

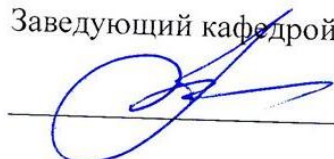
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева  
Кафедра «Системы автоматического управления»

Утверждено на заседании кафедры  
«Системы автоматического управления»  
«13» января 2021 г., протокол №8

Заведующий кафедрой



О.В. Горячев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**для проведения практических (семинарских) занятий**  
**по дисциплине (модулю)**  
**«Следящий электропривод мехатронных систем»**  
**основной профессиональной образовательной программы**  
**высшего образования – программы бакалавриата**  
**по направлению подготовки**  
**15.03.06 Мехатроника и робототехника**  
**с направленностью (профилем)**  
**Мехатроника**

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 150306-01-21

Тула 2021 год

## **Разработчик методических указаний**

Горячев Олег Владимирович, зав. каф. САУ, д.т.н., проф  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

## Практическое занятие №1

### «Статические характеристики коллекторных двигателей с независимым возбуждением»

#### Задания к теме

**Вариант №1. Двигатель ДПР – 42 Н1 имеет следующие параметры:**

Электромагнитная постоянная времени	- $0,4 \cdot 10^{-3}$ с
Электромеханическая пост. времени	- $15 \cdot 10^{-3}$ с
Момент инерции якоря	- $5,7 \cdot 10^{-7}$ кг м <sup>2</sup>
Сопротивление обм. якоря	- 13 Ом
Номинальный ток	- 0,29 А
Номинальное напряжение питания	- 27 В
Пусковой момент	- 0,044 Н*м
Номинальный момент	- 0,005 Н*м
Частота вр. номинальная	- 9000 Об/мин
Номинальное напряжение питания	27 В
Номинальная мощность	- 4,3 Вт

- а) Рассчитайте частоту вращения двигателя при отсутствии нагрузки и механических потерь на его валу в рад/с?  
б) Постройте регулировочную характеристику двигателя

**Вариант 2. Двигатель ДПР – 42 Н1 имеет следующие параметры:**

Электромагнитная постоянная времени	- $0,4 \cdot 10^{-3}$ с
Электромеханическая пост. времени	- $15 \cdot 10^{-3}$ с
Момент инерции якоря	- $5,7 \cdot 10^{-7}$ кг м <sup>2</sup>
Сопротивление обм. якоря	- 13 Ом
Номинальный ток	- 0,29 А
Номинальное напряжение питания	- 27 В
Пусковой момент	- 0,044 Н*м
Номинальный момент	- 0,005 Н*м
Частота вр. номинальная	- 9000 Об/мин
Номинальная мощность	- 4,3 Вт

- а) Определите чему равен коэффициент усиления двигателя?  
б) Постройте регулировочную и механическую характеристики двигателя.

**Вариант № 3. Двигатель ДПР-52-Н1/Н2-03 имеет следующие параметры:**

Электромагнитная постоянная времени	- $0,4 \cdot 10^{-3}$ с
Электромеханическая пост. времени	- $15 \cdot 10^{-3}$ с
Момент инерции якоря	- $1,7 \cdot 10^{-6}$ кг м <sup>2</sup>
Сопротивление обм. якоря	- 12,5 Ом
Номинальный ток	- 0,26 А
Номинальное напряжение питания	- 27 В
Пусковой момент	- 0,09 Н*м
Номинальный момент	- 0,01 Н*м
Частота вр. номинальная	- 4500 Об/мин
Номинальная мощность	- 4,3 Вт

- а) Рассчитайте частоту вращения двигателя при отсутствии нагрузки и механических потерь на его валу в рад/с?
- б) Постройте механическую характеристику двигателя при номинальном и 50% ном напряжении.

\*\*\*\*\*

Задания выполняются в соответствии со списком группы:

Вариант № 1 – номера 1..8

Вариант № 2 – номера 9..16

Вариант № 3 – номера с 17-го

## Практическое занятие №2

### «Динамические характеристики коллекторных двигателей с независимым возбуждением»

#### Задание к теме

1. Составить функциональную схему ЭСП на основе предложенных элементов.
2. Составить структурную схему ЭСП на основе предложенных элементов.
3. Построить механическую и регулировочную характеристики системы «ИУ – Д» для 5-6 значений скважности импульсов.

Вариант	1	2	3	4	5	6
Исполнит. двигатель	ДПР-42-Н1-01	ДПР-42-Н1-02	ДПР-42-Н1-03	ДПР-52-Н1-02	ДПР-52-Н1-03	ДПР-72-Н1-03
Передаточ. число редукт	350	420	300	550	600	500
Момент инерции нагрузки	3	5	4	10	15	20
Напряжение насыщения транзист.	0.6	1.0	2.0	0.6	1.2	0.6
Датчик рассоглас.	2.5БВТ	2.5ВТ	2.5БВТ	5БВТ	2.5БВТ	ВТ-5
Закон коммутации ключей УМ	симметр.	несимметр.	несимметр.	симметр.	несимметр.	симметр.

Примечание: все параметры даны в системе единиц СИ.

\*\*\*\*\*

Задания выполняются в соответствии со списком группы:

**Вариант № 1 – номера 1..3**

**Вариант № 2 – номера 4..6**

**Вариант № 3 – номера 7..9**

**Вариант № 4 – номера 10..12**

**Вариант № 5 – номера 13..15**

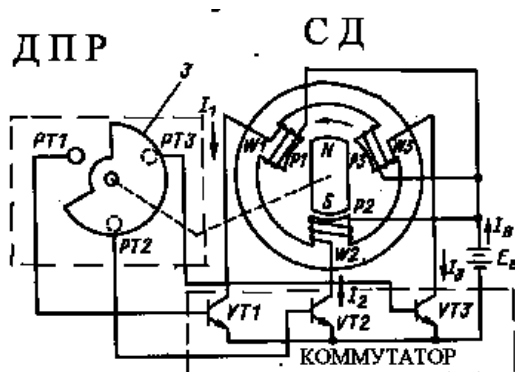
**Вариант № 6 – номера с 16-го**

## Практическое занятие №3

### «Бесконтактные двигатели постоянного тока»

#### Задание к теме

1. Представить на рисунке схему включения обмоток бесколлекторного двигателя в зависимости от сигналов с датчиков положения.
2. Представить на рисунке временную диаграмму подачи напряжения питания на обмотки бесколлекторного двигателя в зависимости от сигналов с датчиков положения.
3. Построить качественный вид механической и регулировочной характеристик бесколлекторного двигателя постоянного тока.
4. На рисунке приведена принципиальная схема бесконтактного двигателя постоянного тока.



Как изменится момент развиваемый двигателем, если вместо ротора, изготовленного из магнитотвердого материала типа альнико, поставить ротор, изготовленный из магнитотвердого материала на основе редкоземельных материалов?

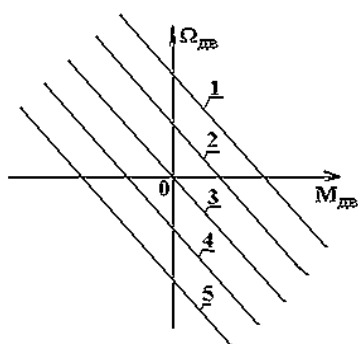
5. Необходимым элементом в бесконтактном двигателе постоянного тока является датчик положения ротора. Какой тип датчика относится к - гальваномагнитным?
6. Исполнительные бесконтактные двигатели постоянного тока выполняются с пазовым и гладким статорами. Какими достоинствами обладают двигатели с гладким статором?

## Практическое занятие №5

### Статические и динамические характеристики реверсивных и нереверсивных следящих электроприводов, работающих по системе «Импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением»

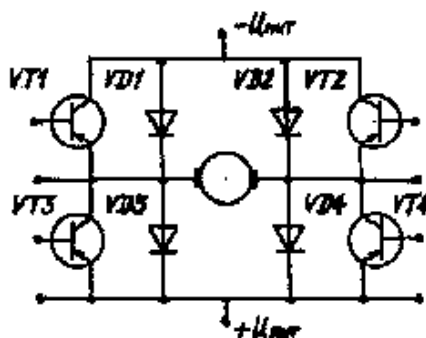
#### Задание к теме

1. На рисунке показано семейство механических характеристик двигателя постоянного тока независимым возбуждением.



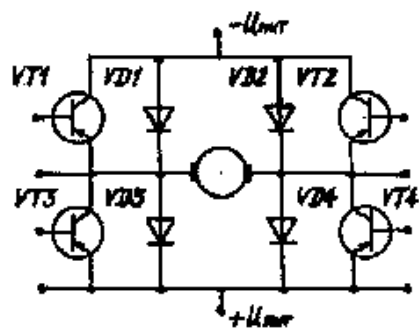
Чем отличаются эти характеристики друг от друга?

2. В системе «импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением», изображенной на рис.,



при любом законе коммутации возможны ли случаи одновременного открытия транзисторов?

3. При несимметричном законе коммутации в системе «импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» (рис.) транзисторы VT3 и VT4 находятся в открытом состоянии.



В каком режиме работает двигатель в этот момент времени?



## Практическое занятие №5

### Энергетические характеристики реверсивных и нереверсивных следящих электроприводов, работающих по системе «Импульсный усилитель - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением»

#### Задание к теме

1. Составить структурную схему ЭСП.
2. Определить параметры структурной схемы.
3. Рассчитать частоту генератора пилообразного напряжения МДИ.
4. Построить механическую и регулировочную характеристики системы ИУ-Д для 5-6 значений скважности импульсов.

Вариант	1	2	3	4	5	6
Исполнит. двигатель	ДПМ-25-Н1-02	ДПМ-30-Н1-02	ДПР-62-Н1-03	ДПР-72-Н1-02	ДПР-72-Н1-03	ДПР-72-Н1-03
Тахогенер.	1.6ТГП - 2	1.6ТГП - 2	1.6ТГП - 2	2.5ТГП - 6	ТГП - 3	2.5ТГП - 6
Передаточ. число редукт	350	420	400	600	500	600
Момент инерции нагрузки	3	5	6	20	25	35
Напряжение насыщения транзист.	0.6	1.0	2.0	0.6	2	1
Датчик рассоглас.	2.5БВТ	2.5ВТ	2.5БВТ	5БВТ	2.5БВТ	ВТ-5
Закон коммутации ключей УМ	симметр.	несимметр.	симметр.	симметр.	несимметр.	симметр.

Примечание: все параметры даны в системе единиц СИ.

\*\*\*\*\*

**Задания выполняются в соответствии со списком группы:**

**Вариант № 1 – номера 1..3**

**Вариант № 2 – номера 4..6**

**Вариант № 3 – номера 7..9**

**Вариант № 4 – номера 10..12**

**Вариант № 5 – номера 13..15**

**Вариант № 6 – номера с 16-го**

## Практическое занятие №6

### Укрупненные принципиальные схемы ЭСП

#### Задание к теме

В качестве датчиков ускорения применяются акселерометры различного типа. В следящих приводах очень часто в качестве датчика ускорения используют устройства на основе последовательного или сериесного резистора. На рис. 1 приведена принципиальная схема включения резистора.

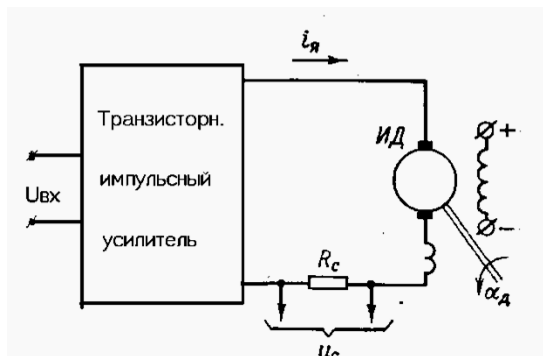


Рис.1. Принципиальная схема включения сериесного резистора

1. Составьте уравнение движения механической части привода:
2. Найдите аналитическое выражение для напряжения на сериесном резисторе.
3. Покажите, почему это напряжение используется в следящих системах в качестве датчика ускорения?

## Практическое занятие №7

### Основные усилительно преобразовательные устройства следящего электропривода с импульсным управлением

#### Задание к теме

Принципиальная схема МДИ представлена на рис. 1.

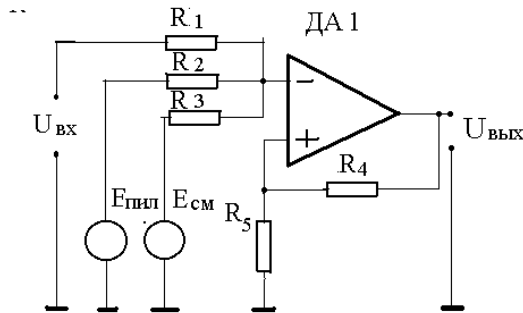


Рис.1. Принципиальная схема МДИ

- Какие элементы схемы определяют коэффициент передачи МДИ?
- Какова должна быть величина резистора  $R_4$ , чтобы напряжение, при котором происходит переключение порогового элемента было 0,1 В? Максимальное напряжение на выходе порогового элемента составляет 10 В.
- Определите требования к генератору пилообразного напряжения. Коэффициент передачи МДИ должен быть равен 10.

#### Вариант №1

На рисунке 2 приведена блок-схема ЭСП с транзисторным усилителем, поясняющая работу усилителя, выходные каскады которого работают в режиме класса Д.

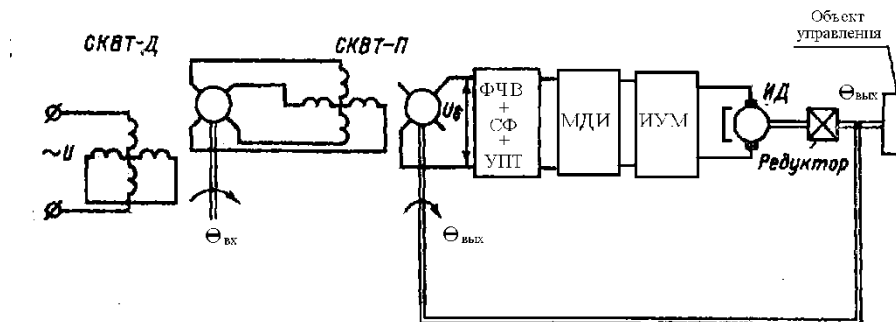


Рис.2. Блок-схема ЭСП с транзисторным усилителем

Здесь: ФЧВ - фазочувствительный выпрямитель;  
 СФ - сглаживающий фильтр;  
 УПТ - усилитель постоянного тока;  
 МДИ - модулятор длительности.

Нарисуйте диаграммы напряжения на входах и выходах элементов схемы.

## Вариант №2

Реверсивная мостовая схема системы ИУ-ДПТ с НВ показана на рис. 3.

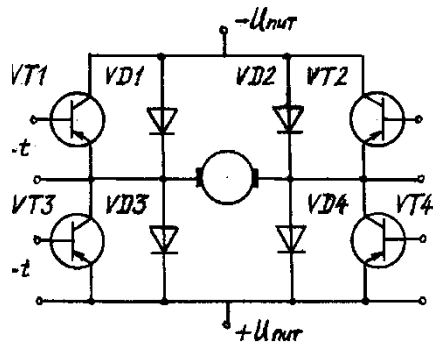


Рис. 3. Мостовая схема системы ИУ-ДПТ с НВ

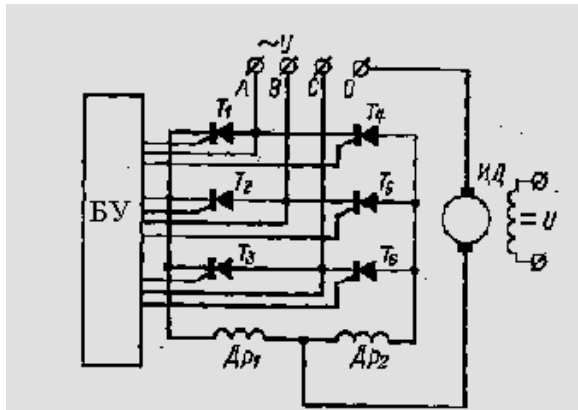
Представить на рисунке диаграммы напряжений на базах транзисторов и напряжение на двигателе при симметричном и несимметричном законах коммутации транзисторов.

## Практическое занятие №8

### Статические и динамические характеристики систем «Тиристорный управляемый выпрямитель-двигатель постоянного тока с независимым возбуждением» с раздельным и совместным управлением тиристорными группами

#### Задание к теме

1. Каково назначение дросселей в тиристорном преобразователе с совместным управлением тиристорными группами?



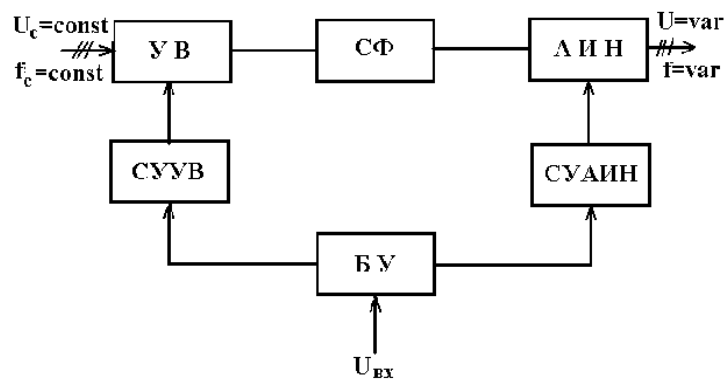
2. Чем объяснить при линейном согласованном управлении тиристорными группами реверсивного привода появление уравнивающего напряжения, действующего в реверсивном контуре?
3. Для чего применяется арккосинусоидальная зависимость между углом регулирования и напряжением управления блока фазового управления БФУ тиристорного преобразователя?

## Практическое занятие №9

### Принцип работы и основные характеристики асинхронных трехфазных двигателей при управлении частотой и напряжением статора

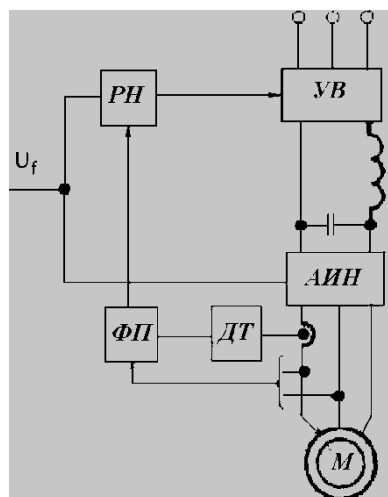
#### Задание к теме

1. Представить на рисунке эквивалентную модель асинхронной машины в плоскости перпендикулярной оси вала и наглядно пояснить принцип работы асинхронных трехфазных двигателей.
2. Перечислить основные характеристики асинхронных трехфазных двигателей при управлении частотой и напряжением статора.
3. Для регулирования частоты вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором в настоящее время используют преобразователи частоты со звеном постоянного тока. Блок-схема этих преобразователей представлена на рис.



Провести комплексный анализ представленной схемы, перечислить представленные элементы с указанием их функционального назначения.

4. На рисунке представлена блок-схема силовой части следящего привода с исполнительным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором, управляемого по определенной системе.



Провести комплексный анализ представленной схемы, перечислить представленные элементы с указанием их функционального назначения.

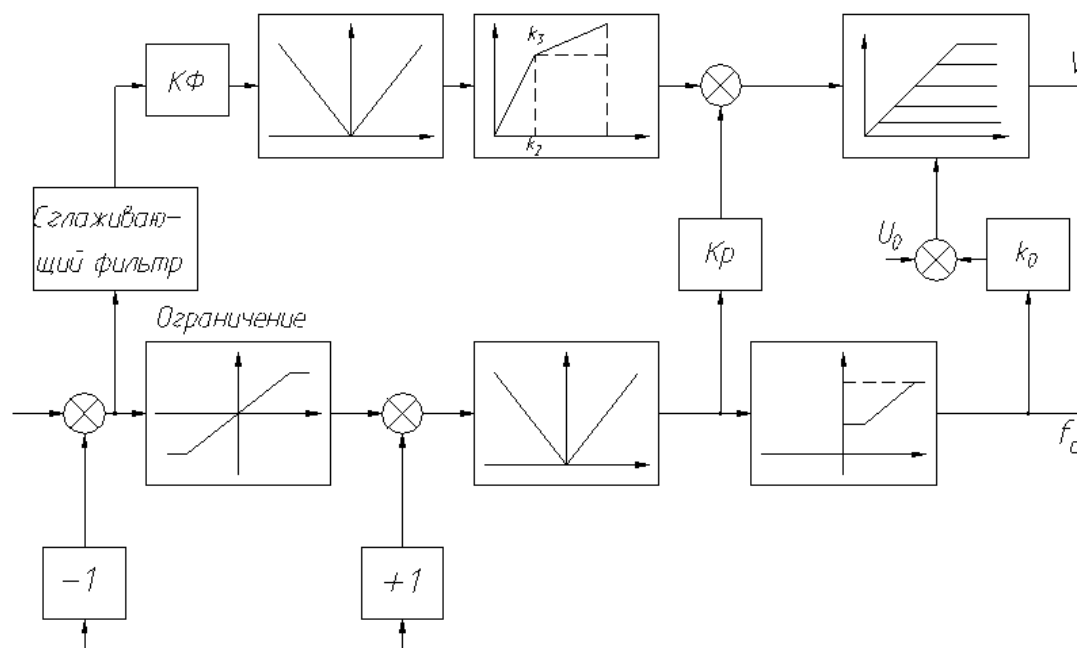


## Практическое занятие №11

**Следящий электропривод переменного тока с частотным управлением; область их использования в технике; характеристики. Следящий электропривод переменного тока частотно-токового управления; область их использования в технике; характеристики. Следящий электропривод переменного тока векторного управления; область их использования в технике; характеристики**

### Задание к теме

1. Схема регулирования частоты и напряжения АД показана на рисунке.



Провести комплексный анализ представленной схемы и с указанием соответствующих параметров. Построить качественный вид 2-3 характеристик для заданных точек схемы.



## **Практическое занятие №12**

**Принцип действия и основные типы асинхронных двухфазных двигателей. Симметричный и несимметричный методы управления частотой вращения и характеристики асинхронных двухфазных двигателей при этих способах управления. Блок-схемы следящего электропривода с асинхронными двухфазными двигателями. Область использования приводов с асинхронными двухфазными двигателями**

### **Задание к теме**

1. Представить на рисунке комплексный эскиз конструкции асинхронного двухфазного двигателя с указанием основных параметров данной электрической машины, на основе её математической модели.
2. Представить на рисунке блок-схемы реализации симметричный и несимметричный методы управления частотой вращения и качественный вид соответствующих характеристик двигателя.
3. Представить на рисунке блок-схемы следящего электропривода с асинхронными двухфазными двигателями.

### **Практическое занятие №13**

**Статические, динамические и энергетические характеристики следящего электропривода с электромагнитными муфтами. Принцип работы основных усилительно - преобразующих электронных элементов следящего электропривода с электромагнитными муфтами. Схемы форсировки электромагнитных процессов в муфтах. Принципиальные схемы следящего электропривода с электромагнитными муфтами**

#### **Задание к теме**

1. Представить на рисунке функциональную и структурную схемы следящего электропривода с электромагнитными муфтами
2. Перечислить и пояснить принцип работы основных усилительно - преобразующих электронных элементов следящего электропривода с электромагнитными муфтами.
3. Представить на рисунке схемы форсировки электромагнитных процессов в муфтах и пояснить физические принципы реализации форсировки.
4. Представить на рисунке принципиальные схемы следящего электропривода с электромагнитными муфтами

## **Практическое занятие №14**

**Принцип действия, статические характеристики, исполнительных механизмов микро-перемещений на основе пьезокерамики. Динамические характеристики и структурные схемы исполнительных механизмов**

### **Задание к теме**

1. Представить на рисунке комплексный эскиз конструкции исполнительных механизмов микро-перемещений на основе пьезокерамики.
2. Представить на рисунке качественный вид динамических характеристик..
3. Представить на рисунке схемы форсировки электромагнитных процессов в муфтах и пояснить физические принципы реализации форсировки.
4. Представить на рисунке структурные схемы исполнительных механизмов.

## **Практическое занятие №15**

**Выбор исполнительного элемента по энергетическим характеристикам объекта регулирования.  
Определение передаточного числа редуктора и проверка выбранного исполнительного двигателя**

### **Задание к теме**

1. Представить на рисунке в виде блок-схемы методику выбора исполнительного элемента по энергетическим характеристикам объекта регулирования.
2. Представить на рисунке в виде блок-схемы методику определения передаточного числа редуктора.
3. Представить на рисунке в виде блок-схемы методику проверки выбранного исполнительного двигателя.

### **Библиография**

#### **Основная литература**

1. Елецкая, Галина Павловна. Электромеханические устройства мехатронных систем : учеб. пособие / Г. П. Елецкая, Н. С. Илюхина, А. П. Панков ; ТулГУ .— Тула : Изд-во ТулГУ, 2018 .— 224 с.
2. Епифанов, А. П. Электрические машины : учебник / А. П. Епифанов, Г. А. Епифанов. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 300 с. — ISBN 978-5-8114-2637-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167448> (вход по учётной записи)
3. Епифанов, А. П. Основы электропривода : учебное пособие / А. П. Епифанов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 192 с. — ISBN 978-5-8114-0770-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167740> (вход по учётной записи)
4. Копылов, И.П. Электрические машины: Учеб. пособие для вузов / И.П. Копылов .— 3-е изд.,испр. — М. : Высш. шк., 2002 .— 607с. : ил.
5. Чемоданов, Б.К. Следящие приводы: В 3 т. Т.2. Электрические следящие приво-ды/Е.С. Блейз , В.Н. Бродовский, В.А. Введенский и др. / Под ред. Б.К. Чемоданова .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 .— 979с. : ил.
6. Основы расчета и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации,/ О.В. Горячев [и др.] Тула: Изд-во ТулГУ, 2011 – 233 с.

#### **Дополнительная литература**

1. Кириллов А.А. Основы электропривода летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов. – Москва: Библио-глобус, 2013. – 208с.

2. Рабинович Л.В. Динамика систем приводов: Уч. пособие - М.:БИБЛИО-ГЛОБУС, 2016. 266с.:ил.
3. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем: Учеб. пособие для вузов / Ю. К. Розанов, Е.М. Соколова. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 272 с.: ил.
4. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— М. : Академия, 2005 .— 304 с.