

Автор: Пигута В. П., преподаватель Жировичского совхоза-техникума.

Рецензенты: Гурин А. В., заведующий кафедрой автоматизированной системы управления производством БАТУ, доцент, кандидат технических наук;
Гриц Э. М., заведующий лабораторией "Основы электроники и автоматики" Марьиногорского совхоза-техникума.

Ответственный за выпуск: Назарова И. А., методист Учебно-методического центра Минсельхозпрода Республики Беларусь.

© Учебно-методический центр Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, 1997

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Автоматизация процессов управления техническими объектами приобрела большую значимость, так как высвобождает рабочую силу, повышает производительность труда и культуру производства, снижает себестоимость и улучшает качество продукции, обеспечивает надежную работу производственных установок. Широкое внедрение в сельскохозяйственном производстве средств автоматики ставит перед специалистами большие задачи по их рациональной эксплуатации, решать которые под силу только высококвалифицированным кадрам.

Программа предмета предусматривает изучение основ классической теории управления электрифицированными техническими объектами, а также свойств и характеристик технических средств автоматики и микропроцессорной техники.

Данный предмет является базой для изучения таких специальных предметов, как "Электрооборудование сельскохозяйственных агрегатов и установок", "Электроснабжение сельского хозяйства", "Автоматизация технологических процессов" и др.

В результате изучения предмета учащиеся должны знать: свойства и возможности применения средств автоматики (датчиков, усилителей, исполнительных элементов и регуляторов); основы классической теории автоматического регулирования; принципы построения функциональных, структурных и принципиальных схем автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства; основные характеристики электронных микросхем; механические, электрические и пневматические устройства автоматики; особенности комплексной автоматизации, электрификации и автоматизации технологических процессов.

Учащиеся должны уметь: определять простейшие неисправности в схемах электроавтоматики; работать на испытательных и регулировочных стендах, применяемых для испытания машин и оборудования; составлять, читать схемы автоматики на типовых логических элементах; определять и устранять неисправности средств автома-

тизации; составлять функциональные схемы автоматизации отдельных аппаратов и технологических процессов; выбирать и эксплуатировать микропроцессоры и микро-ЭВМ в автоматизированных системах управления производственными процессами в сельском хозяйстве; анализировать экономические показатели использования техники и исчислять экономическую эффективность их применения.

Тематический план, а также тематика лабораторных работ и практических занятий являются примерными. Преподаватель имеет право вносить обоснованные изменения в распределение учебных часов по разделам (темам) в пределах общего бюджета времени, отводимого на изучение предмета, при условии сохранения соотношения теоретических и практических занятий.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

(Основная)

1. Колесов Л.В. Основы автоматики. М., Колос, 1984 -288 с.

(Дополнительная)

1. Бохан Н.И., Фурунжиев Р.И. Основы автоматики и микропроцессорной техники. Мн., Ураджай, 1987 - 376 с.
2. Справочное пособие. Элементы и устройства сельскохозяйственной автоматики. Под ред. Бохана Н.И. Мн., Ураджай, 1989 - 238 с.
3. Харченко В.М. Основы электроники. Мн., Ураджай, 1983.
4. Киблицкий В.А. Системы управления с бесконтактными логическими элементами. М., Энергия, 1976.
5. Бородин И.Ф. Технические средства автоматики. М., Колос, 1982.
6. Бородин И.Ф., Кирилин Н.И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. М., Колос, 1977 - 328 с.
7. Справочник по интегральным схемам. Под ред. Тарабрина Б.В. М., 1985.
8. Автоматическое регулирование. Под ред. Иващенко Н.Н. М., Машиностроение, 1978.

ВВЕДЕНИЕ

Литература: [1] с.3...4; [2] с.3...4.

I. ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

1.1. Общие сведения о системах и элементах автоматики

Задание для самостоятельной работы. По индивидуальному заданию составить функциональную схему автоматической системы управления (АСУ).

Литература: [1] с.5...33; [2] с.5...59.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении настоящей темы студенты испытывают затруднения в связи с обилием определений и терминов. Поэтому, прорабатывая учебный материал, необходимо его законспектировать и уяснить сущность каждого термина. При рассмотрении принципов автоматического управления полезно вычертить в конспекте структурные схемы управления по отклонению, возмущению и комбинированному действию и уяснить назначение отдельных элементов и взаимодействие между ними.

Изучая обратные связи, можно понять, как с их помощью получают различные регулировочные характеристики.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое автоматическая система управления?
2. Что такое автоматическая система регулирования?
3. Каково назначение функциональных схем автоматики?
4. В чем сущность статического и астатического регулирования?

1.2. Датчики систем автоматики

Лабораторная работа 1. Испытание электрических датчиков линейных и угловых перемещений (потенциметрических, сельсинов).

Лабораторная работа 2. Испытание фотоэлектрических преобразователей.

Лабораторная работа 3. Испытание термодатчиков (терморезисторов, терморпар).

Задание для самостоятельной работы. Законспектировать материал по датчикам на активных сопротивлениях, индуктивностях и емкостях.

Литература: [1] с.34...78; [2] с.60...108.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Датчики представляют собой своеобразные органы чувств автоматики, с помощью которых получают информацию о характеристиках и параметрах технологических процессов. Полученную информацию используют для контроля и управления технологическими объектами.

Вспомните датчики, известные вам из практики, и ответьте на вопросы: какую информацию получают с помощью этих датчиков, какие преобразования физических величин происходят в этих датчиках, как используются выходные сигналы? Из рис.2.2. [6] видно, насколько многочисленно семейство датчиков. Ознакомьтесь с классификацией датчиков по принципу действия, функциональному назначению, виду входных и выходных величин. Затем приступайте к самостоятельному изучению датчиков по схеме: наименование, тип, принцип действия, входная и выходная величина и пределы их измерения, эскиз и схема включения, область применения. Обратите внимание на новые датчики состава, свойств и концентрации веществ [6] с.123...134.

Прорабатывая учебный материал, обратите внимание на математические зависимости, связывающие выходные и входные велици-

ны, и уясните, как эти зависимости используются для определения коэффициента чувствительности датчика.

Например, при изучении потенциометрических датчиков надо проанализировать формулу 13 [1], вычертить график зависимости $U_n = f(x)$. Рассматривая формулу чувствительности датчика ([1], формула 14), можно сделать вывод, что чувствительность датчика пропорциональна напряжению источника питания и обратно пропорциональна длине потенциометра. Подумайте, как можно использовать этот вывод при конструировании потенциометрических датчиков.

Рассматривая потенциометрические датчики, следует заметить, что на принципе потенциометров построены так называемые делители напряжения, широко применяемые для обеспечения требуемых режимов работы элементов автоматики и их связи.

Схема простейшего ненагруженного делителя напряжения представлена на рис. 1, а схема нагруженного делителя напряжения - на рис. 2.

Величина напряжения на выходе определяется по формулам:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}} R_2}{R_1 + R_2}; \quad U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}} R_2}{R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_n}}$$

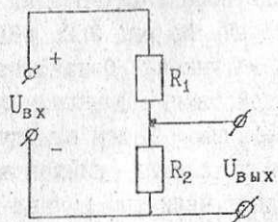


Рис. 1. Схема ненагруженного делителя

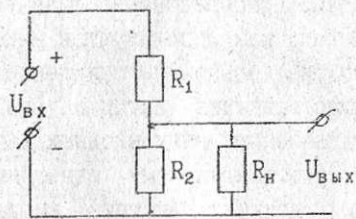


Рис. 1. Схема нагруженного делителя

где $U_{\text{вх}}$ - напряжение входа;
 R_n - сопротивление нагрузки;
 R_1, R_2 - сопротивление резисторов делителя.

Применение делителей напряжения становится понятным при рассмотрении следующего примера.

Пример 1. Анодное напряжение пентода равно 250 В. Ток экранной сетки равен 0.4 мА, а напряжение на экранной сетке должно быть 80 В. Рассчитать делитель анодного напряжения, обеспечивающего заданный режим работы экранной сетки.

Решение

1. Составляем расчетную схему (рис. 3)
2. Принимаем $I_2 = 3I_e$ и определяем величину тока, протекающего через резистор R_2

$$I_2 = 3 * 0.4 = 1.2 \text{ мА}$$

3. Пользуясь законом Кирхгофа, определяем ток I_1

$$I_1 = I_e + I_2 = 0.4 + 1.2 = 1.6 \text{ мА.}$$

4. Падение напряжения на резисторе R_1

$$U_1 = E_a - U_e = 250 - 80 = 170 \text{ В.}$$

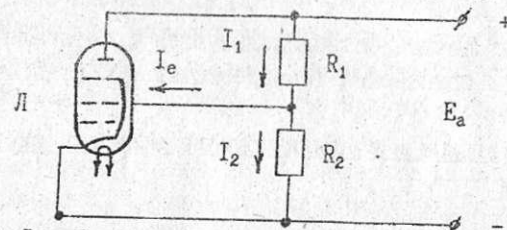


Рис. 3. Схема питания электродов пентода

5. Сопротивление R_1

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{170}{1.6} = 106 \text{ кОм}$$

Принимаем $R_1 = 110 \text{ кОм}$

6. Сопротивление R_2

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{80}{1.2} = 67 \text{ кОм}$$

Принимаем $R_2 = 68 \text{ кОм}$

7. Проверяем резисторы на нагрев.

Мощность рассеяния.

$$P_1 = U_1 * I_1 = 170 * 1.6 = 10^{-3} = 0.25 \text{ Вт};$$

$$P_2 = U_e * I_2 = 80 * 1.2 * 10^{-3} = 0.1 \text{ Вт}$$

Окончательно выбираем резистор R_1 типа МЛТ, 0.25 В, 110 КОМ, а резистор R_2 типа УЛМ, 0.12 Вт, 68 КОМ. Как видно из примера, применяя делитель напряжения, можно просто и экономично обеспечить питание двух элементов (анода и сетки лампы) от одного источника питания.

Подобные схемы широко применяются для питания транзисторов и других элементов питания.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких элементов состоит датчик?
2. Каковы основные характеристики датчиков?
3. Каковы принципы действия и назначение индуктивных и емкостных датчиков?
4. Какие датчики освещенности используются в фотореле?
5. Какова область применения терморезисторов и тиристоров?

1.3. Усилительные и стабилизирующие элементы систем автоматики

Лабораторная работа 4. Испытание магнитных усилителей.

Лабораторная работа 5. Исследование тиристоров в схемах управления исполнительными механизмами.

Лабораторная работа 6. Испытание элементов бесконтактных схем автоматики (концевых выключателей, нульоргана).

Лабораторная работа 7. Испытание стабилизаторов.

Задание для самостоятельной работы. По индивидуальному заданию подготовить реферат по усилителям.

Литература: [1] с.79...104; [2] с.108...130.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Приступая к изучению усилительных элементов, следует знать, что они воспринимают сигналы датчиков и преобразовывают их в управляющее воздействие.

В схемах автоматического управления применяются магнитные, электронные и другие усилители.

Изучая усилители, следует повторить соответствующий учебный материал предмета "Основы электроники". После изучения основных типов усилителей полезно установить их преимущества, недостатки и область применения, записав эти данные в таблицу сравнения основных свойств.

Так, например, основными преимуществами электронных усилителей являются малая мощность управления и быстроедействие, а недостатки - чувствительность к вибрации, ограниченный срок службы, малая мощность на выходе усилителя. К недостаткам магнитных усилителей относятся инерционность, большие габариты и масса. Основные преимущества гидравлических и пневматических усилителей: планность работы, большой коэффициент усиления, надежность.

К усилительным элементам относят также триггеры, которые широко применяются в качестве переключателей и элементов памяти. На базе триггеров выполняются транзисторные реле [1] с.95. Обратите внимание, что такие реле обладают значительным усилением по мощности, в связи с чем применяются в схемах терморегуляторов, фотореле, регуляторов влажности и других устройствах.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое усилители?
2. Объясните устройство и принцип действия магнитного усилителя.
3. Укажите достоинства и недостатки транзисторных усилителей.
4. Каково назначение триггеров и мультивибраторов?

1.4. Исполнительные элементы систем автоматики

Лабораторная работа 8. Исследование работы программных устройств.

Лабораторная работа 9. Исследование работы электродвигательных исполнительных механизмов.

Лабораторная работа 10. Испытание электромагнитных реле. Сборка схем автоматики на электромагнитных реле и их исследование.

Лабораторная работа 11. Исследование шаговых искателей. Сборка схем автоматики с применением шаговых искателей.

Лабораторная работа 12. Испытание магнитоуправляемых и бесконтактных реле; сборка схем с применением магнитоуправляемых и бесконтактных реле.

Задание для самостоятельной работы. Составить и описать методы создания выдержек времени на промежуточных реле.

Литература: [1] с.105...125; [2] с.131...155.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Для лучшего уяснения назначения и действия исполнительных механизмов необходимо повторить учебный материал темы 1.1. Рассмотрите внимательно рис. 6 [1]. Как видно, исполнительный механизм вырабатывает регулирующее воздействие, которое через регулирующие органы передается на объекты регулирования.

Таким образом, в общем случае исполнительный механизм состоит из привода, регулирующих органов и элементов управления. По виду приводы различают электрические, гидравлические и пневматические исполнительные механизмы.

В качестве электрических исполнительных механизмов чаще всего используют электрические двигатели, электромагнитные соленоиды и муфты. Описание этих элементов приведено в [7] с.247...257.

В ряде случаев к исполнительным элементам относят нагревательные, вентиляционные, электрические и другие устройства, а также реле, пускатели, контакторы, тиристорные ключи, которые выполняют автоматическое включение и отключение объектов управления. Так, например, в установках "Климат" роль исполнительных элементов выполняют электровентиляторы; в электрокалориферах типа СФП - трубчатые нагревательные элементы; в автоматических установках водоснабжения - электронасосы, в фотоавтоматах - пускатели, включающие и отключающие светильники и т.д.

Параметры и характеристики реле, шаговых искателей и коммутационной аппаратуры приведены в [6] с.162...189.

В последнее время в качестве исполнительных элементов все шире применяются реле с герметичными магнитоуправляемыми контактами (герконами), которые обладают высоким быстродействием, надежностью и большим сроком службы.

Простейшее герконовое реле (рис.4) состоит из катушки 4 и контакт-деталей 1,2, изготовленных из ферромагнитного материала, которые впаяны в стеклянный баллон 3. При прохождении электрического тока по катушке образуется магнитный поток, который создает магнитный поток, который создает тяговое усиление в зазоре между контакт-деталями. Последние, притягиваясь друг к другу, образуют электрический контакт. Соприкасающиеся поверхности контакт-деталей имеют покрытие из сплавов благородных металлов, что снижает переходное контактное сопротивление и повышает эрозионную устойчивость контактов 2. Для улучшения условий дугогашения баллон заполняется инертным газом или в нем создается разряжение. Для большей чувствительности реле баллон помещают внутрь ферромагнитного трубчатого экрана. С торцов реле заливают эпоксидным компаундом. Подобную конструкцию имеют миниатюрные реле серии РЭС и РПГ.

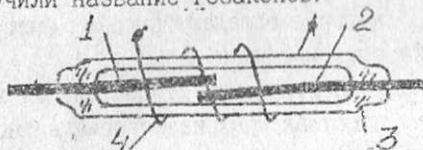
Разработаны многоконтактные и поляризованные реле. Они применяются для связи между логическими элементами и электромеханическими аппаратами выходных цепей автоматики.

Область применения герконов все время расширяется. Так,

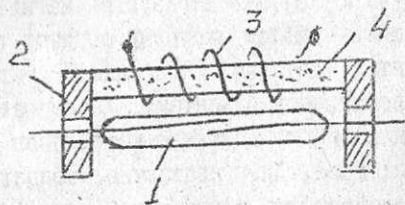
разработаны реле на ферридах. Феррид (рис. 4) представляет собой геркон 1, внешний магнитный поток которого замыкается через сердечник 4, выполненный из магнитотвердого феррита. Выводы геркона соединены с ферритовым сердечником двумя пластинами 2.

Сердечник не изолирован от электрической цепи, однако высокое электрическое сопротивление феррита создает надежный разрыв цепи. При подаче на катушку кратковременного импульса электрического тока контакты геркона замыкаются и остаются замкнутыми до тех пор, пока в катушку не будет подан импульс электрического тока обратной полярности. Таким образом, реле выполняют функции элемента памяти.

Ферриды, у которых магнитный элемент смонтирован внутри баллона, получили название герзаконов.



Герконовое реле: 1, 2 - контакт-детали; 3 - стеклянный баллон; 4 - катушка.



Феррид: 1 - геркон; 2 - пластины; 3 - катушка; 4 - ферритовый сердечник.

Рис. 4

На базе герконов разработаны устройства для силовых электрических цепей, называемые герсиконами. Так, герсикон КМГ17 обеспечивает управление асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями мощностью до 1,1 кВт. Герсиконы обладают лучшими характеристиками, чем электромагнитные контакторы и пускатели.

Герконы используют также для устройства путевых переключателей и коммутаторов.

Изучая гидравлические исполнительные механизмы, полезно рассмотреть элементы гидравлики, применяемые в мобильных машинах, например, тракторах.

Вопросы для самоконтроля

1. Каково назначение исполнительного механизма?
2. Объясните функциональную схему электродвигательного исполнительного механизма?
3. Объясните принципиальную схему включения исполнительного механизма, тип ИМ.
4. Объясните устройство и принцип действия импульсного трехфазного электродвигателя.
5. Чем отличаются магнитные системы реле постоянного и переменного токов?
6. Каковы особенности поляризованных реле?
7. Объясните принципиальную схему программного реле времени.
8. Каковы назначение и принцип действия шагового искателя?
9. Каковы назначение и принцип действия электромагнитного пускателя?
10. Объясните принцип действия поршневого гидравлического серводвигателя.

1.5. Элементы теории релейных систем автоматики.
Логические элементы

Практическое занятие 1. Минимизация релейно-контактных схем автоматики.

Лабораторная работа 13. Исследование логических элементов серии "Логика-Т" (Логический элемент Т-101).

Лабораторная работа 14. Исследование логических элементов серии "Логика-И" (интегральных).

Практическое занятие 2. Освоение техники чтения схем систем автоматики.

Практическое занятие 3. Составление схем на логических элементах.

Лабораторная работа 15. Сборка и исследование схем автоматики на логических элементах серии "Логика-Т".

Лабораторная работа 16. Сборка и исследование схем автоматики на интегральных элементах.

Литература: [1] с.126...144.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В теории релейных систем автоматики разработаны методы рационального проектирования электрических схем с помощью алгебры логики.

Творцом алгебры логики является английский математик Джордж Буль, который опубликовал свою работу "Алгебра логики" в 1847 году.

Почти через 100 лет, в 1938 году, советский ученый В.И. Шестаков и американский математик К. Шеннон независимо друг от друга применили работу Буля к анализу релейных схем.

Это стало возможным благодаря тому, что величины алгебры логики и элементы релейных схем обладают общим свойством - принимать только два взаимоисключающих значения. Например, контакт реле может быть замкнут или разомкнут; транзистор - открыт или закрыт; электрическая цепь (или ее участок) замкнута или разомкнута; сигнал на входе реле есть или отсутствует. Условно эти состояния обозначаются символами 1 или 0. Поэтому алгебру логики называют чаще всего двоичной алгеброй. Изучая основные законы алгебры релейных схем, следует помнить, что формулы алгебры выражают не количественные соотношения, а состояние элементов.

Таким образом, алгебра логики есть алгебра состояний. Важно также помнить, что законы алгебры логики справедливы только для установившегося состояния элементов схем. Иначе говоря, ал-

гебра логики рассматривает статику схем и не учитывает их динамику.

Применение алгебры логики для проектирования электрических схем управления математизирует и ускоряет процесс проектирования, позволяя быстро и надежно получать оптимальные варианты схем.

При анализе и синтезе схем приходится производить упрощение (минимизацию) структурной формулы. При этом пользуются основными законами, теоремами и следствиями алгебры логики. В дополнение к приведенным в Л-1 основным равносильностям полезно пользоваться следующими теоремами, которые приводятся без доказательств.

Теорема 1. Если имеется схема соединения параллельно с замыкающим контактом x , то все контакты x , имеющиеся в схеме, можно заменить нулями, а контакты \bar{x} - единицами.

$$F = x + f(x, \bar{x}, y, \dots, w) = x + f(0, 1, y, \dots, w).$$

Если схема соединена параллельно с размыкающим контактом \bar{x} , то все контакты \bar{x} , имеющиеся в схеме, можно заменить нулями, а контакты x - единицами.

$$F = \bar{x} + f(x, \bar{x}, y, \dots, w) = \bar{x} + f(0, 1, y, \dots, w).$$

Пример 2. Упростить структурную формулу

$$F = x + a[(xc + a)b + \bar{x}ab(c + b)]$$

Решение 1. Применяем теорему 1.

$$F = x + a[(0c + a)b + 1ab(c + b)]$$

Производим дальнейшие упрощения

Так как $0 * c = 0$, $1 * ab = ab$, то

$$F = x + a[ab + ab(c + b)]$$

Вынесем за скобки общий множитель ab :

$$F = x + aab[1 + (c + b)]$$

Но $1 + (c + b) = 1$, а $aab = ab$, поэтому $F = x + ab$

В результате упрощения получили схему, состоящую из трех контактов вместо одиннадцати.

Как видно, исходная схема имела "лишние" контакты и лишний релейный элемент c , который не влиял на работу схемы. Вычертив

схемы, соответствующие исходной и упрощенной структурам, легко убедиться, что исполнительный элемент F получит питание только при условии замыкания контакта x или одновременного замыкания контактов a и b.

Теорема 2. Если какая-нибудь схема включена последовательно с замыкающим контактом x, то все контакты x, имеющиеся в схеме, можно заменить единицами, а контакты \bar{x} - нулями.

$$F = x * f(x, \bar{x}, y, \dots, w) = x * f(1, 0, y, \dots, w).$$

Если схема соединена последовательно с контактом \bar{x} , то все контакты x, имеющиеся в схеме, можно заменить нулями, а контакты \bar{x} - единицами.

$$F = \bar{x} * f(x, \bar{x}, y, \dots, w) = \bar{x} * f(0, 1, y, \dots, w).$$

Пример 3. Упростить структурную формулу

$$F = \bar{x} * [(xc + a)b + \bar{x}a(a + b)]$$

Решение 1. Применяем теорему 2.

$$\begin{aligned} F &= \bar{x} * [(xc + a)b + \bar{x}a(a + b)] = \\ &= \bar{x} * [(0 * c + a)b + 1 * a(a + b)] = \\ &= \bar{x} * [ab + a(a + b)] = \bar{x}a(b + a + b) = \\ &= \bar{x}a(a + b); \text{ но известно, что } a(a + b) = a. \end{aligned}$$

следовательно $F = \bar{x}a$.

Вместо девяти контактов получили два.

Растущая интенсификация сельскохозяйственного производства, усложнение функций, выполняемых АСУ, выдвигают задачу замены релейно-контактной аппаратуры бесконтактной.

В настоящее время в управляющей части АСУ широко применяются логические элементы и интегральные схемы управления. В силовой части цепей управления все большее применение находят тиристоры.

Для того, чтобы разобраться в работе этих устройств, необходимо четко знать, как работают полупроводниковые приборы в ключевом режиме. При этом полезно повторить соответствующий материал предмета "Основы электроники и микропроцессорной техники". Современные логические элементы строятся на принципах позитивной логики. В них используются микросхемы серий К 155 (Л-5, с. 21... 83) и К 511 (Л-1, с. 143... 144).

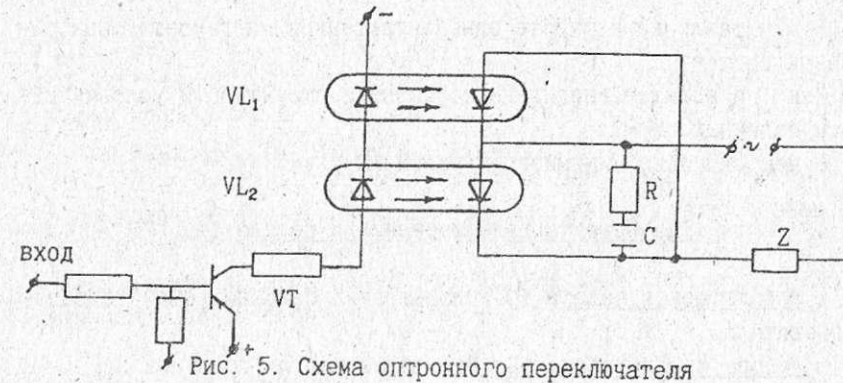


Рис. 5. Схема оптронного переключателя

На базе электросхем К 511 выполнена серия логических элементов "Логика-И", в состав которой входят тридцать элементов. Они подразделяются на четыре группы: логические (И-101-И-119); функциональные (И-201-И-206); элемент времени (И-301) и выходные элементы (И-401-И-406). Функциональные элементы И-201-И-204 и выходные усилители И-401-И-403 выполнены на герконовых реле. Выходной усилитель И-406 выполнен на оптронах VL₁ и VL₂. Светодиоды оптронов получают питание от цепи постоянного электрического тока. Управление светодиодами производится при помощи транзисторного ключа VT.

При открытом транзисторе VT напряжение питания оказывается приложенным к светодиодам, в результате чего возникает оптическое излучение.

В качестве приемников излучения в оптронах используются фоторезисторы, включенные встречно-параллельно в силовую цепь переменного электрического тока последовательно с нагрузкой Z. Световой поток светодиодов открывает фототиристоры, которые поочередно проводят электрический ток нагрузки в течение одного полупериода. RC - цепочка, включенная параллельно фототиристорам, служит для защиты оптронов от перенапряжения.

Вопросы для самоконтроля

1. Как классифицируются релейные системы по характеру работы?

2. В чем различие в работе одноконтактных и многоконтактных релейных систем?
3. Как проводится аналитическая запись структуры и условий работы релейных схем?
4. В чем сущность минимизации релейных схем?

1.6. Объекты регулирования и регуляторы

Лабораторная работа 17. Определение основных свойств водонагревателя.

Лабораторная работа 18. Испытание регулятора типа ПТР.

Литература [1] с.116...130; [2] с.156...173.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении данной темы следует иметь в виду, что работа АСУ в значительной мере зависит от свойства управления объектом, так как объект является частью АСУ.

Только на основе хорошего знания статических и динамических характеристик объекта можно разрабатывать систему, удовлетворяющую целям и задачам управления.

При изучении характеристик объектов обратите внимание на то, что большинство их относится к так называемым инфранизкочастотным, у которых значение постоянной времени превышает один час ($T > 1$ ч.). К таким объектам относятся однотипные производственные помещения животноводческих и птицеводческих ферм, хранилища сельскохозяйственных продуктов, парники, теплицы, сушилки и т.п. Указанное обстоятельство позволяет использовать один общий регулятор на несколько объектов, что повышает техникоэкономические показатели автоматизации.

Рассмотрев основные свойства управления объектами, переходят к ознакомлению с классификацией автоматических регуляторов,

[6] с. 261...268. Затем изучают основные свойства, схемы, область применения регуляторов. Правила выбора и настройки регуляторов приведены в [1] с.192,130 и [2] с.156...175.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое статическая характеристика регулируемого объекта?
2. Что такое динамическая характеристика регулируемого объекта?
3. Что такое аккумулирующая способность объекта?

Приведите примеры сельскохозяйственных объектов с разной аккумулирующей способностью.

2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

2.1. Статические и динамические свойства автоматических систем регулирования

Лабораторная работа 19. Исследование статических свойств динамических звеньев.

Лабораторная работа 20. Исследование динамических свойств типовых звеньев.

Практическое занятие 4. Определение передаточных функций объектов регулирования.

Литература: [1] с.149...180; [2] с.236...268.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Настоящая тема является наиболее трудной и требует хорошей математической подготовки. Материал темы применяется в дальнейшем при исследовании динамических свойств и устойчивости автоматических систем управления. Для решения этих вопросов рассматривают автоматические системы как совокупность элементарных (типовых) звеньев.

В отличие от реальных элементов автоматики (датчиков, уси-

лителей, исполнительных элементов) элементарные звенья различают не по выполняемым ими функциям, а по уравнениям переходного процесса. Это дает возможность все многообразие физических устройств, из которых состоят автоматические системы, представить всего лишь шестью элементарными звеньями или их комбинациями. Элементарные звенья подразделяются на безинерционные, апериодические, дифференцирующие, колебательные и запаздывающие.

Физические процессы в звеньях описываются дифференциальными уравнениями, а уравнение системы складывается из уравнений отдельных звеньев. При этом используются дифференциальные уравнения процессов передачи и преобразования энергии или массы, так как именно эти процессы происходят в любой автоматической системе независимо от принципа ее действия. Решив дифференциальное уравнение системы, можно определить изменение значения выходной величины в зависимости от измерений входной величины и произвести количественную оценку процесса уравнения.

Дифференциальные уравнения типовых звеньев приведены в [1] на с. 180...192.

Решение дифференциальных уравнений является весьма трудоемкой операцией. Поэтому в современной теории применяют упрощенные методы решения дифференциальных уравнений. Одним из таких методов является преобразование Лапласа, позволяющее заменить данное дифференциальное уравнение алгебраическим, которое решается просто.

Пример 4. Дано дифференциальное уравнение реального дифференцирующего звена.

$$T * \frac{d_y}{d_t} + y = k * T \frac{d_x}{d_t}$$

где T - постоянная времени звена

Пользуясь преобразованием Лапласа, представить данное уравнение в операторной форме при нулевых начальных условиях.

Решение. В преобразованиях Лапласа $d/dt = p$; $y = y(p)$; $x = x(p)$;

Тогда, заменяя производные dy/dt на $p \cdot y(p)$, а dx/dt на $p \cdot x(p)$ имеем следующее алгебраическое выражение

$$T * p * y(p) + y(p) = kTrx(p) \\ y(p) (Tr + 1) = kTrx(p)$$

Как видно, такая форма записи уравнений гораздо проще, чем дифференциальная.

Имея уравнение звеньев в операторной форме, найти передаточную функцию. Она равна отношению изображения выходной величины к изображению входной при нулевых начальных условиях.

Значения передаточных функций используются при решении вопроса устойчивости систем.

Пример 5. Найти передаточную функцию дифференцирующего звена.

Решение. Оперативная форма уравнения дифференцирующего звена

$$y(p)/(Tr + 1) = kTrx(p) \text{ (см. предыдущий пример).}$$

Разделив правую и левую части уравнения на $x(p) = 0$ получим

$$\frac{y(p)}{x(p)} \cdot (Tr + 1) = kTr$$

Передаточная функция

$$W(p) = y(p)/x(p) = kTr/(Tr + 1)$$

Необходимо уяснить динамические свойства типовых звеньев автоматики, научиться определять их передаточные функции.

При исследовании автоматических систем широко применяются также частотные характеристики, которые могут быть сняты экспериментальным путем.

Методика и примеры построения амплитудных, фазовых и амплитудно-фазовых частотных характеристик приведены в Л-1, с.194...195.

Несмотря на большое многообразие элементов автоматических систем, они могут быть разделены всего на несколько групп, обладающих одинаковыми динамическими свойствами. Поэтому изложенные методы теории являются универсальными и могут применяться

для исследования любых автоматических систем, каждую из которых можно представить состоящей из типовых звеньев. Графическое изображение, показывающее из каких динамических звеньев система и как они соединены между собой, называется структурной схемой данной системы.

Примеры структурных схем приведены в [1], на рис. 77, 78.

На этом рисунке динамические звенья изображаются прямоугольными, внутри которых записываются передаточные функции в операторной форме. Связи между звеньями изображаются линиями со стрелками, указывающими направление передачи воздействий. Суммирующие элементы изображаются кружками, разделенными на четыре сектора. В сумматорах воздействия складываются или вычитаются. При вычитании один сектор зачернен. Узлы разветвления, в которых воздействия разделяются на несколько направлений, обозначаются зачерненными точками.

По структурной схеме можно составить уравнение системы, по уравнениям системы можно построить структурную схему. Для решения подобных задач необходимо изучить методы эквивалентного преобразования структурных схем, которые изложены в [1] на с. 203...205.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое статическая характеристика автоматической системы регулирования?
2. Что такое преобразование Лапласа и для чего используется оно в теории автоматике?
3. Что понимают под амплитудной и фазовой частотными характеристиками?

2.2. Устойчивость автоматических систем управления

Практическое занятие № 5. Расчет устойчивости автоматических систем управления.

Литература: [1] с. 206...214; [2] с. 269...281.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Одним из основных показателей, характеризующих автоматическую систему, является ее устойчивость.

Устойчивость - это свойство системы возвращаться в исходное состояние после прекращения действия возмущения.

Неустойчивая система не возвращается в состояние равновесия. Выходная величина такой системы непрерывно увеличивается или совершает недопустимо большие колебания. Поэтому такие системы не пригодны для практического пользования. Русский ученый А. М. Ляпунов предложил оценивать устойчивость автоматических систем на основе анализа уравнения их динамики.

Для суждения об устойчивости системы необходимо решить уравнение системы, записанное в операторной форме и определить значение корней уравнения. Если все корни имеют отрицательную действительную часть, то система будет устойчивой. Если действительная часть хотя бы одного корня равна нулю, а действительные части остальных корней отрицательные, то система находится на границе устойчивости. При наличии корней с нулевыми действительными частями - будет неустойчивой.

Следовательно, для определения устойчивости системы необходимо решить уравнение и определить знаки действительной части корней. Алгебраические уравнения первой и второй степени решаются просто. Уравнения более высоких порядков решаются трудно или аналитически вообще не решаются. Поэтому возникает вопрос об определении знаков, корней уравнения без решения уравнения. Этим вопросом занимались многие ученые. Они установили косвенные признаки, позволяющие судить о знаках корней; такие косвенные признаки получили название критериев устойчивости.

Применяются алгебраические критерии устойчивости Вышнеградского, Рауса, Гурвица и графоаналитические критерии Михайлова и Найквиста. Достоинством алгебраических критериев является простота их применения. Надо только знать разделы математики,

касающиеся определителей уравнений. Основным недостатком алгебраических критериев является то, что они не позволяют оценивать влияние на устойчивость системы параметров отдельных ее элементов. От этого недостатка свободны графоаналитические критерии.

Примеры применения алгебраических и графоаналитических критериев приведены в [1] с.211...213.

Вопросы для самоконтроля:

1. В чем сущность метода оценки устойчивости автоматических систем А.М. Ляпунова?
2. В чем сущность критерия А.В. Михайлова?
3. Что такое запас устойчивости и как он определяется по модулю к фазе?

2.3. Качество процесса регулирования в автоматических системах

Литература: [1] с.218...234.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Из предыдущей темы известно, что главным требованием, предъявляемым к автоматическим системам, является устойчивость - свойство возвращаться в исходное состояние после прекращения действия возмущения. В устойчивых системах переходный процесс затухает.

Однако для практики важен не только сам факт затухания, а и характер затухания переходного процесса. Так, если процесс затухания будет протекать медленно, то система не будет обладать необходимым быстродействием и ее применение будет ограничено.

Поэтому устойчивость является необходимым, но недостаточным условием работоспособности автоматических систем. Достаточным условием является качество процессов регулирования, которое оценивается качеством переходных процессов и ошибками в устано-

вившихся режимах.

Ознакомьтесь с основными показателями качества процесса регулирования и обратите внимание на взаимосвязь между временем регулирования и перерегулированием. Рассмотрите также метод оценки качества процесса регулирования, разработанный В.В. Солодовниковым.

Работоспособность автоматических систем зависит от качества процессов регулирования. Отсюда понятно стремление к улучшению показателей регулирования. Качественные показатели улучшают посредством ввода в структуру системы корректирующих устройств, которые включают последовательно или параллельно основным звеньям.

Так, например, при последовательном включении дифференцирующего корректирующего звена удастся увеличить коэффициент усиления, уменьшить время переходного процесса и ошибку систем в установившемся режиме.

Последовательное включение интегрирующей RG-цепочки значительно уменьшает динамическую ошибку и снижает уровень ошибок, вызываемых помехами, поступающими на вход системы.

В [1] с.234...236 показано влияние корректирующих устройств, включаемых в цепи обратных связей. Внимательно проработайте этот материал и сделайте вывод о преимуществах параллельного включения корректирующих устройств.

Вопросы для самоконтроля

1. Почему устойчивость не является достаточным условием работоспособности автоматических систем?
2. Каковы основные показатели качества процесса регулирования?
3. Какова взаимосвязь между временем регулирования и перерегулированием?
4. Какие методы используются для оценки качества процесса регулирования?
5. В чем сущность метода В.В. Солодовникова?
6. Какими способами можно улучшить качественные показатели процесса регулирования?

7. Как влияет последовательность включения корректирующих устройств на показатели автоматической системы?
8. Каковы преимущества включения корректирующих устройств в цепи местных обратных связей?
9. Приведите примеры и объясните влияние обратных связей на параметры основного звена.

2.4. Нелинейные автоматические системы регулирования

Литература: [1] с.238...249.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В темах 2.1 - 2.3 излагалась теория линейных автоматических систем. В таких идеализированных системах связь между выходной и входными величинами задается линейными уравнениями, решение которых не вызывает затруднений.

Реальные автоматические системы содержат нелинейные элементы автоматики: реле, датчики, усилители и пр. Характеристики этих элементов линейны только на определенных участках и не могут быть описаны линейными уравнениями. Кроме этого, в нелинейных системах при определенных условиях могут возникать устойчивые автоколебания выходной величины.

Вот почему анализ нелинейных систем нельзя выполнить методами, применяемыми для линейных систем. Поэтому при определении устойчивости и работоспособности нелинейных автоматических систем применяют специальные нематематические методы фазовой плоскости, приспособивания гармонического баланса. Сущность этих методов изложена в [1] с.239...246. Однако указанные методы являются математически сложными и дают приближенные результаты.

Более точные результаты дает метод математического моделирования, осуществленный с помощью цифровых вычислительных машин. Основными элементами цифровых вычислительных машин являются

ся операционные (решающие) усилители постоянного тока, которые выполняют различные математические операции.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие автоматические системы называются нелинейными?
2. Каковы особенности нелинейных систем по сравнению с линейными?
3. Назовите основные методы исследования нелинейных систем.
4. В чем сущность метода математического моделирования, применяемого при анализе нелинейных автоматических систем?

2.5. Системы телемеханики

Лабораторная работа N 20. Исследование схем телеуправления.

Лабораторная работа N 21. Исследование схем телесигнализации.

Литература: [1] с.220...241; [2] с.233...259.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Телемеханика в современном понимании - это область науки, изучающая вопросы и методы автоматической передачи на расстоянии команд управления и информации о состоянии управляемых объектов.

В сельском хозяйстве устройство телемеханики было впервые применено в 1876 году для телеизмерения уровня воды в реке Ингул. Первый диспетчерский пункт, оборудованный средствами телемеханики, был построен в 1938 году на канале имени Москвы.

В настоящее время устройства телемеханики широко применяются в сельском хозяйстве в системах ирригации и мелиорации.

Изучение систем телемеханики необходимо начать со структурной схемы (см. [1], рис.105). Затем следует рассмотреть классификацию телемеханических сигналов и способы их разделения. Особое внимание надо уделить изучению методов разделения сигнала

лов, передаваемых по одному каналу связи.

При временном разделении сигналы посылаются последовательно во времени и принимаются в приемнике по порядку их следования. При частотном разделении сигналы различной частоты посылаются параллельно во времени и различаются в приемнике при помощи фильтров. Частотно-временное разделение является комбинированным способом. При передаче буквенно-цифровой информации используют двоичные коды.

Далее следует ознакомиться с каналами связи, их классификацией и областью применения. Затем приступают к изучению системы телеуправления, которая состоит из передающей и приемной части и линии связи. На передающую часть воздействуют органы управления, а с выхода приемной части это воздействие передается на управляемые объекты.

В сельском производстве используются двухпозиционные объекты. Электродвигатели насосных станций орошения относятся к двухпозиционным объектам. Они могут находиться в двух позициях (состояниях) - включенном и отключенном.

Задвижки и щиты ирригационных систем относятся к многопозиционным объектам. Они устанавливаются в заданную позицию путем передачи соответствующих команд.

Примеры применения систем телемеханики в иелиорации можно найти в книге Ганкина М.З. "Автоматизация и телемеханизация производственных процессов". - М.: Колос, 1977 г.

Вопросы для самоконтроля

1. Какова классификация телемеханических систем?
2. Что такое кодирование?
3. В чем сущность временного способа разделения сигналов?

2.6. Понятие о надежности элементов автоматики

Литература: [1] с.275...280; [2] с.359...372.

Практическое занятие №6. Определение показателей, характеризующих надежность автоматических систем.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение этой темы рекомендуется начать с усвоения основных терминов и понятий. К ним относятся такие термины, как надежность, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, наработка на отказ. Объяснения этих терминов приведены в [1], с.276...280. Уясните понятие надежности как способности изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в надлежащих пределах в течение требуемого времени. Изучите вопросы влияния окружающей среды на надежность средств автоматики.

Особенно важными для практики являются знания путей повышения надежности средств автоматических устройств: упрощение схем управления, резервирование, совершенствование технологии производства.

Для расчета надежности необходимо знать основные соотношения между расчетными величинами.

Вероятность безотказной работы электрических элементов автоматики.

$$P(t) = e^{-k\lambda t}$$

где e - основание натуральных логарифмов;

k - коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды на интенсивность отказов; для лабораторных условий $k=1$; для стационарных сельхозустановок $k=10..15$; для мобильных агрегатов $k=25..30$.

λ - интенсивность отказов;

t - время безотказной работы с заданной вероятностью, ч.

Вероятность отказа.

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

Среднее время безотказной работы

$$T_{cp} = 1/k * \lambda$$

Время безоотказной работы с заданной вероятностью

$$t = - \ln P(t) / k \cdot \lambda$$

Пользуясь этими формулами, можно решить различные задачи.

Интенсивность отказов для отдельных элементов автоматических устройств определяют по приложению 12.

Для упрощения в приложении 12 приведены средние значения интенсивности отказов. Например, для пускателей

$$\lambda = 10 \cdot 10^{-6} \text{г}^{-1}; \text{ тиристоров } \lambda = 1.8 \cdot 10^{-6} \text{г}^{-1}$$

Отсюда видно, что тиристор является более надежным элементом, чем пускатель.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Контрольная работа составлена по 100-вариантной системе. Номер варианта определяется двумя последними цифрами шифра.

В каждом варианте три вопроса и три задачи, которые охватывают всю программу предмета.

Выполненная работа высылается в техникум для проверки в сроки, указанные в графике.

При решении задач рекомендуется:

- 1) все исходные данные (величины) выражать в единицах СИ;
- 2) исходные формулы привести в удобную для расчетов форму;
- 3) для достижения необходимой точности и облегчения вычислений пользоваться микрокалькулятором;
- 4) при оформлении работы тщательно проверить по тексту правильность терминологии и единиц СИ, установленных действующими ГОСТами.

Выбор вариантов контрольной работы

Таблица 1

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	8	29	20	1	27	13	32	3	16	22
	53	50	51	58	48	36	63	59	38	46
	88	83	86	91	77	70	93	87	68	76
1	2	22	29	4	15	23	10	26	20	13
	60	46	61	53	40	44	34	49	41	58
	97	77	98	83	82	87	72	79	73	82
2	33	12	16	6	2	26	29	5	10	27
	67	38	37	62	58	48	51	61	36	50
	100	70	68	99	88	76	91	93	67	80
3	19	33	23	13	26	8	30	18	1	32
	60	65	51	41	56	56	64	44	53	65
	94	97	92	76	88	86	93	73	86	95
4	22	10	25	16	6	20	3	19	14	21
	44	35	50	38	54	43	57	34	41	46
	73	69	83	70	85	75	89	68	77	87
5	9	28	11	15	30	4	17	27	23	5
	59	49	42	36	66	54	39	47	52	61
	92	75	80	72	99	84	71	78	89	94

	12	25	8	19	1	14	32	7	4	11
6	45	48	59	47	43	39	56	62	55	66
	74	81	91	80	84	67	97	100	96	83
	18	31	3	30	21	5	24	17	9	31
7	49	65	54	62	57	60	45	42	35	64
	81	95	20	96	74	94	81	78	69	98
	25	4	18	33	11	9	14	28	24	7
8	47	55	35	63	39	64	37	52	40	66
	78	90	79	96	69	92	71	84	74	89
	6	21	12	24	15	7	28	31	17	2
9	52	40	34	43	34	57	45	63	42	55
	85	67	72	82	71	90	79	95	75	85

ВОПРОСЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Изобразите структурную схему автоматической системы управления (АСУ), в которой управление осуществляется по разомкнутому циклу. Объясните назначение и взаимодействие элементов схемы.
2. Изобразите структурную схему АСУ, в которой управление осуществляется по замкнутому циклу. Укажите преимущества замкнутой системы по сравнению с разомкнутой.
3. Изобразите схему АСУ, построенной по принципу отклонения. Объясните назначение и взаимодействие элементов схемы. Приведите примеры.
4. Изобразите схему АСУ, построенную по принципу компенсации возмущений. Объясните назначение и взаимодействие элементов схемы. Приведите примеры.
5. Начертите схему АСУ, построенную по комбинированному принципу. Объясните назначение и взаимодействие элементов схемы. Приведите примеры.

6. Перечислите элементы автоматических систем, их назначение, характеристики и параметры.
7. Объясните термин "обратная связь". Приведите примеры главных, местных, положительных, отрицательных, жестких, гибких обратных связей.
8. Приведите классификацию автоматических систем по характеру изменения управляемой величины. Укажите области применения стабилизирующих, программных и следящих систем.
9. Опишите сущность статического регулирования и объясните термины "статическая ошибка", "зона нечувствительности".
10. Опишите сущность астатического регулирования и укажите его преимущества по сравнению со статическим регулированием.
11. Приведите классификацию автоматических систем по способу передачи и преобразования управляющего воздействия. Укажите на принципиальное отличие непрерывных и дискретных систем. Ответ иллюстрируйте диаграммами регулирующих воздействий.
12. Опишите классификацию электрических датчиков по принципу действия. Укажите преимущества и недостатки генераторных и параметрических датчиков.
13. Объясните принцип действия и устройство контактного датчика. Укажите достоинства, недостатки и область применения. Иллюстрируйте ответ эскизами одностороннего и двухстороннего датчиков.
14. Объясните принцип действия и устройство потенциметрического датчика с кольцевым каркасом. Укажите достоинства, недостатки и область применения. Ответ иллюстрируйте схемой устройства датчика.
15. Объясните принцип действия и устройство угольного датчика. Укажите достоинства, недостатки и область применения. Ответ иллюстрируйте эскизом и графиком статической характеристики датчика.
16. Объясните принцип действия и устройство тензометрического датчика. Укажите достоинства, недостатки и область применения. Ответ иллюстрируйте эскизом и графиком статической характеристики.

17. Объясните принцип действия и устройство индуктивного датчика с подвижным якорем. Укажите достоинства, недостатки и область применения. Ответ иллюстрируйте схемой устройства и графиком статической характеристики.
18. Объясните принцип действия и устройство трансформаторного датчика угла поворота. Укажите достоинства, недостатки и область применения. Ответ иллюстрируйте схемой устройства датчика.
19. Объясните принцип действия и устройство емкостных датчиков. Укажите достоинства, недостатки и область применения. Ответ иллюстрируйте схемами устройства емкостных датчиков.
20. Объясните принцип действия и устройство фоторезистора. Укажите достоинства, недостатки и область применения. Ответ иллюстрируйте графиками и вольт-амперной и световой характеристиками.
21. Объясните принцип действия и устройство фотоэлементов с внешним фотоэффектом.
22. Объясните принцип действия фотодиода. Области применения. Сравните чувствительность фотодиода и фоторезистора.
23. Объясните принцип действия и устройство фототранзистора. Сравните чувствительность фототранзистора и фотодиода. Схема устройства.
24. Опишите принцип действия и устройство манометрических датчиков температуры, приведите их схемы и укажите достоинства, недостатки и область применения.
25. Опишите принцип действия и устройство биметаллических датчиков температуры, приведите их схемы и укажите достоинства, недостатки и область применения.
26. Опишите принцип действия и устройство dilatометрических датчиков температуры, приведите их схемы и укажите достоинства, недостатки и область применения.
27. Опишите принцип действия и устройство полупроводникового терморезистора. Укажите достоинства, недостатки и область применения. Ответ иллюстрируйте графиком температурной характеристики.

28. Опишите принцип действия и устройство позистора. Укажите достоинства, недостатки и область применения. Ответ иллюстрируйте графиком температурной характеристики.
29. Изобразите упрощенную схему мембранного датчика уровня сыпучих материалов. Укажите достоинства, недостатки и область применения.
30. Опишите устройство и принцип действия тахогенератора. Достоинства, недостатки, область применения. Ответ иллюстрируйте схемой устройства.
31. Объясните назначение усилителей в устройствах автоматики, приведите их классификацию и сравните основные типы усилителей по значениям коэффициента усиления и быстродействию.
32. Изобразите схему одноконтактного усилителя. Объясните принцип усиления и график характеристики управления.
33. Изобразите схему магнитного усилителя с внешней обратной связью и объясните, как такие устройства можно использовать в качестве бесконтактных реле.
34. Изобразите схему двухконтактного дифференциального магнитного усилителя, приведите характеристику управления и укажите преимущества по сравнению с одноконтактным магнитным усилителем.
35. Классы гидравлических усилителей. Начертите несколько схем гидроусилителей. Объясните принцип их работы. Применение таких усилителей в сельском хозяйстве.
36. Начертите схемы транзисторных реле с параллельной обратной связью по напряжению и с последовательной обратной связью по току. Опишите их работу и укажите их назначение.
37. Изобразите схему феррорезонансного стабилизатора напряжения, объясните принцип действия. Ответ иллюстрируйте графиком выходного напряжения.
38. Начертите схему компенсационного стабилизатора и опишите его работу. Назначение стабилизаторов.
39. Перечислите и объясните основные параметры реле автоматики и приведите классификацию реле по времени срабатывания.

40. Изобразите схему электромагнитного нейтрального реле постоянного тока. Объясните принцип действия и укажите правила выбора реле. Укажите, чем отличается реле переменного тока от реле постоянного тока. Назначение короткозамкнутого витка.
41. Опишите принцип действия и устройство поляризованного реле постоянного тока и объясните, чем отличаются двухпозиционные реле от трехпозиционных.
42. Объясните принцип действия и укажите область применения шаговых искателей прямого действия.
43. Изобразите принципиальную схему программного реле. Объясните принцип действия и укажите область применения.
44. Опишите принцип действия и устройство герконового реле с магнитоуправляемыми контактами и объясните их преимущества перед обычными контактными реле.
45. Приведите схемы конструкций и опишите работу муфт сухого и вязкого трения.
46. Объясните, как выполняется аналитическая запись структуры и условий работы схем. Ответ иллюстрируйте схемами с использованием графических и буквенных символов.
47. Объясните сущность логической функции НЕ и приведите схемы ее реализации с помощью контактных и бесконтактных элементов.
48. Объясните сущность логической функции И и приведите схемы ее реализации с помощью контактных и бесконтактных элементов.
49. Объясните сущность логической функции ИЛИ и приведите схемы ее реализации с помощью контактных и бесконтактных элементов.
50. Объясните сущность логической функции ИЛИ-НЕ и приведите схемы ее реализации с помощью контактных и бесконтактных элементов.
51. Объясните сущность логической функции ЗАДЕРЖКА и приведите схемы ее реализации с помощью контактных и бесконтактных элементов.

52. Объясните сущность логической функции ЗАПРЕТ и приведите схемы ее реализации с помощью контактных и бесконтактных элементов.
53. Объясните сущность логической функции ИМПЛИКАЦИЯ и приведите схемы ее реализации с помощью контактных и бесконтактных элементов.
54. Объясните сущность логической функции РАВНОЗНАЧНОСТЬ и приведите схемы ее реализации с помощью контактных и бесконтактных элементов.
55. Объясните сущность логической функции НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ и приведите схемы ее реализации с помощью контактных и бесконтактных элементов.
56. Объясните сущность логической функции И-НЕ и приведите схемы ее реализации с помощью контактных и бесконтактных элементов.
57. Объясните сущность логической функции ПОВТОРЕНИЕ и приведите схемы ее реализации с помощью контактных и бесконтактных элементов.
58. Объясните на конкретном примере сущность минимизации релейных схем.
59. Опишите серию микросхем К 155. Начертите принципиальную схему основного функционального элемента серии и объясните ее работу.
60. Покажите на примере преобразование релейной контактной схемы в бесконтактную.
61. Опишите, что представляют собой статические и динамические характеристики объектов управления и где они применяются?
62. Объясните термин "аккумулирующая способность регулируемого объекта". Приведите примеры нескольких сельскохозяйственных объектов, обладающих свойством аккумуляции.
63. Объясните термин "самовыравнивание регулируемого объекта". Приведите примеры нескольких сельскохозяйственных объектов, обладающих свойством выравнивания.
64. Объясните термин "переходное запаздывание", "время разго-

- на", "постоянная времени объекта". Объясните, как определяется время передаточного и переходного запаздывания, постоянная времени и коэффициент самовыравнивания регулируемых объектов в переходных процессах.
65. Приведите классификацию автоматических регуляторов и укажите тип регуляторов, применяемых в сельскохозяйственной автоматике.
 66. Опишите основные свойства пропорциональных регуляторов АСР, укажите их особенности и область применения.
 67. Опишите основные свойства интегральных регуляторов АСР, укажите их особенности и область применения.
 68. Опишите основные свойства пропорционально-интегральных регуляторов и укажите область их применения.
 69. Опишите основные свойства пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов и укажите область их применения.
 70. Сущность преобразования Лапласа. Различие между операторной и операционной записью дифференциальных уравнений. Динамические свойства систем автоматического управления. Понятие передаточной функции.
 71. Статические свойства систем автоматического управления. Понятие передаточного коэффициента и статической ошибки.
 72. Опишите способы получения статических характеристик.
 73. Типовые динамические звенья. Усилительное (безинерционное) звено, математическое описание динамических свойств звена, графики характеристик, примеры таких звеньев.
 74. Аperiodическое звено первого порядка. Дайте математическое описание динамических свойств звена, приведите его характеристики, назовите примеры такие звеньев.
 75. Дифференцирующее звено: математическое описание динамических свойств, графики характеристик, пример таких звеньев.
 76. Интегрирующее звено: математическое описание динамических свойств, графики характеристик, пример таких звеньев.
 77. Колебательное звено: математическое описание динамических свойств, графики характеристик, примеры таких звеньев.

78. Запаздывающее звено: математическое описание динамических свойств, графики характеристик, примеры таких звеньев.
79. Понятие алгоритмической структурной схемы. Виды схем и их эквивалентное преобразование.
80. Понятие об устойчивости автоматических систем.
81. Алгебраические критерии устойчивости автоматических систем.
82. Охарактеризуйте критерий Гурвица для систем первого, второго, третьего и четвертого порядка.
83. Частотные критерии устойчивости автоматических систем. Охарактеризуйте критерий Михайлова.
84. Охарактеризуйте критерий Найквиста для оценки устойчивости автоматической системы управления.
85. Понятие запаса устойчивости системы автоматического управления по амплитуде и по фазе.
86. Объясните показатели качества переходных процессов управления в автоматических системах.
87. Сущность метода В. В. Солодовникова для построения кривых переходного процесса управления в автоматических системах.
88. Понятие о коррекции автоматических систем.
89. Анализ свойств нелинейных автоматических систем управления.
90. Перечислите существующие методы телемеханики и объясните сущность каждого из них.
91. Понятие "сообщение" и "информация".
92. Опишите временной способ разделения сигналов телемеханики.
93. Опишите частотный способ разделения сигналов телемеханики.
94. Способы кодирования в телемеханике.
95. Перечислите системы телеизмерения и объясните сущность каждой из них.
96. Линия связи систем телемеханики.
97. Основные понятия надежности; дать определения.
98. Пути повышения надежности.
99. Основные показатели экономической эффективности автоматизации производства; дайте определения.

100. Годовые эксплуатационные изделия; расчетная формула, а также расчетные формулы для всех затрат, учитываемых годовыми эксплуатационными издержками с пояснением величин, входящих в формулы.

КОНТОРОЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ

Примеры решения задачи I приведены в приложении I.

Задача I

1) Варианты 00-24. Рассчитайте потенциометрический датчик с прямоугольным каркасом для измерения линейных перемещений. Определите диаметр и длину провода намотки и витковую погрешность. Данные взять из таблицы 2.

Исходные данные к задаче I (варианты 00-24)

Таблица 2

Вариант	Напряжение питания U, В	Сила тока I, А	Длина намотки L _н , мм	Материал провода
00	12	0.1	30	Манганин
01	12	0.09	25	"
02	12	0.08	30	"
03	12	0.07	25	"
04	18	0.2	25	Константан
05	18	0.25	30	"
06	18	0.15	25	"
07	18	0.3	40	"
08	6	0.3	30	Манганин
09	6	0.25	25	"
10	6	0.4	20	Константан
11	6	0.2	30	"
12	10	0.08	20	Манганин
13	10	0.1	25	"

Вариант	Напряжение питания U, В	Сила тока I, А	Длина намотки L _н , мм	Материал провода
14	10	0.15	30	"
15	10	0.2	40	"
16	24	0.1	40	"
17	24	0.08	30	"
18	24	0.09	25	Константан
19	24	0.24	30	"
20	12	0.12	30	"
21	12	0.24	25	"
22	6.3	0.1	30	Манганин
23	6.3	0.08	20	"
24	6.3	0.2	35	"

Указание. Удельное электрическое сопротивление константы примите равным $0.5 \cdot 10^{-6}$ Ом*м, манганина - $0.4 \cdot 10^{-6}$ Ом*м.

2) Варианты 25-49. Постройте график температурной характеристики терморезистора в интервале температур 293-373°K, а также определите чувствительность терморезистора и температурный коэффициент при заданной температуре. Данные взять из табл. 3.

Исходные данные к задаче I (варианты 25-49).

Таблица 3

Вариант	Тип терморезистора	Сопротивление терморезистора при температуре 293°K R ₂₉₃ , кОм	Отношение R ₂₉₃ /R ₃₇₃	Заданная температура T _в , °K
1	2	3	4	5
25	ММТ-1	4	8	333
26	ММТ-1	20	7	323
27	ММТ-1	6	6	343

1	2	3	4	5
28	ММТ-1	100	5	353
29	ММТ-1	40	6	323
30	ММТ-1	50	8	333
31	КМТ-1	20	18	343
32	КМТ-1	30	20	353
33	КМТ-1	60	22	323
34	КМТ-1	80	24	333
35	КМТ-1	120	25	323
36	ММТ-4	15	8	333
37	ММТ-4	12	5	333
38	ММТ-4	9	6	323
39	ММТ-4	35	7	343
40	ММТ-4	60	8	343
41	КМТ-4	100	18	333
42	КМТ-4	200	30	353
43	КМТ-4	300	28	323
44	КМТ-4	400	25	323
45	КМТ-4	500	20	333
46	КМТ-10	600	35	323
47	КМТ-10	700	40	323
48	КМТ-10	800	35	343
49	КМТ-10	900	40	343

3) Варианты 50-74. Определите индуктивность и силу тока индуктивного датчика. Постройте график рабочей части выходной характеристики датчика. Частоту тока примите равной 50 Гц. Данные взять из табл. 4.

Исходные данные к задаче 1 (варианты 50-74).

Таблица 4

Вариант	Напряжение питания U, В	Число витков n	Площадь сечения магнитопровода F, мм ²	Длина воздушного зазора δ, мм				
				δ ₁	δ ₂	δ ₃	δ ₄	δ ₅
1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	24	900	100	1.0	2.0	5.0	7.0	10
51	24	800	110	0.5	2.0	4.0	6.0	8.0
52	36	1000	140	0.5	3.0	5.0	7.0	10
53	220	10000	100	0.4	0.6	0.8	1.0	2.0
54	220	9000	150	0.8	1.0	1.2	2.0	4.0
55	220	8000	150	0.6	1.0	1.5	2.0	3.0
56	220	11000	160	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
57	220	12000	200	1.0	1.5	2.0	2.5	4.0
58	36	1000	120	0.5	2.0	3.0	4.0	6.0
59	24	800	100	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0
60	24	900	100	0.5	1.5	2.5	4.0	5.0
61	36	2000	100	0.5	2.0	3.0	5.0	7.0
62	220	7500	150	1.0	1.5	2.5	3.5	6.0
63	220	10500	130	0.6	1.5	2.4	3.7	5.2
64	220	10000	170	0.8	1.5	2.7	4.2	6.5
65	24	1000	120	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0
66	36	1000	160	0.6	1.2	2.4	3.6	6.0
67	220	14000	200	0.7	1.6	2.8	4.5	8.0
68	24	950	120	0.4	1.2	2.4	4.8	7.2
69	24	850	100	0.2	0.5	1.5	2.5	3.0
70	36	6000	130	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
71	24	600	90	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
72	36	1200	100	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
73	24	750	100	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
74	220	13000	250	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0

4) Варианты 75-99. Определите емкость и чувствительность емкостного плоского датчика и постройте график зависимости силы тока датчика от расстояния между его пластинками. Данные взять из табл. 5.

Исходные данные к задаче 1 (варианты 75-99).

Таблица 5

Вариант	Диэлектрическая проницаемость среды, ϵ	Площадь пластин конденсатора $F, \text{см}^2$	Частота тока $f, \text{кГц}$	Расстояние между пластинами $\delta, \text{мм}$				
				δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5
1	2	3	4	5	6	7	8	9
75	1.0	100	100	0.5	0.8	1.2	1.6	2.0
76	2.1	120	400	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
77	2.7	150	300	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
78	81.0	200	500	0.5	1.5	2.0	2.5	3.0
79	2.5	180	400	0.6	1.0	1.3	2.4	3.0
80	1.0	160	300	0.8	1.5	2.0	2.5	3.0
81	81.0	140	500	0.7	1.4	1.8	2.5	3.0
82	2.7	210	500	0.2	0.8	1.5	2.0	2.5
83	2.0	130	200	0.4	1.2	2.0	2.5	3.0
84	1.0	110	100	0.3	0.7	1.5	2.0	2.5
85	1.0	100	50	0.2	0.6	1.0	2.0	3.0
86	1.0	120	150	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
87	2.5	110	200	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
88	2.1	90	300	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
89	1.0	110	350	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
90	2.7	150	400	0.5	1.0	2.0	2.5	3.0
91	2.1	120	450	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0
92	2.5	100	500	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
93	1.0	100	250	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
94	1.0	130	160	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
95	1.0	150	250	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
96	2.1	100	320	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0
97	2.7	130	130	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5
98	1.0	90	400	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
99	1.0	100	500	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

Указание. Напряжение питания датчика примите равным 220 В.

Задача 2

Примеры решения задачи 2 приведены в приложении 2.

1) Варианты 00...19. На рис. 6 приведена схема двигательного исполнительного механизма МЭО с двухфазным асинхронным двигателем, подключенным к промышленной сети напряжением U ном. и частотой 50 Гц. Параметры обмоток L и R даны в таблице 6. Определите емкость и напряжение конденсатора, который необходимо включить в одну из обмоток для создания вращающегося магнитного поля. Выбрать подходящий конденсатор из приложения 6.

Исходные данные к задаче 2 (варианты 00...19)

Таблица 6

Номер варианта	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
R, Ом	130	200	100	300	250	120	140	170	300	210
L, Гн	0.5	0.6	0.5	0.7	0.6	0.4	0.6	0.4	0.7	0.5
U ном., В	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380

Номер варианта	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
R, Ом	140	150	180	220	160	250	260	190	140	200
L, Гн	0.6	0.4	0.5	0.7	0.4	0.6	0.7	0.6	0.5	0.7
U ном., В	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380

2) Варианты 20...29. Для измерения температуры T_m используется терморезистор, показывающая величину термоЭДС $E(T_m, T_0)$.

Используя данные, приведенные в таблице 7, определите все величины и проставьте вместо прочерков.

Ответить на вопрос, будет ли изменяться термоЭДС терморезистора, если температура контролируемой среды меняется, но разность температур горячего и холодного спаев остается неизменной.

Исходные данные к задаче 2 (варианты 20...29)

Таблица 7

Номер варианта	T_m , град., С	$E(T_m, T_0)$, мВ	Тип терморезистора
20	150	1.1	-
21	780	-	ТПП
22	1020	-	ТХК
23	1250	-	ТПП
24	-	43.0	ТХА
25	-	10.5	ТПП
26	-	34.9	ТХА
27	-	12.4	ТХК
28	780	35.8	-
29	750	5.7	-

3) Варианты 30-39. Для измерения уровня жидкости используют цилиндрический конденсатор. Определить наибольший диапазон изменения емкости конденсатора, взяв длину цилиндров $L = 1.5$ м и их диаметры D и d из таблицы 8, а также определить величины, отмеченные прочерками.

Исходные данные к задаче 2 (варианты 30-39).

Таблица 8

Номер варианта	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
l , м	1.0	0.5	-	1.0	1.3	-	0.4	0.6	1.1	-
ϵ	81	-	81	2.3	-	2.3	81	-	2.3	-
C, пФ	26.1	24.1	-	23.8	33.4	-	32.3	23.8	-	25.9
D, мм	40	40	40	55	45	45	50	55	60	50
d, мм	5	5	5	10	15	10	15	15	15	10

Примечание. При определении ϵ укажите также название жидкости, уровень которой измеряется.

4) Варианты 40-49. На рис. 9 приведена схема магнитного усилителя с числом витков управляющей обмотки W_u , рабочей обмотки W_n и обмотки обратной связи W_{oc} . Сопротивления управляющей обмотки и рабочей обмотки соответственно R_u и R_n . Магнитный усилитель обладает коэффициентами усиления по току K_I , напряжению K_U , мощности K_P .

Используя данные таблицы 9, определите величины, отмеченные прочерками.

Исходные данные к задаче 2 (варианты 40-49).

Таблица 9

Номер варианта	W_n	W_u	R_n	R_u	W_{oc}	K_U	K_I	K_{oc}	K_P
40	100	800	100	10	0	-	-	-	-
41	100	800	100	10	20	-	-	-	-
42	50	400	150	30	-	-	-	0.2	10
43	-	800	-	15	-	-	150	0.5	16
44	50	400	150	-	-	-	100	-	10
45	-	400	-	5	0	10	80	-	-
46	50	-	50	-	10	-	120	-	14
47	-	800	120	8	-	10	-	0.1	-
48	125	-	-	12	-	8	100	0.3	-
49	100	-	250	-	20	-	90	-	12

5) Варианты 50-74. Пользуясь техническими данными малогабаритных реле, выберите реле, удовлетворяющее условиям, указанным в таблице 10.

Исходные данные к задаче 2 (варианты 50-74).

Таблица 10

Вариант	Напряжение питания, U В.	Количество и тип контактов г	Ток нагрузки I А	Режим работы
1	2	3	4	5
50	24	2п	1	продолжительный
51	36	2п	2	продолжительный
52	60	1п	1	продолжительный
53	60	1п	2	импульсный
54	24	2п	3	импульсный
55	30	2п	3	продолжительный
56	60	1п	2	импульсный
57	12	1п	1	продолжительный
58	15	2п	1	импульсный
59	20	2п	2	продолжительный
60	48	2п	3	продолжительный
61	24	1п	1	импульсный
62	36	2п	2	импульсный
63	60	2п	2	продолжительный
64	24	2п	2	продолжительный
65	30	1п	2	импульсный
66	60	1п	3	продолжительный
67	12	2п	1	импульсный
68	15	1п	1	продолжительный
69	20	2п	3	импульсный
70	48	2п	3	импульсный
71	110	1п	3	продолжительный

1	2	3	4	5
72	110	2п	2	импульсный
73	80	1п	2	продолжительный
74	50	2п	3	импульсный

6) Варианты 75-99. Рассчитайте параметрический стабилизатор напряжения. Требования к стабилизатору заданы в табл. 11.

Исходные данные к задаче 2 (варианты 75-99).

Таблица 11

Вариант	U вых, В	Iн, МА	Iн мин, МА	Кст	$\Lambda_1 = \Lambda_2$ %	Rвых, Ом
1	2	3	4	5	6	7
75	10	15	6	25	10	25
76	9	14	5	35	10	30
77	15	10	3	30	10	25
78	12	12	5	25	10	25
79	6	10	3	20	10	34
80	5	10	3	25	10	22
81	10	15	5	30	10	25
82	15	10	4	22	10	32
83	9	14	6	30	10	32
84	12	11	5	25	10	25
85	13	12	4	26	10	30
86	14	10	5	28	10	28
87	15	11	6	30	10	32
88	9	12	3	32	10	30
89	11	15	5	30	10	25
90	12	13	6	28	10	34
91	10	15	3	28	10	30
92	9	13	5	30	10	25
93	12	11	4	25	10	30

1	2	3	4	5
94	6	10	3	25
95	5	10	3	20
96	10	13	5	26
97	15	10	5	30
98	9	14	6	25
99	13	12	5	30

Задача 3

Примеры решения задачи 3 приведены в приложении 3.

1) Варианты 00...24. Пользуясь таблицей 12, начертите схему, соответствующую заданной структурной формуле, упростите ее и вычертите упрощенную схему в контактном варианте.

Исходные данные к задаче 3 (варианты 00-24).

Таблица 12

Вариант	Структурная формула
00	$F = [(ab + ab + ab)bc + d(c + b)]$
01	$F = [ab + c + (a + b)c]d$
02	$F = [(a + b)(a + c)(b + c) + ac]$
03	$F = \bar{a}\bar{b}\bar{c} + abc + a\bar{b}\bar{c} + ab\bar{c}$
04	$F = abc + abc + abc + abc + abc + abc + abc$
05	$F = abc + abc + abc + abc + abc + abc$
06	$F = abc + abc + abc + abc + abc + abc$
07	$F = abc + abc + abc + abc + abc$
08	$F = \bar{a}\bar{b}\bar{c} + abc + \bar{a}\bar{b}\bar{c} + \bar{a}\bar{b}\bar{c} + ac$
09	$F = abc + abc + abc + abc + abc$
10	$F = ab + c + (a + b)c + da$
11	$F = (a + b)(a + c)(b + c) + ac$
12	$F = abc + abc + abc + abc + (bc + d)c$
13	$F = c(ab + c)(a + b) + ab + d$

Вариант	Структурная формула
14	$F = [(a + b + c)(ab + ac) + ab] + (x + xy)d$
15	$F = (a + b + c)(ab + ac) + ab$
16	$F = abc + abc + abc + bc + ab$
17	$F = (a + b + c + d)(a + b + c + d)(a + b + c + d)$
18	$F = (a + b)[(a + c)x + x(a + c) + (y + x)a]$
19	$F = x[ex(c + d) + (x + b)c + xbc]$
20	$F = x[e + x(c + d) + (x + b)c + xbc]$
21	$F = x[x(x + b) + (x + c)b + b(x + c)]$
22	$F = x + b[xc + d] + xb(c + d)$
23	$F = x + c[(c + d) + xc(a + b) + ax + bx]$
24	$F = x[cx(c + d) + (x + b)c + xbc]$

2) Варианты 25-49. По заданной (табл. 13) логической функции постройте функциональную схему на элементах серии К 155.

Исходные данные к задаче 3 (варианты 25-49).

Таблица 13

Вариант	Логическая схема	Вариант	Логическая схема
25	$y = X_1 X_2 + X_1 \bar{X}_2$	38	$y = X_3 (X_1 X_2 + X_1)$
26	$y = X_1 X_2$	39	$y = X_1 X_2 X_3 + X_1 X_2 \bar{X}_3$
27	$y = X_1 + X_1 X_3$	40	$y = X_1 (X_2 + X_3)$
28	$y = (X_1 + X_2) X_3$	41	$y = X_1 + X_2 (X_1 + X_3)$
29	$y = (X_1 + X_2) X_3$	42	$y = X_1 X_2 + X_1 X_2 + X_1 X_3$
30	$y = X_1 + X_1 X_3$	43	$y = X_3 (X_1 + X_2) + X_1 X_3$
31	$y = X_1 + X_2$	44	$y = X_1 X_2 X_3$
32	$y = X_1 X_2 + X_3$	45	$y = X_1 X_2 X_3 + X_1$
33	$y = X_1 X_2 X_3$	46	$y = X_1 X_2 X_3 + X_1$
34	$y = X_1 X_2 + X_1 X_2 + X_1 X_2$	47	$y = (X_1 + X_2) X_3$
35	$y = X_1 X_2 + X_1 X_3$	48	$y = (X_1 + X_2)(X_1 + X_3)$
36	$y = X_1 (X_2 + X_3) + X_2 X_3$	49	$y = (X_1 + X_2) X_3$
37	$y = X_1 X_2 + X_1 (X_2 + X_3)$		

3) Варианты 50-74. Постройте амплитудную, фазовую и амплитудно-фазовую характеристики динамического звена. Исходные данные в табл. 14.

Исходные данные к задаче 3 (варианты 50-74).

Таблица 14

Вариант	Передаточная функция звена	Вариант	Передаточная функция звена
1	2	3	4
50	$W(p) = 2p - 1$	62	$W(p) = 1/(80p + 100)$
51	$W(p) = 0.01/p^2$	63	$W(p) = 1/(1 + 0.5p)$
52	$W(p) = 100/(1 + 0.5p)$	64	$W(p) = 5p - 1(5p + 1)$
53	$W(p) = 10p - 5$	65	$W(p) = 2p + 1/(2p - 1)$
54	$W(p) = 2p/(1 + 2p)$	66	$W(p) = 1/(1 + 2p)$
55	$W(p) = 10/(1 + 0.5p)$	67	$W(p) = 4/(0.25p - 1)$
56	$W(p) = 10/(2p + 3)$	68	$W(p) = (0.5p + 1)/(0.5p - 1)$
57	$W(p) = 0.5p + 1$	69	$W(p) = 10p/(1 + 2p)$
58	$W(p) = 0.1/p^2$	70	$W(p) = (10p + 1)/(10p - 1)$
59	$W(p) = 2/(4p - 1)$	71	$W(p) = p/(1 + p)$
60	$W(p) = 30p/(2p + 1)$	72	$W(p) = 3p - 1$
61	$W(p) = 5/p$	73	$W(p) = 20/(1 + 10p)$
		74	$W(p) = 10/p^2$

4) Варианты 75-99. По заданному характеристическому уравнению определите устойчивость АСУ. Уравнения и метод определения устойчивости указаны в табл. 15.

Исходные данные к задаче 3 (варианты 75-99).

Таблица 15

Вариант	Характеристическое уравнение АСУ	Критерий устойчивости
1	2	3
75	$p^3 + 37p^2 + 836p + 14155 = 0$	Гурвица
76	$5p^3 + 2p^2 + 3p + 1 = 0$	"
77	$4p^3 + p^2 + 3p = 0$	"
78	$5p^3 + 0.1p^2 + p = 0$	"
79	$p^3 + 10p^2 + p + 2 = 0$	"
80	$0.0015p^3 + 0.25p^2 + 1.8p + 245 = 0$	"
81	$0.003p^4 + 0.337p^3 + 3.85p^2 + 611p + 75 = 0$	"
82	$5p^3 + 2p^2 - 3p + 1 = 0$	Михайлова
83	$p^2 + p^2 + 2p + 1 = 0$	"
84	$3p^3 + 2p^2 + p + 1 = 0$	"
85	$4p^3 + 3p + 1 = 0$	"
86	$p^3 + 2p^2 + 8p + 5 = 0$	"
87	$5p^3 + 2p^2 + 5p + 4 = 0$	Гурвица
88	$p^4 + 16p^3 + 32p^2 + 10p + 5 = 0$	"
89	$10p^3 + 2p^2 + 4p + 7 = 0$	"
90	$0.001p^3 + 0.25p^2 + 1.8p + 245 = 0$	"
91	$p^3 + 10p^2 + p + 2 = 0$	Михайлова
92	$5p^3 + 0.1p^2 + 2p = 0$	"
93	$2p^3 + p^2 + 2p + 1 = 0$	"
94	$10p^3 + 5p^2 + p + 10 = 0$	"
95	$3p^4 + 7p^3 + 4p^2 + 2p + 1 = 0$	Гурвица
96	$0.08p^4 + 0.9p^3 + 25p^2 + 75 = 0$	"
97	$p^3 + 28.8p^2 + 645p + 2870 = 0$	"
98	$p^3 + 1.48p^2 + 4.6p + 4 = 0$	"
99	$2p^4 + 5p^3 + 10p^2 + p + 4 = 0$	"

Примеры решения задачи 1

Расчет потенциметрических датчиков с прямоугольным каркасом производят на основании следующих зависимостей:

диаметр провода обмотки

$$d = \sqrt{4I/\pi \iota} \text{ , мм;}$$

где I - числовое значение силы тока потенциметра, А;

ι - числовое значение допустимой плотности электрического тока в обмотке (применяется $10 \text{ А/мм}^2 = 10 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$).

Полное сопротивление обмотки

$$R = U/I, \text{ Ом}$$

Число витков при заданной длине намотки

$$W = L_n / d$$

где L_n - числовое значение заданной длины намотки, мм.

Длина провода обмотки

$$L_n = \pi d^2 R / 4\rho, \text{ м}$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление провода, Ом*м.

Длина одного витка

$$l = L_n / W$$

Размеры каркаса: толщина $a > 4d$, ширина $b = (l - 2a) / 2$

Витковая погрешность

$$\delta = 0.5R/W$$

Пример решения задач вариантов 00-24.

Рассчитать потенциметрический датчик с прямоугольным каркасом.

Исходные данные: $L_n = 20 \text{ мм}$; $I = 80 \text{ мА}$; $U = 10 \text{ В}$; $\iota = 10 \text{ А/мм}^2$; материал провода - манганин, $\rho = 0.4 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Решение. Приступая к решению примера, следует иметь в виду, что для снижения вероятности ошибки при расчетах ГОСТ 8.417-81 рекомендует все величины выражать в единицах СИ (а не в кратных или дольных от них), заменяя приставки степенями числа 10, и только в конечный результат подставлять кратные или дольные единицы.

Согласно этому требованию запишем исходные данные в едини-

цах СИ: $L_n = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $I = 80 \cdot 10^{-3} \text{ А}$; $\iota = 10 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$.

Пользуясь вышеуказанными формулами, производим необходимые вычисления.

Диаметр провода

$$d = \sqrt{4I/\pi \iota} = \sqrt{4 \cdot 80 \cdot 10^{-3} / 3.14 \cdot 10 \cdot 10^6} = 10^{-4} \text{ м} = 0.1 \text{ мм.}$$

Обратите внимание на то, что обозначение единиц согласно ГОСТ 8.417-81 надо помещать не только в конце окончательного результата, но и после всех промежуточных вычислений.

Полное сопротивление потенциметра

$$R = U/I = 10 / (80 \cdot 10^{-3}) \text{ Ом} = 125 \text{ Ом.}$$

Число витков обмотки потенциметра

$$W = L_n / d = 20 \cdot 10^{-3} / 10^{-4} = 200$$

Длина провода обмотки

$$L_n = \pi d^2 R / (4\rho) = 3.14 (10^{-4})^2 \cdot 125 / (4 \cdot 10^{-6}) \text{ м} = 2.45 \text{ м.}$$

Длина одного витка

$$l = L_n / W = 2.45 / 200 = 0.0122 \text{ м} = 12.2 \text{ мм.}$$

Размеры каркаса: толщина $a > 4d$, следовательно $a > 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, принимаем $a = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0.5 \text{ мм}$; ширина $b = (l - 2a) / 2 = (25 \cdot 10^{-4} / 2) - 2 \cdot 5 \cdot 10^{-4} / 2 = 0.0056 \text{ м}$, принимаем $b = 6 \text{ мм}$.

Витковая погрешность

$$\delta = 0.5R/W = 0.5 \cdot 125 / 200 = 0.31 \text{ Ом/вит}, \text{ что допустимо} \\ (\delta \text{ доп} \leq 0.4 \text{ Ом/вит.})$$

Пример решения задач вариантов 25-49.

Расчет температурной характеристики терморезистора.

Дано: тип терморезистора ММТ-1; сопротивление терморезистора при 293°К $R_{293} = 10 \text{ кОм}$; отношение $R_{293} / R_{373} = 8$.

Построить график температурной характеристики терморезистора в интервале температур $293 - 373^\circ \text{К}$, а также определить чувствительность и температурный коэффициент терморезистора при температуре $T = 333^\circ \text{К}$.

Решение.

1. Определяем постоянную материала терморезистора

$$B = 1365 \ln(R_{293}/R_{373}).$$

$$B = 1365 \ln 3 = 1365 \cdot 2.08 = 2839.2^\circ\text{K}.$$

2. Пользуясь формулой

$$R_T = R_{293} e^{(B/T - B/293)}$$

и задавая значения температуры 293, 313, 333, 353, 373°K, находим соответствующие значения R_T .

Например, при $T = 333^\circ\text{K}$.

$$\left(\frac{2839.2}{333} - \frac{2839.2}{293} \right)$$

$$R_{333} = 10 e = 10e^{(8.526 - 9.69)} = 10e^{-1.16} = 3.1 \text{ кОм}.$$

При вычислениях пользуйтесь приложениями 4 и 5 данного пособия.

Результаты вычислений заносим в таблицу 16.

Таблица 16

T, °K	293	313	333	353	373
R _T , кОм	10	5.4	3.1	1.9	1.2

3. По данным таблицы 16 строим график зависимости $R_T = f(T)$ (см. [1] рис.19 в)

4. Температурный коэффициент терморезистора при температуре 333°K

$$\alpha = -B/T^2 = -2839.2/333^2 = -0.026^\circ\text{K}^{-1}$$

5. Чувствительность терморезистора при температуре 333°K

$$S = \alpha \cdot R_{333} = -0.026 \cdot 3.1 \cdot 10 = -80.6 \text{ Ом} \cdot \text{K}^{-1}.$$

Высокая чувствительность позволяет с помощью терморезисторов фиксировать колебания температуры в тысячные доли градуса.

Пример решения задачи вариантов 50...74.

Расчет статической характеристики индуктивного датчика.

Дано: напряжение питания $U = 220 \text{ В}$; частота тока $f = 50 \text{ Гц}$; число витков датчика $n = 10000$; площадь сечения магнитопровода F

$= 100 \text{ мм}^2$; значения воздушного зазора δ равны 0.5; 2.0; 3.0; 4.0; 6.0 мм.

Определить индуктивность и силу тока датчика и построить график статической характеристики $I = f(\delta)$.

Решение. Выражаем исходные величины в единицах системы СИ. $F = 100 \text{ мм}^2 = 100 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$; $\delta_1 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\delta_2 = 2.0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\delta_3 = 3.0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\delta_4 = 4.0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $\delta_5 = 6.0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

Индуктивность датчика

$$L = n^2 F \mu / \delta$$

где μ - магнитная проницаемость вакуума $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

$$L = (10000)^2 \cdot 10^{-4} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} / \delta \cdot 10^{-3} = 4\pi / \delta \text{ Гн}$$

Получили формулу, удобную для расчетов. Подсчитаем числовые значения при заданных значениях и результаты заносим в табл.17. Например, при $\delta = 4 \text{ мм}$ $L = 3.14 \text{ Гн}$.

Таблица 17

δ, мм	0.5	2.0	3.0	4.0	6.0
L, Гн	25.12	6.28	4.19	3.14	2.09
Z, кОм	7.88	1.97	1.31	0.98	0.65
I, А	0.027	0.11	0.17	0.22	0.33

Полное сопротивление катушки датчика (пренебрегая ее активным сопротивлением):

$$Z = \omega L = 2\pi f L; \quad Z = 2\pi f \cdot 4\pi / \delta$$

при $f = 50 \text{ Гц}$ $Z = 3944 / \delta, \text{ Ом}$, где δ - воздушный зазор в мм.

Числовые значения Z при заданных длинах воздушных зазоров заносим в табл.17. Например, при $\delta = 2 \text{ мм}$ $Z = 3944/2 = 1.97 \text{ кОм}$.

Сила тока датчика

$$I = U/Z = U\delta/3944, \text{ А}$$

Например, при $\delta = 4 \text{ мм}$ $I = 220 \cdot 4 / 3944 = 0.223 \text{ А}$

По данным таблицы 17 вычерчиваем график статической характеристики датчика.

Пример решения задачи вариантов 75...99.

Расчет характеристики емкостного плоского датчика.

Дано: диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 1$; площадь пластин конденсатора $F = 100 \text{ см}^2$; напряжение питания $U = 220 \text{ В}$; частота тока $f = 200 \text{ кГц}$; расстояние между пластинами $\delta = 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 3.0 \text{ мм}$.

Определить емкость и чувствительность датчика и построить график зависимости силы тока датчика от расстояния между пластинами.

Решение.

1. Выразим исходные величины в единицах системы СИ:

$$F = 100 \text{ см}^2 = 100 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2;$$

$$f = 200 \text{ кГц} = 200 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 2 \cdot 10^5 \text{ Гц};$$

$$\delta_1 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad \delta_2 = 1.0 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$\delta_3 = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad \delta_4 = 2.0 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$\delta_5 = 3.0 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Емкость плоского конденсатора $C = \epsilon \epsilon_0 F / \delta \text{ Ф}$,

где ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}.$$

ϵ - диэлектрическая проницаемость среды, безразмерная величина, равная для воздуха 1; воды - 81; бумаги - 2.5; нефтепродуктов - 2...2.1; резины - 2.7;

F - площадь пластинки конденсатора, м^2 ;

δ - расстояние между пластинками, м ;

2. Преобразуем формулу емкости в удобную для расчетов форму.

$$C = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^{-2} / \delta \cdot 10^{-3} = 8.85 \cdot 10^{-11} / \delta.$$

3. Вычисляем емкость конденсатора при заданных значениях

$$C_1 = 8.85 \cdot 10^{-11} / \delta_1 = 8.85 \cdot 10^{-11} / 0.5 = 17.7 \cdot 10^{-11} \text{ Ф}$$

Аналогично получим:

$$C_2 = 8.85 \cdot 10^{-11} \text{ Ф};$$

$$C_3 = 5.9 \cdot 10^{-11} \text{ Ф};$$

$$C_4 = 4.4 \cdot 10^{-11} \text{ Ф};$$

$$C_5 = 3 \cdot 10^{-11} \text{ Ф};$$

4. Подсчитываем значения емкостного сопротивления датчика

$$X = 1 / 2\pi f C = 1 \cdot 10^{-11} / 2 \cdot 3.14 \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ С} = 79618 / \text{С} = 79.62 / \text{С. кОм}$$

$$\text{Поэтому } X_1 = 1 / 2\pi f C_1 = 79.62 / 17.7 \text{ кОм} = 4.5 \text{ кОм}$$

Аналогично получим

$$X_2 = 9 \text{ кОм};$$

$$X_3 = 13.5 \text{ кОм};$$

$$X_4 = 18.1 \text{ кОм};$$

$$X_5 = 27 \text{ кОм}.$$

5. Определяем силу тока датчиков при заданных значениях

$$I = U / X_1 = 220 / 4.59 \cdot 10^3 = 0.0489 \text{ А} = 48.9 \text{ мА}$$

Аналогично получим $I_2 = 24.4 \text{ мА}; I_3 = 16.3 \text{ мА};$

$$I_4 = 12.1 \text{ мА}; I_5 = 8.1 \text{ мА};$$

6. По данным расчета вычерчиваем график зависимости

$$I = f(\delta).$$

7. Чувствительность датчика.

$$S = \epsilon \epsilon_0 F / \delta^2$$

Выражая величины в единицах СИ, получим:

$$S = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^{-2} / \delta^2 = 8.85 \cdot 10^{-14} / \delta^2, \text{ Ф/м}.$$

Пользуясь этой зависимостью, можно вычислить чувствительность датчика при заданных значениях. Например, при $\delta^2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
 $S_2 = 8.85 \cdot 10^{-8} \text{ Ф/м}.$

Приложение 2

Примеры решения задачи 2.

Пример решения задач вариантов 00...19.

На рисунке 6 приведена схема двигательного исполнительного механизма МЭО с двухфазным асинхронным двигателем, подключенным к промышленной сети напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Параметры обмоток $L = 0.5 \text{ Гн}, R = 150 \text{ Ом}$. Определите емкость и напряжение на конденсаторе, который необходимо включить в одну из обмоток для создания вращающегося магнитного поля. Выберите подходя-

щий конденсатор, пользуясь приложением 7.

Решение. Для создания вращающегося магнитного поля в двухфазном асинхронном двигателе необходимо выполнить два условия:

- 1). Сдвинуть обмотки в пространстве относительно друг друга на 90° ;
 - 2). Сдвинуть по фазе на 90° токи, протекающие по обмоткам.
- Первое условие выполняется конструктивно за счет размещения обмоток на статоре таким образом, чтобы их начала были смещены относительно друг друга на 90° .

Для выполнения второго условия используют конденсатор, который изменяет характер реактивного сопротивления обмотки, в которую он включен.

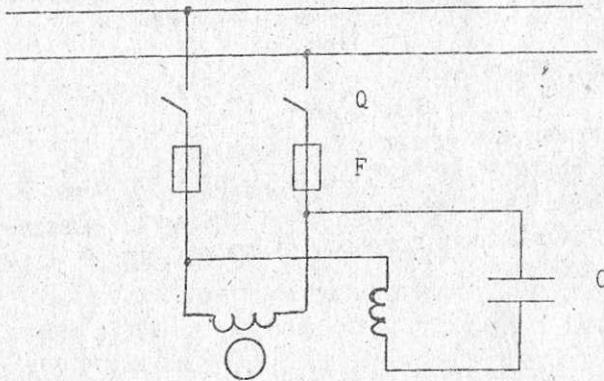


Рис. 6 Схема исполнительного механизма

Обмотка электродвигателя обладает индуктивностью L , создающей реактивное (индуктивное) сопротивление X_L , и активным сопротивлением R . Известно, что на индуктивности ток отстает от напряжения, а на емкости — опережает напряжение. Поэтому последовательное включение в обмотку конденсатора, обладающего реактивным сопротивлением X_C , позволяет изменить характер сопротивления обмотки и, следовательно, создать сдвиг по фазе между токами в обмотках. Величина сопротивления X_C подбирается таким образом, чтобы угол сдвига токов в обмотках составлял 90° (см. рис. 7).

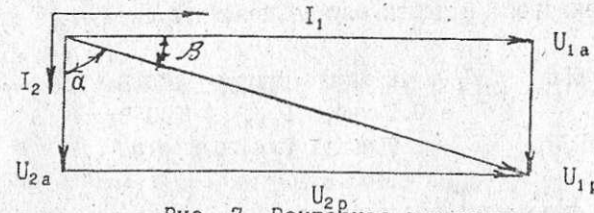


Рис. 7. Векторная диаграмма

1. Определим величину индуктивного сопротивления обмотки.

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 0.5 = 157 \text{ Ом.}$$

2. Определим угол сдвига фаз между током и напряжением в обмотке.

$$\operatorname{tg} \alpha = X/R = 157/150 = 1.05.$$

По таблицам Брадиса находим $\alpha = 46.3^\circ$

3. Определим угол сдвига фаз между током и напряжением во второй обмотке при включении в нее конденсатора, учитывая, что угол сдвига по фазе токами обмоток должен составлять 90° .

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 46.3^\circ = 43.7^\circ$$

4. Определим реактивное сопротивление второй обмотки при включении в нее конденсатора

$$X = R \cdot \operatorname{tg} \beta = 150 \cdot \operatorname{tg} 43.7 = 143.3 \text{ Ом.}$$

Определим сопротивление конденсатора X_C , учитывая, что

$$-X = X_L - X_C$$

(минус в левой части уравнения учитывает, что реактивное сопротивление во второй обмотке носит емкостный характер).

Отсюда $X_C = X_L + X = 157 + 143.3 = 300.3 \text{ Ом.}$

5. Найдем значение емкости конденсатора, зная, что

$$X_C = 1/2\pi fC$$

$$C = 1/2\pi fX_C = 1/2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 300.3 = 10.6 \text{ мкФ.}$$

6. Определим напряжение в конденсаторе

$$U_C = I \cdot X_C = U_{\text{ном.}}/Z \cdot X_C = 220/215 \cdot 300.3 = 311 \text{ В.}$$

где Z — полное сопротивление второй обмотки, Ом.

$U_{\text{ном.}}$ — номинальное напряжение сети, В.

7. Выберем из приложения 6 конденсатор, учитывая, что емкость

его должна быть близка к рассчитанной, а номинальное напряжение больше рассчитанного. В нашем случае подойдут следующие конденсаторы:

	МБГО	(C ₁ = 10 мкФ; U _{ном.} = 400 В; C ₂ = 0.5 мкФ; U _{ном.} = 500 В)
или	МБГП	(C ₁ = 10 мкФ; C ₂ = 0.5 мкФ; U _{ном.} = 400 В)

В обоих случаях конденсаторы соединить параллельно.

2. Пример решения задачи вариантов 20...29.

Измеренное значение термоЭДС при температуре T_м = 620°С составляет 25.05 мВ. Определить тип использованной термопары и погрешность нахождения термоЭДС изм. (620, T_о) при T_о = 0°С.

Решение. По приложению 7 определим, что наиболее близкое значение E (T_м, T_о) для заданной температуры T_м = 620° принадлежит термопаре ТХА.

Определим значение термоЭДС (620°, T_о) для выбранного типа термопары (ТХА). Для этого воспользуемся приложением 5, учитывая, что приведенных в нем диапазонах термоЭДС меняется линейно.

$$E \text{ табл. } (T_m, T_o) = E(T_m, T_o) + K_t(T_m - T_n), \text{ где}$$

$$K_t = [E \text{ табл. } (T_k, T_o) - E \text{ табл. } (T_n, T_o)] / 100^\circ\text{C}$$

T_к и T_о - конечное и начальное значения температурного диапазона;

T_о - температура холодного конца термопары при градуировке (T_о = 0).

В рассматриваемом примере T_м = 620°С, T_к = 700°С, T_н = 600°С.
K_t = E табл. (700.0) - E табл. (600.0) / 100 = (25.15 - 24.91) / 100 = 0.0024 мВ/град.С

$$E \text{ табл. } (620.0) = E \text{ табл. } (600.0) + 0.0024(620 - 600) = 24.91 + 0.048 = 24.96 \text{ мВ.}$$

Определим абсолютную погрешность, допускаемую термопарой

$$\epsilon = E \text{ изм. } (620.0) - E \text{ табл. } (620.0) = 25.05 - 24.91 = 0.09 \text{ мВ.}$$

Относительная погрешность, допускаемая термопарой

$$\gamma = \epsilon / E \text{ изм. } (620.0) = 0.09 / 25.05 = 0.4\%$$

3. Пример решения задач вариантов 30...39.

Для измерения уровня воды используют цилиндрический конденсатор, рис.8. Длина цилиндров L=1.5 м, диаметр D 40 мм и d 5мм. Определить наибольший диапазон изменения емкости конденсатора.

Решение. Конструктивно уровнемер выполнен из двух параллельно соединенных конденсаторов C₁ (образован частью электродов и жидкостью, уровень которой измеряется) и C₀ (образован частью электродов и воздухом). Емкость уровнемера определяют по формуле

$$C = C_1 + C_0 = \frac{2\pi\epsilon_a l}{\ln D/d} + \frac{2\pi\epsilon_o (L - l)}{\ln D/d}$$

где ε_о и ε_а - абсолютные диэлектрические проницаемости воздуха и жидкости, Ф/м;

ε - относительная диэлектрическая проницаемость жидкости;

L и l - полная длина цилиндра и длина его, заполненная жидкостью, м;

D и d - диаметры внешнего и внутреннего цилиндров;

$$\epsilon_o = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м.}$$

1. Определим емкость конденсатора при нулевом уровне. В этом случае l = 0 и емкость уровнемера составит

$$C \text{ мин.} = 2\pi l \epsilon_o / \ln(D/d) = 2 \cdot 3.14 \cdot 1.5 \cdot 8.85 / 10^{-12} (40/5) = 2 \cdot 3.14 \cdot 1.5 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} / \ln 8 = 28 \text{ пФ.}$$

2. Определим емкость конденсатора при максимальном уровне. В этом случае l = L и емкость уровнемера составит

$$C \text{ макс.} = 2\pi l \epsilon_a / \ln(D/d) = (2 \cdot 3.14 \cdot 1.5 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 81) / \ln(40/5) = 22.5 \text{ пФ.}$$

3. Наибольший диапазон изменений емкости конденсатора составит
 $C_{\text{мин.}} - C_{\text{макс.}} = 28 - 22.5 = 5.5 \text{ пФ.}$

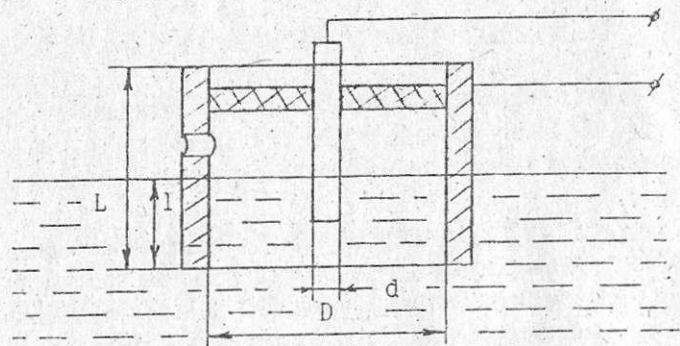


Рис. 8. Цилиндрический конденсатор.

4. Пример решения задач вариантов 40...49.

На рисунке 9 приведена схема магнитного усилителя с числом витков управляющей обмотки $W_y = 640$, рабочей обмотки $W_n = 100$ и обмотки обратной связи $W_{oc} = 20$ витков. Сопротивления управляющей и рабочей обмоток соответственно $R_y = 10 \text{ Ом}$ и $R_n = 120 \text{ Ом}$. Определить коэффициент усиления по току K_I и по напряжению K_v , а также коэффициент глубины обратной связи K_{oc} .

Как изменятся коэффициенты, если убрать обмотку обратной связи ($W_{oc} = 0$)?

Решение. Основным уравнением магнитного усилителя является равенство намагничивающих сил $I_n \cdot W_n = I_y \cdot W_y$ для магнитного усилителя без обмотки обратной связи, где

- I_n - ток в рабочей обмотке, А;
- I_y - ток в обмотке управления, А;
- W_n - число витков рабочей обмотки;
- W_y - число витков обмотки управления.

Отсюда коэффициент усиления по току K_I магнитного усилителя без обмотки обратной связи $K_I = I_n / I_y$ или $K_I = W_y / W_n$.

Коэффициент усиления по напряжению K_v магнитного усилителя

без обмотки обратной связи

$$K_v = U_n / U_y = I_n R_n / I_y R_y = K_I R_n / R_y;$$

где R_n - сопротивление нагрузки, Ом;

R_y - сопротивление обмотки управления, Ом.

Для магнитного усилителя с обмоткой обратной связи уравнение для намагничивающих сил выглядит следующим образом.

$$I_n W_n = I_y W_y + I_n W_{oc}$$

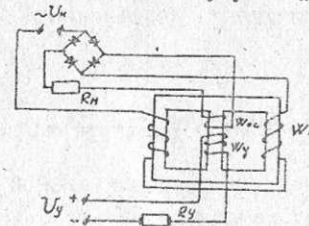


Рис. 9. Схема магнитного усилителя

Коэффициент усиления по току K_I магнитного усилителя с обмоткой обратной связи.

$$K_I = I_n / I_y = W_y / (W_n - W_{oc}).$$

Соответственно коэффициент усиления по напряжению K_v магнитного усилителя с обмоткой обратной связи

$$K_v = U_n / U_y = K_I \cdot R_n / R_y$$

Коэффициент усиления магнитного усилителя без обмотки обратной связи K_I и с обмоткой обратной связи K_I' связываются между собой через коэффициент глубины обратной связи.

$$K_{oc} \cdot K_I' = K_I / (1 - K_{oc}).$$

1. Определим коэффициент усиления по току K_I магнитного усилителя с обмоткой обратной связи

$$K_I' = W_y / (W_n - W_{oc}) = 640 / (100 - 20) = 8$$

2. Определим коэффициент усиления по напряжению K_v магнитного усилителя с обмоткой обратной связи

$$K_v = K_I' \cdot R_n / R_y = 8 \cdot 120 / 10 = 96$$

3. Определим коэффициент глубины обратной связи K_{oc} . При этом необходимо знать коэффициент усиления по току K_I для магнитного усилителя без обмотки обратной связи

$$K_1 = W_y/W_n = 640/100 = 6.4$$

$$K_{oc} = (K_1 - K_n)/K_1 = (8 - 6.4)/8 = 0.2$$

4. Определим коэффициент усиления по напряжению для магнитного усилителя без обмотки обратной связи

$$K_v = K_1 * R_n / R_y = 6.4 * 120 / 10 = 76.8$$

5. Анализируя результаты расчета, можно сделать вывод, что введение обмотки обратной связи увеличивает коэффициент усиления магнитного усилителя.

5. Пример решения задач вариантов 50...74.

Выбрать реле постоянного тока для продолжительной работы. Реле должно иметь два переключающих контакта.

Контактная нагрузка 2А. Напряжение питания $U_n = 24$ В.

Решение.

1. Пусть в вашем распоряжении имеются малогабаритные реле РЭС-22, РЭС-47 и РЭС-48. По справочным данным приложения 8 определяем, что эти реле имеют сопротивление обмоток от 39 до 8000 Ом, коммутируют токи до 3А и имеют два и три переключающих контакта. Массы этих реле равны соответственно 36.8 и 15.5 г. При прочих равных показателях реле РЭС-47 самое малогабаритное. Таким образом выбираем реле РЭС-47.

В приложении 8 приводятся технические данные трех реле. Какое же из них выбрать? Выбираем реле с большим сопротивлением обмотки. Такое реле будет потреблять меньше электроэнергии, т.е. будет экономичным, поэтому выбираем реле с паспортом РЭ4500.417, у которого сопротивление обмотки 650 Ом и ток срабатывания 23 мА.

2. Проверяем параметры выбранного реле.

Рабочий ток реле

$$I_p = \frac{U}{R_{o6}} = \frac{24}{650} = 37 \text{ мА.}$$

Значение коэффициента запаса

$$K_3 = \frac{I_p}{I_{cp}} = \frac{37}{23} = 1.6$$

Как показала практика, коэффициент запаса должен быть больше 1.5

$$K_3 > 1.5$$

В данном случае это условие выполняется. Реле будет срабатывать надежно.

3. Определяем мощность обмотки.

$$P_{o6} = \frac{U_n^2}{R_{o6}} = \frac{24^2}{650} = \frac{24^2}{650} = 0.9 \text{ Вт.}$$

что допустимо для любого режима работы реле.

При продолжительном режиме мощность обмотки не должна превышать 2 Вт., а при импульсивном - 7 Вт.

Реле постоянного тока выбирается по рабочему току, току срабатывания и потребляемой мощности. Напряжение питания в каталогах обычно не указывается. Это является характерной особенностью выбора реле постоянного тока.

Продолжим решение примера. Поставим вопрос: можно ли включить выбранное реле на напряжение 60 В?

$$P_{o6} = \frac{U_n^2}{R_{o6}} = \frac{60^2}{650} = 5.5 \text{ Вт.}$$

Реле можно эксплуатировать только в импульсном режиме, так как $7 \text{ В} > P_{o6} > 2 \text{ Вт}$.

Если мы хотим эксплуатировать реле в продолжительном режиме, то необходимо последовательно с обмоткой включить добавочное сопротивление, величина которого определяется по формуле:

$$R_{доп} = \frac{U_n^2 - R_{o6} * P_{доп}}{P_{доп}}$$

где $R_{доп}$ - допустимая мощность обмотки, Вт.

$$R_{доп} = \frac{60^2 - 650 \cdot 2}{2} = 1150 \text{ Ом}$$

Выбираем резистор типа МЛТ, 1.2 кОм, мощностью 2 Вт. Реле перемещенного тока выбираем проще. Основным условием является, чтобы номинальное напряжение обмотки реле было равно напряжению питания. Кроме этого учитываются экономичность реле, наличие необходимых для схемы типов контактов и их токовая нагрузка.

6. Пример решения задач вариантов 75...99.

Расчет простейшего полупроводникового параметрического стабилизатора (ППС).

Рассчитать ППС по следующим данным:

$$U_{вых} = 10 \text{ В}, \quad I_n = 15 \text{ мА}, \quad I_{мин} = 5 \text{ мА}, \quad K_{ст} \geq 30$$

$$\Delta_1 = \Delta_2 = 10\%; \quad R_{вых} = 25 \text{ Ом}$$

где Δ_1 - допустимое относительное уменьшение входного напряжения;

Δ_2 - допустимое относительное увеличение входного напряжения;

Выбираем стабилитрон VD(D 810), для которого $U_{ст} = 9...10.5 \text{ В}$

$$I_{ст. мин} = 3 \text{ мА}; \quad I_{ст. макс} = 26 \text{ мА}$$

$\gamma_{ст} = 12 \text{ Ом}$ и вычисляем предельно допустимое значение коэффициента стабилизации.

$$K_{ст. пр.} = \frac{U_{вых} (1 - 0.01\Delta_1)}{[(I_n + I_{ст. мин}) \gamma_{ст}]} =$$

$$= \frac{10 (1 - 0.01 \cdot 10)}{[(15 + 5) \cdot 10^{-3} \cdot 12]} = 46$$

$$\frac{K_{ст. пр.}}{K_{ст}} = \frac{46}{30} > 1.5$$

Находим необходимое входное напряжение

$$U_{вх} = \frac{U_{вых}}{[(0.01 \Delta_1) (1 - K_{ст} / K_{ст. пр.})]} =$$

$$= \frac{10}{[(1 - 0.01 \cdot 10) (1 - 30/46)]} = 32 \text{ В}$$

Находим сопротивление балластного резистора

$$R_0 = \frac{[U_{вх} (1 - 0.01\Delta_1) - U_{вых}]}{[(I_n + I_{ст. мин}) R_{вых}]} =$$

$$= \frac{[32 (1 - 0.01 \cdot 10) - 10]}{[(45 + 3) \cdot 10^{-3} \cdot 25]} = 1000 \text{ Ом}$$

Определяем максимальный ток стабилитрона

$$I_{ст. макс} = I_{ст. мин} + I_n - I_{н. мин} + (I_n + I_{ст. мин}) \cdot$$

$$\frac{0.01(\Delta_1 + \Delta_2) K_{отпр}}{(1 - 0.01\Delta_1) K_{ст}} = 3 + 15 - 5 + (15 + 3) \cdot 0.01 (10 +$$

$$+ 10 \cdot 46) / [(1 - 0.01 \cdot 10) \cdot 30] = 19 \text{ мА}$$

У выбранного стабилитрона $I_{ст. макс} = 26 \text{ мА}$

Повышение коэффициента стабилизации ППС достигается при увеличении входного напряжения и сопротивления балластного резистора R_0 , но КПД при этом снижается. Чтобы не снижался КПД, в этом случае выбирают схему компенсационного стабилизатора (Л.В. Колесов, ст. 101, рис. 37е), где вместо R_0 включают источник стабильного тока на транзисторе. При этом стабилизируется ток, протекающий через стабилитрон, резко уменьшаются отклонения напряжения на нагрузке при отклонениях входного напряжения. Коэффициент стабилизации увеличивается в 5...10 раз.

Учебник для техникумов (Артамонов Б.И., Бакуняев А.А. Источники электропитания для радиоустановок) подробно описывает различные схемы компенсационных стабилизаторов и дает расчетные формулы для определения параметров схемы.

Более подробные расчеты стабилизаторов даны в справочнике "Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры" (Под редакцией Г.С. Найвелта. - М.: Радио и связь, 1986).

Электрическая схема ограничителя-стабилизатора напряжения для питания осветительных установок описана в книге Дмитриенко Л.П. "Тиристорные, релейные и регулирующие устройства" - М.: Энергоатомиздат, 1988.

Примеры решения задачи 3

1. Пример решения задач вариантов 00...24.

Начертите схему соответствующую заданной структурной формуле, упростите ее и вычертите схему в контактном варианте

$$F = a(\bar{c} + de) + ade + b(c + \bar{b}d)$$

Для решения пользуемся законами алгебры логики и следствиями из них.

Раскрывая скобки

$$F = a\bar{c} + ade + a\bar{d}e + b\bar{c} + b\bar{b}d$$

Выражение $b\bar{b} = 0$ (при последовательном соединении замыкающего и размыкающего контактов, принадлежащих одному реле, цепь всегда разомкнута).

$$\text{Тогда } F = a\bar{c} + ade + a\bar{d}e + b\bar{c} + 0$$

Группируем выражение 1 и 4, а также 2 и 3 и выносим за скобки общие множители

$$F = \bar{c}(a + b) + ac(d + \bar{d})$$

Выражаем $(d + \bar{d}) = 1$ (при параллельном соединении замыкающего и размыкающего контактов одного и того же реле цепь всегда замкнута).

$$\text{Тогда } F = \bar{c}(a + b) + ac \cdot 1$$

$$F = \bar{c}(a + b) + ac$$

Проверяем условия работы схемы. В исходной схеме реле срабатывает при следующих условиях:

- если сработало реле А и не сработало реле С;
- если сработало реле В и не сработало реле С;
- если сработало реле А и Е.

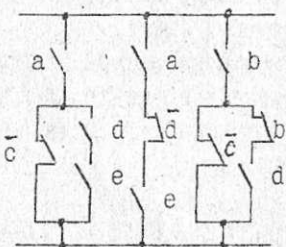


Рис. 10. Исходная схема

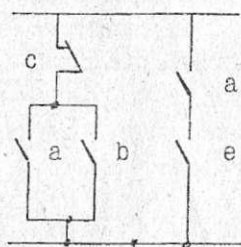
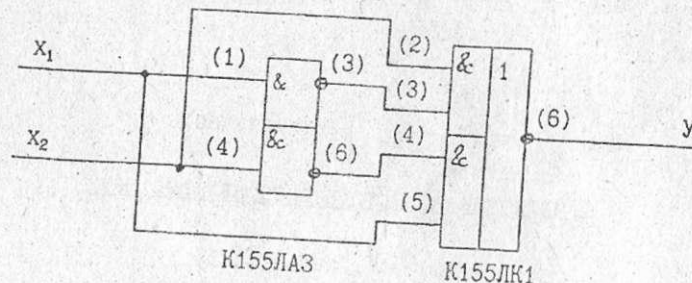


Рис. 11. Упрощенная схема

2. Пример решения задач вариантов 25...49.

По заданной логической функции постройте функциональную схему на элементах серии К 155.

Решение $Y = \bar{X}_1 * X_2 + X_1 \bar{X}_2$



3. Пример решения задач вариантов 50...74.

Постройте амплитудную, фазовую и амплитудно-фазовую частотные характеристики звена

$$W(p) = \frac{2p}{1 + 2p}$$

Решение. Для построения частотных характеристик в передаточной функции звена заменяем p на $j\omega$

$$W(j\omega) = \frac{2j\omega}{1 + 2j\omega}$$

Для того, чтобы избавиться от комплексного числа в знаменателе, умножаем числитель и знаменатель на сопряженное число $(1 - 2j\omega)$

$$W(j\omega) = \frac{2j\omega(1 - 2j\omega)}{(1 + 2j\omega)(1 - 2j\omega)} = \frac{2j\omega + 4\omega^2}{1 + 4\omega^2}$$

$$\frac{4\omega^2}{1 + 4\omega^2} + j \frac{2\omega^2}{1 + 4\omega^2}$$

где $P(\omega) = \frac{4\omega^2}{1 + 4\omega^2}$ - вещественная часть

$Q(\omega) = \frac{2\omega}{1 + 4\omega^2}$ - мнимая часть

Амплитудная частотная характеристика.

$$K(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)}$$

$$K(\omega) = \sqrt{\frac{4\omega^2}{1 + 4\omega^2} + \frac{2\omega^2}{1 + 4\omega^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{16\omega^4}{(1 + 4\omega^2)^2} + \frac{4\omega^2}{(1 + 4\omega^2)^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{16\omega^4 + 4\omega^2}{(1 + 4\omega^2)^2}} = \sqrt{\frac{4\omega^2(1 + 4\omega^2)}{(1 + 4\omega^2)^2}} = \frac{2\omega}{\sqrt{1 + 4\omega^2}}$$

Задаваясь значениями ω от 0 до ∞ , находим значения $K(\omega)$ и результаты расчетов заносим в таблицу 18

Таблица 18

ω	0	0.5	1	2	3	∞
$K(\omega)$	0	0.7	0.9	1	1	1

По данным таблицы 18 строим амплитудную частотную характеристику

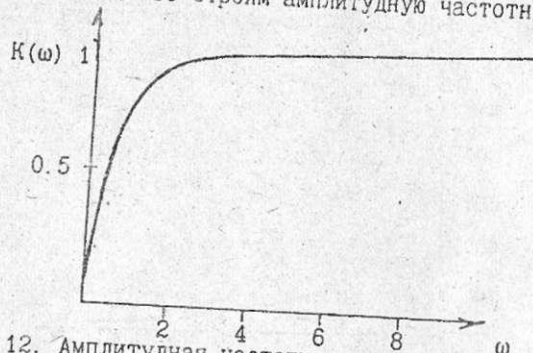


Рис. 12. Амплитудная частотная характеристика

Фазовая частотная характеристика

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)} = \arctg \frac{\frac{2\omega}{1 + 4\omega^2}}{\frac{4\omega^2}{1 + 4\omega^2}}$$

$$= \arctg \frac{2\omega}{4\omega^2} = \arctg \frac{1}{2\omega}$$

Задаваясь значениями ω от 0 до ∞ , находим значения $\varphi(\omega)$. Результаты расчетов заносим в таблицу 19.

Таблица 19

ω	0	0.2	0.5	1	2	5	∞
$\arctg 1/2\omega$	∞	2.5	1	0.5	0.25	0.1	0
φ°	90°	68°	45°	26°	14°	6°	0°

По данным таблицы 19 строим фазовую частотную характеристику

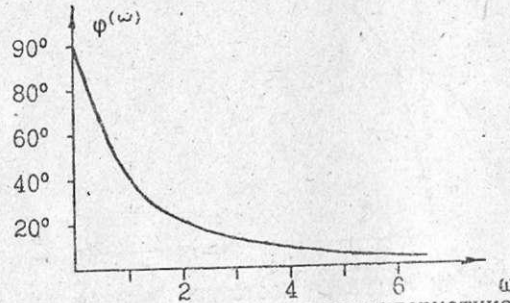


Рис. 13. Фазовая частотная характеристика

Амплитудно-фазовая частотная характеристика

Задаваясь значениями ω от 0 до ∞ , находим значения $P(\omega)$ и $Q(\omega)$.
Результаты расчетов заносим в таблицу 20.

Таблица 20

ω	0	0.5	1	2	5	∞
$P(\omega)$	0	0.5	0.8	0.9	0.99	1
$Q(\omega)$	0	0.5	0.4	0.2	0.1	0

По данным таблицы 20 строим амплитудно-фазовую частотную характеристику

ку

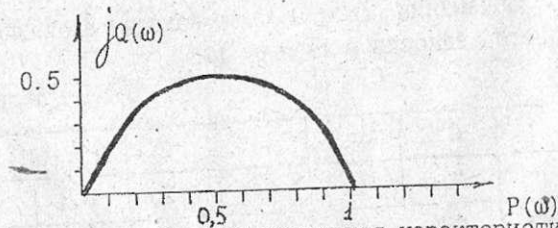


Рис. 14. Амплитудно-фазовая частотная характеристика

4. Пример решения задач вариантов 75... 94.

1. Определить устойчивость АСУ, используя критерий Гурвица

а) $2p^3 + 3p^2 + 2p + 1 = 0$

Для устойчивости системы третьего порядка с уравнением

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0$$

Необходимо и достаточно, чтобы были положительными все коэффициенты

$a_0 > 0; a_1 > 0; a_2 > 0; a_3 > 0$ и определитель второго порядка $\Delta_2 > 0$.

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$$

В нашем примере:

$$a_0 = 2 > 0; a_1 = 3 > 0; a_2 = 2 > 0; a_3 = 1 > 0$$

$$\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 = 6 - 2 = 4 > 0$$

Вывод: оба условия соблюдаются, значит система, описываемая уравнением

$$2p^3 + 3p^2 + 2p + 1 = 0, \text{ устойчива.}$$

б) $3p^4 + 5p^3 + 4p^2 + 2p + 1 = 0$

Для устойчивости системы четвертого порядка с уравнением

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0$$

необходимо и достаточно, чтобы были положительными все коэффициенты

$$a_0 > 0; a_1 > 0; a_2 > 0; a_3 > 0; a_4 > 0$$

и определитель третьего порядка $\Delta_3 > 0$.

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_1^2 a_4 > 0$$

В нашем примере:

$$a_0 = 3 > 0; a_1 = 5 > 0; a_2 = 4 > 0; a_3 = 2 > 0; a_4 = 1 > 0$$

$$\Delta_3 = a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_1^2 a_4 = 2(5 \cdot 4 - 3 \cdot 2) - 5^2 \cdot 1 =$$

$$= 2 \cdot 14 - 25 = 28 - 25 = 3 > 0$$

Вывод: оба условия соблюдаются, значит система, описываемая уравнением

$$3p^4 + 5p^3 + 4p^2 + 2p + 1 = 0. \text{ устойчива.}$$

2. Определить устойчивость АСУ, используя критерий Михайлова.

$$2p^3 + 3p^2 + 2p + 1 = 0$$

Согласно критерию Михайлова, для устойчивости системы 2-го порядка годограф вектора характеристического уравнения $D(j\omega)$ при повороте против часовой стрелки должен последовательно пройти n квадрантов, начинаясь из точки, лежащей на положительной полуоси, и нигде не обращаясь в нуль. Для построения годографа Михайлова в характеристическом уравнении заменим p на $j\omega$ и выделим вещественную и мнимую части

$$D(j\omega) = 2(j\omega)^3 - 3(j\omega)^2 + 2j\omega + 1 = -2j\omega^3 - 3\omega^2 + 2j\omega + 1 = (1 - 3\omega^2) + j(2\omega - 2\omega^3)$$

где $P(\omega) = (1 - 3\omega^2)$ - вещественная часть

$Q(\omega) = (2\omega - 2\omega^3)$ - мнимая часть

Задавая значения ω от 0 до ∞ , находим значения $P(\omega)$ и $Q(\omega)$ и результаты заносим в таблицу 21.

Таблица 21

ω	0	0.2	0.5	0.8	1	2	∞
$P(\omega)$	1	0.88	0.25	0.92	-2	-11	$-\infty$
$Q(\omega)$	0	0.39	0.75	0.6	0	-12	$-\infty$

По данным таблицы 21 строим годограф Михайлова

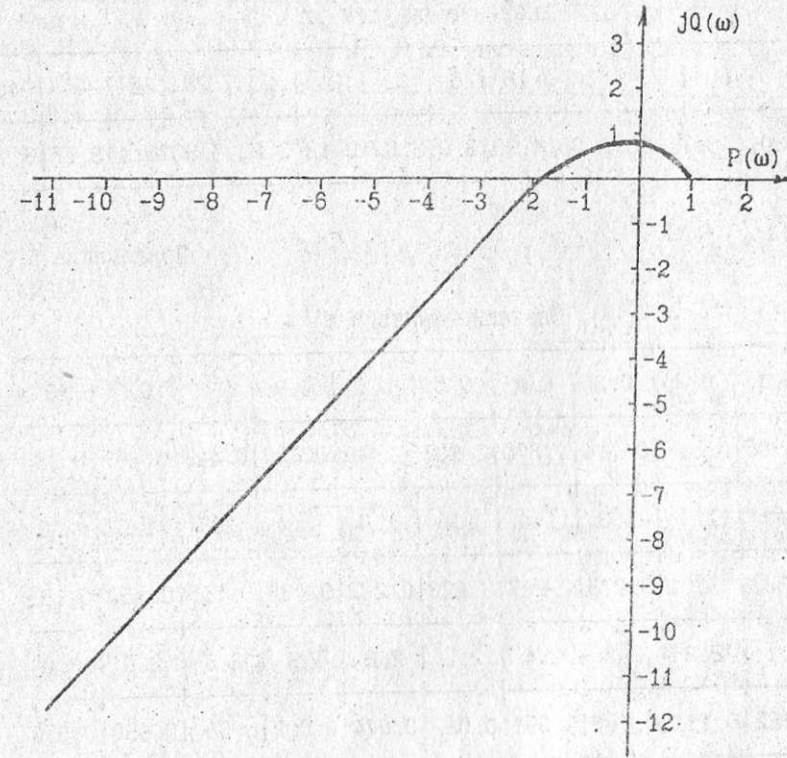


Рис. 15. Годограф Михайлова

Вывод. Так как годограф, построенный по характеристическому уравнению третьего порядка, начинаясь на положительной полуоси, проходит при своем вращении против часовой стрелки три квадранта, нигде не обращаясь в нуль, то система устойчива.

Приложение 4

Значение функции ln

	5	6	7	8	18	20	22	24	25	28	30	35	40
ln	1.60	1.80	1.95	2.08	4.38	3.0	3.09	3.18	3.22	3.33	3.4	3.55	3.79

Приложение 5

Значение функции e^{-x}

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	10
e ^{-x}	0.905	0.819	0.714	0.670	0.607	0.549	0.497	0.449	0.407	0.368
x	1.1	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
e ^{-x}	0.333	0.301	0.273	0.247	0.223	0.202	0.183	0.165	0.150	0.135
x	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
e ^{-x}	0.122	0.111	0.100	0.091	0.082	0.074	0.067	0.06	0.055	0.050
x	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
e ^{-x}	0.045	0.040	0.037	0.033	0.030	0.027	0.025	0.022	0.020	0.018
x	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0
e ^{-x}	0.016	0.015	0.013	0.012	0.011	0.01	0.009	0.008	0.007	0.006

Приложение 6
Технические данные конденсаторов

Тип конденсатора	Номинальное напряжение, В	Диапазон номинальных емкостей, мкФ.								
МБГО	160									
	300				2;	4;	10;	20;	30	
	400				1;	2;	4;	10;	20;	30
	500				1;	2;	4;	10;	20	
МБГП	630			0.25;	0.5;	1;	2;	4;	10;	20
	200			0.25;	0.5;	1;	2;	4;	10;	20
	400			0.25;	0.5;	1;	3;	4;	10	
	630	0.1;	0.25;	0.5;	1;	2;	4;	10		
МБГЧ-1	250			0.25;	0.5;	1;	2;	4;	10	
	500			0.25;	0.5;	1;	2;	4		

Приложение 7

Величина термоЭДС термопар

Температура Тм, град. С	ТПП	ТХА	ТХК
	ТермоЭДС, мВ	ТермоЭДС, мВ	ТермоЭДС, мВ
0	0	0	0
100	0.640	4.10	6.95
200	1.421	8.13	6.95
300	2.311	12.21	14.66
400	3.244	16.40	31.49
500	4.211	20.65	40.16
600	5.214	24.91	49.02
700	6.251	29.15	57.77
800	7.323	33.32	66.42
900	8.429	37.37	-
1000	9.569	41.32	-
1100	10.745	45.16	-
1200	11.954	48.87	-
1300	13.158	52.43	-

Технические данные малогабаритных электромагнитных реле постоянного тока

Паспорт	Сопротивление обмотки, Ом	Ток срабатывания, мА	Тип и кол. контактов	Величина коммутируемого тока, А
<u>Реле РЭС 22</u>				
РФ4.500.125	2800	11	4 переключающих	До 2 А
РФ4.500.129	175	36		
РФ4.500.130	2500	10.5		
РФ4.500.131	650	20		
РФ4.500.163	700	21		
РФ4.500.225	650	19		
РФ4.500.231	700	21		
<u>Реле РЭС 47</u>				
РФ4.500.408	650	26	2 переключающих	До 3 А
РФ4.500.409	165	45.5		
РФ4.500.417	650	23		
РФ4.500.421	39	90		
<u>Реле РЭС 48</u>				
РС4.590.201	600	23	2 переключающих	До 3 А
РС4.590.202	100	52		
РС4.590.203	350	30		
РС4.590.204	42	79.5		
РС4.590.205	8000	7.2		
РС4.590.213	600	23		
РС4.590.214	100	52		
РС4.590.215	350	30		
РС4.590.216	42	79.5		

Стабилитроны малой мощности

NN п/п	Тип прибора	U _{ст.} , В	I _{ст. min} , мА	I _{ст. max} , мА	R _{ст.} , Ом
1	Д 808	7 - 8.5	3	33	6
2	Д 809	8 - 9.5	3	29	10
3	Д 810	9 - 10.5	3	26	12
4	Д 811	10 - 12	3	23	15
5	Д 813	11.5 - 14	3	20	18
6	Д 814 А	7 - 8.5	3	40	12
7	Д 814 Д	11.5 - 14	3	24	18
8	Д 816	22	3	22	10

Реализация логических функций на типовых элементах серии К-155

1. Функция "инверсия" $y = \bar{x}$ может быть выполнена на логическом элементе К 155 ЛАЗ.

Схема К 155 имеет 4 логических элемента 2И-НЕ. На рис. 17 изображены задействованные выводы схемы.

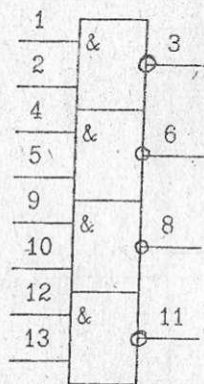


Рис. 16 Обозначение выводов схемы к 155 ЛАЗ

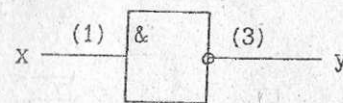
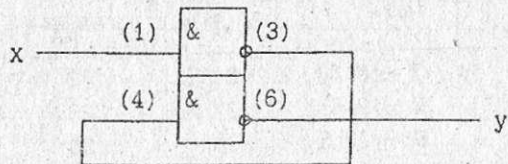


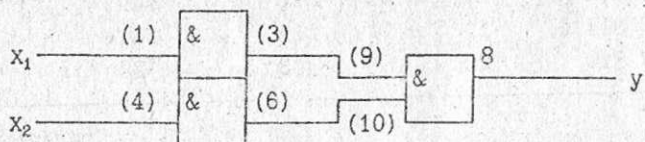
Рис. 17

2. Функция "повторение" $y = x$

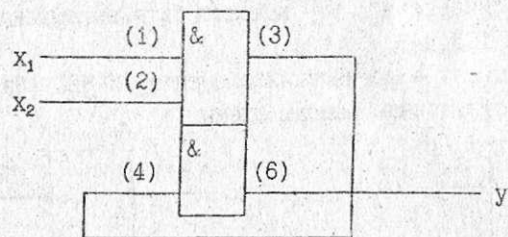
Функцию можно построить на том же элементе серии К 155 - К 155 ЛАЗ.



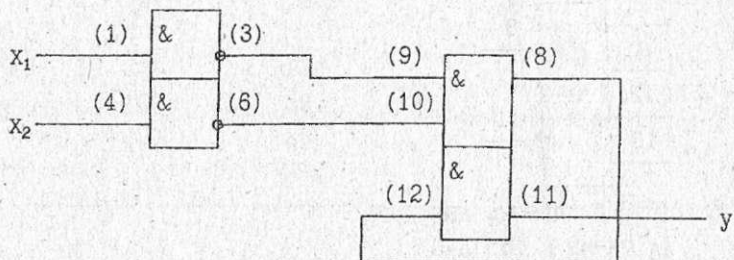
3. Функция ИЛИ $y = \overline{\overline{x_1} \overline{x_2}} = \overline{\overline{x_1}} + \overline{\overline{x_2}} = x_1 + x_2$



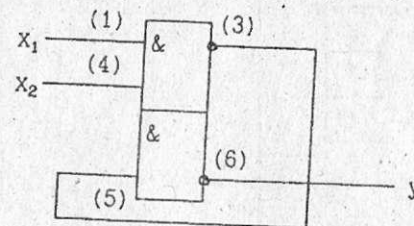
4. Функция И $y = \overline{\overline{\overline{x_1} \overline{x_2}}} = \overline{\overline{x_1} \overline{x_2}}$



5. Функция ИЛИ-НЕ $y = \overline{\overline{\overline{x_1} \overline{x_2}}} = \overline{\overline{x_1} \overline{x_2}}$



6. Импликация $y = \overline{\overline{x_1} \overline{x_2}} = \overline{\overline{x_1}} + \overline{\overline{x_2}} = x_1 + \overline{x_2}$

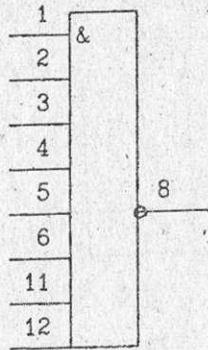


Приложение 11

Типы и технические данные логических элементов серии К 155

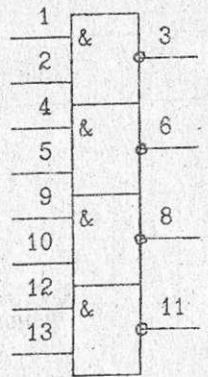
Тип	Обозначение	Наименование
К 155 ЛА1	1 & 6	Два логических элемента 4И - НЕ
	9 & 8	

К 155 ЛА2



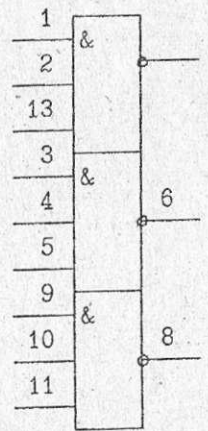
Логический элемент
8И - НЕ

К 155 ЛА3



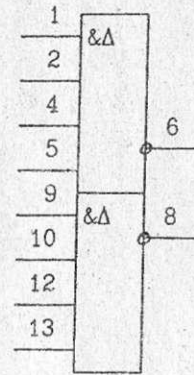
Четыре логических
элемента 2И - НЕ

К 155 ЛА4



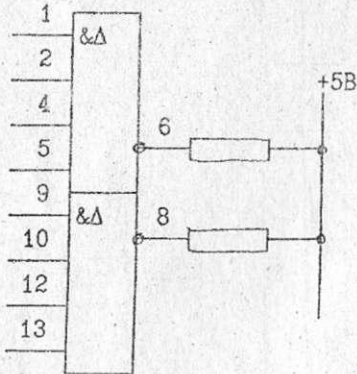
Три логических
элемента 3И - НЕ

К 155 ЛА6



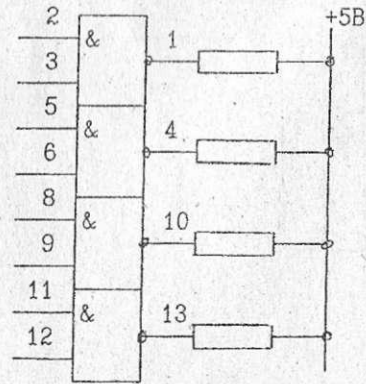
Два логических
элемента 4И - НЕ

К 155 ЛА7



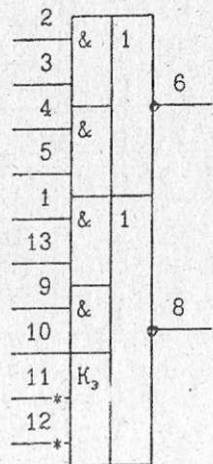
Два логических
элемента 4И - НЕ
с открытым кол-
лекторным выхо-
дом и повышенной
нагрузочной спо-
собностью (эле-
менты индикации)

К 155 ЛА8



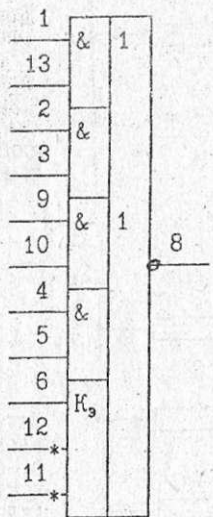
Четыре логических
элемента 2И - НЕ
с открытым кол-
лекторным выходом К 155
(элементы контро-
ля).

К 155 ЛК1



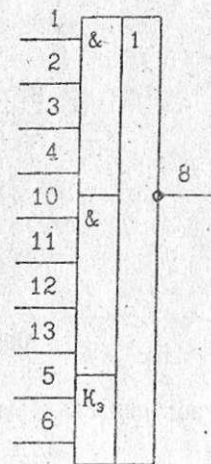
Два логических
элемента
2И - 2ИЛИ - НЕ
один расширяемый
по входу ИЛИ

К 155 ЛК3



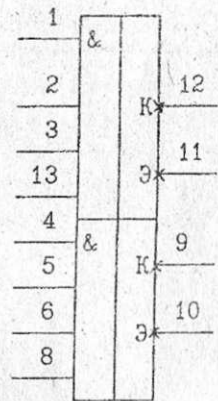
Логический
элемент
2И-2И-2И-3И-4ИЛИ-НЕ.
Расширенный по
входу ИЛИ

К 155 ЛК4



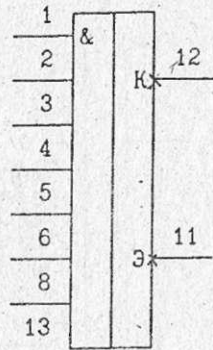
Логический
элемент
4И-4И-2ИЛИ-НЕ,
расширенный
по входу ИЛИ

К 155 ЛД1



Два четырехвходо-
вых расширителя
по ИЛИ

К 155 ЛДЗ



Восьмивходовый
расширитель
по ИЛИ

Приложение 12

2. Средняя интенсивность отказов основных элементов АСУ

Элементы АСУ	$\lambda_{ср} \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$
Автоматы	0.22
Выпрямитель двухполупериодный	1.0
Датчик температуры	4.5
Датчики давления	5.0
Датчики уровня	2.5
Дроссель	0.22
Диоды	1.0 - 1.5
Ключи управления	0.6
Кнопки управления; выключатели	14
Конденсаторы бумажные	1.8
Лампы накаливания	20
Логические элементы	1 - 5
Предохранители	0.6
Провода, кабели	0.1
Пускатели	10
Резисторы	1.5 - 8

Реле постоянного тока	4 - 8
Реле переменного тока	3
Реле времени	20
Рубильники	6.6
Тиристоры	1.8
Транзисторы	0.7 - 5
Трансформаторы управления	5
Элементы нагревательные	0.3
Электродвигатели	10 - 22