Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Факультет вычислительной математики и кибернетики

**УТВЕРЖДАЮ**

декан факультета вычислительной математики и кибернетики

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/И.А. Соколов /**

**«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_\_г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**Управление техническими объектами**

**Уровень высшего образования:**

**бакалавриат**

**Направление подготовки / специальность:**

**01.03.02 «Прикладная математика и информатика» (3++)**

**Направленность (профиль):**

**Математические методы обработки информации и принятия решений**

**Форма обучения:**

**очная**

**Москва 2023**

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.03.02, 01.04.02 "Прикладная математика и информатика" программы бакалавриата Утвержден приказом МГУ от 30 августа 2019 года № 1041 (в редакции приказов МГУ от 11 сентября 2019 года № 1109, от 10 июня 2021 года № 609, от 7 октября 2021 года № 1048, от 21 декабря 2021 года № 1404, от 2 ноября 2022 года № 1299)

**1.** Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО: вариативная часть.

**2.** Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть): освоение дисциплин «Архитектура ЭВМ и язык ассемблера» (в части архитектуры ЭВМ), «Операционные системы», «Дифференциальные уравнения», желательно прохождение курса «Математические методы в теории управления и оптимизации».

**3.** Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников*.*

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины (модуля):

1. ОНК-5 (способность создавать математические модели профессиональных типовых задач и интерпретировать полученные математические результаты, владение знаниями об ограничениях и границах применимости моделей; способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания в области физики)
2. ПК3.1 (способен определить совокупность математических методов для отдельного этапа решения прикладной задачи в рамках заданной схемы)
3. ПК3.2 (способен определять компонентный состав программного обеспечения в соответствии с его назначением, осуществлять выбор оптимальных технологий и средств его разработки)

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

**Знать:**

1. основные принципы построения и структуру автоматических и автоматизированных систем управления,

2. иметь представления о типовых элементах таких систем, их математических моделях и о присущим им неидеальностях.

**Уметь:**

1. строить математические модели систем управления по их описанию,

2. выделять неидеальности и оценивать степень их влияния на поведение системы.

**Владеть:**

1. приемами оценки качества систем управления на основе анализа переходных и частотных характерстик,

2. простейшими приемами синтеза законов управления (линеаризация, декомпозиция системы, вложенные контуры управления, компенсация известных внешних воздействий).

**4.** Формат обучения очный.

Занятия проводится в виде лекций с использованием мультимедийного проектора и слайдов. Материалы курса (слайды, развернутая программа с указанием источников) доступны через сеть Internet. Предусмотрено несколько семинарских занятий, на которых разбирается решения типовых задач.

**5.** Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетые единицы, в том числе 36 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

**6.** Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),**  **Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **Всего**  **(часы**) | В том числе | | | |
| **Контактная работа**  **(работа во взаимодействии с преподавателем)**  **Виды контактной работы, часы** | | | **Самостоятельная работа обучающегося,**  **часы** |
| Занятия лекционного типа\* | Занятия семинарского типа\* | **Всего** |  |
| Тема 1 «Введение»   1. Кибернетика, преобразование информации, физический процесс и динамическая система. 2. Базовая терминология ТАУ: объект управления, управление, устройство управления. 3. Принципы управления. Неопределенности и неидеальности в системе управления. | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| Тема 2 «Базовые представления о АСУ ТП»   1. Определение, решаемые задачи, требования. 2. Примеры систем управления: управление электроприводом, робот, автоматизация ITER. 3. Задачи решаемые АСУ ТП: мониторинг, автоматическое управление, диспетчерское управления. 4. Архитектура АСУ ТП и функциональные компоненты АСУ ТП. | 6 | 4 | 0 | 4 | 2 |
| Тема 3 «Некоторые сведения из теории автоматического управления»   1. Способы представления непрерывных и дискретных динамических систем 2. Нелинейные звенья и неидеальности: насыщение, мертвая зона, гистерезис, люфт, сила трения, чистая задержка, квантование. 3. Анализ качества СУ в частотной области: АФЧХ, диаграмма Боде, функции чувствительности, полоса пропускания. 4. Анализ качества СУ во временной области: переходная характеристика, выбор спектра замкнутой системы. Цифровые системы управления: непрерывный объект и дискретный регулятор. Непрерывная модель дискретной системы. | 9 | 6 | 0 | 6 | 3 |
| *Тема 4 «*Функциональные элементы АСУ ТП: линии связи»   1. Передача аналоговых и квантованных сигналов. 2. Передача цифровых сигналов: RS232, RS485, (серийный протокол), MODBUS (принцип «ведущий-ведомый»), CAN (множественный доступ с прослушиванием несущей и разрешением коллизий), TTP/A (множественный доступ с разделением по времени), другие примеры промышленных протоколов: Profibus, Ethernet, EtherCAT. 3. Пример анализа обменов в сети «ведущей-ведомый» и оценка ее пропускной способности. 4. Математические модели. | 9 | 6 | 0 | 6 | 3 |
| Тема 5 «Функциональные элементы АСУ ТП: исполнительные устройства»   1. Назначение и математическая модель. Вопрос о различии исполнительного устройства и объекта управления. 2. Электрический привод, модель двигателя постоянного тока, сервопривод. 3. Широтно-импульсная модуляция, математическая модель и ее линеаризация. 4. Модель синхронного двигателя с постоянными магнитами. 5. Пример анализа исполнительного устройства на примере электрического привода. | 9 | 6 | 0 | 6 | 3 |
| Тема 7 «Функциональные элементы АСУ ТП: преобразующие устройства»   1. Назначение преобразующего устройства. 2. Реализация регулятора в виде аналоговых электрических схем (сумматор, пропорциональное звено, четырехполюсники, интегратор, дифференциатор) и присущие неидеальности. 3. Реализация цифровых регуляторов: цифровые схемы, ПЛИС, микроконтроллер, компьютер. Представление о арифметике с фиксированной точкой. 4. Микроконтроллеры: гарвардская архитектура, прерывания, периферийные устройства. 5. Аналого-цифровой преобразователь и его модель. 6. Универсальные таймеры-счетчики. Реализация ШИМ. 7. Требование работы в реальном времени. Задержка и дрожание. Пути достижения требования работы в реальном времени (в том числе и для систем о операционной системой). 8. Представление о технологиях реализации распределенных систем управления. OPC серверы, архитектура АСУ ТП на базе OPC, SCADA системы. | 12 | 8 | 0 | 8 | 4 |
| Тема 8 «Анализ электромеханической системы с цифровым управлением» | 6 | 4 | 0 | 4 | 2 |
| Промежуточная аттестация устный экзамен | 18 |  |  |  | 18 |
| **Итого** | **72** | **36** | **0** | **36** | **36** |

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости

**Список вопросов для текущего контроля успеваемости (курсивом выделены базовые понятия)**

1. Кибернетика, объект управления, управление, управляющее устройство.
2. Физический процесс, технический процесс, динамическая система, управляемая динамическое система.
3. Автоматизация, автоматизированная система управления, автоматическая система управления.
4. Принципы управления.
5. Структурная схема системы управления.
6. Архитектура АСУ, виды архитектур.
7. Требование открытости АСУ.
8. Требование работы в реальном времени.
9. Функциональные компоненты АСУ ТП.
10. Сигнал. Классификация сигналов (по наличию квантования).
11. Модель аналоговой линии связи.
12. Модель цифровой линии связи.
13. В чем отличие моделей аналоговых линий связи от цифровых?
14. Промышленная сеть.
15. Какие требования предъявляются к промышленным сетям?
16. В чем выражается требование работы сети в реальном времени?
17. Топологии сетей.
18. Задачи решаемые на физическом, канальном и прикладном уровнях модели ISO OSI.
19. Разрешение коллизий в протоколах типа «ведущий-ведомый».
20. Множественный доступ с прослушиванием несущей и разрешением коллизий.
21. Множественный доступ с разделением по времени.
22. Приведите примеры протоколов промышленных сетей.
23. По какому принципу реализован канальный уровень модели OSI в протоколе CAN / TTP / MODBUS ?
24. Какой из протоколов CAN / TTP / MODBUS вы бы использовали в составе системы управления, в которой через сеть замкнуты обратные связи, наложены жесткие требования на предсказуемость работы системы.
25. Какой из протоколов CAN / TTP / MODBUS вы бы использовали в сети, объединяющей несколько групп оборудования с различными требованиями к задержкам для каждой группы?
26. Что такое первичный преобразователь (датчик)? Какие функции он выполняет в составе СУ.
27. Какие классификации датчиков вы знаете?
28. Какой была бы математическая модель «идеального датчика»? Какие типовые неидеальности присутствуют в математических моделях реальных датчиков?
29. Приведите примеры датчиков выдающих различные типы сигналов: непрерывный, квантованный, дискретный, цифровой.
30. Как устроены датчики перемещения: потенциометрический датчик перемещения, относительный угловой энкодер?
31. Как устроены датчики положения: оптический барьер, концевой выключатель? Какие сигналы они выдают?
32. Как устроены датчики температуры: терморезистор, термопара?
33. Сигнал какого типа (по наличию квантования) выдает тахометр?
34. Что такое исполнительное устройство? Каковы функции исполнительного устройства в СУ?
35. Какие типовые неидеальности может вносит исполнительное устройство в модель СУ?
36. Что такое широтно-импульсная модуляция? При каких условиях ШИ-модулятор можно заменить пропорциональным звеном?
37. Модель электрического двигателя постоянного тока.
38. Какую функцию выполняет преобразующее устройство в составе СУ?
39. Приведите примеры преобразующих устройств.
40. Что такое четырехполюсник? Какова его передаточная функция?
41. Из каких звеньев строятся электрические аналоговые системы управления?
42. Каким способом могут быть реализованы цифровые системы управления.
43. Что такое число с фиксированной точкой?
44. Чем обусловлено наличие квантования по уровню и по времени в цифровых системах управления.
45. Какие системы управления называются цифровыми? Какими факторами обусловлено наличие задержек?
46. Архитектура промышленных контроллеров: какие основные компоненты входят в состав контроллера?
47. Микроконтроллер.
48. Что такое гарвардская архитектура? Чем она отличается от архитектуры Фон-Неймана?
49. Прерывание.
50. В чем выражается требование работы в реальном времени.
51. Что такое ОС реального времени?
52. Что такое декомпозиция системы (по функции и по объекту)? Когда она возможна?
53. Что такое принцип открытости системы? Как достигается открытость?
54. Что такое принцип слабой связанности?
55. Какие системы называются распределенными?
56. Какие системы называются иерархическими?
57. Какие уровни входят в состав архитектуры иерархической системы АСУ?
58. Какие функции в составе АСУ выполняют OPC сервера? Как это связано с принципом открытости системы?
59. В чем основное отличие контроллерного и диспетчерскго уровня?
60. Какие функции выполняют SCADA пакеты в составе АСУ?
61. Периферийные устройства микроконтроллеров.
62. Аналого-цифровой преобразователь и его математическая модель.

Примеры задач для домашней работы

Задача 1. Импульсный понижающий стабилизатор напряжения

В настоящий момент импульсные стабилизаторы напряжения получили широкое распространение благодаря высокому КПД и малым габаритам по сравнению с линейными. Они повсеместно применяются в блоках питания различной электронной техники. В рамках данного задания предлагается построить математическую модель подобного преобразователя.

  
Рисунок 1: Импульсный регулятор напряжения

**Объект управления.** Объектом управления является четырехполюсник, образованный дросселем L1 (200 мГ) и конденсатором C1 (100 мкФ) и нагрузкой, представленная сопротивлением R\_load (10 Ом).

**Исполнительное устройство.** ИУ представлено транзистором VT1 и диодом VD1.

Если на управляющем проводнике PWM высокий уровень, то напряжение на входе четырехполюсника L1C2R\_load равно нулю, если низкий уровень, то оно равно напряжению питания V = 5 В. PWM является выходом ШИМ модулятора, конструктивно являющегося частью микроконтроллера. Считать, что модулятор 8-битный, частота тактирования счетчика модулятора совпадает с тактовой с частотой микроконтроллера.

**Датчики.** Выходное напряжение стабилизатора U, пропущенное через делитель R1--R2 измеряется при помощи АЦП микроконтроллера (вход AIN1). Разрядность АЦП равна 8-бит, опорное напряжение 1.1 В, длительность цикла преобразования 1040 тактов МК, преобразователь работает в непрерывном режиме (следующее преобразование начинается сразу, после завершения предыдущего). Считать, что измерения напряжения зашумлеными гауссовским белым шумом с стандартным отклонением 0.05 В.

**Преобразующее устройство.** 8-битный микроконтроллер atmega328p с тактовой частотой 16 МГц. В качестве обратной связи используется дискретный ПИ-регулятор. Считать, программный код, реализующий регулятор, запускается после завершения каждого 10-ого периода ШИМ.

Построить модель системы в виде структурной схемы, учитывающую основные присутствующие в ней неидеальности (квантование, задержки, дискретизацию по времени), провести линеаризацию, изобразить полученную модель в виде структурной схемы, провести по ней синтез ПИ-регулятора.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

**Список экзаменационных вопросов**

1. Автоматизированная система управления: решаемые задач, требования, архитектура. Примеры.
2. Сигналы, передача сигналов в системе управления. Классификация сигналов. Передача аналоговых и цифровых сигналов электронных системах управления. Промышленные сети: серийный протокол, MODBUS.
3. Сигналы, передача сигналов в системе управления. Классификация сигналов. MODBUS, CAN, TTP/A. Способы разрешения коллизий.
4. Датчики. Классификация по измеряемой величине и физическим принципам. Примеры датчиков: датчик положения на основе оптической пары, относительный и абсолютный энкодер, потенциометр, измерение скорости.
5. Исполнительные устройства. Электрический двигатель постоянного тока и его математическая модель (непрерывная). Электрический двигатель, как часть системы управления.
6. Исполнительные устройства. Широтно-импульсная модуляция и ее линейная модель.
7. Физическая реализация регуляторов: аналоговые (четырехполюсник, усилитель) и цифровые системы управления (общая характеристика, типы). Реализация цифровых систем управления при помощи ПЛИС (цифровой фильтр в прямой I и II форме).
8. Физическая реализация регуляторов: микроконтроллеры и компьютеры. Периферие устройства микроконтроллера. АЦП и ШИМ модуляторы. Требование реального времени.
9. Реализация распределенных и иерархических автоматизированных системах управления. Архитектура иерархической АСУ. OPC сервера, SCADA системы. Требование открытости, принцип слабой связанности.

В качестве **дополнительных вопросов к экзамену** предлагается использовать вопросы для текущего контроля успеваемости.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)** | | | | |
| Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **Знания** | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Общие, но не структурированные знания | Сформированные систематические знания |
| **Умения** | Отсутствие умений | В целом успешное, но не систематическое умение | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера) | Успешное и систематическое умение |
| **Навыки**  **(владения, опыт деятельности)** | Отсутствие навыков (владений, опыта) | Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта) | В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме | Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач |

8. Ресурсное обеспечение:

**Перечень основной и дополнительной литературы**

* Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы.-- М:ФИЗМАТЛИТ, 2003.
* Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием — М.:Горячая линия-Телеком, 2009 г. - 608 с.
* Денисенко В.В. Энциклопедия АСУ ТП [Электронный ресурс] / В.В. Денисенко – Режим доступа: <http://bookasutp.ru/>
* LiveJournal. ИТЕР: Система измерения и управления [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <https://tnenergy.livejournal.com/1715.html>
* Allgeuer P., Schwarz M., Pastrana J., Schueller S., Missura M., Behnke S. A ROS-based Software Framework for the NimbRo-OP Humanoid Open Platform // Proc. of 8th Workshop on Humanoid Soccer Robots, 13th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids). – Atlanta, 2013.
* Н.В. Гусев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко. Автоматизация технологических комплексов и систем в промышленности: учебное пособие / Н.В. Гусев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 198 с.
* Overview on TTP/A [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mobile.aau.at/~welmenre/ttpa/>
* Гудвин Г.К. Проектирование систем управления / Г.К. Гудвин, С.Ф. Гребе, М.Э. Сальгадо. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 911 с.
* Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие. – М:ФИЗМАТЛИТ, 2003.
* Reference Manual к любому микроконтроллеру Atmel AVR.
* H Brown, Jeremy & Martin, Brad. How fast is fast enough? Choosing between Xenomai and Linux for real-time applications // Proceedings of the 12th Real-Time Linux Workshop (RTLWS'12). – 2012.

**Описание материально-технического обеспечения:** мультимедийный проектор с экраном для демонстрации слайдов.

9. Язык преподавания: русский.

10. Преподаватель (преподаватели): Гончаров О.И.

11. Автор (авторы) программы: Гончаров О.И.