод о том, что введение П- регулятора не решает проблемы качества управления, После использования для коррекции САР ПИ-регулятора, качество управления стало удовлетворительным: уменьшилось время регулирования, пропала колебательность переходного процесса, т.к. из-за интегральной составляющей ПИ-регулятора, переходный процесс стал апериодическим.

Список использованных источников

1. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд-во «Профессия», Санкт-Петербург, 2004
2. Востриков А.С., Французова Т.А. Теория автоматического регулирования. М.: Высшая школа, 2006
3. Горошков Б.И. Автоматическое управление М.; Высшая школа, 2003
4. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления, Изд-во «Политехника», Санкт – Петербург, 2005
5. Ким Д.П. Теория автоматического управления (в 2-х частях). М.; Физматлит, 2007
6. Певзнер Л.Д. Практикум по ТАУ. М.: Высшая школа, 2006
7. Теория автоматического управления под ред. Яковлева В.Б. М.; Высшая школа, 2003
8. Юревич В.И. Теория автоматического управления, Изд-во БХВ-Петербург, Санкт – Петербург, 2007

Содержание

Введение	3
1 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	4
2 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ	7
2.1 Требования к изложению текста.....	8
2.2 Формулы	8
2.3 Оформление иллюстраций и приложений	9
2.4 Ссылки на источники литературы.....	10
3 ТЕМЫ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	12
4 АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ.....	13
4.1 Описание принципа действия САР	14
4.2 Построение структурно-аналитической модели САР.....	15
4.2.1 Определение передаточных функций элементов САР	15
4.2.2 Построение аналитической модели структурной схемы.....	17
5 АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗОМКНУТОЙ САР И ЕЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ	20
5.1 Анализ устойчивости разомкнутой САР	20
5.2 Коррекция разомкнутой САР.....	23
5.2.1 Стабилизация разомкнутого контура САР путем изменения коэффициента усиления усилителя.	23
5.2.2 Стабилизация разомкнутого контура САР путем изменения постоянной времени звена обратной связи по напряжению и коэффициента усиления усилителя.....	25
5.3 Анализ устойчивости замкнутой САР	27
6 ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛИ И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ САР	29
6.1 Анализ частотных характеристик и предварительная коррекция САР	29
6.2 Оценка показателей качества управления САР.....	31
6.3 Оптимизация модели САР путем введения ПИ-регулятора и оценка ее показателей качества	32
7 РЕАЛИЗАЦИЯ ДИСКРЕТНОГО РЕГУЛЯТОРА	35
7.1 Методы дискретизации.....	35
7.2 Структурная модель цифрового регулятора.....	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	38

Список использованных источников.....	39
Содержание.....	40
Приложение А.....	42
Приложение Б.....	46
Приложение В.....	47

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Задания на курсовое проектирование

Вариант 1. Анализ и оптимизация системы автоматического регулирования частоты вращения вала двигателя постоянного тока. Функциональная схема представлена на рисунке 1.

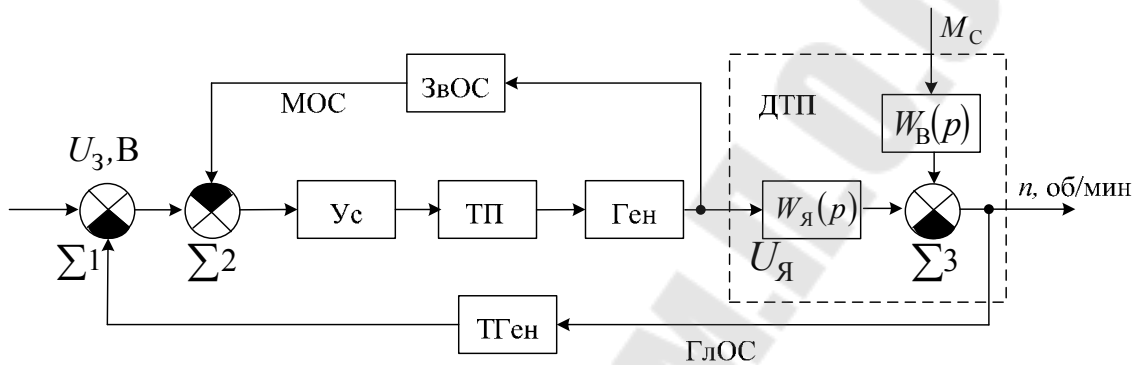


Рис. 1. . Функциональная схема системы автоматического регулирования частоты вращения вала двигателя постоянного тока

Вариант 2. Анализ и оптимизация автоматической системы передачи угла поворота с исполнительным двигателем.

Входная величина: угол поворота в пределах $0 \div 2\pi$, получаемый от внешнего устройства.

Выходная величина: отсчитываемый на индикаторе угол поворота.

Входной преобразователь необходимо создавать на основе вращающихся трансформаторов или сельсинов.

Функциональная схема автоматической системы измерения угла представлена на рис.2:

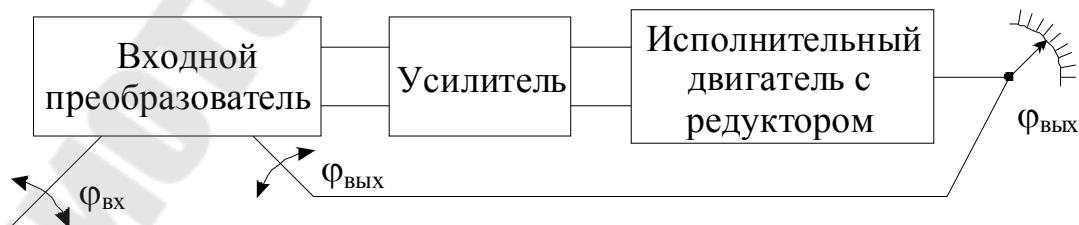


Рис. 2. . Функциональная схема автоматической системы измерения угла

Вариант 3. Анализ и оптимизация автоматической системы измерения угла (курса, поворота антенны).

Входные величины: $\vec{V}_1 = V_1 e^{j\varphi_1}$ и $\vec{V}_2 = V_2 e^{j\varphi_2}$ – вектора двух скоростей. Угол курса φ определяется аргументом суммарной скорости $\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 = V e^{j\varphi}$.

Для вычисления угла курса φ необходимо использовать СКВТ в режиме построителя. Векторы \vec{V}_1 и \vec{V}_2 заданы напряжениями переменного тока $u_1(t) = U_{1max} \sin(2\pi ft)$, $u_2(t) = U_{2max} \sin(2\pi ft)$ с частотой $f = 500$ Гц и максимальной амплитудой $U_{1max} = U_{2max} = 10$ В и углами поворота φ_1, φ_2 в пределах $0 \div 2\pi$.

Функциональная схема автоматической системы вычисления угла курса представлена на рис.3.



Рис.3. Функциональная схема автоматической системы вычисления угла курса

Вариант 4. Анализ и оптимизация автоматической системы привода антенны РЛС.

Входная величина: угол поворота в пределах $0 \div 2\pi$, задаваемый оператором.

Выходная величина: угол поворота, характеризующий положение антенны РЛС.

Входной преобразователь необходимо создавать на основе вращающихся трансформаторов или сельсинов.

Функциональная схема автоматической системы привода антенны РЛС представлена на рис.3.

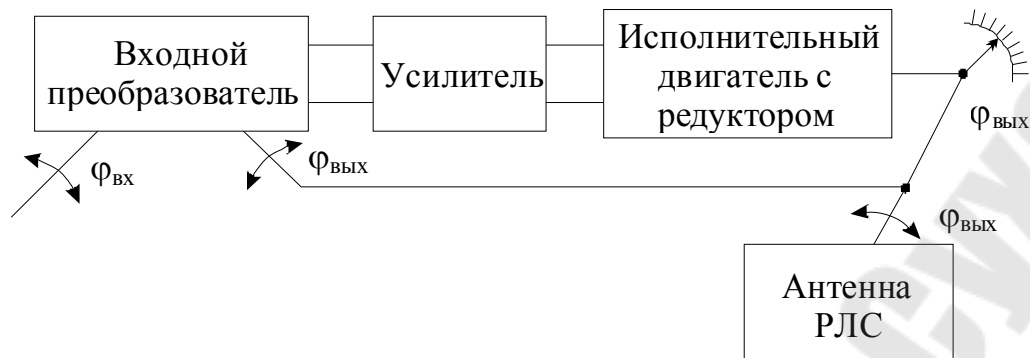


Рис. 4. Функциональная схема автоматической системы привода антенны РЛС

Вариант 5. Автоматическая система измерения модуля вектора суммарной скорости.

Входные величины: $\vec{V}_1 = V_1 e^{j\varphi_1}$ и $\vec{V}_2 = V_2 e^{j\varphi_2}$ – векторы двух скоростей. Необходимо вычислить и преобразовать в отсчитываемый угол поворота модуль суммарной скорости $\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 = V e^{j\varphi}$.

Для вычисления модуля вектора суммарной скорости V необходимо использовать СКВТ в режиме построителя. Векторы \vec{V}_1 и \vec{V}_2 заданы напряжениями переменного тока $u_1(t) = U_{1\max} \sin(2\pi ft)$, $u_2(t) = U_{2\max} \sin(2\pi ft)$ с частотой $f = 500$ Гц и максимальной амплитудой $U_{1\max} = U_{2\max} = 10$ В и углами поворота φ_1, φ_2 в пределах $0 \div 2\pi$.

Функциональная схема автоматической системы измерения модуля вектора суммарной скорости представлена на рис.5.

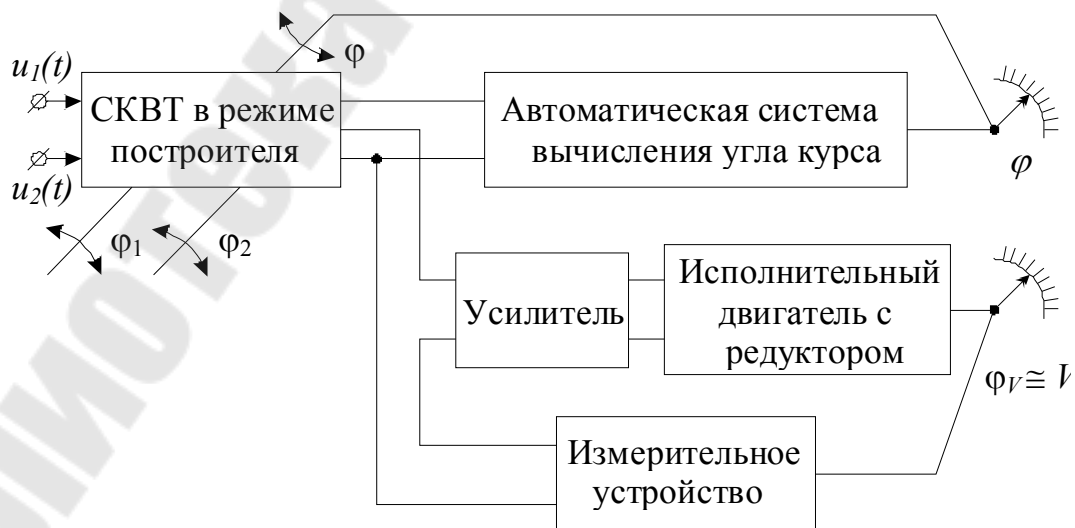


Рис.5. Функциональная схема автоматической системы измерения модуля вектора суммарной скорости

Примечание: для этого варианта расчет автоматической системы вычисления угла курса производить не надо.

Вариант 6. Анализ и оптимизация автоматической системы стабилизации платформы «на качке».

Входная величина: неизменный угол поворота от гироагрегата.

Выходная величина: угол поворота, характеризующий положение одной из осей платформы.

Входной преобразователь необходимо создавать на основе вращающихся трансформаторов или сельсинов.

Функциональная схема автоматической системы стабилизации платформы «на качке» представлена на рис.6.

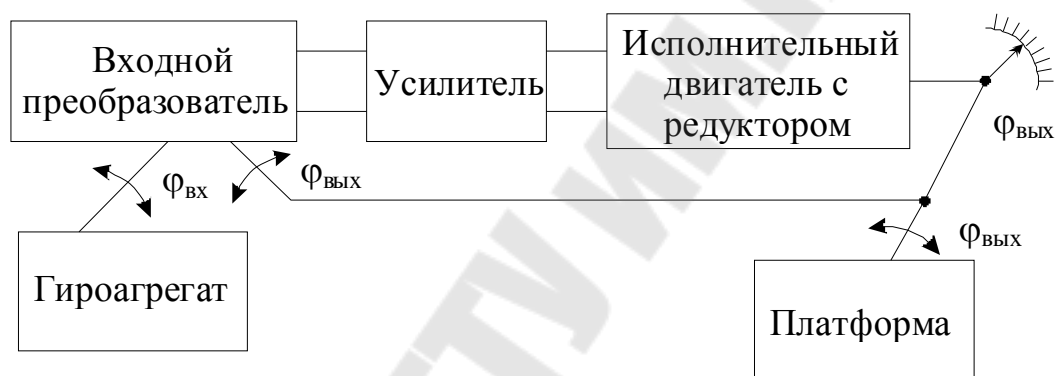


Рис.6. Функциональная схема автоматической системы стабилизации платформы «на качке»

Приложение Б

	Содержание	стр.
Введение.....		3
1 Аналитический обзор.....		4

					ГГТУ.1-53.01.31.N ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>					Тема курсового проекта 46	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Консульт.</i>								
<i>Руководит.</i>						ИС-31		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>								

Образец рамки



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		Лист

**Котова Юлия Евгеньевна
Хананов Валентин Андреевич**

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию для студентов
специальности 1-53 01 07 «Информационные
технологии и управление в технических системах»
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 24.06.19.

Рег. № 81Е.
<http://www.gstu.by>