

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Теоретическое изучение тем дисциплины	5
1.1 Введение. Принципы построения автоматических систем управления	5
1.2 Математическое описание линейных АСУ	6
1.3 Точность систем автоматического управления в установившемся режиме	9
1.4 Устойчивость системы автоматического управления... ..	10
1.5 Качество переходных процессов линейных систем автоматического управления	12
1.6 Коррекция систем автоматического управления	13
2 Самостоятельная подготовка к практическим занятиям	14
2.1 Составление дифференциальных уравнений отдельных элементов АСУ и определение их передаточных функций	14
2.1.1 Дифференциальное уравнение и передаточная функция двигателя постоянного тока с независимым возбуждением	18
2.1.2 Дифференциальное уравнение генератора постоянного тока с независимой обмоткой возбуждения... ..	21
2.1.3 Передаточная функция тиристорного преобразователя	23
2.1.4 Передаточные функции операционного усилителя.....	26
2.1.5 Передаточная функция тахогенератора	26
2.1.6 Уравнение и передаточная функция датчика рассогласования	28
2.2 Построение структурной схемы АСУ	30
2.3 Расчет коэффициентов передачи и постоянных времени электродвигателя	31
2.4 Определение передаточной функции АСУ без корректирующего звена	33
2.5 Исследование АСУ без корректирующего устройства на устойчивость	33
2.6 Выбор корректирующего устройства из условий заданных показателей качества АСУ	35
2.7 Проверка показателей качества переходного процесса скорректированной АСУ	35
Литература	37

Введение

Цель изучения дисциплины состоит в приобретении будущим специалистом знаний методов и средств получения и использования информации о параметрах технологического процесса при производстве чугуна, стали и проката, знаний основных средств автоматизации, методов составления математических описаний объектов управления, основных принципов построения автоматических систем управления /АСУ/, методов анализа качества их функционирования и способов улучшения качества /коррекция АСУ/. Базовым разделом дисциплины является раздел "Основы теории автоматического управления /ТАУ/, который требует знаний студентом предшествующих дисциплин "Высшая математика", "Физика", "Теоретическая механика", "Электротехника и промышленная электроника", "Электропривод и автоматизация металлургических машин". Перед началом изучения курса необходимо повторить разделы указанных дисциплин.

Осваивать материал раздела дисциплины рекомендуется в порядке, приведенном в настоящих методических указаниях. Изучение последующих вопросов возможно только после глубокого усвоения основных положений предыдущих вопросов.

После изучения каждой темы необходимо ответить на вопросы для самопроверки, приведенные в данных методических указаниях.

За последние годы издано множество учебников по ТАУ, отличающихся друг от друга методикой изложения, терминологией и обозначениями. При выборе учебника необходимо, прежде всего, обратить внимание на полноту его соответствия программе дисциплины. Наиболее широко раздел дисциплины по основам ТАУ отражен в учебниках, которые указаны в списке рекомендуемой литературы, приведенном в конце методических указаний.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Введение. Принципы построения автоматических систем управления

Предмет и задачи ТАУ. Основные понятия и определения. Функциональная схема АСУ. Объект управления. Управляющие и возмущающие воздействия.

Основные принципы управления. Классификация АСУ по виду алгоритма управления. Разомкнуты, замкнутые и комбинированные АСУ.

Классификация АСУ по алгоритму функционирования: программные, следящие, системы стабилизации.

Типовые функциональные схемы, принцип действия. Основные элементы. Краткие сведения о развитии ТАУ. Литература /1, с.1-27; 2, с.1-46; 3, с.5-28/.

Прежде всего необходимо уяснить сущность автоматизации и её значение в развитии народного хозяйства страны. Обратит внимание на задачи в области механизации и автоматизации производства.

Большое внимание при изучении темы уделить усвоению терминов и обозначений, используемых в ТАУ.

Необходимо четко уяснить принципы построения АСУ. Следует знать, что наиболее широко в современных системах автоматического управления используется принцип обратной связи регулирование по отклонению от заданного значения.

При изучении дисциплины основное внимание уделяется не техническим свойствам отдельных элементов АСУ, а функциям, которые они выполняют в системе, характеру связей между ними. Наглядное представление об этом дают функциональные схемы АСУ.

В заключение следует ознакомиться с основными этапами развития ТАУ и тем вкладом, который внесли в её разработку отечественные ученые.

Вопросы для самопроверки

1. Какова роль автоматизации в улучшении качества продукции, повышении эффективности производства и ускорении технического прогресса?

2. Дать определение объекта управления, регулятора и АСУ.

3. Назовите основные принципы управления, применяемые в АСУ.

4. Как классифицируются АСУ по алгоритму функциониро-

вания?

5. Что показывает функциональная схема АСУ?

6. Приведите функциональные схемы разомкнутых, замкнутых и комбинированных систем, укажите их преимущества и недостатки.

1.2 Математическое описание линейных АСУ

Понятие о режимах работы АСУ: установившемся и переходном. Порядок составления уравнений динамики и статики АСУ. Звенья направленного действия. Понятие о линеаризации уравнения. Операторная форма записи уравнений линейных схем.

Передаточные функции линейных динамических систем, и их определение по дифференциальным уравнениям. Типовые динамические звенья и их классификация.

Дифференциальные уравнения, операторы, передаточные функции, непереходные и импульсные /весовые/ функции, типовых динамических звеньев.

Соединение звеньев направленного действия. Передаточные функции при последовательном и параллельном соединении звеньев. Передаточные функции звеньев при охвате их обратными связями.

Структурные /алгоритмические/ схемы АСУ. Правила составления и изображения структурных схем. Одноконтурные и многоконтурные АСУ. Правила преобразования структурных схем.

Передаточные функции: по входному воздействию, по возмущению, по ошибке АСУ.

Передаточные функции замкнутой и разомкнутой систем, связь между ними. Литература/1, с.21-27; 2, с.46-131; 3, с.33-58/.

Для усвоения материала данной темы и последующего материала дисциплины следует знать основные положения теории линейных дифференциальных уравнений и преобразования Лапласа. Поэтому необходимо перед изучением темы повторить эти разделы курса высшей математики.

Изучение темы следует начать с определения понятия "установившийся" режим и характеристик данного режима. Полезно вспомнить статические характеристики электродвигателей, генераторов /механические характеристики, характеристики намагничивания и т.д./. Нужно научиться четко различать входные и выходные сигналы, а также возмущения, действующие на изучаемый элемент в установившемся /статическом/ режиме работы.

Обратить внимание на способы расчета статических характеристик, т.е. на аналитическое представление зависимости между входным и выходным сигналами в установившемся режиме. Следует ознакомиться с методикой экспериментального определения статических характеристик и их графическим представлением.

Большая часть элементов АСУ имеет нелинейные статические характеристики. Поэтому во многих случаях невозможно найти аналитическую зависимость между входным и выходным сигналами в установившемся режиме.

Далее можно перейти к изучению записи дифференциальных уравнений АСУ.

Точные дифференциальные уравнения АСУ, в состав которых входят нелинейные элементы, являются нелинейными. Исследование нелинейных уравнений связано со значительными трудностями. В целом ряде случаев нелинейности являются не существенными, что позволяет провести линеаризацию, т.е. замену нелинейных уравнений линейными. Сущность линеаризации состоит в том, что при анализе рассматриваются не абсолютные значения воздействия на АСУ, а лишь малые отклонения от номинальных значений, характеризующих режим работы. При этом считается, что параметры системы при малых отклонениях воздействия от своих номинальных значений остаются неизменными. Линеаризация уравнений существенно упрощает дальнейший анализ системы и расширяет возможности самого анализа. Поэтому следует обратить особое внимание на изучение способов линеаризации дифференциальных уравнений и способов представления дифференциальных уравнений в отклонениях и в безмерной форме.

Следует помнить, что математическое описание процессов в системах не может быть идеально точным, не может учитывать все факторы, поэтому дифференциальные уравнения описывают не реальные системы, а их упрощенные модели. Модель позволяет изучить очень сложные объекты и системы, учесть те черты оригинала, которые существенны для исследуемой системы.

При анализе системы управления удобно представить её в виде соединения некоторых типовых элементарных звеньев направленного действия.

Нужно ознакомиться с дифференциальными уравнениями типовых звеньев АСУ: безинерционного, апериодического, интегрирующего, сдельного дифференцирующего, колебательного. Следует уметь представлять АСУ в виде цепочек соединенных между собой типовых звеньев. Студенту рекомендуется самостоятельно составить дифференциальные уравнения генератора постоянного тока с независимым возбуждением, электродвигателя

постоянного тока с независимым возбуждением и т.д. Кроме того, студент должен уметь разделить АСУ на типовые динамические звенья. При этом основное внимание уделить физической сущности преобразования сигналов, проходящих через элементы АСУ. Следует также изучить физическое содержание таких понятий, как постоянные времени и коэффициенты усиления.

Далее следует ознакомиться с понятием "передаточная функция", которая является одним из основных в ТАУ. Для анализа её можно условно разложить на простейшие, элементарные звенья. При этом оказывается, что число таких типовых звеньев невелико. Соединяя их различным образом, можно синтезировать весьма сложную системы, сигнал на выходе которой будет изменяться так же, как и в системе, служащей прототипом синтезируемой. Указанные обстоятельства иллюстрируют общность различных по своей природе систем и позволяют создать общие математические методы их анализа. Поэтому студент должен хорошо изучить передаточные функции типовых динамических звеньев и самостоятельно привести примеры, иллюстрирующие реализацию типовых звеньев техническими устройствами различной физической природы /в т.ч. элементами металлургических приводов/.

Значительную роль при анализе АСУ в ТАУ играют структурные /алгоритмические/ схемы. При изучении алгоритмической схемы следует четко уяснить, как она может быть получена из функциональной схемы. Необходимо понять, что алгоритмическая схема - это математическая модель системы.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое статическая характеристика элемента или системы?
2. Какие характеристики называются линейными и нелинейными?
3. Как строятся статические характеристики?
4. Что такое типовое динамическое звено?
5. Как составляются дифференциальные уравнения звеньев?
6. Что выражает дифференциальное уравнение звена?
7. Как связаны между собой звенья в АСУ?
8. Объясните сущность линеаризации.
9. Что такое постоянная времени и коэффициент усиления? Какую роль играют эти параметры в переходных процессах?
10. Что называется передаточной функцией элемента или системы?
11. Как определить вид передаточной функции по заданному дифференциальному уравнению?

12. Запишите передаточные функции типовых звеньев. Нарисуйте графики изменения выходных величин для каждого типового звена при действии на его вход сигнала типа единичной ступенчатой функции.

13. Какие вам известны типы соединения звеньев, и как определить их передаточные функции?

14. Как составляются дифференциальные уравнения АСУ?

15. Как производится линеаризация дифференциальных уравнений АСУ?

16. Что такое структурная схема АСУ?

17. Дайте определение передаточных функций разомкнутой и замкнутой системы.

18. Как определить передаточную функцию разомкнутой системы по её структурной схеме? Приведите пример.

1.3 Точность систем автоматического управления в установившемся режиме

Статический и динамический установившиеся режимы при детерминированных внешних воздействиях.

Типовые законы задающих воздействий, требования к качеству АСУ в установившемся режиме.

Статический режим АСУ. Статические ошибки по задающему и возмущающему воздействиям, статизм системы. Статическое и астатическое регулирование. Расчет статических ошибок для статических систем. Коэффициенты усиления по скорости и ускорению. Влияние параметров системы на статические и динамические ошибки, способы уменьшения ошибок.

Литература /1, с.70-81; 2, с.386-477; 3, с.61-64/.

Точность работы АСУ обычно определяется по ошибке в установившемся режиме, которая для заданной системы зависит от внешнего воздействия, закона его изменения во времени.

Существуют два вида установившихся режимов АСУ при детерминированных воздействиях: статический и динамический.

Статический режим характеризуется тем, что все внешние воздействия и параметры самой системы не меняются во времени.

В зависимости от наличия ошибки в статическом режиме системы делятся на статические /которые имеют статическую ошибку/ и астатические /статические ошибки которых равны нулю/. При этом система, астатическая по отношению к задающему воздействию, может оказаться статической по возмущающему воздействию. Следует иметь четкое представление о коэффици-

енте статизма, о его влиянии на величину ошибки системы.

Необходимо овладеть методикой расчета статических ошибок АСУ, уметь оценивать влияние основных параметров системы на величину статической ошибки.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение статического и динамического установившихся режимов работы АСУ.
2. Дайте определение статической ошибки АСУ.
3. Дайте определение статической и астатической АСУ.
4. Как влияет коэффициент усиления АСУ на величину ошибки?
5. Как определяется точность работы АСУ?

1.4 Устойчивость системы автоматического управления

Понятие об устойчивости линейных АСУ. Связь устойчивости линейных систем с расположением корней характеристического уравнения замкнутой системы на комплексной плоскости.

Сущность и практическое значение критериев устойчивости, их виды.

Алгебраический критерий Рауса-Гурвица. Необходимые и достаточные условия устойчивости для систем, описываемых дифференциальными уравнениями до четвертого порядка предельной коэффициент усиления и его определение по алгебраическому критерию устойчивости.

Частные методы анализа устойчивости. Критерий устойчивости Найквиста-Михайлова.

Литература /I, с.93-107; I, с.331-386; 3, с.89-107/.

Изучение этой проблемы следует начинать с усвоения физической сущности устойчивости и математического условия необходимости и достаточности линеаризованной АСУ.

Для уяснения физической сущности устойчивости целесообразно исследовать поведение линейной АСУ второго порядка, выведенной из состояния равновесия и предоставленной самой себе. Нужно четко уяснить связь отдельных показателей переходного процесса такой системы с величинами и знаками вещественной и мнимой частей корней характеристического уравнения.

Математическое условие устойчивости линеаризованной системы заключается в том, что все корни характеристического уравнения замкнутой системы должны иметь отрицательную вещественную часть. Следовательно, суждение об устойчивости

линеаризованной системы можно было бы свести к нахождению корней её характеристического уравнения. В ТАУ используются методы, которые позволяют установить, не прибегая к решению уравнения, зависимость между коэффициентами, уравнения и знаком вещественной части его корней. Такие методы получили название критериев устойчивости. Студент должен знать все критерии устойчивости, перечисленные в программе дисциплины, уметь выбрать критерий, который является наиболее подходящим для рассматриваемого случая. Следует помнить, что алгебраический критерий Рауса-Гурвица целесообразно применять к системам, которые описываются дифференциальными уравнениями не выше пятого порядка. Критерий устойчивости Михайлова целесообразно применять при исследовании сложных многоконтурных систем. Особенность критерия устойчивости Найквиста в том, что он позволяет решить вопрос об устойчивости системы по её амплитудно-фазовой характеристике в разомкнутом состоянии, которая может быть определена экспериментально.

Студент должен научиться оценивать влияние изменения общего коэффициента усиления системы на её устойчивость.

Вопросы для самопроверки

1. Объясните понятие "устойчивости АСУ".
2. Что значит "устойчивость в малом" и "устойчивость в большом"?
3. Объясните физическую сущность, причину явления неустойчивости АСУ.
4. Почему для исследования устойчивости АСУ достаточно знать однородное дифференциальное уравнение системы?
5. Что выражает характеристическое уравнение АСУ?
6. Как связана устойчивость АСУ с корнями характеристического уравнения?
7. В чем недостатки анализа устойчивости АСУ по корням характеристического уравнения?
8. Перечислите критерии устойчивости и объясните, чем вызвана необходимость их применения.
9. Составьте таблицу коэффициентов Рауса-Гурвица и объясните порядок вычисления диагональных определителей.
10. В каких случаях целесообразно применять алгебраический критерий устойчивости?
11. Что такое предельный коэффициент усиления?
12. Определите предельный коэффициент для системы третьего порядка /статический и астатический/.

1.5 Качество переходных процессов линейных систем

автоматического управления

Неустановившиеся процессы в АСУ.

Технические требования к качеству переходного процесса. Основные показатели качества.

Прямые и косвенные методы анализа качества переходного процесса.

Типовые воздействия. Постановка задачи анализа качества при типовых воздействиях.

Построение кривой переходного процесса с помощью преобразования Лапласа. Применение вычислительных машин для анализа переходных процессов.

Литература /1, с.112-140; 2, с.386-434; 3, с. 107-124/.

Изучение данного раздела рекомендуется начать с анализа вида кривых переходного процесса для устойчивых систем. При этом необходимо уяснить, что представляет собой понятие "показатели качества переходного процесса регулирования". О качестве переходного процесса судят по ряду показателей /быстродействие, колебательность, перерегулирование/.

Обычно основные показатели качества определяются для единичного ступенчатого воздействия при нулевых начальных условиях, т.е. по переходной характеристике АСУ.

Существуют три группы методов построения переходной характеристики: аналитические, приближенные графические и с помощью вычислительных машин. Последнему методу в настоящее время отдается предпочтение.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислить основные показатели качества.
2. В чем заключаются прямые методы определения показателей качества?
3. Что такое перерегулирование? Как оценивается перерегулирование и какую роль играет этот показатель качества?
4. Какую роль играет колебательность и как оценивается этот показатель качества?
5. В чем заключается метод корневого годографа?

1.6 Коррекция систем автоматического управления

Необходимость коррекции АСУ, методы коррекции. Последовательная коррекция АСУ. Влияние последовательной коррекции на динамические свойства системы.

Параллельная коррекция АСУ /коррекция обратными связями/. Типы обратных связей. Влияние жесткой и гибкой обратных связей на динамические свойства типовых звеньев и системы. Технические средства коррекции.

Сравнительная оценка коррекции АСУ с помощью последовательных и параллельных корректирующих устройств.

Синтез корректирующих устройств в системах подчиненного регулирования.

Литература /1, с.140-170; 2, с.625-653; 3, с.130-180/.

При проектировании АСУ приходится решать задачи обеспечения устойчивости и качества процесса регулирования.

Удовлетворительное решение задачи обеспечения как по требуемому запасу устойчивости, так и по качеству управления может быть достигнуто путем введения в основной контур АСУ специальных устройств, называемых корректирующими.

Физическая основа коррекции заключается в следующем. Динамические свойства системы необходимо изменить с помощью корректирующих устройств таким образом, чтобы приблизить их к желаемым.

Различают два способа коррекции: последовательная и параллельная /обратные связи/. При изучении последовательной коррекции следует обратить внимание на типы применяемых корректирующих устройств.

Во многих случаях, особенно в силовых системах, с помощью корректирующих устройств в цепях обратных связей удастся получить лучшее качество системы. Необходимо уяснить, какие бывают виды обратных связей, как они влияют на структуру и параметры типовых звеньев. С этой целью рекомендуется самостоятельно определить вид передаточных функций, получаемых в результате охвата типовых звеньев отрицательными, положительными, гибкими и жесткими обратными связями, сравнить их с исходной передаточной функцией типового звена, не охваченного обратной связью. Такое сравнение позволяет сделать выводы о характере изменения структуры звена, а также об изменениях постоянной времени и коэффициента усиления, которые происходят из-за включения связей.

Необходимо хорошо представлять основные преимущества и недостатки параллельной и последовательной коррекции.

Следует знать, что в настоящее время преимущественное распространение в тиристорных электроприводах получили си-

стемы, построенные на принципах подчиненного регулирования параметров с последовательной коррекцией. Надо четко представлять, что в этих системах в качестве последовательных корректирующих устройств /регуляторов/ используются активные четырехполюсники, техническая реализация которых осуществляется с помощью операционных усилителей.

Вопросы для самопроверки

1. Покажите, что коррекция АСУ может быть осуществлена с помощью последовательного и параллельного включения корректирующих устройств.

2. Поясните физический смысл коррекции АСУ путем введения производных от сигналов рассогласования в закон управления.

3. Дайте определение жесткой обратной связи.

4. Дайте определение гибкой обратной связи.

5. Опишите влияние жесткой обратной связи на динамические характеристики типовых звеньев, которые охватываются ею.

6. Сущность методики синтеза последовательного корректирующего звена.

7. Объясните принцип построения систем подчиненного регулирования.

8. Изобразите простейшие корректирующие устройства, реализованные в операционных усилителях, запишите их передаточные функции.

2 Самостоятельная подготовка к практическим занятиям

2.1 Составление дифференциальных уравнений отдельных элементов АСУ и определение их передаточных функций

Для составления дифференциальных уравнений отдельных элементов АСУ необходимо прежде всего разделить систему на отдельные элементы. Далее составить структурную /функциональную/ схему. Каждый элемент на функциональной схеме изображается прямоугольником, а связи между отдельными элементами - прямыми линиями со стрелками, показывающими направление воздействия данного элемента на последующие с указанием физической величины, характеризующей воздействия.

Следует различать два типа внешних воздействия на АСУ:

а) задающее /управляющее/ воздействие $x(t)$, которое долж-

но возможно более точно воспроизводиться системой;

б) возмущающее воздействие $f(t)$, влияние которого в АСУ должно возможно полнее подавляться.

В качестве примера на рис. 1 и рис. 2 представлены принципиальная и функциональная схемы системы стабилизации напряжения генератора.

Дифференциальное уравнение элемента составляется на основании соответствующих физических законов, определяющих связь между его входными и выходными переменными. При этом должны учитываться только основные явления, происходящие в описываемом элементе, а второстепенными явлениями пренебрегают /в т.ч. нелинейностями статических характеристик/.

При записи дифференциального уравнения выходная величина $y(t)$ и её производные должны стоять в левой части, причем на первом месте надо поставить производную высшего порядка. Выходная величина должна входить в уравнение с коэффициентом, равным единице; входные величины $x(t)$, $f(t)$, а в более общем случае их производные и другие члены располагают в правой части уравнения.

Уравнения могут быть записаны в дифференциальной и операторной /символической / форме. Например, уравнение апериодического звена в дифференциальной форме имеет вид

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t) \quad (1)$$

а в операторной форме –

$$(Tp + 1)y(t) = kx(t) \quad (2)$$

Операторная форма (2) - более компактная форма записи, чем обычная.

В ТАУ применяется внешне похожая, но принципиально отличная от обычной форма записи, так называемая операционная. Если к переменной $x(t)$ применить преобразование Лапласа, то получим изображение функции

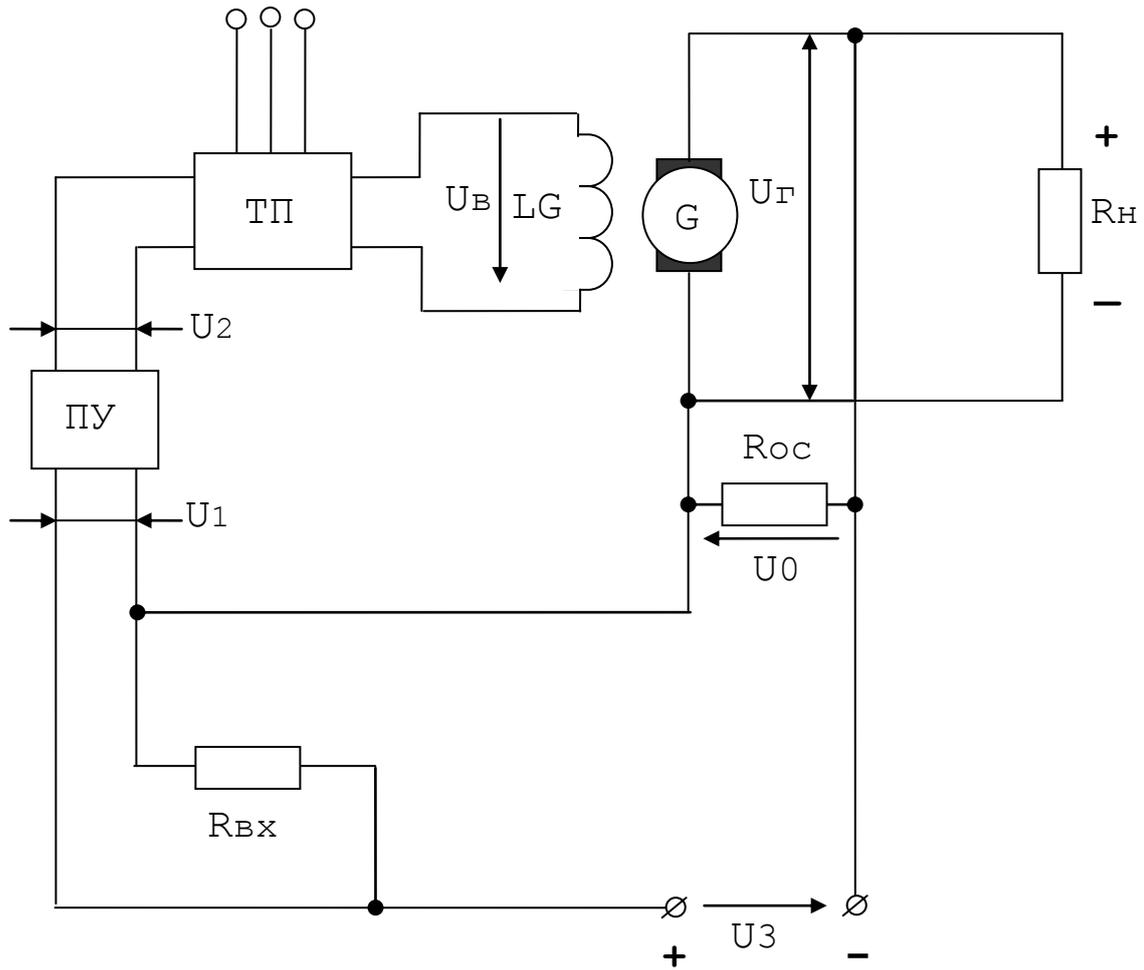


Рис. 1 - Принципиальная схема стабилизации напряжения генератора

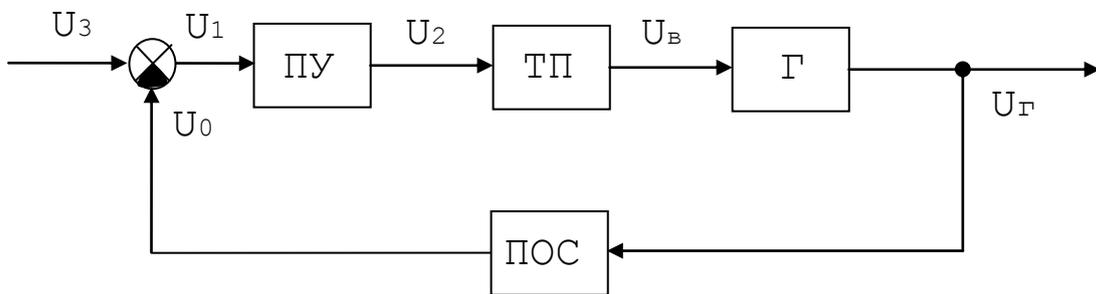


Рис. 2 - Функциональная схема стабилизации напряжения генератора

$$X(p) = \int_0^{\infty} x(t)e^{-pt} dt$$

При нулевых начальных условиях первая производная от $x(t)$ будет иметь изображение $pX(p)$, а вторая - $p^2X(p)$ и т.д. Интеграл от $x(t)$ будет иметь изображение $X(p)/p$. Например, уравнение апериодического звена, записанное в операционной форме, имеет вид

$$(Tp + 1)Y(p) = kX(p) \quad (3)$$

Уравнения одного и того же элемента, записанные в операционной форме (3) при нулевых начальных условиях и в операторной - символической (2), совершенно одинаковы, но принципиально отличаются друг от друга.

Уравнение (2), записанное в операторной форме, - дифференциальное, в нем буква p обозначает оператор дифференцирования d/dt , а переменные $x(t), y(t)$ являются реальными функциями времени. Уравнение (3) - алгебраическое, в нем p является независимой комплексной переменной, а величины $X(p)$, $Y(p)$ - изображениями по Лапласу физических величин $x(t)$ и $y(t)$.

Операционная форма записи уравнений проста и удобна, так как преобразовывать и решать алгебраическое уравнение несравнимо проще, чем дифференциальное. Это и обеспечило её широкое применение в ТАУ.

Получить передаточную функцию элемента возможно, если дифференциальное уравнение записать в операционной форме для нулевых начальных условий и взять отношение изображений по Лапласу выходной $Y(p)$ и входной $X(p)$ величин. Передаточная функция апериодического звена в соответствии с выражением (3)

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{k}{Tp + 1} \quad (4)$$

2.1.1 Дифференциальное уравнение и передаточная функция

двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Дифференциальное уравнение двигателя постоянного тока /ДПТ/ составлено при следующих допущениях:

- 1) Механическая передача абсолютно жесткая, т.е. двигатель имеет одну степень свободы.
- 2) Касса вращающихся частей постоянна.
- 3) Статический момент, приведенный к валу двигателя, постоянен.
- 4) Реакция якоря скомпенсирована.
- 5) Поток двигателя неизменен, т.е. $\Phi = \text{const}$.
- 6) Температура обмотки не изменяется.

При составлении уравнений ДПТ используем законы механического и электрического равновесия.

Вращающий момент двигателя M расходуется на преодоление динамического момента, обусловленного моментом инерции, и статического момента нагрузки M_c , таким образом получаем уравнение моментов.

$$M = M_c + J_d \frac{d\Omega}{dt}; \quad (5)$$

где $J_d \frac{d\Omega}{dt}$ - динамический момент $H \cdot m$;
движущий момент ДПТ

$$M = k\Phi \cdot I_a \quad (6)$$

$$k = \frac{P_p N}{2\pi a}; \quad (7)$$

где k – постоянная машины, определяется по каталожным данным;

P_p – число пар полюсов;

N – число активных стержней;

a – число параллельных ветвей;

I_a – ток якоря, А;

Φ – магнитный поток ДПТ, Вб.

Тогда выражение (5) с учетом уравнения (6) можно записать:

$$k\Phi I_a = J_d \frac{d\Omega}{dt} + M_c \quad (8)$$

В уравнении /8/ входят две независимые переменные - Ω , I_a . В силу

этого необходимо знать дополнительную зависимость, связывающий эти вещи между собой. Такой зависимостью является уравнение электрического равновесия цепи якоря. При принятых ранее допущениях оно имеет вид:

$$U_{\text{я}} = L_{\text{я}} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} + I_{\text{я}} R_{\text{я}} + k\Phi\Omega \quad (9)$$

где $L_{\text{я}}$ – индуктивность цепи якоря;

$R_{\text{я}}$ – внутреннее сопротивление обмотки якоря;

$k\Phi\Omega$ – ЭДС вращения;

$U_{\text{я}}$ – напряжение цепи якоря.

Подставим $I_{\text{я}}$ из выражения (8) в уравнение (9), при допущении, что $M_c = \text{const}$, после преобразования получим:

$$J_{\text{д}} \frac{R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2} \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} \frac{d^2\Omega}{dt^2} + J_{\text{д}} \frac{R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2} \frac{d\Omega}{dt} + \Omega = \frac{1}{k\Phi} U_{\text{я}} - \frac{R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2} M_c \quad (10)$$

здесь электромеханическая постоянная времени

$$T_{M1} = \frac{J_{\text{д}} R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2}; \quad (11)$$

электромагнитная постоянная времени якоря цепи

$$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}; \quad (12)$$

коэффициент передачи ДПТ по напряжению

$$K_{\text{д}} = \frac{1}{k\Phi}; \quad (13)$$

передаточный коэффициент ДПТ по статическому моменту (по возмущающему воздействию)

$$K_{\text{м}} = \frac{R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2}. \quad (14)$$

После подстановки в уравнение (10) принятых обозначений (11), (12), (13), (14), окончательно получим дифференциальное уравнение ДПТ, запи-

санное относительно регулируемой величины Ω , при входном $U_{Я}$ и возмущающим M_C воздействиях:

$$T_{M1}T_{Я} \frac{d^2\Omega}{dt} + T_{M1} \frac{d\Omega}{dt} + \Omega = K_D U_{Я} - K_M M_C \quad (15)$$

Уравнение (15) в операторной (символической) форме при нулевых начальных условиях –

$$(T_{M1}T_{Я}p^2 + T_{M1}p + 1)\Omega(t) = K_D U_{Я}(t) - K_M M_C(t) \quad (16)$$

или в операторной форме по Лапласу –

$$(T_{M1}T_{Я}p^2 + T_{M1}p + 1)\Omega(p) = K_D U_{Я}(p) - K_M M_C(p) \quad (17)$$

Из уравнения (17) на основании принципа суперпозиции найдем передаточную функцию ДПТ по входному (управляющему) и возмущающему воздействиям соответственно:

$$W_1(p) = \frac{\Omega(p)}{U_{Я}(p)} = \frac{K_D}{T_{M1}T_{Я}p^2 + T_{M1}p + 1} \quad (18)$$

$$W_2(p) = \frac{\Omega(p)}{-M_C(p)} = \frac{K_M}{T_{M1}T_{Я}p^2 + T_{M1}p + 1} \quad (19)$$

Если в качестве выходного сигнала считать угол поворота то необходимо учесть еще зависимость

$$\Omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad (20)$$

где φ - угол поворота, рад; Ω – угловая скорость, рад/с, или в операционной форме –

$$\Omega(p) = p\varphi(p). \quad (21)$$

Тогда согласно выражениям (18), (19), (21) передаточные функции приобретают вид:

$$W_3(p) = \frac{\varphi(p)}{U_{\text{я}}(p)} = \frac{K_{\text{Д}}}{p(T_{\text{М1}}T_{\text{Я}}p^2 + T_{\text{М1}}p + 1)}; \quad (22)$$

$$W_4(p) = \frac{\varphi(p)}{-M_{\text{с}}(p)} = \frac{K_{\text{М}}}{p(T_{\text{М1}}T_{\text{Я}}p^2 + T_{\text{М1}}p + 1)}; \quad (23)$$

При $T_{\text{Я}} \ll T_{\text{М1}}$ индуктивность обмотки якоря не учитывают, передаточные функции (18), (19) при $T_{\text{Я}} \approx 0$ можно записать:

$$W_1'(p) = \frac{\Omega(p)}{U_{\text{я}}(p)} = \frac{K_{\text{Д}}}{T_{\text{М1}}p + 1}; \quad (24)$$

$$W_2'(p) = \frac{\Omega(p)}{-M_{\text{с}}(p)} = \frac{K_{\text{М}}}{T_{\text{М1}}p + 1}; \quad (25)$$

2.1.2 Дифференциальное уравнение генератора постоянного тока с независимой обмоткой возбуждения

Регулируемой величиной (выходной) для генератора (см. рис. 1) является напряжение $U_{\text{Г}}$ на зажимах его якоря (1, 2, 3).

За входную (задающую) величину в данном примере принято напряжение обмотки возбуждения генератора $U_{\text{в}}$.

Сделаем следующие допущения, упрощающие задачу:

- 1) Угловая скорость вращения якоря Ω постоянна.
- 2) Гистерезис отсутствует
- 3) Температура обмоток не изменяется.
- 4) Реакция якоря скомпенсирована.
- 5) Индуктивность обмотки якоря $L_{\text{Я}} = 0$.
- 6) Характеристика холостого хода генератора линеаризована и зависимость ЭДС генератора от ампервитков возбуждения.

$$E_{\text{Г}} = \beta w_{\text{в}} I_{\text{в}} \quad (26)$$

где β – коэффициент пропорциональности, зависящий от характеристики холостого хода генератора, $E_{\text{Г}} = f(w_{\text{в}} I_{\text{в}})$.

- 7) Нагрузка генератора $R_{\text{Н}}$ чисто активная.

Уравнение обмотки возбуждения.

$$U_{\text{в}} = L_{\text{в}} \frac{dI_{\text{в}}}{dt} + I_{\text{в}} R_{\text{в}} \quad (27)$$

где U_{ϵ} - напряжение, В;

I_{ϵ} - ток, А;

R_{ϵ} - сопротивление, Ом;

L_{ϵ} - индуктивность обмотки возбуждения генератора, Гн.

Разделив обе части уравнения (27) на R_{ϵ} , получим:

$$\frac{1}{R_{\epsilon}} U_{\epsilon} = T_{\epsilon} \frac{dI_{\epsilon}}{dt} + I_{\epsilon} \quad (28)$$

где T_{ϵ} – постоянная времени обмотки возбуждения генератора, с.

$$T_{\epsilon} = \frac{L_{\epsilon}}{R_{\epsilon}} \quad (29)$$

Из линеаризованной кривой холостого хода генератора (26) имеем

$$I_{\epsilon} = \frac{E_{\Gamma}}{\beta w_{\epsilon}} \quad (30)$$

Подставив значение I_{ϵ} из выражения (30) в уравнение (28), получим:

$$\frac{1}{R_{\epsilon}} U_{\epsilon} = \frac{T_{\epsilon}}{\beta w_{\epsilon}} \frac{dE_{\Gamma}}{dt} + \frac{E_{\Gamma}}{\beta w_{\epsilon}} \quad (31)$$

После преобразований и принятых обозначений уравнение представляется в виде

$$T_{\epsilon} \frac{dE_{\Gamma}}{dt} + E_{\Gamma} = K_{\epsilon} U_{\epsilon} \quad (32)$$

где

$$K_{\epsilon} = \frac{\beta w_{\epsilon}}{R_{\epsilon}} \quad (33)$$

Уравнение для ЭДС якоря цепи генератора

$$E_{\Gamma} = I_{\text{Я}}(R_{\text{Я}} + R_{\text{Н}}) \quad (34)$$

где $I_{\text{Я}}$ – ток, А;

$R_{\text{Я}}$ – сопротивление обмотки якоря, Ом;

$R_{\text{Н}}$ – сопротивление нагрузки, Ом.

Принимая
$$I_{\text{Я}}R_{\text{Н}} = U_{\Gamma} \quad (35)$$

где U_{Γ} – напряжение нагрузки, В, получим:

$$U_{\Gamma} = E_{\Gamma} - I_{\text{Я}}R_{\text{Я}} \quad (36)$$

Уравнение (32), (36) напишем в операторной форме для нулевых начальных условий, а именно:

$$(T_{\epsilon}p + 1)E_{\Gamma}(p) = K_{\epsilon}U_{\epsilon}(p); \quad (37)$$

$$U_{\Gamma}(p) = E_{\Gamma}(p) - I_{\text{Я}}R_{\text{Я}}(p) \quad (38)$$

Из уравнения (37) передаточная функция генератора

$$W_{\Gamma}(p) = \frac{E_{\Gamma}(p)}{U_{\epsilon}(p)} = \frac{K_{\epsilon}}{T_{\epsilon}p + 1} \quad (39)$$

Уравнение (38) учитывает возмущающее воздействие – ток нагрузки.

2.1.3 Передаточная функция тиристорного преобразователя

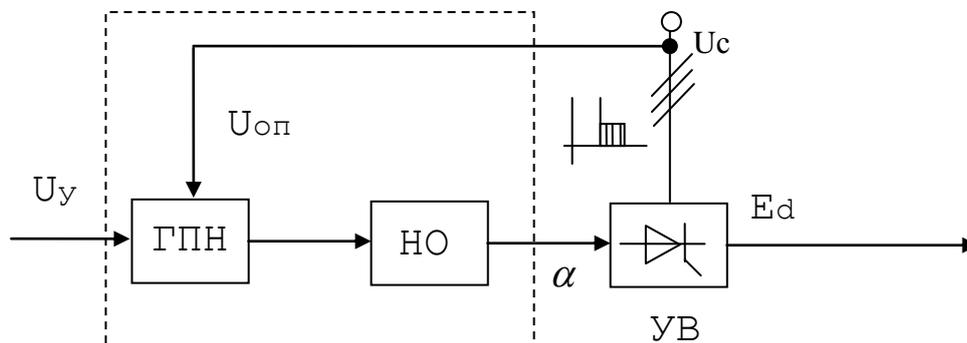
При описании динамических свойств тиристорного преобразователя (ТП) следует четко представить его работу, вспомнить возможные схемы включения преобразователей, их характеристики. Следует знать, что ТП состоит из двух основных частей: силовой части – управляемых вентилей (УВ) и системы импульсно-фазового управления (СИФУ).

Входным сигналом ТП является аналоговая величина – управляющее напряжение постоянного тока U_{γ} (рис. 3, а). За выходную (регулируемую) величину принимают ЭДС преобразователя E_{α} . СИФУ выполняют функцию преобразования аналогового управляющего сигнала в отпирающие тиристоры импульсы. Надо четко представить, этой электрической выходной величиной СИФУ является импульс (со строго определенными параметрами - амплитудой, длительностью, крутизной), а функциональной – угол открывания тиристоров α . Эта величина оказывается входной для си-

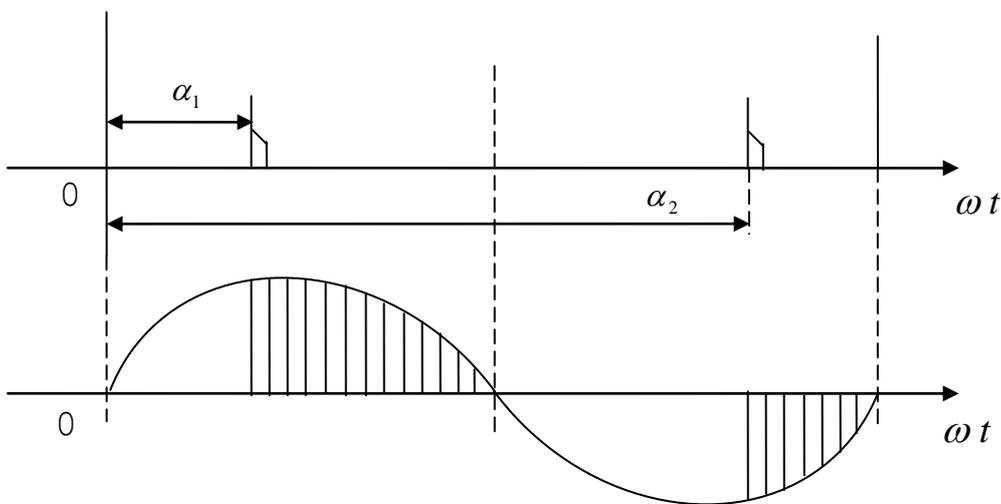
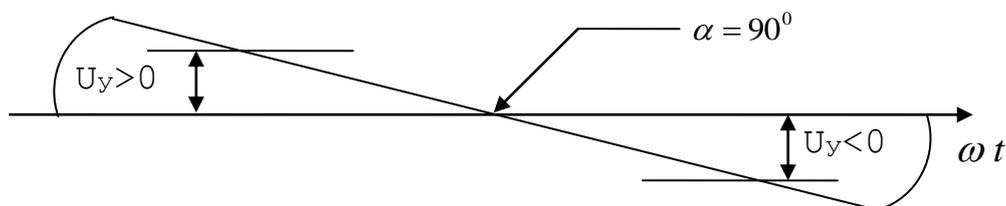
ловой части УВ ТП.

В современных ТП СИФУ строится по вертикальному принципу управления. Управление, описывающее регулировочную характеристику такой СИФУ $\alpha = f(U_y)$, имеет вид [4,5]

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \left[1 - \frac{U_y}{U_{оп}} \right] \quad (40)$$



а



б

а – функциональная схема;

б – принцип фазового управления

Рис. 3 - Тиристорный преобразователь как объект управления

Уравнение (40) представляет собой линейную зависимость, коэффициент передачи СИФУ

$$K_{\alpha} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta U_y} \quad (41)$$

Линейное опорное напряжение $U_{on} \leq U_{num}$, где – напряжение питания элементов АСУ, определяемое элементной базой (транзисторы, транзисторные логические элементы, интегральные микросхемы).

УВ выступает как некоторый генератор, на входе которого среднее значение выпрямляемой ЭДС может быть определено зависимостью [4]

$$E_d = E_{do} \cos \alpha \quad (42)$$

Коэффициент передачи УВ определяется из регулировочной характеристики (42) при ее линеаризации в области рабочей точки (обычно в области $E_d = U_{ан}$ конкретного тиристорного преобразователя):

$$K_{yB} = \frac{\Delta E_d}{\Delta \alpha} = \frac{E_1 - E_2}{\alpha_2 - \alpha_1} \quad (43)$$

Тогда при малых приращениях угла α коэффициент передачи ТП будет определяться как:

$$K_{ТП} = K_{\alpha} K_{yB} \quad (44)$$

С учетом инерционности СИФУ передаточная функция ТП для линеаризованного участка его характеристики

$$W_{ТП}(p) = \frac{E_d(p)}{U_y(p)} = \frac{K_{ТП}}{T_{II}p + 1} \quad (45)$$

где $T_{II} = 0,01 - 0,02$ постоянная времени в с.

Поскольку инерционность ТП мала, учитывать ее имеет смысл для малоинерционной нагрузки, постоянные времени которой соизмеримы с величиной постоянной времени ТП (например, ДПТ). Для нагрузки с большой индуктивностью (например, обмотка возбуждения ДПТ или генератора) инерционность ТП не учитывается: $T_{II} = 0$ и ТП представляется передаточной функцией безинерционного звена:

$$W'_{ТП}(p) = \frac{E_d(p)}{U_y(p)} = K_{ТП} \quad (46)$$

2.1.4 Передаточные функции операционного усилителя

Операционные усилители (ОУ) выполняют функциональные преобразования управляющего сигнала, соответствующее определенным математическим операциям: пропорциональному изменению, интегрированию, интегрально- пропорциональному, дифференциально-пропорциональному преобразованиям. ОУ используются в АСУ как корректирующие звенья, регуляторы.

Для получения необходимого функционального преобразования управляющего сигнала в ОУ используются обратные связи. Для получения передаточной функции ОУ можно воспользоваться типовой схемой [5]. Передаточная функция ОУ относительно одного входа имеет вид

$$W_{oy}(p) = \frac{U_{вых}(p)}{U_{вх}(p)} = \frac{Z_{oc}(p)}{Z_{ex}(p)} \quad (47)$$

где $Z_{oc}(p)$ - операторное сопротивление обратной связи;

$Z_{ex}(p)$ - операторное сопротивление, включенное на вход усилителя.

На следующей странице приведены передаточные функции, схемы соединения ОУ, наиболее часто применяемые в АСУ.

2.1.5 Передаточная функция тахогенератора

В электроприводах металлургических машин для систем стабилизации скорости в качестве датчика скорости используются тахогенераторы постоянного тока (ТГ). Входная величина ТГ – угловая скорость Ω , выходная – напряжение $U_{вых}$, выдаваемое на сопротивлении нагрузки R_H .

При известных допущениях [4,5] ЭДС ТГ.

$$E_{ТГ} = k\Phi \Omega = I(R_{ЯТГ} + R_H) \quad (48)$$

а тогда

$$U_{вых} = IR_H = \frac{k\Phi}{1 + \frac{R_{ЯТГ}}{R_H}} \Omega = K_{ТГ} \Omega \quad (49)$$

где $K_{ТГ}$ - передаточный коэффициент ТГ, $B \cdot c / рад$,

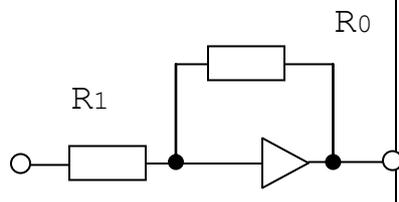
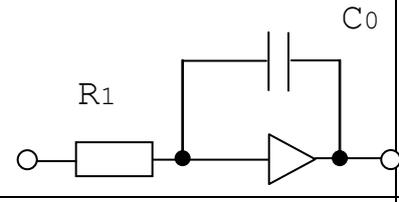
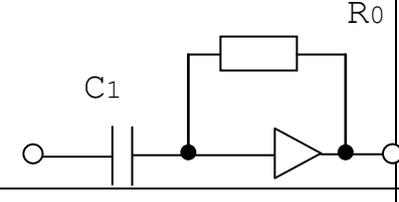
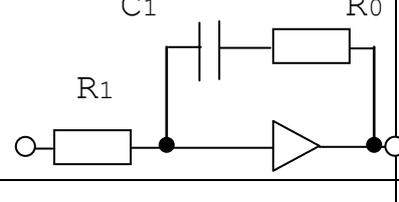
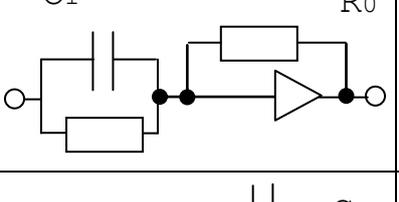
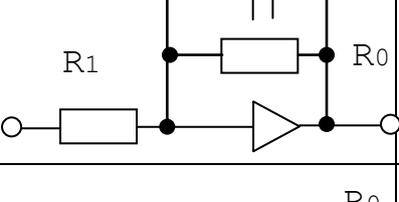
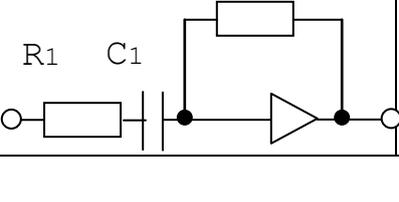
$$K_{ТГ} = \frac{k\Phi}{1 + \frac{R_{ЯТГ}}{R_H}} \quad (50)$$

где k – конструктивная постоянная;

Φ – магнитный поток возбуждения, Вб;

$R_{ягг}$ – сопротивление якорной обмотки и щеточного контакта, Ом.

Таблица 1 - Переходные функции, схемы соединения ОУ, наиболее часто применяемые в АСУ

Принципиальная схема	Передаточная функция	Вид звена
	$W(p) = \frac{Z_{вых}(p)}{Z_{вх}(p)} = -\frac{R_0}{R_1}$	Пропорциональное звено, перемена знака и умножение на постоянную величину
	$W(p) = -\frac{1}{C_0 R_1 p}$	Интегрирующее звено, интегрирование переменной
	$W(p) = C_1 R_0 p$	Дифференцирующее звено, дифференцирование переменной
	$W(p) = -\frac{C_0 R_0 p + 1}{C_0 R_1 p}$	Интегрально-пропорциональное звено
	$W(p) = -\frac{R_0}{R_1} \cdot (C_1 R_1 p + 1)$	Последовательное соединение пропорционального и форсирующего звена
	$W(p) = -\frac{R_0}{R_1} \cdot \frac{1}{C_0 R_0 p + 1}$	Апериодическое звено
	$W(p) = \frac{C_0 R_1 p}{C_1 R_1 p + 1}$	Реальное дифференцирующее звено

Передаточная функция ТГ

$$W_{ТГ}(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{\Omega(p)} = K_{ТГ} \quad (51)$$

При высоких требованиях к точности поддержания скорости для снижения пульсаций к выходу ТГ подключается конденсатор емкостью C (рис. 4.). При этом передаточная функция ТГ приобретает вид

$$W_{ТГ}(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{\Omega(p)} = \frac{K_{ТГ}}{T_{\phi} p + 1} \quad (52)$$

где $T = \frac{R_{\text{ЯТГ}} C}{1 + \frac{R_{\text{ЯТГ}}}{R_H}}$ - постоянная времени фильтра ТГ, с. (53)

2.1.6 Уравнение и передаточная функция датчика рассогласования

В электроприводах металлургических машин, работающих в режиме обработки рассогласования по положениям, используется схема включения двух сельсинов, известное как трансформаторное (рис. 5). В трансформаторном режиме однофазная обмотка сельсина приемника (СП) используется для снятия выходного напряжения. Кроме того, ротор СП механически связан с выходным валом электропривода. Под действием ЭДС роторных обмоток сельсина датчика (СД) в роторных цепях сельсинов проходят токи. Эти токи создают в роторе СП суммарный магнитный поток, который пронизывает однофазную обмотку СП и наводит ЭДС E_C . Если система согласована ($\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 = 0$), то E_C максимально. Однако для измерителя угла рассогласование необходимо, чтобы в согласованном положении ЭДС равнялось нулю. Для этого статор СД разворачивают на 90° по отношению к статору СП. Тогда в согласованном положении $E_C = 0$, если система рассогласована ($\Delta\theta \neq 0$), то

$$E = \frac{3}{4} K_T \frac{E_{\text{max}}}{Z} \sin \theta, \quad (54)$$

где E_{max} - амплитуда выходной ЭДС;

Z – полное сопротивление фазы обмотки ротора;

K_T - коэффициент пропорциональности между током и ЭДС.

В режиме обработки малых углов в рабочей части статической харак-

теристики

$$E_C = K_{op} \Delta\theta \quad (55)$$

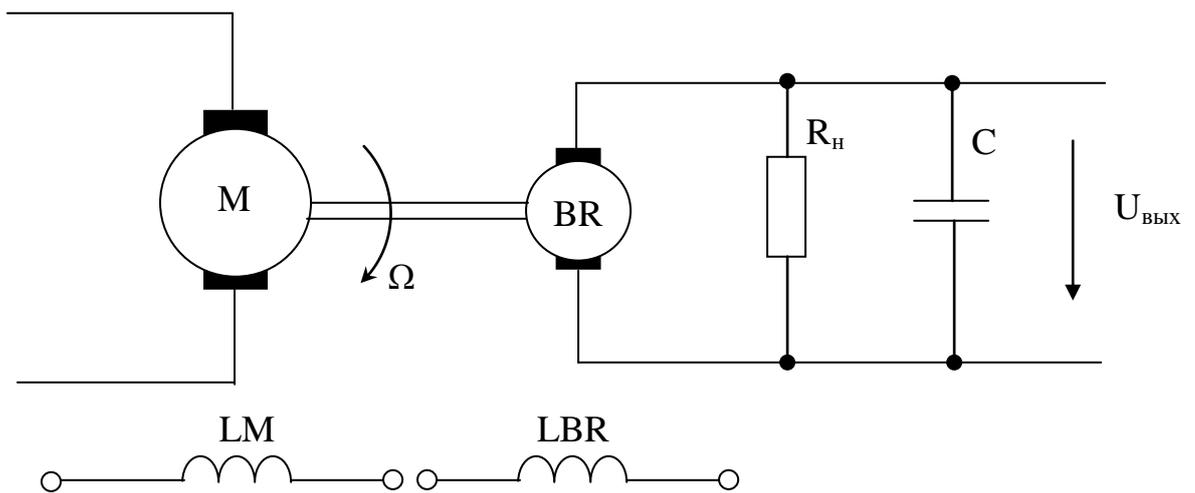


Рис. 4 – Схема подключения тахогенератора

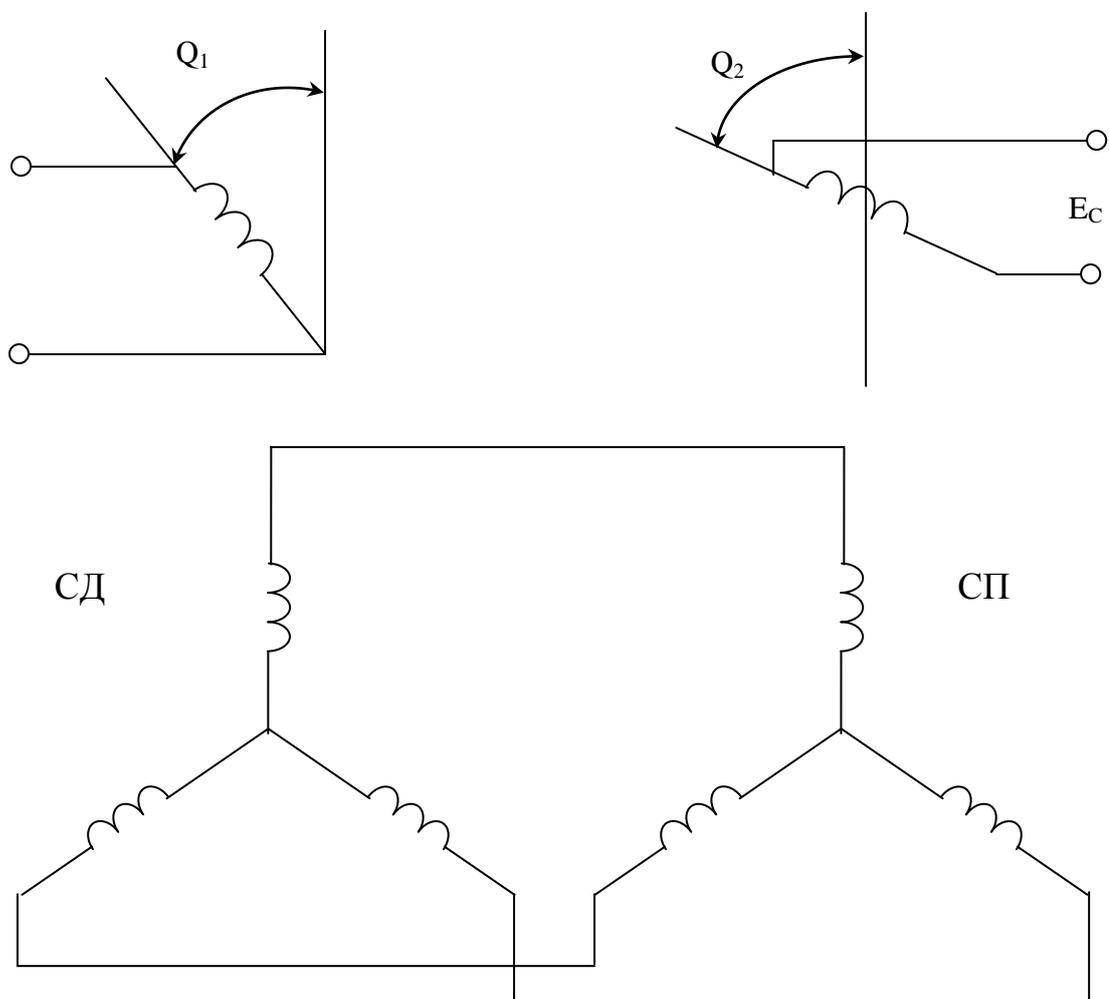


Рис. 5 – Схема включения сельсинов в трансформаторном режиме

где

$$K_{\partial p} = \frac{3}{4} K_T \frac{E_{\max}}{Z} \quad (56)$$

передаточный коэффициент датчика рассогласования, В/рад.

При анализе АСУ с линейными элементами датчик рассогласования следует рассматривать как безинерционное звено, передаточная функция которого

$$W_{\partial p}(p) = \frac{\Delta E_c(p)}{\Delta \theta(p)} = K_{\partial p} \quad (57)$$

2.2 Построение структурной схемы АСУ

После записи в операционной форме уравнений отдельных элементов АСУ и определения их передаточных функций следует перейти к построению структурной (алгоритмической) схемы системы. При этом надо помнить, что структурная схема представляет собой графическое изображение уравнений динамики (алгоритмов) элементов, записанных в операционной форме (в виде передаточных функций).

В качестве примера рассмотрим составление структурной схемы ДПТ при управлении по цепи якоря, если его движение записано системой линеаризованных уравнений, приведенных в п. 2.1.2 настоящих методических указаний (см. уравнение (8) и (9)).

Уравнение (9) описывает переходные процессы в якорной цепи двигателя. За выходную координату принимаем ток якоря $I_{\text{я}}$ ДПТ, за входную – напряжение $U_{\text{я}}$ и противо-ЭДС двигателя.

$$E_{\text{д}} = k\Phi\Omega$$

Тогда выражение (9) после преобразования представляется в виде

$$T_{\text{я}} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} + I_{\text{я}} = \frac{1}{R_{\text{я}}} (U_{\text{я}} - k\Phi\Omega) \quad (58)$$

или в операционной форме для нулевых начальных условий –

$$I_{\text{я}}(p) = \frac{1}{R_{\text{я}}(T_{\text{я}}p + 1)} [U_{\text{я}}(p) - k\Phi\Omega(p)] \quad (59)$$

уравнение (8) приводим к виду

$$\frac{J_{\text{д}} R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2} \frac{d\Omega}{dt} = \frac{R_{\text{я}}}{k\Phi} (I_{\text{я}} - I_{\text{с}}) \quad (60)$$

где

$$\frac{J_{\text{д}} R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2} = T_{\text{М1}}; \quad I_{\text{с}} = \frac{M_{\text{с}}}{k\Phi} \quad (61)$$

Далее следует написать выражение (60) в операционной форме для нулевых начальных условий:

$$\Omega(p) = \frac{R_{\text{я}}}{k\Phi T_{\text{М1}} p} [I_{\text{я}}(p) - I_{\text{с}}(p)] \quad (62)$$

Соответствующая уравнениям (59) и (62) структурная (алгоритмическая) схема приведена на рис. 6.

2.3 Расчет коэффициентов передачи и постоянных времени электродвигателя

Передаточные коэффициенты $K_{\text{д}}$ и $K_{\text{м}}$ из формул (13) и (14) настоящих методических указаний следует определить по данным каталога для данного типа двигателя. Значение $k\Phi$ может быть определено из уравнения

$$k\Phi = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{ян}} R_{\text{я}}}{\Omega_{\text{н}}}, \quad (63)$$

где $U_{\text{н}}$, $I_{\text{ян}}$ - номинальные напряжение и ток якоря двигателя;

$R_{\text{я}}$ - внутреннее сопротивление обмотки якоря;

$\Omega_{\text{н}}$ - номинальная угловая скорость двигателя, рад/с.

$$K_{\text{м}} = \frac{R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2}, \text{ определяется, если известны } R_{\text{я}} \text{ и } k\Phi.$$

Электромеханическая постоянная времени ДПТ характеризует время разгона электродвигателя с моментом инерции $J_{\text{д}}$, либо электропривода ($J = J_{\text{д}} + J_{\text{м}}$), под действием постоянного по величине момента $M = M_{\text{кз}}$ от угловой скорости $\Omega = 0$ до угловой скорости $\Omega = \Omega_0$. Из этого следует что

$$T_{\text{М1}} = J_{\text{д}} \frac{\Omega_0}{M_{\text{кз}}} = J_{\text{д}} \frac{R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2} \quad (64)$$

Для нахождения численного значения электромагнитной постоянной времени якорной цепи двигателя индуктивность якорной цепи двигателя

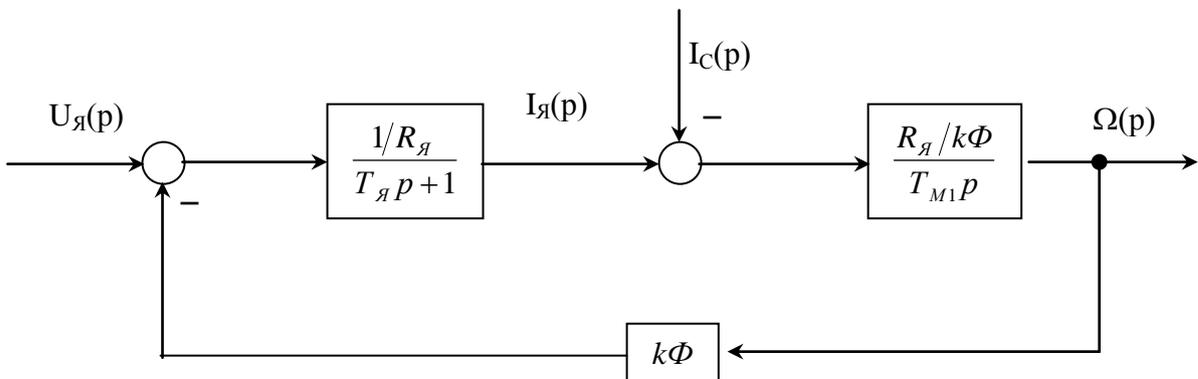
следует найти по формуле [5]

$$L_{\text{я}} = K_L \frac{U_H}{P_{\Pi} \Omega_H I_{\text{яH}}}, \quad (65)$$

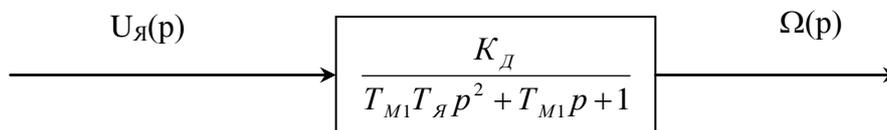
где P_{Π} - число пар полюсов;

$K_L = 0,1 \div 0,25$ - для компенсированных машин, $K_L = 0,6$ - для некомпенсированных машин (меньшая величина относится к тихоходным двигателям). Электромагнитная постоянная времени ДПТ численно характеризует время преобразования запаса электромагнитной энергии в обмотке якоря $\frac{1}{2} L_{\text{я}} I_{\text{я}}^2$ в половину тепловой $\frac{1}{2} R_{\text{я}} I_{\text{я}}^2$, выделяемой на активном сопротивлении:

$$T_{\text{я}} = \frac{\frac{1}{2} L_{\text{я}} I_{\text{я}}^2}{\frac{1}{2} R_{\text{я}} I_{\text{я}}^2} = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} \quad (66)$$



а)



б)

а – при учете переходных процессов в цепи обмотки якоря;

б – преобразованная при управлении по цепи якоря

Рис. 6 – Структурная схема двигателя постоянного тока

2.4 Определение передаточной функции АСУ без корректирующего звена

Передаточные функции определяют по структурной схеме заданной АСУ.

Приступая к составлению передаточных функций, необходимо прежде всего повторить правила преобразования структурных схем [1, 2, 3], научиться применять эти правила:

1. Группа последовательно соединенных звеньев направленного действия заменяется одним эквивалентным звеном с передаточной функцией
- 2.

$$W_{\Sigma}(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p) \quad (67)$$

3. Для группы параллельно соединенных звеньев

$$W_{\Sigma}(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p) \quad (68)$$

4. Для звеньев охваченных обратной связью

$$W_{\Sigma}(p) = \frac{W_n(p)}{1 \pm W_n(p) \cdot W_{oc}(p)} \quad (69)$$

где n - число звеньев;

$W_n(p)$ - передаточная функция звена в прямой цепи;

$W_{oc}(p)$ - передаточная функция звена цепи обратной связи.

В выражении (69) знак «+» соответствует отрицательной, а знак «-» - положительной обратной связи.

2.5 Исследование АСУ без корректирующего устройства на устойчивость

Исследование АСУ на устойчивость можно производить любыми известными способами, обосновывая при этом выбор того или иного способа исследования. Однако, с точки зрения удобства применения ЭВМ [6], для исследования целесообразно воспользоваться, например, критерием устойчивости Гурвица [1, 3]. После построения структурной схемы необходимо правильно определить передаточную функцию. Если передаточная функция имеет вид

$$W(p) = \frac{M(p)}{a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4}, \quad (70)$$

составляется таблица коэффициентов характеристического уравнения

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} \quad (71)$$

Составления таблицы (71) осуществляется по следующему правилу. По главной диагонали выписываются последовательно коэффициенты характеристического уравнения, начиная с a_1 . Столбцы таблицы, начиная с главной диагонали, заполняется вверх по возрастающим индексам, вниз – по убывающим; все коэффициенты с индексами ниже нуля и выше степени уравнения заменяются нулями.

Если характеристическое уравнение (знаменатель передаточной функции), в общем случае n -ой степени, АСУ имеет вид

$$Q(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_{n-1} p + a_n \quad (72)$$

то условия устойчивости по Гурвицу сводятся к тому, чтобы при $a_0 > 0$ все n определителей, составленных по приведенной выше схеме, и все коэффициенты a_j были положительны.

Применительно к АСУ с передаточной функцией (70) из составленной таблицы коэффициентов (71) следует, что АСУ будет устойчива, если $a_0 > 0$; $a_1 > 0$; $a_2 > 0$; $a_3 > 0$; $a_4 > 0$ и определили

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= a_1 > 0; \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0; \\ \Delta_3 &= \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0; \\ \Delta_4 &= a_4 \Delta_3 > 0 \end{aligned}$$

Достоинством алгебраических критериев является сравнительная простота применения и то, что при не высоком порядке характеристического

уравнения ($n \leq 4$), легко можно установить влияние параметров отдельных элементов АСУ на устойчивость. Для АСУ, описываемых линейными дифференциальными уравнениями третьего порядка, удобным является критерий Вышнеградского [3].

2.6 Выбор корректирующего устройства из условий заданных показателей качества АСУ

АСУ, содержащие только функционально необходимые элементы, практически всегда не обладают требуемым качеством. Для обеспечения необходимых свойств в основной контур АСУ вводят корректирующие устройства (КУ).

В замкнутом контуре системы КУ может быть включено либо последовательно с функционально необходимыми элементами, либо параллельно с ними (обычно в виде обратных связей, охватывающих наиболее инерционные элементы). В связи с этим различают два основных метода коррекции АСУ: метод, последовательной коррекции и метод параллельной коррекции.

Задача синтеза корректирующего устройства заключается в том, чтобы по имеющейся исходной схеме АСУ, структура и параметры которой известны, определить передаточную функцию, выбрать и рассчитать параметры КУ, включение которого в систему обеспечит получение заданных показателей качества: величину перерегулирования σ время регулирования t_p , статическую ошибку ε_c .

Синтез последовательного КУ рекомендуется осуществить путем оптимизации контуров АСУ в смысле компенсации больших постоянных времени (так называемые модульный и симметричный оптимум) [5,7].

2.7 Проверка показателей качества переходного процесса скорректированной АСУ

Проверку показателей качества АСУ следует выполнять с использованием переходной характеристики замкнутой системы, т.е. реакции системы на единичную ступенчатую функцию $1(t)$ при нулевых начальных условиях. При этом следует вспомнить методы построения переходных функций АСУ по литературе [1, 2, 3].

Проверку показателей качества следует также выполнять путем расчета системы линейных дифференциальных уравнений (представленных в форме Коши) на ЭВМ [6] численным методом. Попутно возможен экспресс-анализ показателей качества АСУ при вариации коэффициентов по-

линомов числителя и знаменателя передаточной функции.

Вывод результатов расчета на ЭВМ допускается как в виде таблицы значений выходной координаты, так и в виде графика. Из таблицы или графика определяют перерегулирование:

$$\sigma = \frac{X_{\max} - X_{уст}}{X_{уст}} \cdot 100\% \quad (73)$$

Время первого согласования t_c , время достижения первого максимума t_{1M} , время регулирования t_p , колебательность μ .

ЛИТЕРАТУРА

1. Юревич, Е. И. Теория автоматического управления / Е. И. Юревич. – Л.: Энергия, 1975. – 407 с.
2. Иващенко, Н. Н. Автоматическое регулирование / Н. Н. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.
3. Зайцев, Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования / Г. Ф. Зайцев. – Киев.: «Вища школа», 1975. - 424 с.
4. Сборник задач по теории автоматического регулирования / под ред. В. А. Бесекерского. – М.: Наука, 1978. -512 с.
5. Бычков, В. П. Электропривод и автоматизация, металлургического производства / В. П. Бычков. – М.: Высш. школа, 1977. - 391 с.
6. Дьяконов, В. Simulink 4: специальный справочник / В. Дьяконов – СПб.: Питер, 2002. – 528 с. : ил.
7. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е. П. Попов. – С. Петербург: Профессия, 2004. – 752 с.

Навчальне видання

Теорія автоматичного керування

**Методичні вказівки
до самостійної роботи
студентами спеціальності 7.092203
«Електромеханічні системи автоматизації
та електропривід»**
(Російською мовою)

Укладач **ЗАДОРЖНІЙ Микола Олексійович**

Редактор Н. О. Хахіна
Комп'ютерна верстка О. П. Ордіна

45/2006.	Підп. до друку	Формат 60x84/16.
Папір офсетний.	Ум. друк. арк	Обл. - вид. арк.
Тираж	прим.	Зам. №

Видавець і виготівник
«Донбаська державна машинобудівна академія»
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру
серія ДК №1633 от 24.12.03