



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Донской государственный технический университет»  
(ДГТУ)**

**ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА  
ПО КУРСУ «СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ»  
для студентов заочного отделения направления 15.03.04**

Ростов-на-Дону

2022

Составитель к.т.н., доцент А.П. Самосудов

Программа, методические указания, контрольная работа по курсу «Средства автоматизации и управления». - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2022.  
- 11 с.

Приведены краткая программа курса, методические указания по изучению курса, вопросы для самоконтроля, задания на контрольную работу.

Предназначены для студентов заочного отделения направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств (в машиностроении)» по курсу «Средства автоматизации и управления».

Печатается по решению методической комиссии факультета «Автоматизация мехатроника и управление».

Научный редактор к.т.н., профессор Семко И.А.

Рецензент д.т.н., профессор Минаков В.С.

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Одним из наиболее важных факторов ускорения научно-технического прогресса, создания и реализации новых высокоэффективных технологий, совершенствования планирования и управления является всё более широкое использование технических средств автоматизации, особенно на основе современной элементной базы.

Развитие машино- и приборостроения, увеличение мощности отдельных агрегатов и машин, повышение скоростей, нагрузки, увеличение быстродействия и точности работы отдельных узлов, машин и агрегатов приводит к необходимости дальнейшего совершенствования организации производства с использованием современных технических средств автоматизации.

Вопросам изучения типовых технических средств автоматизации, включая электрические, электронные, пневматические, гидравлические, комбинированные, посвящен курс «Технические средства автоматизации».

Изучение курса основывается на знаниях, полученных при изучении физики, высшей и прикладной математики, электротехники, электроники, автоматизированного привода; в свою очередь, изучение указанного курса создаёт необходимые предпосылки для успешного усвоения последующих специальных профилирующих дисциплин.

Эффективное использование современных методов автоматизации производства, повышение его технико-экономических показателей в значительной мере определяются знаниями современных технических средств автоматизации.

## **1. ТИПОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ**

Студенту необходимо изучить классификацию, назначение и основные характеристики электрических, электронных, пневматических, гидравлических и комбинированных средств автоматизации, обратив при этом внимание на функциональные возможности и технико-экономическую обоснованность при выборе конкретного средства автоматизации.

Литература: [1] с. 4-7;

[2] с. 7-10, 20-26;

[3] с. 4-14;

### **Методические указания**

При изучении темы необходимо уяснить такие понятия как элемент, устройство, система автоматики, цепь воздействия, конструктивная, функциональная и алгоритмическая структура системы автоматики, система управления (СУ) и такие её подсистемы как информационная, логико-вычислительная и исполнительная, знать обобщенную схему СУ. При рассмотрении элементов автоматики обратить внимание на их классификацию по принципу действия, назначению и виду энергии вспомогательного источника, а также по виду их статистических характеристик и виду уравнений статики и динамики. Учитывая, что значительную часть времени система и её элементы работают в переходном режиме, необходимо внимательно изучить инерционные свойства элементов автоматики, оказывающие существенное влияние на динамику процесса управления.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. По каким признакам классифицируют технические средства автоматики?
2. Назовите типы технических средств автоматики, их достоинства и недостатки, области эффективного применения.
3. В чём различие между реверсивными и нереверсивными элементами?
4. Каким образом выполняют математическое описание динамических процессов, протекающих в элементах, и определяют их динамические свойства?

## **2. РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА И АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ**

Особенности программного регулирования. Типовые технологические процессы программного регулирования. Классификация программных регуляторов и программных задающих устройств. Основные принципы построения регуляторов. Двухпозиционные и трёхпозиционные электрические регуляторы. Цифровые программные регуляторы.

Литература: [10] с. 3-41, 51-69, 132-133;

[11] с.203-244; [12].

### **Методические указания**

Необходимо рассмотреть в общем виде устройства системы автоматического регулирования и их взаимодействие между собой, обратив внимание на назначение и возможные исполнения таких устройств, как задающее, сравнивающее (нуль-орган) и, особенно, регулирующее. При изучении основных принципов построения регуляторов обратить внимание на достоинства и недостатки управления по отклонению регулируемой величины от заданного значения, с управлением по возмущению, с комбинированным управлением. При изучении цифровых регуляторов обратить внимание на особенности реализации оптимальных цифровых регуляторов, также необходимо рассмотреть общую структурную схему системы, работающую при произвольных входных воздействиях.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Назовите основные устройства системы автоматического регулирования, объясните, каким образом они взаимодействуют между собой.
2. Назовите основные принципы построения системы программного регулирования, кратко охарактеризуйте их.
3. Какие основные факторы ограничивают предельные скорости изменения регулируемой величины?
4. Объясните принцип функционирования цифровых программных регуляторов, назовите их достоинства.

### **3. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ИНТЕРФЕЙСНЫЕ УСТРОЙСТВА**

Определение исполнительного механизма, его состав, назначение, классификация по виду потребляемой энергии (гидравлические, пневматические, электрические, комбинированные). Достоинства и недостатки гидравлических, пневматических, электромашинных, электромагнитных исполнительных механизмов, их передаточные функции. Особенности построения системы ввода-вывода микропроцессорных систем управления технологическими процессами, её аппаратные и программные средства взаимодействия с периферийными устройствами. Способы организации ввода-вывода, форматы команд и данных, способы обращения к памяти. Понятие стандартного интерфейса.

Литература: [5] с. 205-224

[7] с. 70-100, 173-202;

[8] с. 210-237;

[9] с. 151-154;

[13] с. 104- 118.

#### **Методические указания**

При изучении исполнительных механизмов средств автоматики необходимо обратить внимание на пути обеспечения перемещения регулирующего органа с возможно меньшим отклонением от заданного закона регулирования, при этом необходимо рассмотреть возможности их различных конструктивных исполнений и учётом их динамических свойств.

При изучении интерфейсных устройств обратите внимание на значительное количество внешних устройств (датчики, исполнительные механизмы и др.) микропроцессорных систем управления (МПСУ) технологическими процессами, при этом необходимо уяснить роль и значение интерфейса, его организацию, рассмотреть общие принципы, характерные для большинства МПСУ. Обратите внимание на проблемы, возникающие при функционировании систем управления, работающих в

реальном времени, связанные с разнообразием типов исполнительных механизмов и соответствующими уровнями сигналов управления.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Объясните принцип действия и достоинства:
  - a. гидравлических,
  - b. пневматических,
  - c. электромашинных,
  - d. электромагнитных исполнительных механизмов.
2. Что называют интерфейсом, каково его назначение?
3. Информация каких видов передаётся между центральным процессором и периферийными устройствами?
4. Чем обусловлены трудности при разработке аппаратных средств и программировании ввода-вывода МПСУ ТП?
5. Каковы функции портов ввода и вывода?
6. В чем заключается различие между организацией параллельного и последовательного интерфейса?
7. При каком виде интерфейса – последовательном или параллельном, выше скорость передачи данных?

#### **4. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СРЕДСТВА**

Архитектура микропроцессорных систем управления. Разработка алгоритмов управления технологическими процессами. Основные требования к комплексу АСУ ТП, его состав.

Литература: [71] с. 7-24, 57-67, 140-172;

[13] с. 156-185;

[14] с. 243-283.

##### **Методические указания**

Необходимо обратить внимание на этапы разработки МПАСУ ТП (выработка базовой концепции, разработка алгоритма управления, проектирование аппаратных средств, разработка программ). Изучить структурную схему САУ с аналоговым управляющим устройством и структурную схему многоконтурной цифровой САУ.

##### **Вопросы для самоконтроля**

1. В чём заключается различие между системой автоматического управления (САУ) и автоматизированной системой управления (АСУ), какая из них проще и чем это выражается?
2. Назовите типы технических средств автоматики, их достоинства и недостатки, области эффективного применения.
3. Опишите локальную технологическую станцию. Какие функции она выполняет?
4. Каким образом выполняют математическое описание динамических процессов, протекающих в элементах, и определяют их динамические свойства?
5. Что представляет собой комплекс ЧПУ с управлением от ЭВМ?



## СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Что называют характеристикой управления? Покажите типичные нелинейные характеристики управления элементов автоматики.
2. Назовите основные параметры элементов автоматики с различными (непрерывной, релейной) характеристиками управления.
3. Как оценивают динамические свойства элементов автоматики? Назовите типовые возмущения. При исследовании каких элементов их применяют?
4. Рассмотрите гидравлические усилители, укажите принцип их функционирования, типы, конструкции, параметры, область применения.
5. Рассмотрите пневматические усилители, укажите принцип их функционирования, типы, конструкции, параметры, область применения.
6. Рассмотрите магнитные усилители, укажите принцип их функционирования, типы, режимы работы, достоинства.
7. Рассмотрите особенности магнитных усилителей, работающих в режиме выходных. Укажите требования к ним, принцип построения, режимы, область применения.
8. Рассмотрите полупроводниковые усилители, укажите схемы их включения, достоинства и недостатки этих схем, а также их динамические параметры.
9. Рассмотрите электромашинные усилители, укажите их схемы, динамические свойства, достоинства.
10. Рассмотрите электрические регуляторы. Опишите работу двухпозиционного релейного регулятора.
11. Рассмотрите электрические регуляторы. Опишите работу трехпозиционного релейного регулятора.
12. Рассмотрите гидравлические исполнительные механизмы.
13. Рассмотрите пневматические исполнительные механизмы.
14. Рассмотрите электромашинные исполнительные механизмы.
15. Рассмотрите электромагнитные исполнительные механизмы.

16. Рассмотрите двигатели для микроперемещений, их типы, особенности функционирования.
17. Рассмотрите интерфейсные устройства микропроцессорной системы управления технологическими процессами (МСУ ТП), их назначение, организацию параллельного интерфейса.
18. Рассмотрите интерфейсные устройства МСУ ТП, их назначение, организацию последовательного интерфейса.
19. Покажите схему сбора производственной информации при использовании микропроцессорной САУ и опишите её функционирование.

Предложите и рассчитайте схему электронного устройства для преобразования аналогового изменения ёмкости датчика перемещений в длительность импульса напряжения прямоугольной формы, если задано:

№ вопроса	Амплитуда импульса, В	Ёмкость, $C_{\min}$ , пФ	Ёмкость, $C_{\max}$ , пФ	Сопротивление нагрузки, кОм
20	5	60	180	2.0
21	6	70	200	2.5
22	7	80	220	3.0
23	8	90	240	3.5
24	9	100	260	4.0
25	10	110	280	2.0
26	11	120	300	2.5
27	12	130	320	3.0
28	13	140	340	3.5
29	14	150	360	4.0
30	5	160	380	2.0
31	6	170	400	2.5
32	7	180	420	3.0
33	8	190	440	3.5
34	9	200	460	4.0
35	10	210	480	2.0
36	11	220	500	2.5
37	12	230	520	3.0
38	13	240	540	3.5
39	14	250	560	4.0

### Определение вариантов контрольной работы

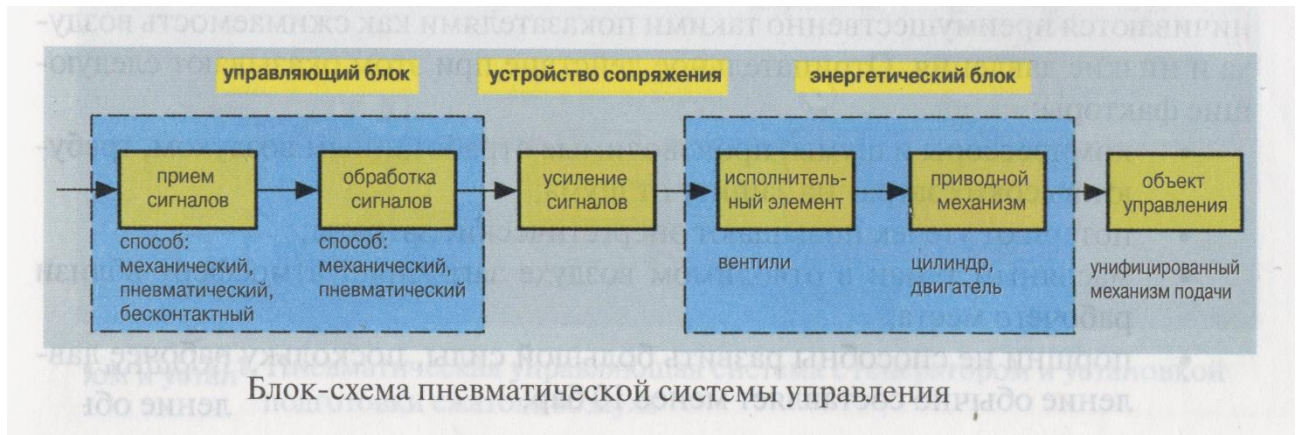
Шифр	01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
	21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
	41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60
	61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80
	81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00
Вопросы	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 1
	4 5 6 10 11 12 13 14 15 5 6 7 8 4 5 7 1 2 6 7
	15 14 13 16 17 18 19 16 17 18 12 1 2 3 18 19 6 4 10 11
	18 17 16 15 14 13 12 17 3 16 1 17 10 19 3 11 10 13 11 14
	20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39

Для определения своего варианта найдите последние две цифры номера своей зачетной книжки ( шифр) и по вертикали определите номера вопросов.

## Пример выполнения контрольной работы

### **Вопрос: Рассмотрите пневматические исполнительные механизмы.**

Пневматика в своём обобщенном значении подразумевает техническое применение сжатого воздуха, при этом чаще используется избыточное давление, но иногда и давление ниже номинального (вакуум). Пневматические системы управления состоят из управляющего и энергетического блоков.



Области применения пневматических систем управления:

- ротационные приводы (пневматические двигатели) для сверления, привинчивания, шлифования;
- линейные приводы (пневматические цилиндры) для загрузки, зажима, смещения, выталкивания;
- ударные приводы для резки, штамповки, клёпки, прессования;
- сопла для продувки изделий и выдувания стружки;
- в технологии обработки поверхностей: пескоструйная очистка и пульверизационная окраска;
- в технике контроля линейных параметров: пневматические контрольно-измерительные устройства.

Общие сведения о пневматике и технические возможности пневматических устройств

- в пневмосистемах сжатый воздух перемещается по трубопроводам и может храниться в ресиверах (сосудах);

- передвижные компрессоры позволяют применять энергию сжатого воздуха независимо от места;
- сжатый воздух практически нечувствителен к колебаниям температуры и может использоваться во взрыво- и пожароопасных помещениях;
- скорость хода поршней пневматических цилиндров может достигать 15 м/с;
- двигатели способны функционировать со скоростью до 30 000 об./мин., а небольшие турбины – до 450 000 об./мин.;
- инструменты и приспособления могут нагружаться до полной остановки, они защищены от перегрузок и обладают высоким пусковым моментом;
- большой срок службы (до 10...20 тыс.час.), простота конструкции и обслуживания, безотказность в работе.

Возможности использования пневматических управляющих систем ограничиваются в основном такими факторами как сжимаемость воздуха и низкие давления.

Пневматическая установка состоит из генератора (источник давления), системы подготовки воздуха и системы управления.

**Генератор (компрессор)** забирает воздух из атмосферы и сжимает его до требуемого давления. По способу сжатия воздуха различают поршневые компрессоры и турбокомпрессоры.

Поршневые компрессоры функционируют по принципу вытеснения, т.е. воздух подсасывается в цилиндр, запирается там, сжимается и выпускается в воздухохоборник.

Турбокомпрессоры всасывают атмосферный воздух посредством рабочих колёс или пропеллеров и ускоряют его. В последовательно включенных ресиверах энергия воздушного потока преобразуется в энергию давления.

**Агрегат подготовки сжатого воздуха** состоит обычно из фильтра, регулятора давления и специальной маслёрки для смазки масляным туманом.

**Приводные элементы** преобразуют пневматическую энергию (энергию давления) в механическую энергию (энергию движения).

Существуют приводы вращательного действия без ограничения диапазона изменения угла поворота (пневмодвигатели), с ограниченным диапазоном угла поворота (поворотные двигатели, вращающиеся цилиндры) и приводы прямолинейного действия (пневмоцилиндры).

Пневмодвигатели широко используются в качестве приводов для различных инструментов и подъёмных механизмов, они характеризуются небольшим весом на единицу мощности и удобством в обслуживании. Мощность, число оборотов и вращающий момент бесступенчато регулируются путём изменения рабочего давления и дросселирования расхода воздуха.

Пневматические двигатели делятся на поршневые, роторные (дисковые) и турбинные. Рабочая скорость поршневых двигателей достигает 6000 об./мин., роторных - до 30 000 об./мин., турбинных – до 350 000...450 000 об./мин.

Пневмоцилиндры подразделяют на цилиндры одностороннего и двустороннего действия. Их используют для перемещения, подъёма и подачи заготовок и инструментов или для создания зажимных и толкающих усилий.

В пневматике **распределители и регуляторы давления** действуют по принципу пропорционального регулирования, преимуществами которого по сравнению с традиционной вентильной техникой являются:

- более низкие затраты на оборудование и монтаж;
- меньшая занимаемая площадь;
- возможность дистанционного регулирования заданных параметров и др.

**Вопрос.** Рассмотрите электромагнитные исполнительные механизмы.

**Электромагнит** – это электротехническое устройство, состоящее обычно из токопроводящей обмотки и ферромагнитного сердечника,

который намагничивается (приобретает свойства магнита) при прохождении по обмотке электрического тока.

Несмотря на конструктивное разнообразие, **электромагнит** обычно состоит из следующих частей, имеющих одинаковое назначение: катушки с токопроводящей обмоткой, намагничивающегося сердечника (неподвижной части магнитопровода) и якоря (подвижной части магнитопровода), передающего усилие деталям приводимого в действие механизма. Обмотки **электромагнита** выполняются из изолированного алюминиевого или медного провода (существуют также **электромагниты** с обмоткой из сверхпроводящих материалов). Магнитопровод изготавливают из магнитно-мягких материалов — обычно из электротехнической или качественной конструкционной стали, литой стали и чугуна, железоникелевых и железокобальтовых сплавов. Для снижения потерь на вихревые токи магнитопроводы выполняют из набора листов.

Используются электромагниты очень широко и имеют различные размеры (муфты сцепления, тормоза, выключатели, электрические машины, измерительные приборы и т.д.). Например, электромагнит Серпуховского ускорителя протонов длиной 1320 м состоит из 120 блоков общим весом 20 тыс. т.

В зависимости от способа создания магнитного потока и характера действующей намагничивающей силы **выделяют** три группы:

- **электромагниты** постоянного тока нейтральные;
- **электромагнит** постоянного тока поляризованные;
- **электромагнит** переменного тока.

У нейтральных **электромагнитов** сила притяжения зависит только от величины магнитного потока и не зависит от направления тока в обмотке; при отсутствии тока в обмотке магнитный поток, а, следовательно, сила притяжения практически равны нулю.

У поляризованных **электромагнитов** создаётся два независимых магнитных потока: поляризующий, который образуется обычно полем

постоянного магнита и рабочий магнитный поток, который возникает под действием намагничивающей силы рабочей или управляющей обмотки. Если ток в них отсутствует, на якорь действует сила притяжения, созданная поляризующим магнитным потоком. Действие такого **электромагнита** зависит как от величины магнитного потока, так и от направления электрического тока в рабочей обмотке.

В **электромагнитах** переменного тока питание обмотки осуществляется от источника переменного тока, а магнитный поток периодически изменяется по величине и направлению, в результате чего сила притяжения пульсирует от нуля до максимального значения с удвоенной частотой по отношению к частоте питающего тока.

**Есть различия по ряду других признаков:**

- по способу включения обмоток — с параллельными и последовательными обмотками;
- по характеру работы — работающие в длительном, прерывистом и кратковременном режимах;
- по скорости действия — быстродействующие и замедленного действия и т. д.

В настоящее время предприятия широко выпускают электромагниты различных серий, а также электромагнитные приводы. Электромагнит также лежит в основе электромагнитных клапанов, широко применяемых в системах автоматики нефтедобывающих, нефтеперерабатывающих, нефтехимических, нефтегазовых, металлургических и пищевых предприятиях.

**Электромагнитные клапаны** можно разделить на два основных типа: прямого и не прямого действия.

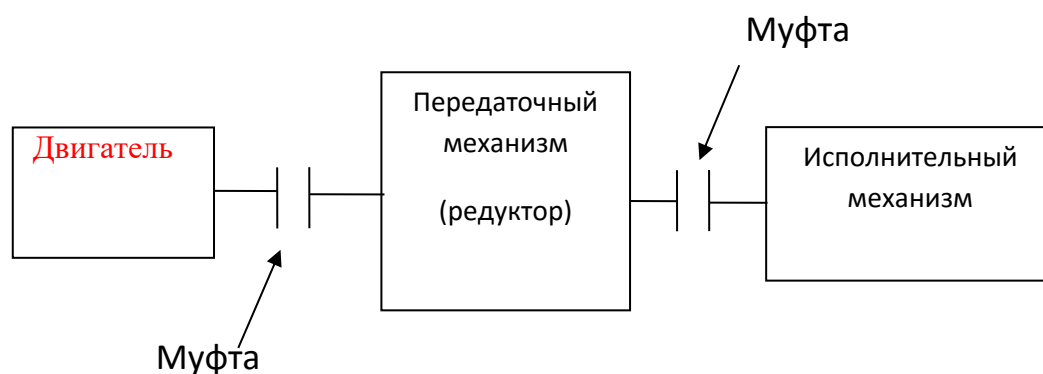
**Электромагнитные клапаны** прямого действия обеспечивают открытие или закрытие клапанов за счет движения сердечника при запитывании катушки электромагнитного клапана. В конструкции непрямого действия запитывания катушки открывает пилотный клапан, а открытие



основного клапана уже происходит при воздействии давления среды или его компенсации при минимальных механических усилиях.

Для обеспечения надежности предпочтительнее **электромагнитные клапаны** прямого действия, которые гораздо менее требовательны к чистоте воздуха, температуре окружающей среды, и имеют большую надежность срабатывания и долговечность.

Муфты служат для соединения валов или валов с деталями, свободно вращающимися на них (зубчатыми колесами, шкивами и т.п.), с целью передачи вращения без изменения скорости. Известно, что большинство устройств, систем komponуют из отдельных узлов с входными и выходными валами. Такими узлами являются, например, привод в виде двигателя, передаточный и исполнительный механизмы. Кинематическая и силовая связь между этими узлами устройства осуществляется с помощью муфт.



Соединение валов является основным, но не единственным назначением муфт. Муфты применяют для включения и выключения исполнительного органа при непрерывно работающем двигателе, для предохранения рабочих органов от перегрузок и чрезмерно больших скоростей, для передачи движения между валами только в одном направлении, для остановки в качестве тормоза и других функций.

Глухие жесткие муфты используют при передаче движения между соосными валами, которые должны работать как единый вал. Компенсирующие подвижные муфты применяют при передаче движения между несоосными валами при наличии небольших радиальных, осевых,

угловых или комбинированных смещений осей валов. Упругими муфтами пользуются для смягчения толчков, динамических нагрузок при передаче вращающегося момента между валами. Предохранительные муфты применяют во избежание поломок деталей механизма из-за перегрузок. Обгонные муфты используют для передачи движения только в одну сторону.

Вопрос Рассмотрите гидравлические исполнительные механизмы.

Широкое применение гидравлические системы нашли в тяжелом машиностроении, в производстве мощных прессов, протяжных и строгальных станков, зажимных устройств, а также автоматизации заготовительных производств, металлорежущих станков, предназначенных для финишной обработки. Также гидравлические системы находят применение в авиастроении, подъёмно-транспортных, дорожно-строительных машинах и др. областях.

Основные достоинства гидравлических систем:

- высокая удельная мощность, позволяющая достаточно компактное конструктивное исполнение;
- высокие быстродействие и чувствительность;
- возможность бесступенчатого (без механического редуктора) регулирования параметров движения и передачи больших усилий;
- обеспечение надёжной защиты от перегрузок за счёт ограничения давления (предохранительные клапаны)

В гидравлических системах передача энергии осуществляется посредством жидкости (обычно минеральные масла с присадками) в неподвижном (спокойном) состоянии- гидростатика, или посредством текущей жидкости, т.е. находящейся в подвижном состоянии- гидродинамика.

Основой любой гидравлической установки является циркуляционная система. Она начинается с всасывания рабочей жидкости из бака и создания насосом объёмного расхода. Если объёмному потоку противостоит определённое сопротивление- возникает давление. Далее рабочая жидкость

(масло) протекает через клапаны и вентили к исполнительным агрегатам, например рабочему цилиндру. Выполнив свою рабочую задачу масло возвращается обратно в бак.

Часто применяют комплексные стандартные гидравлические блоки-гидростанции, которыми достаточно просто оснастить различные машины и технологические установки. Гидростанция содержит электродвигатель, который через муфту соединён с гидронасосом, а также вспомогательными элементами.

Гидравлические насосы передают механическую энергию в рабочую жидкость. Это достигается за счёт постоянного вытеснения жидкости из всасывающего трубопровода в напорную линию.

В зависимости от конструкции различают:

- шестерённые гидронасосы;
- пластинчатые (шиберные) гидронасосы;
- поршневые гидронасосы.

Объём жидкости, вытесненный за один рабочий ход насоса, называют объёмной подачей  $V$ , умножив которую на число оборотов насоса, получаем объёмный расход  $Q$ .

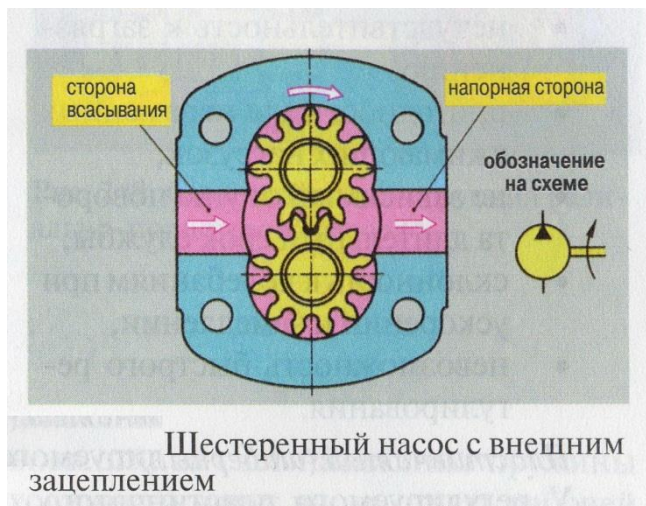
При выборе гидронасоса учитывают такие его параметры: объёмная подача, допустимое максимальное давление, КПД, уровень шума.

Мощность, отдаваемая насосом в рабочую жидкость, составляет:

$$P = p * Q * \eta$$

где:  $P$ - отдаваемая выходная мощность;  $p$  - давление;  $Q$ - объёмная подача;  $\eta$  - КПД.

Шестерный насос с внешним зацеплением содержит пару сопряжённых зубчатых колёс, в результате вращательного движения которых рабочая жидкость во впадинах между зубьями вытесняется вдоль стенки корпуса от стороны всасывания к напорной стороне. Для шестерных насосов характерен низкий уровень шума.



Вопрос. Предложите и рассчитайте схему электронного устройства для преобразования аналогового изменения ёмкости датчика перемещений в длительность импульса напряжения прямоугольной формы, если задано:

$$U_{\text{вых.}} = 9 \text{ В}, C_{\text{min}} = 430 \text{ пФ}, C_{\text{max}} = 820 \text{ пФ}, R_{\text{нагр.}} = 4,4 \text{ кОм}, T_{\text{окр.}} = 25^\circ\text{C}$$

В данной работе в качестве электронного устройства для преобразования аналогового изменения ёмкости датчика в длительность импульса напряжения прямоугольной формы выберем мультивибратор.

Мультивибратором называется импульсный генератор релаксационного типа с глубокой положительной обратной связью на цепях RC, форма выходных импульсов близка к прямоугольной.

В автоколебательном режиме мультивибратор генерирует периодические колебания — автоколебания. Для их возникновения не требуются внешние воздействия.

Мультивибраторы применяются в устройствах автоматики, вычислительной и измерительной техники (в том числе в реле времени, задающих устройствах и формирователях ЭВМ), в устройствах радиотехники в качестве задающих генераторов и формирователей импульсов, делителей частоты, бесконтактных переключателей тока и прочих.

Параметры выходного сигнала мультивибратора - длительность импульса существенно зависит от величин емкостей конденсаторов в цепи обратной связи. Поэтому, используя в качестве одного из конденсаторов

емкостной датчик, возможно реализовать преобразование аналогового изменения ёмкости датчика в длительность выходных импульсов.

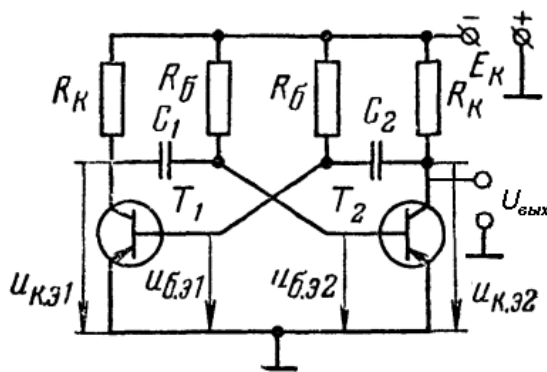
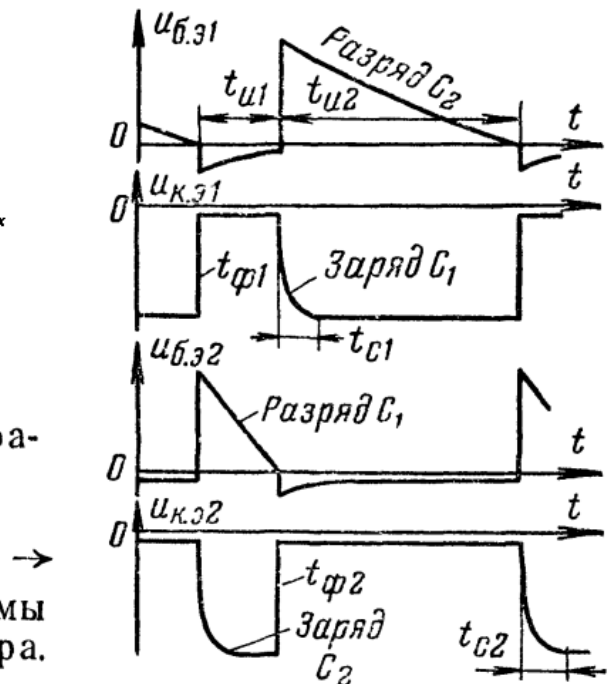


Рис. 2а. Схема мультивибратора на  $p-n-p$  транзисторах.

Рис. 2б. Временные диаграммы напряжений мультивибратора.



На рисунке 2а показана наиболее распространенная схема мультивибратора на транзисторах с емкостными коллекторно-базовыми связями.

### 1.3 Стабилизатор напряжения

Качественные характеристики работы устройства зависят как от температуры окружающей среды, так и от входных характеристик. Для повышения стабильности входного напряжения будем использовать стабилизатор.

Основным показателем, характеризующим работу стабилизатора, является коэффициент стабилизации напряжения  $K_{ст}$ , показывающий, во сколько раз относительное изменение напряжения на выходе стабилизатора  $\Delta U_{вых}/U_{вых}$  меньше относительного изменения напряжения на его входе  $\Delta U_{вх}/U_{вх}$ .

На рис.3 изображены схемы параметрических стабилизаторов напряжения с кремниевыми стабилитронами (СТ). Для стабилизации напряжения в них используется свойство стабилитрона, состоящее в том, что

при значительных изменениях тока через стабилитрон  $I_{ст}$  напряжение на нем  $U_{ст}$  изменяется незначительно.

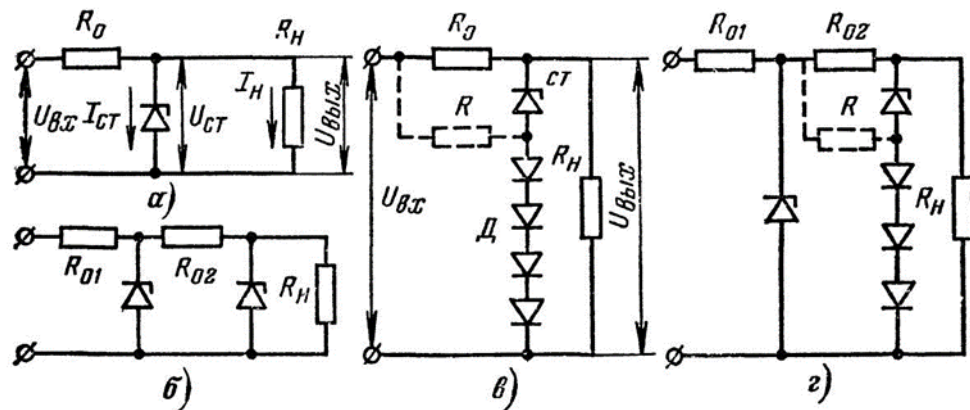


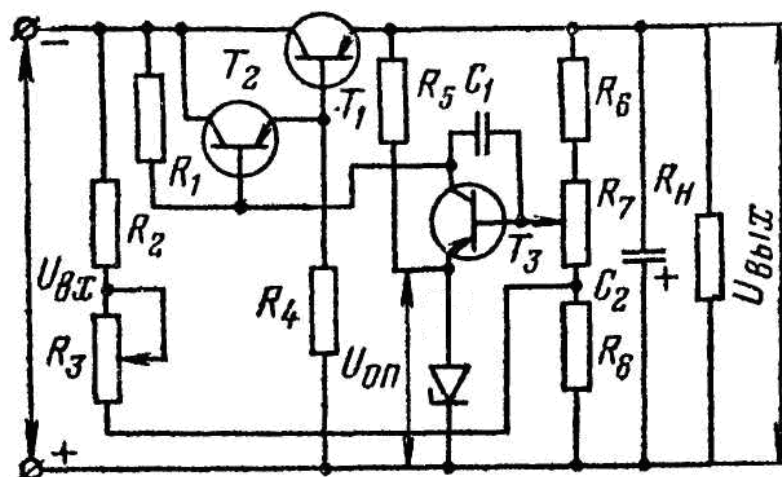
Рисунок 3. Схемы параметрических стабилизаторов напряжения. б – двухкаскадного; в – однокаскадного с температурной компенсацией; г – двухкаскадного с температурной компенсацией

Диоды, имеющие при включении в прямом направлении отрицательный температурный коэффициент напряжения (ТКН), служат для температурной компенсации напряжения стабилитрона, имеющего при обратном включении положительный ТКН. При этом необходимо, чтобы суммарный ТКН диодов был равен значению ТКН стабилитрона. ТКН диодов можно менять в небольших пределах, изменяя при помощи резистора  $R$  ток через диоды. Протекание дополнительного тока через диоды уменьшает динамическое сопротивление диодов, что способствует уменьшению общего динамического сопротивления  $R_{до}$  и увеличению коэффициента стабилизации  $K_{ст}$ .

Из-за увеличения сопротивления  $R_{до}$  за счет сопротивления диодов в стабилизаторах с термокомпенсацией ухудшается стабилизация напряжения в 2...4 раза по сравнению со схемой без термокомпенсации, которую применяют при постоянной температуре окружающей среды. Коэффициент стабилизации однокаскадной параметрической схемы составляет около 10...20.

Стабилизаторы обладают также сглаживающим действием. Коэффициент пульсации выпрямленного напряжения на выходе стабилизатора уменьшается в  $K_{ст}$  раз по сравнению с коэффициентом пульсации на его входе:  $K_{п.вых} = K_{п.вх} / K_{ст}$ .

Более высокие показатели работы обеспечивают транзисторные компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения.



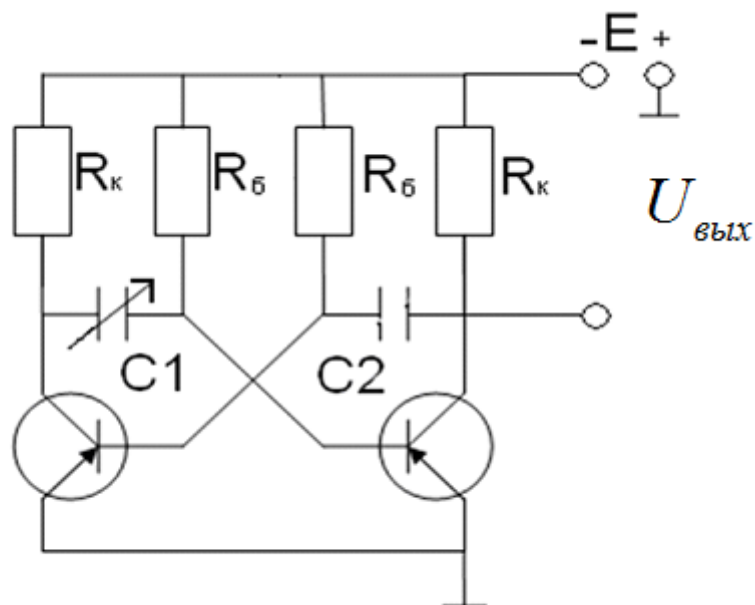
На рис. 4 изображена одна из практических схем транзисторного стабилизатора. Схема содержит три основных элемента: регулирующий

элемент на транзисторах  $T_1$  и  $T_2$ , усилительный элемент (усилитель постоянного тока) на транзисторе  $T_3$  и источник опорного напряжения на стабилитронах. Собственно, регулирующим элементом является транзистор  $T_1$  а транзистор  $T_2$  является согласующим элементом между большим выходным сопротивлением усилителя постоянного тока и малым входным сопротивлением регулирующего транзистора  $T_1$ .

Достоинством транзисторных стабилизаторов является возможность получения большого тока нагрузки и регулировки выходного напряжения, а также малое выходное сопротивление (не более 10 Ом). Выходное напряжение регулируется путем изменения сопротивления резистора  $R_7$ . Следовательно, учитывая входные характеристики мультивибратора и параметры стабилизаторов, в разрабатываемом устройстве будем использовать схему компенсационного транзисторного стабилизатора напряжения.

### РАЗДЕЛ 3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

#### 3.1 Расчет мультивибратора в автоколебательном режиме.



1. Выбор типа транзистора. Транзистор выбирают по предельной частоте  $f_{h216}$ , максимально допустимому напряжению  $U_{кб\_max}$  и статическому коэффициенту передачи по току  $h_{21э}$ .



Транзистор должен иметь коэффициент передачи по току

$$h_{21э} \geq \frac{Q-1}{0,23} \cdot k_{нас}.$$

Необходимое значение предельной частоты выбираемого транзистора

$$f_{h21б} \geq 5 \cdot \frac{Q-1}{t_{н1}},$$

где  $Q$  – скважность

$$(Q = \frac{T}{t_{н1}}, \text{ в данном случае } Q = 2, \text{ т.к. } T = t_{н1} + t_{н2}, t_{н1} = t_{н2});$$

$k_{нас}$  - коэффициент насыщения (выбирают  $k_{нас} = 2 \div 3$ );

$$h_{21э} \geq \frac{2-1}{0,23} \cdot 2 = 8,6.$$

Необходимое напряжение источника питания  $E_k = (1,1 \div 1,2)U_k$ ,

$$E_k = (1,1 \div 1,2) \cdot 9 = 9,9 \div 10,8 \text{ В}$$

Принимаем  $E_k = 10 \text{ В}$ , тогда.  $U_{кб\_max} \geq 2E_k = 20 \text{ В}$ .

По рассчитанным параметрам выбираем по справочнику транзистор  $2T104A$ , у которого максимально допустимое напряжение коллектор-база  $U_{кб\_max} = 30 \text{ В}$ ; импульсный ток коллектора  $I_{ки} = 50 \text{ мА}$ ; обратный ток коллектора  $I_{кбо} = 1 \text{ мкА}$ ; предельная частота  $f_{h21б} = 5 \text{ МГц}$ ; статистический коэффициент передачи по току  $h_{21э} = 7-40$ ; наибольшая температура коллекторного перехода  $T_{max} = 60^\circ \text{C}$

2. Выбор резистора  $R_k$ .

$$\text{Сопротивление резистора } R_k \geq \frac{U_k}{I_{к.нас.}}.$$

Ток коллектора насыщения  $I_{к.нас.}$  определяется с учетом температуры окружающей среды по выражению

$$I_{кнас} \geq I_{ки} \sqrt{\frac{T_{max} - T_{окр}}{T_{max} - 20}} = 50 \cdot \sqrt{\frac{150 - 25}{150 - 20}} = 48,8 \text{ мА}.$$

$$R_k \geq \frac{9}{0,05} = 180 \text{ Ом}.$$

Минимально допустимое значение  $R_k$  выбирать не следует, так как при этом будет неэкономичным режим работы, в то же время при малом значении  $R_k$  уменьшается длительность среза импульса и увеличивается нагрузочная способность схемы.

Выбираем  $R_k = (0,1 \div 0,2) R_n$ .

$$R_k = (0,1 \div 0,2) \cdot 4400 = (440 \div 880) \text{ Ом}$$

Принимаем  $R_k = 680 \text{ Ом}$ .

Ток коллектора найдем из выражения  $I_k = \frac{U_{\text{блх}}}{R_k}$

$$I_k = \frac{9}{680} = 0,01324 \text{ А}$$

Рассчитаем мощность  $P_{Rk} = I_k^2 \cdot R_k = 0,01324^2 \cdot 680 = 0,1191 \text{ Вт}$

Выберем тип резистора по справочнику [2]: *МЛТ-0,125-680 Ом*  $\pm 5\%$ .

### 3. Выбор резистора $R_6$ .

Сопротивление резистора  $R_6$  определяем из условия режима насыщения открытого транзистора.

$$R_6 = \frac{h_{21} \cdot R_k}{k_{\text{НАС}}} = \frac{30 \cdot 680}{2} = 10 \text{ кОм}$$

Принимаем  $R_6 = 10 \text{ кОм}$ .

Ток базы найдем из выражения  $I_6 = \frac{I_k}{h_{21}} = \frac{0,01324}{30} = 0,000441 \text{ А}$

Рассчитаем мощность

$$P = I_6^2 \cdot R_6 = 0,000441^2 \cdot 10^4 = 0,00195 \text{ Вт}$$

Выберем тип резистора по справочнику [2] : *МЛТ- 0.125Вт- 10 кОм*,  $\pm 5\%$ .

### 4. Проверяем выполнения условия температурной стабильности схемы.

$$I_{k60 \text{ max}} = I_{k60} \cdot 2^{\frac{T_{\text{окр}} - 20}{10}} = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 2^{\frac{25 - 20}{10}} = 1 \text{ мкА}$$

$$\frac{I_{k60\max} \cdot R_6}{E_k} = \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4}{10} = 0.00102 \ll 1$$

На основании полученного равенства можно не учитывать влияние обратного тока коллектора на длительность импульса и период следования.

5. Вычислим длительность  $t_{n1\max}$  и  $t_{n1\min}$ .

$$t_n = 0,7 \cdot R_{\sigma} \cdot C_{\text{датчика}}$$

$$t_{n1\max} = 0,7 \cdot 10^4 \cdot 820 \cdot 10^{-12} = 5,8548 \text{ мкс}$$

$$t_{n1\min} = 0,7 \cdot 10^4 \cdot 430 \cdot 10^{-12} = 3,0702 \text{ мкс}$$

Учитывая заданные граничные значения емкости, выберем  $C_2$  в их пределах ( $430 \div 820$ ). Принимаем  $C_2 = 620 \text{ пФ}$ .

$$t_{n2} = 0,7 \cdot R_6 \cdot C_2 = 0,7 \cdot 10^4 \cdot 620 \cdot 10^{-12} = 4,4625 \text{ мкс}.$$

Выберем тип конденсатора по справочнику:  $K40Y-9-620 \text{ пФ} \pm 20\%$ .

6. Уточним необходимое значение предельной частоты выбранного транзистора,

$$f_{h21} \geq 5 \cdot \frac{Q-1}{t_{n2}} = 5 \cdot \frac{2-1}{4,46 \cdot 10^{-6}} = 1,12 \text{ МГц} < 5 \text{ МГц}, \text{ следовательно, транзистор}$$

выбран правильно.

7. Рассчитаем длительность фронта и среза импульсов  $t_{\varphi 2}$  и  $t_{c2}$ :

$$t_{\varphi 2} = 2 \cdot \frac{0,16}{5 \cdot 10^6} = 0,064 \text{ мкс}; \quad t_{c2} = 2,3 \cdot R_k \cdot C_2 = 2,3 \cdot 680 \cdot 650 \cdot 10^{-12} = 0,9775 \text{ мкс}.$$