

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Политехнический институт  
Кафедра «Промышленная автоматика и робототехника»

Утверждено на заседании кафедры  
«Промышленная автоматика  
и робототехника»  
«17» января 2023 г., протокол № 2

И.о. заведующего кафедрой

 О.А. Ерзин

**Методические указания по курсовой работе  
«Силовая электроника, электропривод и электроавтоматика»**

**основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки  
**15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств**

с направленностью (профилем)  
**Автоматизация технологических процессов и производств**

Формы обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 150304-01-23

Тула 2023 год

**ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ**  
**рабочей программы дисциплины (модуля)**

**Разработчик:**

Ерзин О.А., доцент, канд. техн. наук  
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)

  
(Подпись)

СОДЕРЖАНИЕ	
1. ВВЕДЕНИЕ	4
2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КР	4
3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КР	4
3.1. Тематика курсовых работ	5
3.2. Исходные данные к КР	5
3.3. Задание на курсовую работу	5
3.4. Объем курсовой работы	5
3.5. Работа над курсовой работой	6
3.6. Защита курсовой работы	6
4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ НАД КР	6
4.1. План построения и содержания разделов пояснительной записки	6
4.2. Методические указания к выполнению отдельных разделов КР	7
4.3. Расчет и построение механических характеристик электродвигателей постоянного тока независимого и параллельного возбуждения	7
4.4. Расчет и построение механических характеристик асинхронных электродвигателей (АД)	9
5. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	11
ПРИЛОЖЕНИЕ	13

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа (КР) является одним из этапов подготовки студентов, позволяющим применить полученные ими в процессе обучения знания, а также приобрести практический опыт в решении конкретных задач в области использования и проектирования электромеханических систем – автоматизированного электропривода.

Возможности электродвигателей характеризуются параметрами, которые приводятся в каталогах, справочниках или паспорте двигателя. Одной из наиболее важных характеристик электродвигателей является механическая характеристика. *Механической характеристикой* называют зависимость скорости (частоты) вращения вала электродвигателя (или скольжения) от вращающего момента на валу двигателя. Она позволяет сравнить и согласовать механические свойства двигателя и рабочего механизма.

## 2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КР

Курсовая работа имеет целью закрепить и углубить полученные студентом теоретические знания и приобрести навыки применения электродвигателей постоянного и переменного тока в электроприводах, а также и приобрести навыки конструирования и эксплуатации автоматизированного электропривода

Задачами КР являются:

- ознакомление учащихся с техническими характеристиками электродвигателей различных типов и серий;
- изучение особенностей построения и расчета современных автоматизированных электроприводов сложных производственных агрегатов, станков и промышленных роботов;
- развитие способности студентов анализировать и критически оценивать существующие системы автоматизированного электропривода с точки зрения современных требований, приобретение и закрепление навыков пользования технической литературой, нормативными материалами по проектированию, ЕСКД и ГОСТами.

При выполнении курсовой работы студент должен показать свои знания в области расчета и построения естественных и искусственных механических характеристик электродвигателей, социально-экономические, общеобразовательные знания, творческую инициативу в решении инженерных задач, а также овладеть методами оценки технико-экономической эффективности новой техники.

### **3.ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КР**

КР выполняется по индивидуальному заданию под руководством преподавателей. Консультации проводятся по утвержденному расписанию.

#### **3.1. Тематика курсовых работ**

Темы работ должны быть актуальными, базироваться на реальных исходных данных, отвечать текущим и перспективным запросам производства.

Темы КР двух направлений:

Расчет и построение механических характеристик электродвигателей определенных заданием на КР и модернизация существующих и разработка новых автоматизированных электроприводов станков, промышленных роботов или других объектов автоматизированных станочных систем (устройств транспортировки, загрузки, сборки, ориентации, контроля изделий и т.п.);

научно-исследовательские темы, предусматривающие проведение научных исследований по тематике КР. Эти темы выдаются, как правило, студентам, принимающим участие в научной работе.

При подборе тем предпочтение отдается разработкам электроприводов для оборудования, работающего в составе автоматизированного производства, а также темам, определяемым специальным заданием предприятия и решающим конкретные задачи автоматизации объектов производства.

#### **3.2. Исходные данные к КР**

Исходными данными для выполнения КР являются:

- каталожные или паспортные данные на современные электродвигатели постоянного и переменного токов;

- основные характеристики работы производственного механизма для которого проектируется привод:

- момент сопротивления, обусловленный требуемым технологическим процессом;
- закон движения конечных звеньев механизма;
- циклограмма работы механизма;
- условия работы электропривода;
- требования по точности, быстродействию, степени автоматизации, диапазон и вид регулирования скорости и др.

### **3.3. Задание на курсовую работу**

Задание с исходными данными на работу составляется руководителем и выдается в начале семестра. Студент в начале семестра получает бланк с заданием. В отдельных случаях студентам обеспечивается соответствующей документацией.

Варианты заданий отличаются один от другого и регулярно обновляются. В ходе выполнения КР первоначальное задание по согласованию с руководителем проекта может корректироваться и дополняться.

В курсовой работе необходимо рассчитать и построить механические характеристики:

- асинхронного двигателя (естественную);
- двигателя постоянного тока (естественную и искусственную).
- расчет и построение механических характеристик двигателей;
- определение требуемого диапазона частот вращения двигателя;
- определение приведенных к валу двигателя моментов от сил резания и сил трения; предварительный выбор двигателя;
- определение момента сопротивления, преодолеваемого двигателем при разгоне;
- проверка выбранного двигателя по максимальному и среднеквадратическому моментам;

- расчет и построение механической характеристики выбранного двигателя;
- построение и описание структурной схемы комплектного привода;
- описание работы узла привода, определенного заданием для детального изучения или модернизации;

### **3.4. Объем курсовой работы**

Каждая курсовая работа должна состоять из расчетно-пояснительной записки, графической части и файла электронной версии работы.

Расчетно-пояснительная записка должна иметь 25-50 страниц рукописного текста. Все таблицы, графики и диаграммы, как правило, размещаются в пояснительной записке. Изложение материала в записке определяется студентом с учетом рекомендации руководителя проекта и зависит от объекта разработки и задания на КР.

Объем графической части проекта устанавливается кафедрой в зависимости от количества учебных недель в семестре и темы проекта и равен 2-4 листам формата А1.

Распределение графического материала на листах определяется студентом с учетом рекомендации руководителя проекта и зависит от объекта разработки и задания на проект. Рекомендуется на первом листе построить механические характеристики двигателей: - асинхронного двигателя (естественную); - двигателя постоянного тока (естественную и искусственную). На втором листе приводить кинематическую схему механизма (конкретно передаточного устройства разрабатываемого привода) и все графики, диаграммы и таблицы, связанные с расчетами механики электропривода. На последующих листах приводятся схемы (структурные, принципиальные), диаграммы и графики, связанные с управлением электроприводом.

### **3.5. Работа над курсовой работой**

КР выполняется под руководством руководителя. Условием успешного и своевременного выполнения задания является систематическая работа студента и соблюдение графика выполнения КР. Качество выполнения в значительной степени зависит от регулярности посещения студентом консультаций.

За принятые в КР решения, их правильность, оформление и содержание расчетно-пояснительной записки несет ответственность студент.

Законченная работа до защиты представляется для просмотра руководителю, который решает вопрос о допуске к защите.

### **3.6. Защита курсовой работы**

Защита проекта проводится перед комиссией, состоящей из преподавателей кафедры. При защите студент делает доклад длительностью 3-5 минут. В докладе после оглашения задания следует осветить все узловые вопросы, решаемые в проекте.

После доклада члены комиссии могут задавать вопросы как по содержанию работы, так и по различным разделам курсов лекций, на базе которых выполняется задание.

## **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ НАД КР**

### **4.1. План построения и содержания разделов пояснительной записки**

Расчетно-пояснительная записка должна включать в себя следующее:

- титульный лист;
- задание на работу;
- аннотацию;
- основную часть;
- список литературы;
- содержание.

### **4.2. Методические указания к выполнению отдельных разделов КР**

Основная часть расчетно-пояснительной записки включает в себя :

- введение;
- анализ исходных данных;
- расчет и построение механических характеристик двигателей;
- определение требуемого диапазона частот вращения двигателя;
- определение приведенных к валу двигателя моментов от сил резания и сил трения; предварительный выбор двигателя;
- определение момента сопротивления, преодолеваемого двигателем при разгоне;
- проверка выбранного двигателя по максимальному и среднеквадратическому моментам;
- расчет и построение механической характеристики выбранного двигателя
- построение и описание структурной схемы комплектного привода;
- описание работы узла привода, определенного заданием для детального изучения или модернизации;
- заключение.

Привод подач должен обеспечивать создание необходимого тягового усилия для перемещения исполнительного органа как со скоростями рабочих подач в пределах заданного диапазона, так и при ускоренных перемещениях на холостом ходу.

В настоящее время в станочных электроприводах металлорежущих станков большое применение получили приводы подач с сокращенной механической частью с использованием высоко моментных двигателей, имеющих высокоэнергетические постоянные магниты и обладающие рядом существенных преимуществ по сравнению с обычными двигателями постоянного тока с электромагнитным возбуждением и с малоинерционными двигателями постоянного тока. Применение высоко моментных двигателей дало возможность сократить механическую часть привода за счет исключения силового редуктора и подключения двигателя непосредственно к ходовому винту. С исключением силового редук-

тора значительно уменьшается общий момент инерции механизма подач, снижается динамический крутящий момент на двигателе и увеличивается допустимое ускорение для привода по условиям механической прочности.

### 4.3 Расчет и построение механических характеристик электродвигателей постоянного тока независимого и параллельного возбуждения

На рисунке 1 представлены механические характеристики двигателя постоянного тока независимого и параллельного возбуждения.

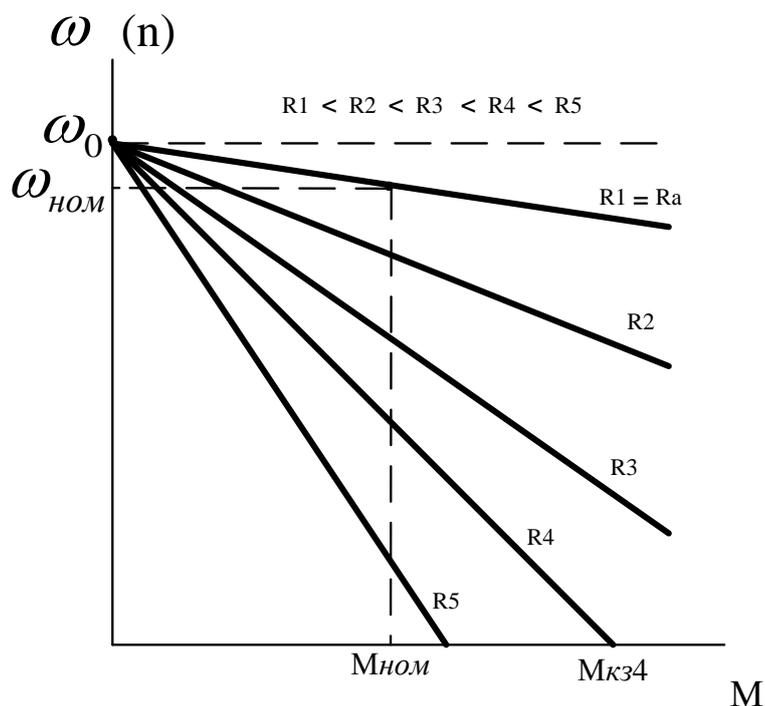


Рис. 1. Механические характеристики ДПТ независимого и параллельного возбуждения

Так как механическая характеристика прямолинейна, то для того, чтобы рассчитать и построить её, достаточно найти координаты двух любых точек. Построение естественной механической характеристики удобно производить по точкам, одна из которых соответствует номинальному электромагнитному моменту двигателя и номинальной скорости ( $M = M_{ном}$  и  $\omega = \omega_{ном}$ ), а другая - скорости идеального холостого хода ( $M = 0$  и  $\omega = \omega_0$ ).

Скорость идеального холостого хода для естественной характеристики получается после преобразований:

$$\omega_0 = \frac{U_{НОМ}}{k \cdot \Phi} = \frac{U_{НОМ} \cdot \omega_{НОМ}}{k \cdot \Phi \cdot \omega_{НОМ}} = \frac{U_{НОМ} \cdot \omega_{НОМ}}{E} = \frac{U_{НОМ} \cdot \omega_{НОМ}}{U_{НОМ} - I_{aНОМ} \cdot R_a};$$

$$\Pi_0 = \frac{U_{НОМ} \cdot \Pi_{НОМ}}{U_{НОМ} - I_{aНОМ} \cdot R_a} = \frac{\omega_{НОМ} \cdot \Pi_{НОМ}}{E_{НОМ}}.$$

Так как в каталогах внутреннее сопротивление якоря  $R_a$  обычно не указывается, то его ориентировочно определяют, принимая, что половина всех потерь в двигателе при номинальной нагрузке связана с потерями в меди якоря.

$$R_a = 0,5 \cdot R_{НОМ} \cdot (1 - \eta_{НОМ}) = 0,5 \cdot \frac{U_{НОМ}}{I_{aНОМ}} \cdot (1 - \eta_{НОМ}).$$

Точка номинального режима имеет координаты  $\omega_{НОМ}(\Pi_{НОМ})$  и  $M_{НОМ}$ . Причем  $\Pi_{НОМ}$  задается в паспорте, а момент рассчитывается по формуле:

$$M_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\omega_{НОМ}} = 9,55 \cdot \frac{P_{НОМ}}{\Pi_{НОМ}}.$$

Если при номинальном моменте включить добавочный резистор в цепь якоря, то получим искусственную характеристику:

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \Phi} - \frac{M \cdot (R_a + R_{доб})}{(k \cdot \Phi)^2};$$

Из уравнений следует, что скорость идеального холостого хода при включении резистора  $R_{доб}$  не изменяется, а номинальная точка имеет другую ординату.

$$\omega'_{НОМ} = \omega_0 \cdot \frac{U_{НОМ} - I_{aНОМ} \cdot (R_a + R_{доб})}{U_{НОМ}},$$

$$\Pi'_{НОМ} = \Pi_0 \cdot \frac{U_{НОМ} - I_{aНОМ} \cdot (R_a + R_{доб})}{U_{НОМ}}.$$

Искусственные характеристики при изменении других параметров ДПТ строятся также на основании уравнения механической характеристики.

Механическая характеристика может быть построена также по точке идеального холостого хода и точке, соответствующей режиму короткого замыкания,

где  $M = M_{к.з.}$ , а скорость  $\omega = 0$ . Режимом короткого замыкания двигателя называется такой режим его работы, при котором угловая скорость двигателя, подключенного к источнику напряжения, равна нулю.

$$M_{к.з.} = \frac{M_{НОМ} \cdot I_{к.з.}}{I_{НОМ}},$$

где:  $I_{к.з.} = \frac{U}{R}$  - ток короткого замыкания.

#### 4.4 Расчет и построение механических характеристик асинхронных электродвигателей (АД)

На рисунке 2 показана механическая характеристика АД.

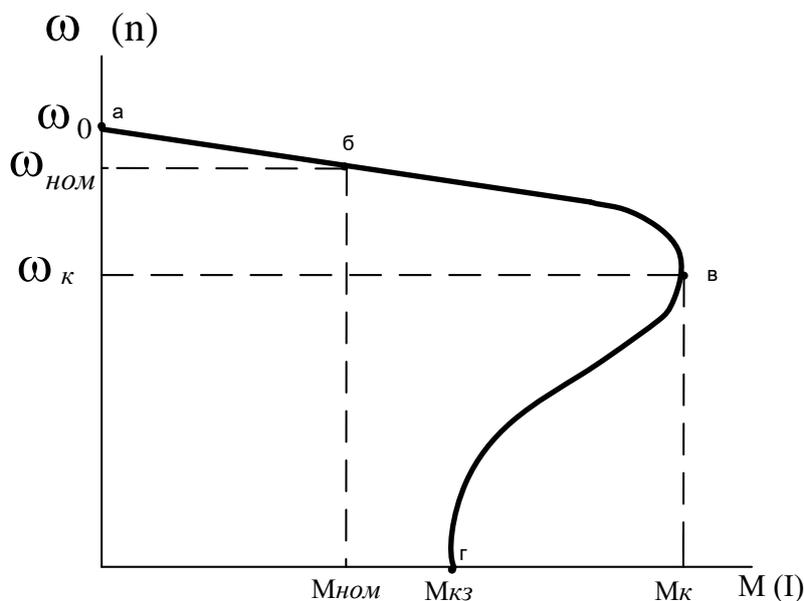


Рис.2. Механическая характеристика АД

Для расчета и построения механической характеристики используют выражение так называемой формулы Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot S_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2 \cdot a \cdot S_k},$$

где:

$$a = \frac{R_1}{R_2};$$

$R_1, R_2$  - первичное и вторичное приведенные активные сопротивления;

$S$  - скольжение двигателя:

$$S = \frac{(\omega_0 - \omega)}{\omega_0} = \frac{(n_0 - n)}{n_0};$$

$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}$  - угловая синхронная скорость (угловая скорость поля статора);

тора);

$f_1$  - частота сети;

$p$  - число пар полюсов;

$n_0$  - синхронная частота вращения (частота вращения поля статора):

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_1}{p};$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - S);$$

$M_k$  - максимальный момент (критический момент);

$S_k$  - критическое скольжение (скольжение, соответствующее критическому моменту).

Если пренебречь активным сопротивлением статора  $R_1$ , то получается формула, более удобная для расчетов (упрощенная формула Клосса):

$$M = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}},$$

Подставив в это выражение вместо текущих значений  $M$  их номинальные значения и обозначив кратность максимального момента  $M_k/M_{ном}$  через  $\lambda$ , получим:

$$S_k = S_{ном} \cdot (\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}).$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя имеет характерные точки:

точка а -  $\omega = \omega_0$  ,  $S=0$ ,  $M=0$ , при этом скорость двигателя равна синхронной;

точка б -  $\omega = \omega_{\text{н}}$  ,  $S=S_{\text{ном}}$  ;  $M=M_{\text{ном}}$  , что соответствует номинальной скорости и номинальному моменту. В нормальном режиме работы  $S_{\text{ном}}=0,02\dots 0,06$ ;

точка в -  $\omega = \omega_{\text{к}}$  ,  $S=S_{\text{к}}$  ;  $M=M_{\text{к}}$  - максимальный момент в двигательном режиме;

точка г -  $\omega = 0$  ,  $S=1$ ;  $M=M_{\text{кз}} = M_{\text{п}}$  - начальный пусковой момент.

При расчете механической характеристики задаются значениями скольжения от  $S=0$  до  $S=1$  и определяют соответствующие значения  $\omega$  и  $M$ .

#### 4.5. Расчет привода

Выполнению расчета привода предшествует анализ технологического процесса обработки деталей на проектируемом станке для различных операций и режимов работы. Поскольку при эксплуатации станка в большинстве случаев практически невозможно проанализировать все варианты циклов обработки, для выполнения расчета привода может быть принят некоторый обобщенный цикл обработки некоторой типовой представительной детали. В результате анализа технологического процесса выявляются необходимые для проведения расчета значения параметров: скоростей рабочих подач и продолжительности работы на этих подачах, продолжительности быстрых ходов, силы резания и т.д.

Чтобы провести расчеты и выбрать двигатель для привода подач необходимы следующие исходные данные: значения сил трения в передачах, направляющих перемещаемого узла; размеры ходового винта (длина, диаметр, шаг); значение массы перемещаемого узла совместно с установленным на нем инструментом или деталью; моменты инерции подвижных звеньев; коэффициенты полезного действия передач; скорости рабочих и быстрых перемещений; необ-

ходимое время переходных процессов (разгона, торможения); циклограмму нагрузки.

На рис.1 представлена примерная кинематическая схема привода подачи станка с ЧПУ подлежащего проектированию. В приводах линейных перемещений некоторых механизмов конечным звеном является передача рейка-шестерня, поэтому в дальнейшем будут учитываться особенности расчета таких электроприводов.

На рис.2 приведена циклограмма нагрузки в виде зависимости момента от времени, где:  $t_i$  - составляющие полного времени цикла обработки  $t_u$  типовой детали ;  $t_1, t_2$  и  $t_3$  - времена работы станка, соответственно, при черновой обработке, получистовой и чистовой;  $t_4$  - время пауз;  $t_5$  - время затрачиваемое приводом на разгоны и торможения, а  $t_6$  - на быстрые хода;  $M_i$  - моменты, преодолеваемые приводом при выполнении соответствующих операций цикла.

В задании на проект значения  $t_i$  и  $M_i$  заданы в долях от времени цикла  $t_u$  и  $M_{cm}$  - статического момента, равного моменту от сил резания при черновой обработке.

$$t_i = a_i \cdot t_u ; \quad M_i = b_i \cdot M_{cm} .$$

Варианты заданий на курсовой проект приводят значения исходных данных для расчета, где:

$V_{pmax}$ , мм/мин - максимальная рабочая подача ;

$V_{pmin}$ , мм/мин - минимальная рабочая подача ;

$V_{б.х.}$ , мм/мин - скорость быстрого хода ;

$a$ , м/с<sup>2</sup> - линейное ускорение в период разгона ;

$f_{mp}$  - коэффициент трения в направляющих ;

$F_z$ , Н - составляющая силы резания по оси Z ;

$F_x$ , Н - составляющая силы резания по оси X ;

$m$ , кг	- масса перемещаемого узла ;
$t$ , мм	- шаг ходового винта ;
$d_s$ , м	- диаметр винта ;
$l_s$ , м	- длина винта.

#### 4.5.1. Определение требуемого диапазона частот вращения двигателя

Определение частоты вращения двигателя осуществляется по скорости перемещения рабочих органов станка и передаточным отношениям механических передач:

- для передачи винт- гайка: 
$$n_{\partial в} = \frac{V \cdot i}{t} ;$$
- для передачи рейка-шестерня: 
$$n_{\partial в} = \frac{V \cdot i}{\pi \cdot d} ,$$

где:

$t$  - шаг ходового винта,

$V$  - скорость перемещения рабочего органа станка (подача),

$i$  - передаточное число механизма,

$d$  - диаметр шестерни.

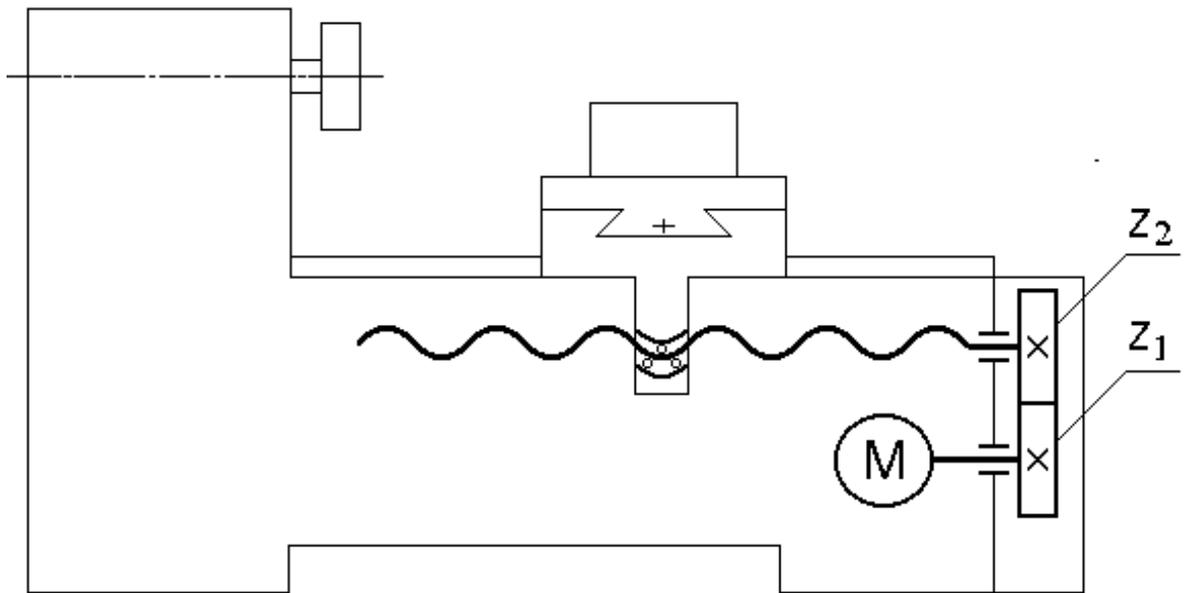


Рис.3. Кинематическая схема привода подач станка с ЧПУ.

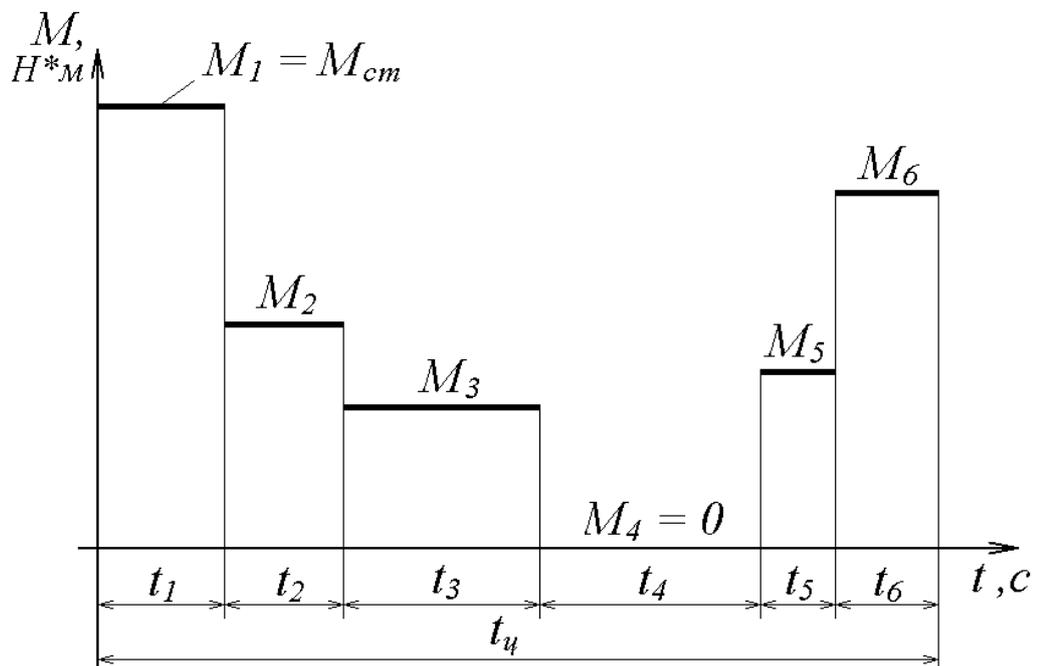


Рис.4. Циклограмма нагрузки привода подач

Максимальная и минимальная частоты вращения двигателя определяются из уравнения кинематического баланса механизма

$$V = n_{\text{дв}} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot t;$$

или учитывая  $i = \frac{n_I}{n_{II}} = \frac{z_2}{z_1}$  получим  $V = n_{\text{дв}} \frac{1}{i} t$

Из последнего уравнения:

$$n_{p \max} = \frac{V_{p \max} \cdot i}{t};$$

$$n_{p \min} = \frac{V_{p \min} \cdot i}{t};$$

$$n_{\text{б.х.}} = \frac{V_{\text{б.х.}} \cdot i}{t}.$$

#### 4.5.2. Определение приведенных к валу двигателя моментов от сил резания и сил трения

Вращающий момент двигателя в общем случае складывается из статического и динамического. Первый обеспечивает необходимую мощность при установившемся режиме движения, второй - обеспечивает требуемое повышение мощности при переходных процессах (пуске, торможении и др.).

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}}.$$

Статический момент определяется усилием, передаваемым в направлении подачи при установившемся движении рабочего органа станка, которое в общем случае равно

$$F = k_p \cdot F_p + \sum F_T + F_H + F_{\text{ну}},$$

где:  $F_p$  - составляющая от усилия резания в направлении подачи;

$K_p$  - коэффициент запаса (обычно  $K_p = 1.0 \dots 1.5$ );

$\sum F_T$  - суммарная сила трения;

$F_n$  - усилие от предварительного натяга, неучтенное в ;

$F_{ну}$  - составляющая силы тяжести на направление подачи от неуравновешенной массы.

Динамический момент на двигателе определяется суммарным моментом инерции механизма, приведенным к валу двигателя и собственным моментом инерции двигателя

$$M_{дин} = (J_n + J_{дин}) \cdot \frac{\partial \omega}{\partial t}.$$

Определение статического момента при рабочем ходе.

При рабочем ходе в процессе резания статический момент, развиваемый двигателем должен быть равен сумме моментов, и, обеспечивающих преодоление, соответственно, составляющих сил резания по направлению подачи, сил трения в подвижных звеньях механизма и полной или неуравновешенной части силы тяжести перемещаемых узлов при наклонных или вертикальных подачах, т.е.

$$M_{ст} = M_p + M_m + M_{ну}.$$

Приведенный момент к валу электродвигателя от составляющих сил резания по направлению подачи определяется:

- для приводов с передачей винт-гайка

$$M_p = \frac{k_p \cdot F_p \cdot k \cdot t}{2 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \eta_S \cdot i} ;$$

- для приводов с передачей рейка-шестерня

$$M_p = \frac{k_p \cdot F_p \cdot m \cdot z}{2 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \eta_S \cdot i} ,$$

где

$t$  - шаг винта, мм ;

$m$  - модуль шестерни реечной передачи, мм ;

$k$  - число заходов винта;

$\eta_S$  - КПД привода подач.

Обычно КПД передачи винт-гайка качения без натяга  $\eta = 0,95$ , с натягом  $\eta = 0,85 - 0,8$ .

Трение в опорах учитывается введением условного КПД подшипников; для одной пары подшипников качения  $\eta_{н.к.} = 0,99 - 0,995$ , скольжения  $\eta_{н.с.} = 0,98 - 0,99$ .

Значения КПД механических передач (без учета потерь трения в подшипниках) приведены ниже (табл. 1).

Таблица 1

Тип передачи	закрытая	открытая
Зубчатая:		
• с цилиндрическими колесами	0,96 - 0,98	0,93 - 0,95
• с коническими прямозубыми	0,95 - 0,97	0,92 - 0,94
Червячная:		
• Самотормозящая	0,3 - 0,4	0,2 - 0,3
• Несамотормозящая при числе заходов $Z$ червяка:		
$Z = 1$	0,65 - 0,7	
$Z = 2$	0,7 - 0,75	
Цепная	0,95 - 0,97	0,9 - 0,93
Фрикционная	0,9 - 0,96	0,7 - 0,8
Ременная		0,95 - 0,96

Приведенный момент к валу двигателя от сил трения складывается из суммы моментов  $M_{тн}$ ,  $M_{твг}$ ,  $M_{тпн}$ , определяемых соответственно силами трения в направляющих привода, в паре винт-гайка и подшипниках ходового винта от предварительного натяга, т.е.

$$M_m = M_{mn} + M_{m\omega z} + M_{mn}.$$

Приведенный момент от сил трения в направляющих определяется по формуле:

- для приводов с передачей винт-гайка

$$M_{mn} = \frac{F_m \cdot k \cdot t}{2 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \eta_S \cdot i},$$

- для приводов с передачей рейка-шестерня

$$M_{mn} = \frac{F_m \cdot m \cdot z}{2 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \eta_S \cdot i}.$$

Сила трения  $F_m$  определяется суммой нормальных давлений, действующих на направляющие

$$F_m = f_{mp} \cdot \sum F_N,$$

где  $f_{mp}$  - приведенный коэффициент трения.

Коэффициент трения зависит от материала трущихся поверхностей и их смазки, от конструкции направляющих и их предварительного натяга. Обычно для направляющих скольжения со смазкой при смешанном трении  $f_{mp} = 0.1$ , для направляющих качения с танкетками  $f_{mp} = 0,005 - 0,01$ .

Сила трения от перемещаемых масс узлов станка и установленной на нем массы детали определяется в общем случае по формуле

$$F_m = f_{mp} \cdot g \cdot (m_1 + m_2) \cdot \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  - угол между направлением перемещения и горизонтальной плоскостью.

Приведенный момент к валу двигателя от сил трения при наличии предварительного натяга определяется:

- для шариковой передачи винт-гайка

$$M_{\text{твг}} = \frac{32 \cdot F_p \cdot t}{3 \cdot 10^3 \cdot i \cdot \eta_{\text{вин}}},$$

- для подшипников ходового винта

$$M_{\text{mn}} = \frac{2.21 \cdot k_n \cdot d_e \cdot F_p}{3 \cdot 10^7 \cdot i \cdot \eta},$$

где

$k_n$  - количество подшипников ходового винта;

$d_e$  - внутренний диаметр подшипников.

Приведенный момент от неуравновешенных масс перемещаемых узлов определяется их силой тяжести, т.е.

$$M_{\text{ну}} = \frac{m \cdot g \cdot t \cdot \sin \alpha}{2 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \eta_S \cdot i}.$$

### 4.5.3. Предварительный выбор электродвигателя

По статическому моменту от сил резания и трения  $M_{\text{ст}} = M_p + M_m$ , по скоростям быстрого хода и рабочих подач предварительно выбирается электродвигатель, а затем производится уточнение его параметров после расчета необходимого динамического момента.

Предварительно выбирается двигатель с длительно допустимым (номинальным) моментом  $M_n \geq M_{\text{ст}}$  при частотах вращения  $n_n \geq n_{\text{max}}$ ,  $n_{\text{max}} \geq n_{\text{б.ч.}}$ .

Если  $n_n < n_{\text{max}}$  или  $n_{\text{max}} < n_{\text{б.ч.}}$ , то необходимо уменьшать передаточное число коробки передач  $i$  и повторить расчет. Затем из таблиц технических характеристик и кривых  $M = f(n)$  режимов длительной и повторно-кратковременной нагрузки принятого электродвигателя берутся все параметры, необходимые для проведения дальнейших расчетов.

- 1) Определяем динамический момент

$$M_{\text{дин}} = (J_n + J_{\text{дв}}) \cdot \frac{\partial \omega}{\partial t} ,$$

где  $J_n + J_{\text{дв}} = J_{\Sigma}$ ;

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \varepsilon - \text{ускорение.}$$

Определяем момент инерции линейно-перемещающегося узла, приведённый к валу двигателя

$$J_{\text{уз}} = (m_1 + m_2) \left( \frac{t}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{1}{i^2} ,$$

где  $t$  в м.

Определяем момент инерции винта

$$J_{\text{в}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ср}}^4 \cdot l_{\text{в}} \cdot \rho}{32 \cdot i^2} ; \quad \rho = 7.8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 ,$$

где  $d_{\text{ср}}$ , м - средний диаметр винта;

$l_{\text{в}}$ , м - длина винта.

Если есть муфта то

$$J_{\text{м}} \approx 0.1 J_{\text{дв}} .$$

Угловое ускорение  $\varepsilon$  : определяется временем изменения переходных процессов  $t_{\text{н.н.}}$  , а также заданным законом и диапазоном изменения скорости.

$$t_{\text{н.н.}} = \frac{V_{\text{бх}}}{a} .$$

Для случая разгона до  $V_{\text{бх}}$  двигатель должен иметь ускорение

$$\varepsilon = \frac{63 \cdot \pi \cdot V_{\text{бх}}}{t \cdot t_{\text{н.н.}} \cdot i} .$$

Определяем

$$M_{\text{дин}} = J_S \cdot \varepsilon ,$$

$$\text{где } J_S = J_n + J_{\text{дв}} = J_e + J_{\text{зруза}} + J_{\text{муфта}} .$$

Определяем момент преодолеваемый двигателем при разгоне

$$M_{\text{дт}} = M_{\text{дин}} + M_5 .$$

Определяем максимальный момент двигателя из его коммутационной кривой

$$M_{\text{дв.мах}} = f(n_{\text{б.х}}) ,$$

$$M_{\text{дв.мах}} = \frac{1}{n_{\text{б.х}}} \int M_{i \text{мах}} \cdot dx ,$$

где  $M_{i \text{мах}}$  - максимальное значение момента, обеспечивающего удовлетворительную коммутацию при разгоне до  $n_{\text{б.х}}$ .

$$M_{\text{дв.мах}} = \frac{S}{n_{\text{б.х}}} ,$$

где  $S$  - площадь между осями координат, отрезком параллельным оси моментов, расположенным на расстоянии  $n_{\text{б.х}}$  и кривой  $M = f(n)$ .

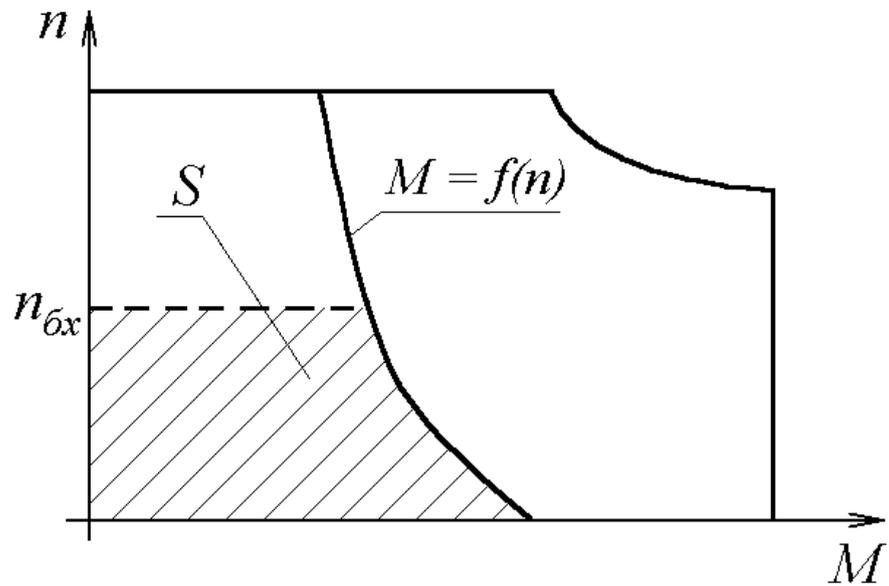


Рис.5. Повторно-кратковременный режим работы; превышение степени искрения в 1.5 раза

2) Для удовлетворительного режима работы необходимо, чтобы  $M_{дв.мах} > M_{д.т.}$

Проводим проверку двигателя по среднеквадратичному

$$M_{с.к.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i \cdot t_i}{t_{\Sigma}}} ; M_{с.к.} < M_n.$$

## 5. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

### Основной

1. Москаленко, В.В. Системы автоматизированного управления электропривода : учебник сред. спец. учеб. заведений / В.В. Москаленко .— М. : Инфра-М, 2007 .— 208с. : ил. — (Среднее профессиональное образование) .— Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-16-001676-4 /в пер./ : 135.00.

2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов : учебник для вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова .— 2-е изд., стер. — М. : Академия, 2006 .— 304с. : ил. — (Высшее профессиональное образование: Электротехника) .— Библиогр. в конце кн. — ISBN 5-7695-2911-3 /в пер./ : 385.00.

3. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для вузов / Г.Г. Соколовский .— 2-е изд., испр. — М. : Академия, 2007 .— 272с. : ил. — (Высшее профессиональное образование: Электротехника) .— Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-7695-4505-4 /в пер./ : 194.70.

4. Коломиец, А.П. Международная Ассоциация "Агрообразование". Электропривод и электрооборудование : учебник для вузов / А.П. Коломиец [и др.]; Междунар. ассоц. "Агрообразование" .— М. : КолосС, 2007 .— 328с. : ил. — (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений) .— Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-9532-0596-2 /в пер./ : 351.95.

5. Копылов И.П. Электрические машины: Учеб. Для вузов. – 2-е изд., перераб. – М.: Высш. шк. Логос; 2000. – 607 с.

6. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов : Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1990, - 304 с., ил.

7. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. - 6-е изд., доп. и перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1981, - 576 с., ил.

8. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод : Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 416 с., ил.

9. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1985, - 560 с., ил.

10. Харизоменов И.В., Харизоменов Г.И. Электрооборудование станков и автоматических линий. - М.: Машиностроение, 1987, - 224с.

### Дополнительный

11. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. - М.: Энергоатомиздат, 1983, - 616с., ил.

12. Ключев В.И. 7. Михайлов О.П., Соколов В.Е. Электрические аппараты и средства автоматизации - М.: Машиностроение, 1982, - 183 с., ил.

13. Сафонов Ю.М. Электроприводы промышленных роботов. - М.: Энергоатомиздат, 1990, - 176 с., ил.

14. Усатенко С.Т. и др. Графическое изображение электрорадиосхем : Справочник / С.Т.Усатенко, Т.К.Каченюк, М.В.Терехова. - К.: Техника, 1986, - 120 с.,ил.
15. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник / А90 / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. - М.,1982, - 504 с.
16. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.2 Электротехнические изделия и устройства./ Под общ. Ред.профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др.(гл. ред. И.Н. Орлов). – М.: Издательство МЭИ, 1998.
1. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов : Учебник для вузов. - М.: Машиностроение , 1990. - 304 с., ил.
2. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. - 6-е изд., доп. и перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1981. - 576 с., ил.
3. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривода : Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. -416 с., ил.
4. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 616 с., ил.
5. Ключев В.И. Теория электропривода : Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат,1985. - 560 с., ил.
6. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода : Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат,1987. - 224 с., ил.
7. Сафонов Ю.М. Электроприводы промышленных роботов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 176 с., ил.
8. Розман Я.Б., Брейтор Б.З. Устройство, наладка и эксплуатация электроприводов металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1985. - 208 с., ил.
9. Усатенко С.Т. и др. графическое изображение электрорадиосхем: Справочник / С.Т. Усатенко, Т.К.Каченюк, М.В.Терехова. - К.: Техника, 1986. - 120 с., ил.
- 10.Электродвигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов для приводов подач металлообрабатывающих станков: Рекомендации по применению / Сост. Андреев Г.И., Арапов А.Н., Носков В.А. - М.: ЭНИМС, 1981. - 35 с.
- 11.Эффективность применения высокомоментных двигателей в станкостроении / Э.Г. Королев, И.А. Волкомирский, А.М. Лебедев и др. - М.: Машиностроение, 1981. - 144 с.
- 12.Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник / А90 / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. - М., 1982.- 504 с.
- 13.Минскер Э.И., Капник М.Ш. Графическое оформление и чтение схем электрооборудования станков. - М.: Машиностроение,1982. - 184 с.
- 14.ГОСТ 16593-79. Электроприводы. Термины и определения.
- 15.ГОСТ 2.701-76 ( СТ СЭВ 651-77 ). ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
- 16.ГОСТ 2.702-75 ( СТ СЭВ 1188-78 ). ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
17. ГОСТ 2.703-68 ( СТ СЭВ 1187-78 ). ЕСКД. Правила выполнения кинематических схем.

- 18.ГОСТ 2.705-70. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем обмоток и изделий с обмотками.
- 19.ГОСТ 2.708-81 ( СТ СЭВ 1982-79 ). ЕСКД. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники.
- 20.ГОСТ 2.709-72 ( СТ СЭВ 3754-82 ). ЕСКД. Система маркировки цепей в электрических схемах.
- 21.ГОСТ 2.710-81 ( СТ СЭВ 2182-80 ). ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
- 22.ГОСТ 2.721-74 ( СТ СЭВ 1984-79 ). ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.
- 23.ГОСТ 2.722-68 ( СТ СЭВ 655-77 ). ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические.
- 24.ГОСТ 2.723-68 ( СТ СЭВ 869-78 ). ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители.
- 25.ГОСТ 2.725-68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутирующие.
- 26.ГОСТ 2.726-68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Токосъемники.
- 27.ГОСТ 2.727-68 ( СТ СЭВ 862-78 ). ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Разрядники ; предохранители.
- 28.ГОСТ 2.728-74 ( СТ СЭВ 863-78, СТ СЭВ 864-78 ). ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы; конденсаторы.
- 29.ГОСТ 2.729-68 ( СТ СЭВ 2830-80 ). ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные.
- 30.ГОСТ 2.730-73 ( СТ СЭВ 661-77 ). ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые.
- 31.ГОСТ 2.743-82 ( СТ СЭВ 3735-82 ). ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники.
- 32.ГОСТ 2.750-68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Род тока и напряжения; виды соединения обмоток; формы импульсов.
- 33.ГОСТ 2.751-73. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Электрические связи, провода, кабели и шины.
- 34.ГОСТ 2.755-74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.
- 35.ГОСТ 8.417-81 ( СТ СЭВ 1052-78 ). ЕСКД. Правила написания обозначений единиц физических величин.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Асинхронные двигатели серии АИ

Таблица 1

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cosφ	Сном %	$\frac{M_{II}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{МАХ}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{MIN}}{M_{НОМ}}$	$\frac{I_{II}}{I_{НОМ}}$	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	Масса, кг
Синхронная частота вращения 3000 об/мин										
АИР50А2	0.09	60	0.75	11.5	2.2	2.2	1.8	4.5	0.000025	2.5
АИР50В2	0.12	63	0.75	11.5	2.2	2.2	1.8	4.5	0.000028	2.8
АИР56А2	0.18	68	0.78	9	2.2	2.2	1.8	5	0.00042	3.4
АИР56В2	0.25	69	0.79	9	2.2	2.2	1.8	5	0.00047	3.9
АИР63А2	0.37	72	0.86	9	2.2	2.2	1.8	5	0.00076	4.7
АИР63В2	0.55	75	0.85	9	2.2	2.2	1.8	5	0.0009	5.45
АИР71А2	0.75	78.5	0.83	6	2.1	2.2	1.6	6	0.00097	6.5
АИР71В2	1.1	79.0	0.83	6.5	2.1	2.2	1.6	6	0.0011	8.8
АИР80А2	1.5	81.0	0.85	5	2.1	2.2	1.6	7	0.0018	9.8
АИР80В2	2.2	83.0	0.87	5	2	2.2	1.6	7	0.0021	13.2
АИР90L2	3	84.5	0.88	5	2	2.2	1.6	7	0.0035	16.7
АИР100S2	4	87.0	0.88	5	2	2.2	1.6	7.5	0.0059	21.6
АИР100L2	5.5	88.0	0.89	5	2	2.2	1.6	7.5	0.0075	27.4
АИР112M2	7.5	87.5	0.88	3.5	2	2.2	1.6	7.5	0.01	41
АИР132M2	11	88.0	0.9	3	1.6	2.2	1.2	7.5	0.023	64
АИР160S2	15	90.0	0.89	3	1.8	2.7	1.7	7	0.039	100
АИР160M2	18.5	90.5	0.9	3	2	2.7	1.8	7	0.043	110
АИР180S2	22	90.5	0.89	2.7	2	2.7	1.9	7	0.057	160
АИР180M2	30	91.5	0.9	2.5	2.2	3	1.9	7.5	0.07	180
АИР200M2	37	91.5	0.87	2	1.6	2.8	1.5	7	0.13	220
АИР200L2	45	92	0.88	2	1.8	2.8	1.5	7.5	0.14	240
АИР225M2	55	92.5	0.91	2	1.8	2.6	1.5	7.5	0.22	320
АИР250S2	75	93	0.9	2	1.8	3	1.6	7.5	0.41	425
АИР250M2	90	93	0.92	2	1.8	3	1.6	7.5	0.46	455

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cosφ	Sном %	$\frac{M_{\Pi}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{МАХ}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{MIN}}{M_{НОМ}}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{НОМ}}$	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	Масса, кг
					Синхронная частота вращения 1500 об/мин					
АИР50А4	0.06	53	0.63	11	2.3	2.2	1.8	4.5	0.000029	2.6
АИР50В4	0.09	57	0.65	11	2.3	2.2	1.8	4.5	0.000033	2.9
АИР56А4	0.12	63	0.66	10	2.3	2.2	1.8	5	0.00070	3.35
АИР56В4	0.18	64	0.68	10	2.3	2.2	1.8	5	0.00079	3.9
АИР63А4	0.25	68	0.67	12	2.3	2.2	1.8	5	0.0012	4.7
АИР63В4	0.37	68	0.7	12	2.3	2.2	1.8	5	0.0014	5.6
АИР71А4	0.55	70.5	0.7	9.5	2.3	2.2	1.8	5	0.0013	7.8
АИР71В4	0.75	73	0.76	10	2.2	2.2	1.6	5	0.0014	8.8
АИР80А4	1.1	75	0.81	7	2.2	2.2	1.6	5.5	0.0032	9.9
АИР80В4	1.5	78	0.83	7	2.2	2.2	1.6	5.5	0.0033	12.1
АИР90L4	2.2	81	0.83	7	2.1	2.2	1.6	6.5	0.0056	17
АИР100S4	3	82	0.83	6	2	2.2	1.6	7	0.0087	21.6
АИР100L4	4	85	0.84	6	2	2.2	1.6	7	0.011	27.3
АИР112M4	5.5	85.5	0.86	4.5	2	2.5	1.6	7	0.017	41
АИР132S4	7.5	87.5	0.86	4.0	2	2.5	1.6	7.5	0.028	58
АИР132M4	11	87.5	0.87	3.5	2	2.7	1.6	7.5	0.04	70
АИР160S4	15	90	0.89	3	1.9	2.9	1.8	7	0.078	100
АИР160M4	18.5	90.5	0.89	3	1.9	2.9	1.8	7	0.1	110
АИР180S4	22	90.5	0.87	2.5	1.7	2.4	1.5	7	0.15	170
АИР180M4	30	92	0.87	2	1.7	2.7	1.5	7	0.19	190
АИР200M4	37	92.5	0.89	2	1.7	2.7	1.6	7.5	0.28	245
АИР200L4	45	92.5	0.89	2	1.7	2.7	1.6	7.5	0.34	270
АИР225M4	55	93	0.89	2	1.7	2.6	1.6	7	0.51	335
АИР250S4	75	94	0.88	1.5	1.7	2.5	1.4	7.5	0.89	450
АИР250M4	90	94	0.89	1.5	1.5	2.5	1.3	7.5	1.1	480
АИР280S4	100	93.5	0.91	2.2	1.6	2.2	1	6.5	2.3	594
АИР280M4	132	94	0.93	2.2	1.6	2.2	1	6.5	2.5	752
АИР315S4	160	93.5	91	2	1.4	2	1	5.5	3.1	896
АИР315M4	200	94	0.92	2	1.4	2	0.9	5.5	3.6	1000
АИР355S4	250	94.5	0.92	2	1.4	2	0.9	7	6	1275

АИР355М4	315	94.5	0.92	2	1.4	2	0.9	7	7	1480
----------	-----	------	------	---	-----	---	-----	---	---	------

Продолжение таблицы 1

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cosφ	Sном %	$\frac{M_{П}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{МАХ}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{MIN}}{M_{НОМ}}$	$\frac{I_{П}}{I_{НОМ}}$	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	Масса, кг
					Синхронная частота вращения 1000 об/мин					
АИР63А6	0.18	56	0.62	14	2	2.2	1.6	4	0.0018	4.65
АИР63В6	0.25	59	0.62	14	2	2.2	1.6	4	0.0022	5.5
АИР71А6	0.37	65	0.65	8.5	2	2.2	1.6	4.5	0.0017	7.8
АИР71В6	0.55	68.5	0.7	8.5	2	2.2	1.6	4.5	0.002	8.6
АИР80А6	0.75	70	0.72	8	2	2.2	1.6	4.5	0.0031	11.6
АИР80В6	1.1	74	0.74	8	2	2.2	1.6	4.5	0.0046	13.4
АИР90L6	1.5	76	0.72	7.5	2	2.2	1.6	6	0.0073	16.9
АИР100L6	2.2	81	0.74	5.5	2	2.2	1.6	6	0.013	22.8
АИР112МА6	3	81	0.76	5	2	2.2	1.6	6	0.017	35
АИР112МВ6	4	82	0.81	5	2	2.2	1.6	6	0.021	40.4
АИР132S6	5.5	85	0.8	4	2	2.2	1.6	7	0.04	57
АИР132М6	7.5	85.5	0.81	4	2	2.2	1.6	7	0.058	68
АИР160S6	11	88	0.83	3	2	2.7	1.6	6.5	0.12	100
АИР160М6	15	88	0.85	3	2	2.7	1.6	6.5	0.15	120
АИР180М6	18.5	89.5	0.85	2	1.8	2.4	1.6	6.5	0.2	180
АИР200М6	22	90	0.83	2	1.6	2.4	1.4	6.5	0.36	225
АИР200L6	30	90	0.85	2.5	1.6	2.4	1.4	6.5	0.4	250
АИР225М6	37	91	0.85	2	1.5	2.3	1.4	6.5	0.61	305
АИР250S6	45	92.5	0.85	2	1.5	2.3	1.4	6.5	1	390
АИР250М6	55	92.5	0.86	2	1.5	2.3	1.4	6.5	1.1	430
АИР280S6	75	92.5	0.9	2.2	1.3	2.2	1	6.5	2.9	637
АИР280М6	90	93	0.9	2.2	1.4	2.4	1	6.5	3.4	702
АИР315S6	110	93	0.92	2.3	1.4	2.3	1	6	4	847
АИР315М6	132	93.5	0.9	2.3	1.4	2.3	1	6.5	4.5	950
АИР355S6	160	94	0.9	2.2	1.6	2	1	7	7.3	1136
АИР355М6	200	94.5	0.9	2.2	1.6	2	0.9	7	8.8	1280

Продолжение таблицы 1

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cosφ	Сном %	$\frac{M_{II}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{МАХ}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{MIN}}{M_{НОМ}}$	$\frac{I_{II}}{I_{НОМ}}$	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>	Масса, кг
Синхронная частота вращения 750 об/мин										
АИР71В8	0.25	56	0.65	8	1.8	1.9	1.4	4	0.0019	7.8
АИР80А8	0.37	60	0.61	6.5	1.8	1.9	1.4	4	0.0034	13.8
АИР80В8	0.55	64	0.63	6.5	1.8	1.9	1.4	4	0.0041	15.5
АИР90LА8	0.75	70	0.66	7	1.6	1.7	1.2	3.5	0.0067	19.7
АИР90LВ8	1.1	72	0.7	7	1.6	1.7	1.2	3.5	0.0086	22.3
АИР100L8	1.5	76	0.73	6	1.6	1.7	1.2	5.5	0.013	31.3
АИР112МА8	2.2	76.5	0.71	5.5	1.8	2.2	1.4	6	0.017	36
АИР112МВ8	3	79	0.74	5.5	1.8	2.2	1.4	6	0.025	41
АИР132S8	4	83	0.7	4.5	1.8	2.2	1.4	6	0.042	56
АИР132М8	5.5	83	0.74	5	1.8	2.2	1.4	6	0.057	70
АИР160S8	7.5	87	0.75	3	1.6	2.4	1.4	5.5	0.12	100
АИР160М8	11	87.5	0.75	3	1.6	2.4	1.4	6	0.15	120
АИР180М8	15	89	0.82	2.5	1.6	2.2	1.5	5.5	0.23	180
АИР200М8	18.5	89	0.81	2.5	1.6	2.3	1.4	6	0.36	225
АИР200L8	22	90	0.81	2.5	1.6	2.3	1.4	6	0.4	250
АИР225М8	30	90.5	0.81	2.5	1.4	2.3	1.3	6	0.61	305
АИР250S8	37	92.5	0.78	2	1.5	2.3	1.4	6	1.1	400
АИР250М8	45	92.5	0.79	2	1.4	2.2	1.3	6	1.2	430
АИР280S8	55	92	0.86	3	1.3	2.2	1	6	3.2	643
АИР280М8	75	93	0.87	3	1.4	2.2	1	6	4.1	735
АИР315S8	90	93	0.85	1.5	1.2	2.2	1	6	4.9	927
АИР315М8	110	93	0.86	1.5	1.1	2.2	0.9	6	5.8	1001
АИР355S8	132	93.5	0.85	2	1.2	2	0.9	6.5	9	1175
АИР355М8	160	93.5	0.85	2	1.2	2	0.9	6.5	10	1280

## Асинхронные двигатели серии 4А

Таблица 2

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cosφ	$I_{НОМ}$ А	$\frac{I_{П}}{I_{НОМ}}$	$\frac{M_{П}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{МАХ}}{M_{НОМ}}$	п, об/мин	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>
Синхронная частота вращения 3000 об/мин									
4АА50А2	0.09	60	0.7	0.24	5	2	2.2	2740	0.0000245
4АА50В2	0.12	63	0.7	0.32	5	2	2.2	2710	0.0000268
4АА56А2	0.18	66	0.76	0.5	5	2	2.2	2800	0.000415
4АА56В2	0.25	68	0.77	0.7	5	2	2.2	2770	0.000465
4АА63А2	0.37	70	0.86	0.9	5	2	2.2	2750	0.000763
4АА63В2	0.55	73	0.86	1.3	5	2	2.2	2740	0.0009
4А71А2	0.75	77	0.87	1.7	5.5	2	2.2	2840	0.000975
4А71В2	1.1	77.5	0.87	2.5	5.5	2	2.2	2810	0.00105
4А80А2	1.5	81	0.85	3.3	6.5	2.1	2.6	2850	0.00183
4А80В2	2.2	83	0.87	4.6	6.5	2.1	2.6	2850	0.00213
4А90L2	3.0	84.5	0.88	6.1	6.5	2.1	2.5	2840	0.00353
4А100S2	4.0	86.5	0.89	7.9	7.5	2	2.5	2880	0.00593
4А100L2	5.5	87	0.91	10	7.5	2	2.5	2880	0.0075
4А112M2	7.5	87.5	0.88	14.8	7.5	2	2.8	2900	0.01
4А132M2	11	88	0.9	21.2	7.5	1.7	2.8	2900	0.0225
4А160S2	15	88	0.91	28.5	7.5	1.4	2.2	2940	0.0475
4А160M2	18.5	88.5	0.92	34.6	7.5	1.4	2.2	2940	0.0525
4А180S2	22	88.5	0.91	41.7	7.5	1.4	2.5	2940	0.07
4А180M2	30	90.5	0.92	55	7.5	1.4	2.5	2945	0.085
4А200M2	37	90	0.89	70	7.5	1.4	2.5	2945	0.145
4А200L2	45	91	0.9	84	7.5	1.4	2.5	2945	0.168
4А225M2	55	91	0.92	100	7.5	1.4	2.5	2945	0.25
4А250S2	75	91	0.89	141	7.5	1.2	2.6	2940	0.465
4А250M2	90	92	0.9	166	7.5	1.2	2.5	2960	0.52
4А280S2	110	91	0.89	206	7	1.2	2.2	2970	1.09
4А280M2	132	91.5	0.89	247	7	1.2	2.2	2970	1.19
4А315S2	160	92	0.9	294	7	1.2	2.2	2970	1.4
4А315M2	200	92.5	0.9	365	7	1.2	2.2	2970	1.63
4А355S2	250	92.5	0.9	458	7	1	1.9	2970	2.85

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cosφ	$I_{НОМ}$ А	$\frac{I_{П}}{I_{НОМ}}$	$\frac{M_{П}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{МАХ}}{M_{НОМ}}$	п, об/мин	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>
Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
4АА50А4	0.06	50	0.6	0.16	5	2	2.2	1389	0.000029
4АА50В4	0.09	55	0.6	0.24	5	2	2.2	1370	0.0000325
4АА56А4	0.12	63	0.66	0.32	5	2	2.2	1375	0.00007
4АА56В4	0.18	64	0.64	0.67	5	2.1	2.2	1365	0.000788
4АА63А4	0.25	68	0.65	0.86	5	2	2.2	1380	0.00124
4АА63В4	0.37	68	0.69	1.2	5	2	2.2	1365	0.0013
4А71А4	0.55	70.5	0.7	1.7	4.5	2	2.2	1390	0.00138
4А71В4	0.75	72	0.73	2.1	4.5	2	2.2	1390	0.00143
4А80А4	1.1	75	0.81	2.7	5	2	2.2	1420	0.00323
4А80В4	1.5	77	0.83	3.5	5	2	2.2	1415	0.00333
4А90L4	2.2	80	0.83	5	6	2.1	2.4	1425	0.0056
4А100S4	3	82	0.83	6.7	6.5	2	2.4	1435	0.00868
4А100L4	4	84	0.84	8.6	6.5	2	2.4	1430	0.0130
4А112M4	5.5	85.5	0.85	11.5	7	2	2.2	1445	0.0175
4А132S4	7.5	87.5	0.86	15.2	7.5	2.2	3	1455	0.0275
4А132M4	11	87.5	0.87	22	7.5	2.2	3	1460	0.04
4А160S4	15	88.5	0.88	29.3	7	1.4	2.3	1465	0.103
4А160M4	18.5	89.5	0.88	35.8	7	1.4	2.3	1465	0.128
4А180S4	22	90	0.9	41.4	7	1.4	2.3	1470	0.19
4А180M4	30	91	0.9	56.1	7	1.4	2.3	1470	0.233
4А200M4	37	91	0.9	68.7	7	1.4	2.5	1475	0.368
4А200L4	45	92	0.9	83	7	1.4	2.5	1475	0.445
4А225M4	55	92.5	0.9	101	7	1.3	2.5	1480	0.64
4А250S4	75	93	0.9	136	7	1.2	2.3	1480	1.02
4А250M4	90	93	0.91	162	7	1.2	2.3	1480	1.17
4А280S4	110	92.5	0.9	200	7	1.2	2	1470	2.3
4А280M4	132	93	0.9	240	7	1.3	2	1480	2.48
4А315S4	160	93.5	0.91	287	7	1.3	2.2	1480	3.08
4А315M4	200	94	0.92	352	7	1.3	2.2	1480	3.63
4А355S4	250	94.5	0.92	438	7	1.2	2	1485	6.0

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cosφ	$I_{НОМ}$ А	$\frac{I_{П}}{I_{НОМ}}$	$\frac{M_{П}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{МАХ}}{M_{НОМ}}$	п, об/мин	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>
Синхронная частота вращения 1000 об/мин									
4AA50A6									
4AA50B6									
4AA56A6									
4AA56B6									
4AA63A6									
4AA63B6									
4A71A6									
4A71B6									
4A80A6									
4A80B6									
4A90L6									
4A100S6									
4A100L6									
4A112M6									
4A132S6									
4A132M6									
4A160S6									
4A160M6									
4A180S6									
4A180M6									
4A200M6									
4A200L6									
4A225M6									
4A250S6									
4A250M6									
4A280S6									
4A280M6									
4A315S6									
4A315M6									
4A355S6									

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cosφ	$I_{НОМ}$ А	$\frac{I_{П}}{I_{НОМ}}$	$\frac{M_{П}}{M_{НОМ}}$	$\frac{M_{МАХ}}{M_{НОМ}}$	п, об/мин	Момент инерции, кг·м <sup>2</sup>
Синхронная частота вращения 750 об/мин									
4AA50A8									
4AA50B8									
4AA56A8									
4AA56B8									
4AA63A8									
4AA63B8									
4A71A8									
4A71B8									
4A80A8									
4A80B8									
4A90L8									
4A100S8									
4A100L8									
4A112M8									
4A132S8									
4A132M8									
4A160S8									
4A160M8									
4A180S8									
4A180M8									
4A200M8									
4A200L8									
4A225M8									
4A250S8									
4A250M8									
4A280S8									
4A280M8									
4A315S8									
4A315M8									
4A355S8									

$P_{ном}$ , кВт	$U_{ном}$ , В	$n_{ном}$ , об/мин	$n_{max}$ , об/мин	$\eta_{ном}$ , %	Сопротивление обмотки при 15 °С, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
					якоря	добавочных полюсов	возбуждения	
Тип 2ПФ132МУХЛ4, 2ПФ132МГУХЛ4								
2,0	110	750	3750	68,0	0,435	0,244	$\frac{134}{35}$	8,2
	220	750	2500	67,0	1,693	1,260		33,0
	440	800	1850	71,5	6,280	3,940		132
3,0	110	1060	4000	73,5	0,226	0,166	$\frac{134}{35}$	4,6
	220	1060	3000	74,0	0,906	0,692		18,5
	440	1060	2500	73,0	4,060	2,970		74,0
4,0	110	1500	4200	77,5	0,140	0,094	$\frac{111}{25,6}$	2,8
	220	1500	4200	80,5	0,472	0,308		9,7
	440	1500	3750	82,5	1,880	1,390		38,6
6,0	110	2200	4000	83,0	0,067	0,049	$\frac{175}{46}$	1,4
	220	2360	4000	83,5	0,226	0,166		1,6
	440	2360	4000	85,0	0,906	0,692		18,5
7,5	220	3000	4000	85,0	0,140	0,094	$\frac{111}{25,6}$	2,85
	440	3000	4000	85,0	0,546	0,336		11,0
Тип 2ПФ132ЛУХЛ4, 2ПФ132ЛГУХЛ4								
2,8	110	750	3750	66,5	0,269	0,220	$\frac{89}{25}$	5,7
	220	750	2500	67,0	1,080	0,915		23,0
	440	750	1850	69,0	4,050	2,920		86,0
4,2	110	950	4000	72,0	0,167	0,124	$\frac{76}{20,6}$	3,5
	220	1000	3000	73,0	0,670	0,445		14,0
	440	1000	2500	73,0	2,800	1,960		55,0
5,5	110	1500	4200	79,0	0,080	0,066	$\frac{76}{20,6}$	1,8
	220	1600	4200	80,5	0,269	0,220		5,7
	440	1600	3750	80,5	1,080	0,915		23,0
7,5	110	2200	4000	83,0	0,055	0,039	$\frac{167}{43}$	1,1
	220	2120	4000	83,5	0,167	0,124		3,5
	440	2200	4000	86,0	0,670	0,445		13,8
11,0	220	3000	4000	85,5	0,080	0,066	$\frac{76}{20,6}$	1,8
	440	3150	4000	86,5	0,322	0,270		7,1
Тип 2ПН160МУХЛ4, 2ПН160МГУХЛ4								
3,0	110	750	3000	75,5	0,138	0,135	128	5,04
	220	750	2500	76,5	0,732	0,485		20,2
	440	750	1850	76,0	3,150	2,210		85,0
4,5	110	950	4000	78,5	0,110	0,078	$\frac{108}{26,8}$	3,1
	220	1000	3000	79,5	0,411	0,304		10,5
	440	950	2500	79,0	1,780	1,440		48,8

$P_{\text{ном}}$ , кВт	$U_{\text{ном}}$ , В	$n_{\text{ном}}$ , об/мин	$n_{\text{макс}}$ , об/мин	$\eta_{\text{ном}}$ , %	Сопротивление обмотки при 15 °С, Ом			Индуктивность цепи якоря, мГн
					якоря	добавочных полюсов	возбуждения	
10,0	220	2630	4000	88,5	0,069	0,049	$\frac{117}{32,8}$	2,5
	440	2120	4000	88,5	0,328	0,227		12,0
12,0	220	3000	4000	89,0	0,044	0,031	$\frac{117}{32,8}$	1,6
	440	3000	4000	89,5	0,171	0,131		6,3
Тип 2ПФ160МУХЛ4, 2ПФ160МГУХЛ4								
4,2	110	800	3750	74,5	0,110	0,078	$\frac{53,1}{12,6}$	3,1
	220	750	2500	73,0	0,516	0,407		14,0
	440	750	1850	73,0	2,060	1,785		56,0
6,0	110	1000	4000	78,0	0,081	0,056	$\frac{82}{21,9}$	2,2
	220	1000	3000	79,0	0,326	0,208		9,0
	440	1000	2500	79,0	1,304	1,050		46,0
7,5	220	1500	4200	83,0	0,145	0,101	$\frac{53,1}{12,6}$	4,0
	440	1600	3750	83,5	0,516	0,407		14,0
13,0	220	2240	4000	87,0	0,081	0,056	$\frac{82}{21,9}$	2,2
	440	2240	4000	87,0	0,278	0,175	$\frac{53,1}{12,6}$	7,5
16,0	220	3150	4000	87,0	0,037	0,024	$\frac{53,1}{12,6}$	0,99
	440	3150	4000	88,0	0,145	0,101		4,00
Тип 2ПФ160ЛУХЛ4, 2ПФ160ЛГУХЛ4								
5,6	110	750	3750	76,0	0,096	0,073	$\frac{65,3}{17,1}$	3,1
	220	800	2500	77,5	0,328	0,227	$\frac{49,4}{13,4}$	10,5
	440	800	1850	76,5	1,310	1,450		42,0
8,0	220	1000	3000	80,0	0,216	0,175	$\frac{49,4}{13,4}$	7,0
	440	1060	2500	81,0	0,816	0,600		25,0
11,0	110	1500	4200	84,0	0,024	0,017	$\frac{49,4}{13,4}$	0,78
	220	1500	4200	84,5	0,096	0,073		3,1
	440	1500	3750	84,5	0,385	0,364		12,5
16,0	220	2360	4000	87,0	0,044	0,031	$\frac{49,4}{13,4}$	1,4
	440	2360	4000	88,5	0,171	0,131		5,6
18,5	220	3150	4000	87,5	0,024	0,017	$\frac{49,4}{13,4}$	0,78
	440	3150	4000	88,5	0,096	0,073		3,1
Тип 2ПН180МУХЛ4, 2ПН180МГУХЛ4								
5,6	110	750	3000	78,5	0,084	0,056	$\frac{74,8}{17,5}$	2,73
	220	750	2500	79,0	0,338	0,221		10,9
	440	750	1850	79,5	1,500	0,825		47,0
8,0	110	1000	3500	81,5	0,058	0,037	$\frac{98}{23}$	1,9

Таблица 14.5. Технические данные двигателей типа 4ПФ

Типоразмер	$P_{ном}$ , кВт	$U_{ном}$ , В	$I_{ном}$ , А	$\eta_{ном}$ , %	$n_{ном}$ , об/мин	$n_{max}$ , об/мин
4ПФ112S	4,00	220	24,0	72,3	900	5000
	3,15		19,8	69,3	750	
	2,00		14,5	57,6	450	
4ПФ112M	4,25		26,4	68,0	730	
	3,00		20,1	60,3	475	
4ПФ112L	3,55		24,5	60,1	425	
4ПФ132S	15,00		85,4	77,9	1400	4500
	7,50		43,6	76,0	1000	
	6,00		32,7	74,0	875	
	4,25		26,9	65,0	580	
4ПФ132M	11,0		61,5	78,5	1060	
	8,5		48,6	76,0	875	
	8,0	47,3	68,0	600		
4ПФ132L	11,0	62,8	76,0	800		
	8,5	54,4	68,0	515		
4ПФ160S	15,0	79,6	80,7	850	4000	
	11,0	66,2	70,5	530		
4ПФ160M	15,0	85,6	75,3	580		
4ПФ180	17,0	99,4	73,0	500	3800	
4ПФ180M	20,0	114,5	75,0	475		

Продолжение табл. 14.5

Типоразмер	$P_{ном}$ , кВт	$U_{ном}$ , В	$I_{ном}$ , А	$\eta_{ном}$ , %	$n_{ном}$ , об/мин	$n_{max}$ , об/мин
4ПФ112S	7,50	440	19,2	87,1	2120	5000
	5,50		14,9	81,4	1450	
	4,25		12,6	74,0	975	
	3,14		9,9	69,0	730	
4ПФ112M	7,50		19,6	82,5	1450	
	5,50		16,6	74,1	900	
	4,25		13,3	67,4	690	
4ПФ112L	10,0		26,3	81,2	1320	
	7,5		21,5	81,0	975	
	5,5		17,0	70,8	690	
4ПФ132S	30,0		76,7	87,1	3070	4500
	18,5		47,8	85,0	2180	
	15,0		41,7	80,0	1400	
	5,5		15,7	73,0	800	
4ПФ132M	30,0		78,9	86,3	2300	
	22,0		59,3	83,0	1600	
	11,0	30,0	80,0	1090		
	8,5	24,8	75,0	800		
4ПФ132L	23,6	64,8	83,0	1400		
	15,0	40,8	81,0	1030		
	11,0	30,7	78,0	825		
4ПФ160S	30,0	78,6	84,0	1450	4500	
	18,5	48,6	82,0	1090		
	15,0	42,5	76,1	730		
4ПФ160M	22,0	56,8	84,5	1090		
	18,5	49,6	80,8	775		
4ПФ160L	30,0	77,0	85,5	1030		
	22,0	58,7	81,3	775		
4ПФ180S	45,0	114	88,0	1450		
	37,0	95,7	85,0	1150		
	26,5	72,8	78,0	775		

Задания на КР (номера вариантов для первой части)

Вариант	Асинхронный двигатель	Двигатель постоянного тока				
		Тип	Мощность, кВт	$U_{ном}, В$	$\frac{R}{R_{\dot{m}}}$	$\frac{U}{U_{\dot{m}}}$
1	АИР56А2	2ПФ132М	2	110	0.2	
2	АИР71В6	2ПФ132М	2	220		0.4
3	АИР90LА8	2ПФ132М	2	440	0.3	
4	4АА56В2	2ПФ132М	3	110		0.2
5	4АА56В4	2ПФ132М	3	220	0.5	
6	АИР63В2	2ПФ132М	3	440		0.5
7	АИР80В6	2ПФ132М	4	110	0.4	
8	АИР100L8	2ПФ132М	4	220		0.3
9	4А71А2	2ПФ132М	4	440	0.6	
10	4А71В4	2ПФ132М	6	110		0.6
11	АИР71В2	2ПФ132М	6	220	0.7	
12	АИР90L6	2ПФ132М	6	440		0.9
13	АИР112МА8	2ПФ132М	7.5	220	0.8	
14	4А80А2	2ПФ132М	7.5	440		0.8
15	4А80А4	2ПН160М	3	110	0.9	
16	АИР80В2	2ПН160М	3	220		0.7
17	АИР100L6	2ПН160М	3	440	0.2	
18	АИР112МВ8	2ПН160М	4.5	110		0.2
19	4А80В2	2ПН160М	4.5	220	0.6	
20	4А80В4	2ПН160М	4.5	440		0.4
21	АИР90L2	2ПФ132L	2.8	110	0.4	
22	АИР112МВ6	2ПФ132L	2.8	220		0.5
23	АИР132М8	2ПФ132L	2.8	440	0.5	
24	4А100S2	2ПФ132L	4.2	110		0.6
25	4А100S4	2ПФ132L	4.2	220	0.7	

Вариант	Асинхронный Двигатель	Двигатель постоянного тока				
		Тип	Мощность, кВт	$U_{НОМ}$ , В	$\frac{R}{R_{НОМ}}$	$\frac{U}{U_{НОМ}}$
26	АИР100L2	2ПФ132L	4.2	440		0.2
27	АИР132М6	2ПФ132L	5.5	110	0.3	
28	АИР160М8	2ПФ132L	5.5	220		0.9
29	4А100L2	2ПФ132L	5.5	440	0.6	
30	4А112М4	2ПФ132L	7.5	110		0.3
31	АИР132М2	2ПФ132L	7.5	220	0.8	
32	АИР160М6	2ПФ132L	7.5	440		0.7
33	АИР200М8	2ПФ132L	11	220	0.2	
34	4А132М2	2ПФ132L	11	440		0.4
35	4А132М4	2ПФ160М	4.2	110	0.5	
36	АИР160М2	2ПФ160М	4.2	220		0.5
37	АИР200М6	2ПФ160М	4.2	440	0.7	
38	АИР200L8	2ПФ160М	6	110		0.8
39	4А160М2	2ПФ160М	6	220	0.4	
40	4А160М4	2ПФ160М	6	440		0.6
41	АИР180S2	2ПФ160М	7.5	110	0.8	
42	АИР200L6	2ПФ160М	7.5	220		0.2
43	АИР225М8	2ПФ160М	7.5	440	0.9	
44	4А180S2	2ПФ160М	13	110		0.5
45	4А180М4	2ПФ160М	13	220	0.3	
46	АИР180М2	2ПФ160М	13	440		0.7
47	АИР225М6	2ПФ160М	16	220	0.6	
48	АИР250S8	2ПФ160М	16	440		0.9
49	4А200М2	2ПФ160L	5.6	110	0.7	
50	4А200М4	2ПФ160L	5.6	220		0.6

Вариант	Асинхронный Двигатель	Двигатель постоянного тока				
		Тип	Мощность, кВт	$U_{НОМ}$ , В	$\frac{R}{R_{НОМ}}$	$\frac{U}{U_{НОМ}}$
51	АИР200М2	2ПФ160L	5.6	440	0.2	
52	АИР250S6	2ПФ160L	8	220		0.2
53	АИР250М5	2ПФ160L	8	220	0.8	
54	4А200L2	2ПФ160L	11	110		0.3
55	4А200L4	2ПФ160L	11	220	0.3	
56	АИР200L2	2ПФ160L	11	440		0.5
57	АИР250М6	2ПФ160L	16	220	0.5	
58	АИР280S8	2ПФ160L	16	440		0.4
59	4А225М2	2ПФ160L	18.5	220	0.6	
60	4А225М4	2ПФ160L	18.5	440		0.8
61	АИР225М2	4ПФ112S	4	220	0.7	
62	АИР280S6	4ПФ112S	3.15	220		0.7
63	АИР280М8	4ПФ112S	2	220	0.4	
64	4А250М2	4ПФ112М	4.25	220		0.9
65	4А280S4	4ПФ112М	3	220	0.9	
66	АИР250S2	4ПФ112L	3.55	220		0.6
67	АИР315S6	4ПФ132S	15	220	0.2	
68	АИР315S8	4ПФ132S	7.5	220		0.2
69	4А280S2	4ПФ132S	6	220	0.5	
70	4А280М4	4ПФ132S	4.25	220		0.3
71	АИР250М2	4ПФ132М	11	220	0.7	
72	АИР315М6	4ПФ132М	8.5	220		0.5
73	АИР355S8	4ПФ132М	8	220	0.3	
74	4А280М2	4ПФ132L	11	220		0.8
75	4А315S4	4ПФ132L	8.5	220	0.8	

Приложение №2 (номера вариантов для второй части)

№ вар.	$V_{pmin}$ , мм/мин	$V_{pmin}$ , мм/мин	$V_{б.х.}$ , мм/мин	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$f_{тр}$	$F_z$ , Н	$F_x$ , Н	$m$ , кг	$t$ , мм	$d_B$ , М	$l_B$ , М
1	600	1	2400	0,2	0,1	7000	4000	1200	5	0,1	1
2	1000	1	4800	0,4	0,1	5000	3000	1500	10	0,08	1
3	1200	1,9	9600	0,4	0,01	5000	3000	2000	10	0,063	1
4	2400	1,9	10000	0,8	0,03	10000	5000	1000	10	0,063	0,8
5	4800	1,9	12000	1	0,01	1000	500	500	10	0,05	0,8
6	4800	3	15000	1,5	0,03	12000	5000	600	15	0,063	0,8
7	8000	3	20000	1,5	0,03	1000	600	300	20	0,05	1
8	1200	1	5000	0,4	0,01	3000	1000	1000	10	0,063	0,6
9	4800	1,9	10000	1,2	0,1	22000	10000	1000	20	0,1	1,5
10	6000	3	15000	1	0,03	18000	8000	800	15	0,063	1,2
11	4000	1,9	10000	1	0,1	7000	5000	1500	10	0,063	1,2
12	800	2	3000	0,4	0,06	5000	5000	1000	10	0,05	1,2
13	2000	2,5	6400	0,6	0,08	3000	4000	600	5	0,063	0,8
14	6400	3,2	12500	0,6	0,03	4000	3200	550	10	0,05	1
15	5500	2,2	8500	0,8	0,1	10000	4800	850	10	0,08	1,1
16	700	11	2800	0,3	0,09	8000	4500	900	5	0,08	1,2
17	1000	1,8	3600	1,8	0,05	6000	4800	750	5	0,063	1
18	3600	2	8000	1,5	0,08	6500	2400	1000	10	0,08	0,8
19	4200	2,2	10000	0,6	0,06	5000	4000	800	15	0,08	1
20	3500	3	9000	0,8	0,05	8000	3700	650	10	0,063	0,8
21	3200	2,2	5500	1,2	0,06	5800	3600	1000	10	0,08	1
22	4000	2,5	6300	1,5	0,1	6000	4000	800	15	0,08	0,8
23	3800	3	8000	0,8	0,08	4600	3800	650	10	0,05	0,8
24	2500	2	5000	1,5	0,06	3200	4000	720	5	0,05	1
25	4200	3	7800	1,2	0,05	4000	3600	850	10	0,08	1,2
26	600	1	2400	0,2	0,1	7000	4000	1200	5	0,1	1
27	8000	3	20000	1,5	0,03	1000	600	300	20	0,05	1
28	1250	1,9	9600	0,4	0,01	5000	3000	2000	10	0,063	1
29	4500	1,9	10000	1,2	0,1	22000	10000	1000	20	0,1	1,5
30	3400	1,9	10000	1	0,1	7000	5000	1500	10	0,063	1,2
31	1800	2	3000	0,4	0,06	5000	5000	1000	10	0,05	1,2
32	5000	2,2	8500	0,8	0,1	10000	4800	850	10	0,08	1,1
33	1700	11	2800	0,3	0,09	8000	4500	900	5	0,08	1,2
34	1300	1,8	3600	1,8	0,05	6000	4800	750	5	0,063	1
35	2700	11	2800	0,3	0,09	8000	4500	900	5	0,08	1,2
36	1000	1,8	3600	1,8	0,05	6000	4800	750	5	0,063	1
37	4600	1,9	12000	1	0,01	1000	500	500	10	0,05	0,8
38	4200	3	15000	1,5	0,03	12000	5000	600	15	0,063	0,8
39	2600	1,9	10000	0,8	0,03	10000	5000	1000	10	0,063	0,8
40	1100	1	4800	0,4	0,1	5000	3000	1500	10	0,08	1
41	2500	2	5000	1,5	0,06	3200	4000	720	5	0,05	1
42	4200	3	7800	1,2	0,05	4000	3600	850	10	0,08	1,2

### Приложение №3

№ вар.	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$
1	0,25	0,15	0,3	0,25	0,01	0,04	1	0,6	0,2	0	0,4	0,4
2	0,2	0,2	0,25	0,25	0,02	0,08	1	0,5	0,25	0	0,2	0,5
3	0,15	0,25	0,2	0,2	0,13	0,07	1	0,65	0,2	0	0,2	0,6
4	0,1	0,2	0,3	0,2	0,09	0,11	1	0,3	0,15	0	0,3	0,5
5	0,3	0,1	0,2	0,15	0,15	0,1	1	0,4	0,1	0	0,4	0,5
6	0,25	0,2	0,25	0,2	0,02	0,08	1	0,3	0,15	0	0,25	0,3
7	0,15	0,15	0,4	0,15	0,07	0,08	1	0,6	0,15	0	0,25	0,5
8	0,15	0,25	0,25	0,1	0,1	0,15	1	0,4	0,2	0	0,3	0,25
9	0,2	0,15	0,3	0,15	0,1	0,1	1	0,45	0,2	0	0,35	0,4
10	0,25	0,1	0,3	0,15	0,09	0,11	1	0,5	0,3	0	0,25	0,4
11	0,3	0,1	0,2	0,1	0,15	0,15	1	0,4	0,25	0	0,3	0,4
12	0,3	0,05	0,15	0,15	0,2	0,15	1	0,45	0,25	0	0,4	0,4
13	0,2	0,2	0,3	0,1	0,07	0,13	1	0,6	0,4	0	0,4	0,5
14	0,3	0,2	0,2	0,05	0,15	0,1	1	0,6	0,35	0	0,35	0,6
15	0,25	0,15	0,25	0,2	0,1	0,05	1	0,45	0,2	0	0,25	0,45
16	0,15	0,25	0,25	0,05	0,15	0,15	1	0,5	0,3	0	0,3	0,5
17	0,1	0,25	0,3	0,15	0,04	0,16	1	0,5	0,2	0	0,35	0,4
18	0,15	0,3	0,3	0,1	0,05	0,1	1	0,55	0,25	0	0,4	0,55
19	0,25	0,25	0,25	0,1	0,1	0,05	1	0,55	0,1	0	0,3	0,45
20	0,2	0,25	0,3	0,05	0,15	0,05	1	0,45	0,1	0	0,3	0,6
21	0,1	0,3	0,25	0,15	0,12	0,08	1	0,4	0,25	0	0,25	0,55
22	0,15	0,3	0,25	0,2	0,04	0,06	1	0,6	0,15	0	0,2	0,6
23	0,25	0,4	0,15	0,05	0,1	0,05	1	0,35	0,2	0	0,3	0,5
24	0,2	0,25	0,35	0,15	0,02	0,03	1	0,4	0,15	0	0,25	0,6
25	0,2	0,2	0,3	0,1	0,05	0,15	1	0,5	0,2	0	0,25	0,4
26	0,25	0,15	0,3	0,25	0,01	0,04	1	0,6	0,2	0	0,4	0,4
27	0,2	0,2	0,25	0,25	0,02	0,08	1	0,5	0,25	0	0,2	0,5
28	0,15	0,25	0,2	0,2	0,13	0,07	1	0,65	0,2	0	0,2	0,6
29	0,1	0,2	0,3	0,2	0,09	0,11	1	0,3	0,15	0	0,3	0,5
30	0,3	0,1	0,2	0,15	0,15	0,1	1	0,4	0,1	0	0,4	0,5
31	0,25	0,2	0,25	0,2	0,02	0,08	1	0,3	0,15	0	0,25	0,3
32	0,15	0,15	0,4	0,15	0,07	0,08	1	0,6	0,15	0	0,25	0,5
33	0,15	0,25	0,25	0,1	0,1	0,15	1	0,4	0,2	0	0,3	0,25
34	0,2	0,15	0,3	0,15	0,1	0,1	1	0,45	0,2	0	0,35	0,4
35	0,25	0,1	0,3	0,15	0,09	0,11	1	0,5	0,3	0	0,25	0,4
36	0,3	0,1	0,2	0,1	0,15	0,15	1	0,4	0,25	0	0,3	0,4
37	0,3	0,05	0,15	0,15	0,2	0,15	1	0,45	0,25	0	0,4	0,4
38	0,3	0,2	0,2	0,05	0,15	0,1	1	0,6	0,35	0	0,35	0,6
39	0,25	0,15	0,25	0,2	0,1	0,05	1	0,45	0,2	0	0,25	0,45
40	0,15	0,25	0,25	0,05	0,15	0,15	1	0,5	0,3	0	0,3	0,5
41	0,1	0,25	0,3	0,15	0,04	0,16	1	0,5	0,2	0	0,35	0,4
42	0,15	0,3	0,3	0,1	0,05	0,1	1	0,55	0,25	0	0,4	0,55

#### Приложение №4

№ вар.	Электро-привод	Блок детального изучения
1	ЭТ6	Формирователь управляющих импульсов
2	ЭТ6	Регулятор скорости
3	ЭТ6	Регулятор тока с датчиком и схемой ограничения
4	ЭТ6	Схема ограничения минимального угла
5	ЭТ6	Схема ограничения тока якоря
6	ЭТ6	Схема защиты
7	ЭПУ-1	СИФУ цепи якоря и узел его блокировки
8	ЭПУ-1	СИФУ преобразователя возбуждения
9	ЭПУ-1	Регулятор скорости и узел блокировки регулятора
10	ЭПУ-1	Тиристорный преобразователь цепи якоря
11	ЭПУ-1	Нелинейное звено
12	ЭПУ-1	Переключатель характеристик
13	ЭПУ-1	Узел зависимого токоограничения
14	ЭПУ-1	Датчики проводимости вентилей, напряжения, тока возбуждения
15	ЭПУ-1	Тиристорный преобразователь цепи возбуждения
16	БТУ-3601	Регулятор тока
17	БТУ-3601	Регулятор скорости
18	БТУ-3601	Нелинейное звено
19	БТУ-3601	Формирователь импульсов
20	БТУ-3601	Узел защит
21	БУ-3609	Регулятор скорости
22	БУ-3609	Регулятор тока с датчиком тока
23	БУ-3609	Нелинейное звено
24	БУ-3609	Логическое устройство
25	БУ-3609	Датчик проводимости тиристоров
26	ЭТ6	Формирователь управляющих импульсов
27	ЭПУ-1	Тиристорный преобразователь цепи якоря
28	ЭТ6	Регулятор скорости
29	ЭПУ-1	СИФУ преобразователя возбуждения
30	ЭТ6	Схема ограничения минимального угла
31	ЭПУ-1	Узел зависимого токоограничения
32	ЭТ6	Схема защиты
33	ЭТ6	Схема ограничения тока якоря
34	ЭПУ-1	Регулятор скорости и узел блокировки регулятора
35	БТУ-3601	Узел защит
36	БТУ-3601	Формирователь импульсов

37	ЭПУ-1	Датчики проводимости вентилей, напряжения, тока возбуждения
38	ЭПУ-1	Тиристорный преобразователь цепи возбуждения
39	БТУ-3601	Регулятор скорости
40	ЭТ6	Регулятор тока с датчиком и схемой ограничения
41	БУ-3609	Датчик проводимости тиристоров
42	БТУ-3601	Регулятор тока