

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

“БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к расчётно-графическим работам

по электрическим приводам

для специальности **36 01 03 01**

УДК 621.3 (071)

Методические указания содержат описание методов выбора двигателей и аппаратуры управления для силовой части наиболее распространенных типов приводов. Первое задание посвящено расчету дискретных приводов на основе трехфазных асинхронных электродвигателей, второе – расчету регулируемого привода с двигателем постоянного тока.

В приложениях приведены справочные данные по электродвигателям и управляющей аппаратуре.

Составитель: Прокопеня О.Н., доцент, к.т.н.

Рецензент: начальник энергетической инспекции филиала
РУП «Брестэнерго-энергонадзор» Н.В. Василевский

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
1. Задание №1. Расчет силовой части привода станка-автомата.	
1.1. Особенности работы и требования к двигателю дискретного привода	4
1.2. Исходные данные для расчета привода.....	4, 5
1.3. Выбор двигателя по мощности.....	5...7
1.4. Схема управления двигателем дискретного привода.....	7, 8
1.5. Выбор аппаратуры управления и защиты.....	9, 10
2. Задание №2. Расчет силовой части привода станка с ЧПУ.	
2.1. Особенности работы и требования к двигателю регулируемого привода	11
2.2. Исходные данные для расчета привода.....	11, 12
2.3. Выбор двигателя для регулируемого привода.....	12...14
2.4. Выбор схемы управляемого выпрямителя и ее расчет.....	14, 15
2.5. Расчет характеристик привода.....	15, 16
3. Исходные данные, содержание РГР и требования к оформлению.....	17
ЛИТЕРАТУРА.....	17
ПРИЛОЖЕНИЯ	
П.1. Параметры асинхронных электродвигателей серии 4А.....	18, 19
П.2. Параметры двигателей постоянного тока серии 2П.....	20...22
П.3. Параметры магнитных пускателей и тепловых реле.....	23
П.4. Параметры автоматических выключателей.....	23
П.5. Параметры тиристоров.....	23

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наибольшее применение в промышленности находят приводы на основе трехфазных асинхронных электродвигателей, а также – двигателей постоянного тока. Указанные типы приводов широко используются в машиностроении, и в том числе – в металлорежущих станках.

Трехфазный асинхронный электродвигатель выгодно отличается от других типов двигателей простотой конструкции, массой и габаритами, высокой надежностью и экономичностью. Это предопределяет высокие технико-экономические показатели привода в целом на основе данного двигателя. Он в наибольшей степени подходит для построения дискретных приводов, работающих с постоянной скоростью либо с несколькими фиксированными скоростями. Это приводы автоматических линий и другого технологического оборудования.

Двигатель постоянного тока в настоящее время используется преимущественно в регулируемых приводах с тиристорным управлением. К таковым относятся приводы станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

Стоимость и экономичность привода, а также его динамические свойства в значительной степени определяются схемой построения и параметрами силовой части. Поэтому важной задачей проектирования является выбор исполнительного двигателя и других элементов силовой части привода.

Данная расчетно-графическая работа позволяет выработать необходимые навыки решения указанной задачи. Она содержит два задания, посвященных расчету силовой части наиболее распространенных типов приводов. Первое задание включает в себя расчет привода с дискретным управлением на основе трехфазного асинхронного электродвигателя, а второе – регулируемого привода с двигателем постоянного тока.

Для каждого из указанных приводов производится выбор по мощности соответствующего типа двигателя и аппаратуры управления, а также определяются параметры и характеристики, необходимые для последующего проектирования управляющей части.

Задание №1. Расчет силовой части привода станка-автомата

1.1. Особенности работы и требования к двигателю привода

Станки-автоматы, входящие в состав автоматических линий, как правило, имеют приводы с дискретным управлением. Двигатели таких приводов могут принимать конечное число состояний (обычно не более 2-3), характеризующихся определенной скоростью и направлением вращения.

Чаще всего в качестве исполнительного в таких приводах используется трехфазный асинхронный электродвигатель. В этом случае двигатель на протяжении всего цикла работает с номинальной частотой вращения (с реверсированием или без), а изменение скорости выходного звена, при необходимости, осуществляется изменением передаточного отношения привода (например, с помощью электромагнитных муфт). Именно такой вариант привода будем рассматривать в дальнейшем.

Таким образом, для данных приводов изменяемым параметром является только нагрузка на двигатель. При этом момент двигателя имеет только статическую составляющую, которая определяется технологической нагрузкой и кинематической схемой привода.

Следовательно, двигатель, используемый в приводе станка-автомата, должен удовлетворять следующим требованиям:

- иметь максимальный момент, превышающий момент на валу при наибольшей технологической нагрузке;
- обеспечивать длительную работу без перегрева при непрерывном повторении цикла.

Обычно, сначала удовлетворяется второе требование за счет соответствующего выбора мощности двигателя, затем первое – путем проверки выбранного двигателя на перегрузочную способность (по максимальному моменту).

Очевидно, что динамические свойства двигателя в данном случае существенного значения не имеют и при выборе не учитываются.

1.2. Исходные данные для расчета привода

Задачей любого привода является обеспечение требуемых параметров движения исполнительного механизма (выходного звена), которые должны быть заранее известны. Указанные параметры обычно и используются в качестве исходных данных для расчета. Для привода станка-автомата – это угловая или линейная скорость и момент или сила сопротивления, которые могут иметь несколько ступеней изменения на протяжении цикла. Их значения определяются при расчете технологического процесса.

Однако параметры движения вала двигателя не соответствуют аналогичным параметрам для выходного звена. Но последние могут быть приведены к валу двигателя, если известна кинематическая схема привода. Поэтому для трехфазного асинхронного электродвигателя сначала задаются синхронной частотой вращения, что позволяет определить требуемое передаточное отношение для каждой ступени и разработать кинематическую схему. Затем, в соответствии с выбранным типом передач, для каждой ступени определяется коэффициент полезного действия (КПД) и мощность на валу двигателя

$$P_{\Gamma} = P_M / \eta_{\text{пр}}, \quad (1.1)$$

где P_{Γ} и P_M - мощность на валу двигателя и механизма соответственно;

$\eta_{\text{пр}}$ - КПД привода (механических передач).

Для привода главного движения P_M определяется как мощность резания, а для привода подачи

$$P_M = F \cdot V_M, \quad (1.2)$$

где F - сила сопротивления перемещению;
 V_M - скорость перемещения механизма.

По результатам расчета строится нагрузочная диаграмма двигателя $P_{\Sigma} = f(t)$.

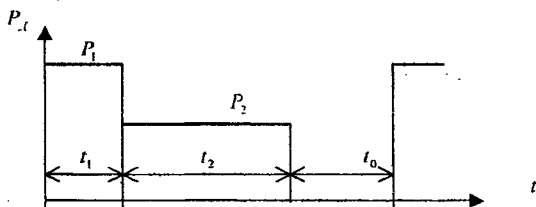


Рис. 1.1. Нагрузочная диаграмма двигателя.

Число ступеней изменения нагрузки зависит от технологической операции и может быть любым. Нагрузочная диаграмма может быть также представлена в виде зависимости момента $M_{\Sigma} = f(t)$ или тока двигателя $I_{\Sigma} = f(t)$ от времени. Вид диаграмм является аналогичным, так как мощность, момент и ток двигателя связаны линейной зависимостью. Все три типа диаграмм эквивалентны друг другу.

Таким образом, в качестве исходных данных для расчета привода служат технологические параметры процесса, такие как скорость резания и подачи, составляющие силы резания или мощность резания. На их основе строится нагрузочная диаграмма двигателя, которая используется для выбора его мощности.

1.3. Выбор двигателя по мощности

Метод выбора двигателя определяется режимом работы привода. В зависимости от характера изменения нагрузки и угловой скорости в процессе работы различают восемь стандартных режимов, обозначаемых S1...S8.

Продолжительный номинальный режим (S1) характеризуется непрерывной работой двигателя при постоянной нагрузке, так что его температура успевает достичь установившегося значения. Выбор мощности осуществляется из условия

$$P_H \geq P_d,$$

где P_H - номинальная мощность двигателя (по каталогу);

P_d - требуемая мощность на валу двигателя, определяемая по (1.1), (1.2).

Данный режим является характерным для приводов шлифовальных кругов, насосов подачи охлаждающей жидкости, гидростанций и т.п.

Кратковременный режим (S2) характеризуется периодическим включением двигателя на короткое время с длительными паузами. При этом за время работы температура двигателя не успевает достичь установившегося значения, а за время паузы - успевает снизиться до температуры окружающей среды. В данном режиме работают приводы вспомогательных механизмов станка, время работы которых обычно не превышает 5...10 с. Двигатель выбирается по перегрузочной способности при пуске

$$0,85M_H \geq M_{C0},$$

где M_H - пусковой момент двигателя (в каталоге приводится кратность пускового момента по отношению к номинальному M_H / M_N);

M_{C0} - начальный момент сопротивления на валу двигателя.

Коэффициент 0,85 учитывает возможное снижение напряжения сети до 85% от номинального. При расчете M_{C0} следует учитывать, что в начальный момент сила трения в 2-3 раза больше, чем при установившемся движении.

Номинальный момент двигателя (если он не указан в каталоге)

$$M_H = 9,55 P_H / n_H, \quad (1.3)$$

где n_H - номинальная частота вращения.

Повторно-кратковременный номинальный режим (S3) и его разновидности с частыми пусками (S4) и с частыми пусками и электрическим торможением (S5) отличаются тем, что периоды работы чередуются с паузами, во время которых двигатель отключается.

Переключающийся номинальный режим (S6) и его разновидности с частыми реверсами (S7) и с двумя или более угловыми скоростями (S8) характеризуются постоянной работой двигателя без отключений (в паузах - в режиме холостого хода).

Работа в режимах S3...S8 может осуществляться как с постоянной, так и с переменной нагрузкой. При этом длительность цикла меньше постоянной времени нагрева двигателя, поэтому температура не успевает достичь установившегося значения и изменяется в небольших пределах относительно некоторого среднего значения. Следовательно, в отдельные периоды двигатель может отдавать мощность больше номинальной и это не приведет к его перегреву.

Интенсивность нагрева двигателя определяется потерями мощности, которые имеют постоянную и переменную составляющие. Переменная составляющая пропорциональна квадрату тока двигателя и существенно больше постоянной. Учитывая это, можно режим работы с переменной нагрузкой привести к эквивалентному (с точки зрения нагрева двигателя) продолжительному режиму работы с постоянной нагрузкой, при котором ток двигателя

$$I_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (I_i^2 t_i)}{\sum_{i=0}^n t_i}}. \quad (1.4)$$

Так как при неизменном магнитном потоке момент двигателя пропорционален току, то эквивалентному режиму соответствует момент

$$M_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (M_i^2 t_i)}{\sum_{i=0}^n t_i}}. \quad (1.5)$$

Поскольку при изменении нагрузки угловая скорость двигателя изменяется незначительно, то зависимость между моментом и мощностью можно считать линейной. Тогда эквивалентному режиму соответствует мощность

$$P_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (P_i^2 t_i)}{\sum_{i=0}^n t_i}}. \quad (1.6)$$

В данных формулах P_i , M_i , I_i и t_i - мощность, момент, ток и время работы на i -й ступени нагрузочной диаграммы. Мощность, момент и ток холостого хода можно принимать равными нулю, не исключая однако при этом t_0 . Выбор формулы определяется тем, в каком виде получена нагрузочная диаграмма двигателя (см. п. 1.2).

Далее выбор двигателя может осуществляться как для режима S1 по одному из условий $P_H \geq P_3$, $M_H \geq M_3$, $I_H \geq I_3$.

Если в каталоге не указано значение M_H , то вычисляются $P_3 = M_3 n_1 / 9,55$, учитывая, что $n_1 \approx n_H$ и используют условие $P_H \geq P_3$.

Если в каталоге не указано значение I_H , то его вычисляют, произвольно задавая мощность двигателя, и последовательно выполняют подбор, используя условие $I_H \geq I_3$.

Для трехфазного асинхронного электродвигателя

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} U_H \eta_H \cos \varphi_H},$$

где U_H , η_H и $\cos \varphi_H$ - номинальные значения напряжения, КПД и коэффициента мощности (из каталога).

Так как в отдельные периоды момент на валу может быть больше номинального, то выбранный двигатель необходимо проверить на перегрузочную способность по условию

$$\lambda_{\text{расч}} \leq \lambda_{\text{доп}}, \quad (1.7)$$

где $\lambda_{\text{расч}}$ и $\lambda_{\text{доп}}$ - расчетная и допустимая перегрузка.

Расчетная перегрузка

$$\lambda_{\text{расч}} = M_{i_{\text{max}}} / M_H,$$

где $M_{i_{\text{max}}}$ - наибольший момент двигателя (по нагрузочной диаграмме).

Аналогично расчетная перегрузка определяется через мощности или токи.

Допустимая перегрузка

$$\lambda_{\text{доп}} = 0,85 (M_{\text{макс}} / M_H),$$

где $M_{\text{макс}} / M_H$ - кратность максимального момента (из каталога).

Если условие (1.7) выполняется, то выбор двигателя считают окончательным. В противном случае берут двигатель большей мощности и повторяют проверку.

Рассмотренный метод расчета с использованием эквивалентных величин наиболее прост и удобен в применении. Однако он является приближенным и позволяет получить приемлемый результат только при длительной работе двигателя с постоянной скоростью (режим S6).

Процессы пуска и электрического торможения сопровождаются повышенными потерями и интенсивным нагревом двигателя, что метод эквивалентных величин не учитывает. Поэтому для режимов S3, S4, S5, S7 и S8 он может давать существенную погрешность.

Для указанных режимов следует применять метод средних потерь [1], который является более точным и может использоваться для любого режима работы привода. Однако он более трудоемок и требует знания зависимости КПД от мощности для выбираемых двигателей.

Учитывая вышеизложенное, можно рекомендовать для данных режимов работы предварительный выбор двигателя также выполнять по методу эквивалентных величин, а окончательную проверку – по методу средних потерь (при наличии необходимых зависимостей).

Следует отметить, что при использовании метода средних потерь проверка двигателя на перегрузочную способность по (1.7) также является обязательной.

Основные характеристики трехфазных асинхронных электродвигателей наиболее применимой в настоящее время серии 4А приведены в табл. П.1 приложения.

1.4. Схема управления двигателем дискретного привода

Схема управления двигателем привода состоит из двух частей: силовой и управляющей. Силовая часть содержит цепи обмоток двигателя, по которым протекают токи большой величины (десятки и сотни ампер), а также коммутирующие элементы дискретного типа (обычно релейно-контактные). В принципе могут использоваться и бесконтактные устройства, например тиристорные пускатели.

Управляющая часть предназначена для формирования команд управления двигателем и другими исполнительными устройствами (электромагнитными муфтами и т.п.). Токи в цепях управления обычно не превышают нескольких ампер.

В дискретных приводах обычно осуществляется двух- или трехпозиционное управление двигателем с помощью дискретного управляющего устройства, выполненного на релейно-контактной аппаратуре, бесконтактных элементах либо на элементах обоих типов. Задача управления состоит в последовательном изменении состояния двига-

теля и других исполнительных устройств в соответствии с заданной циклограммой работы привода.

Таким образом, схема управляющего устройства определяется логикой работы привода, наличием в приводе вспомогательных исполнительных устройств и другими факторами. Ее синтез не предусмотрен в рамках данной РГР.

Поэтому при выполнении задания можно взять управляющую часть схемы из литературы либо разработать ее самостоятельно, задавшись циклом работы привода.

Силовая часть схемы реверсивного привода на основе трехфазного асинхронного электродвигателя, выполненная на релейно-контактных элементах, в упрощенном виде приведена на рис. 1.2. Помимо двигателя она содержит автоматический выключатель QF, главные контакты магнитных пускателей KM1, KM2 и нагревательные элементы тепловых реле КК1, КК2.

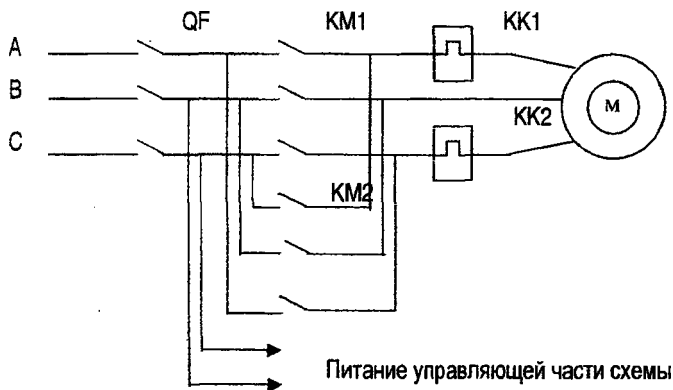


Рис. 1.2. Силовая часть схемы реверсивного привода.

Автоматический выключатель обеспечивает оперативное подключение силовой (обычно также и управляющей) части привода к трехфазной сети, дополнительно осуществляя функцию защиты.

Главные контакты магнитных пускателей осуществляют коммутацию обмоток двигателя для его запуска в нужном направлении. Катушки магнитных пускателей включены в управляющие цепи, с помощью которых формируются команды управления двигателем. Для нереверсивного привода достаточно одного пускателя.

Тепловые реле служат для защиты двигателя от перегрузок. Если ток двигателя, протекающий через нагревательные элементы, превышает допустимую величину, происходит отключение двигателя посредством магнитных пускателей. Для этого замыкающие контакты тепловых реле включаются в цепи катушек магнитных пускателей.

При выполнении задания следует принять силовую часть схемы указанного вида или аналогичную для нереверсивного привода. Схему электропривода следует построить на отдельном листе, используя условные графические обозначения по ГОСТ 2.755-74 и буквенно-цифровые обозначения по ГОСТ 2.710-81.

1.5. Выбор аппаратуры управления и защиты

Выбор всей релейно-контактной аппаратуры осуществляется по допустимому напряжению и току контактов.

В качестве устройств управления двигателями используются магнитные пускатели. Они характеризуются следующими параметрами: номинальным током главных контактов $I_{н.гл}$, предельным током главных контактов $I_{пр.гл}$, номинальным током блокировочных контактов $I_{н.бл}$, номинальным напряжением контактов $U_{н.к}$, а также номинальным напряжением и мощностью катушки.

Выбор магнитных пускателей осуществляется, исходя из условий

$$I_{н.гл} \geq I_H; \quad U_{н.к} \geq U_H,$$

где I_H и U_H - номинальные значения тока и напряжения двигателя.

Необходимо также, чтобы пускатель без разрушения коммутировал пусковой ток двигателя I_D , т.е. должно выполняться $I_{пр.гл} \geq I_D$.

При установке пускателя необходимо обеспечить, чтобы ток через блокировочные контакты в цепи управления также не превышал $I_{н.бл}$.

Магнитные пускатели отличаются степенью защиты, могут иметь встроенные тепловые реле и могут быть блокированы для управления реверсивными двигателями. Указанные особенности отражены в обозначении пускателя.

Вторая часть обозначения состоит из трех цифр. Первая цифра обозначает типоразмер по току контактов, вторая – степень защиты (1 – открытый, 2 – в защитном кожухе, 3 – брызгозащитный), третья – наличие теплового реле и реверса (1 – без теплового реле и реверса, 2 – с тепловым реле, 3 – с возможностью реверса, 4 – с тепловым реле и возможностью реверса). Пример обозначения магнитного пускателя серии ПМЕ в защитном кожухе с тепловым реле нереверсивного: ПМЕ-222.

Технические параметры магнитных пускателей серий ПМЕ и ПАЕ, широко применяемых для управления трехфазными асинхронными электродвигателями, приведены в табл. П.3 приложения. Данные пускатели надежно работают при колебаниях напряжения сети в пределах от 0,85 до 1,05 от номинального значения.

Снижение напряжения сверх указанного предела приводит к размыканию контактов пускателя (в том числе блокировочных), за счет чего обеспечивается нулевая защита, которая препятствует самопроизвольному запуску двигателя при восстановлении напряжения.

В табл. П.3 приложения приводятся также параметры тепловых реле типа ТРН, которые могут встраиваться в магнитные пускатели ПМЕ и согласуются с ними по допустимому току.

Тепловые реле используются для защиты двигателей от перегрузок. Они имеют обратную зависимость от тока характеристику (чем больше перегрузка, тем быстрее происходит срабатывание). Реле ТРН не срабатывает при номинальном токе уставки теплового элемента и срабатывает в течение 20 минут при токе, равном 1,2 номинального тока уставки.

Реле допускает регулировку тока уставки в пределах $\pm 25\%$ с помощью механизма уставки, на шкале которого нанесено по пять делений в обе стороны от нуля. Тепловые реле типа ТРН имеют температурную компенсацию.

Номинальный ток теплового элемента принимают

$$I_{ном.т} \geq I_H.$$

Затем с помощью механизма регулировки уставки осуществляют настройку на I_H .

Автоматические выключатели используются в качестве аппаратов защиты от коротких замыканий и перегрузок, а также для нечастых оперативных отключений элек-

троприемников. В зависимости от вида выполняемой защиты они могут иметь следующие расцепители: электромагнитный (М), тепловой (Т), электромагнитный с гидравлическим замедлителем срабатывания (МГ), комбинированный.

Последние буквы в обозначении автоматического выключателя указывают тип расцепителя, цифра перед буквой – число коммутируемых линий. Пример обозначения трехполюсного автоматического выключателя АП50 с комбинированным (электромагнитным и тепловым) расцепителем: АП50-3МТ.

Электромагнитный расцепитель обладает высоким быстродействием и обеспечивает защиту от коротких замыканий. Тепловой расцепитель более инерционный и имеет обратозависимую от тока характеристику. Аналогичной характеристикой обладает электромагнитный расцепитель с гидравлическим замедлителем. Они обеспечивают защиту от небольших по величине, но длительных перегрузок.

Автоматические выключатели характеризуются номинальным напряжением $U_{НОМ.А}$ и номинальным током $I_{НОМ.А}$, а их расцепители – номинальным током расцепителя $I_{НОМ.РАСП}$ и током уставки.

При выборе автоматического выключателя необходимо обеспечить, чтобы напряжение сети не превышало $U_{НОМ.А}$, а длительный ток был не более $I_{НОМ.А}$.

Номинальный ток расцепителя (независимо от типа) должен быть не меньше номинального тока двигателя или расчетного тока линии

$$I_{НОМ.РАСП} \geq I_H.$$

Ток уставки выбирается с учетом типа расцепителя. Ток уставки электромагнитного расцепителя $I_{УСТ.ЭЛ.МАГН}$ – это наименьший ток, при котором срабатывает расцепитель. Его значение выбирается из условия

$$I_{УСТ.ЭЛ.МАГН} \geq 1,25 I_H.$$

Номинальный ток уставки теплового расцепителя $I_{НОМ.УСТ.ТЕПЛ}$ – это наибольший ток, при котором расцепитель не срабатывает. Он выбирается из условия

$$I_{НОМ.УСТ.ТЕПЛ} \geq I_H.$$

Обычно ток уставки указывается в виде $k I_{НОМ.РАСП}$, где k – кратность тока уставки (отсечки). Параметры некоторых типов автоматических выключателей приведены в табл. П.4 приложения.

Задание №2. Расчет силовой части привода станка с ЧПУ

2.1. Особенности работы и требования к двигателю регулируемого привода

В составе станков с ЧПУ используются следующие приводы, которые должны обеспечивать требуемый закон изменения скорости выходного звена (механизма) при действии технологической нагрузки. Для этого скорость двигателя должна регулироваться плавно и в широком диапазоне. Изменение скорости может осуществляться непрерывно, поэтому двигатели данных приводов должны обладать способностью работы в переходном режиме на протяжении всего технологического цикла.

При этом в определенные моменты времени от привода требуется обеспечение предельных значений всех параметров, т.е. движение с максимальным ускорением и скоростью при наибольшей технологической нагрузке. Сколько именно времени на протяжении цикла привод работает в таком режиме, оценить весьма трудно. Это зависит от типа станка и выполняемой операции. Однако двигатель привода должен в принципе обладать возможностью такой работы. Для этого он должен иметь необходимый запас мощности и соответствующие характеристики.

Весьма существенное значение при этом имеют динамические свойства двигателя.

Таким образом, двигатель регулируемого привода должен удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать непрерывную работу при максимальной технологической нагрузке без перегрева;
- иметь достаточный запас мощности для компенсации среднего уровня динамической составляющей нагрузки;
- обладать максимальным моментом, обеспечивающим возможность движения с предельными значениями ускорения и скорости при наибольшей технологической нагрузке;
- обеспечивать плавное регулирование скорости в широком диапазоне.

Указанным требованиям в наибольшей степени соответствуют: двигатель постоянного тока (ДПТ) с тиристорным управлением и трехфазный асинхронный двигатель с частотно-токовым регулированием скорости. Последний является весьма перспективным и в последнее время получает широкое распространение.

Однако эксплуатируемый в настоящее время парк станков преимущественно имеет приводы на основе ДПТ с управляемыми тиристорными выпрямителям. Поэтому в данной работе будем рассматривать указанный тип привода.

2.2. Исходные данные для расчета привода

К исходным данным относятся требуемые кинематические параметры движения выходного звена, силовые параметры нагрузки и параметры, характеризующие инерционность звеньев механизма. При этом следует учитывать, что выходное звено может совершать вращательное движение (в главных приводах) и поступательное (в приводах подачи).

Таким образом, в качестве исходных данных для расчета привода при вращательном движении выходного звена принимаются:

ω_M - максимальная угловая скорость выходного звена, рад/с;

ε_M - максимальное угловое ускорение выходного звена, рад/с²;

$M_{с.м}$ - момент сопротивления на выходном звене механизма, Нм;

J_M - момент инерции подвижных частей механизма, приведенный к выходному звену, кгм².

При поступательном движении выходного звена аналогичные параметры:

V_M - максимальная скорость выходного звена, м/с;

a_M - максимальное ускорение выходного звена, м/с²;

$F_{с.м}$ - сила сопротивления на выходном звене механизма, Н;

m_M - масса подвижных частей механизма, приведенная к выходному звену, кг.

Указанные параметры вычисляются при проектировании исполнительного механизма, исходя из предельных режимов обработки, определяемых целевым назначением станка, и на стадии расчета электропривода должны быть известны.

2.3. Выбор двигателя для регулируемого привода

Выбор мощности двигателя для регулируемого привода осуществляется по условиям нагрева и возможности обеспечения требуемого ускорения. Первое условие достигается при правильном выборе номинального момента, а второе – при наличии у двигателя достаточного максимального момента.

В регулируемых приводах момент двигателя имеет как статическую, так и динамическую составляющую, которая может изменяться в широких пределах.

Статический момент на валу двигателя

$$M_{ст.д} = \frac{M_{с.м}}{i \eta_M}, \quad (2.1)$$

где u - передаточное отношение привода;
 η_M - КПД механических передач.

Его можно считать постоянным, поскольку технологическая нагрузка в процессе обработки обычно поддерживается на заданном уровне. Он определяет наименьшее допустимое значение номинального момента двигателя, т.е. $M_H \geq M_{ст.д}$. Полный момент, требуемый для привода механизма, приведенный к валу двигателя (с учетом динамической составляющей)

$$M_{тр.м} = \frac{M_{с.м}}{u\eta_M} + \frac{J_M \epsilon_M}{u\eta_M} \quad (2.2)$$

Динамическая составляющая момента, обусловленная ускоренным движением ротора двигателя,

$$M_{д.д} = J_D \epsilon_M u, \quad (2.3)$$

где J_D - момент инерции ротора двигателя.

В соответствии с (2.2) и (2.3) наибольший требуемый момент двигателя

$$M_{тр.д} = \frac{M_{с.м}}{u\eta_M} + \frac{J_M \epsilon_M}{u\eta_M} + J_D \epsilon_M u. \quad (2.4)$$

Таким образом, в процессе работы момент двигателя может изменяться за счет динамической составляющей от минимального значения, определяемого по формуле (2.1), до максимального, определяемого по (2.4).

Выбор двигателя с номинальным моментом $M_H \geq M_{тр.д}$ обеспечивает выполнение условий как по нагреву, так и по ускорению. Однако в большинстве случаев мощность двигателя при этом будет существенно завышена, т.к. на практике средний уровень динамической составляющей момента значительно меньше максимального.

Для обеспечения требуемого ускорения необходимо иметь максимальный момент двигателя

$$M_{max} \geq M_{тр.д}, \quad (2.5)$$

однако выполнение условия по нагреву при этом не гарантируется.

В соответствии с (2.4) требуемый момент двигателя зависит от передаточного отношения привода. Из условия $dM_{тр.д} / du = 0$ можно найти оптимальное значение передаточного отношения

$$u_{opt} = \sqrt{\frac{M_{с.м} + J_M \epsilon_M}{J_D \epsilon_M \eta_M}}. \quad (2.6)$$

При $u = u_{opt}$ для обеспечения заданного ускорения требуется наименьший момент двигателя. В этом случае $M_{д.д} = M_{тр.м}$, и соответственно

$$M_{тр.д} = 2M_{тр.м}. \quad (2.7)$$

С учетом того, что максимальный момент для ДПТ обычно ограничивают величиной $M_{max} = 2M_H$, из (2.2), (2.5) и (2.7) следует условие для выбора номинального момента при оптимальном передаточном отношении

$$M_H \geq \left(\frac{M_{с.м} + J_M \epsilon_M}{u_{opt} \eta_M} \right). \quad (2.8)$$

Невыполнение (2.8) приводит к невыполнению (2.5). Поэтому данному моменту соответствует минимально допустимая по критерию ускорения номинальная мощность двигателя. Следовательно, при выборе мощности необходимо принимать

$$P_H \geq \left(\frac{M_{с.м} + J_M \varepsilon_M}{\eta_M} \right) \omega_M. \quad (2.9)$$

Данное условие предусматривает также некоторый средний уровень динамической составляющей момента, которого в большинстве случаев может быть достаточно.

Отсюда следует, что при возможности обеспечения в приводе оптимального передаточного отношения, определяемого по (2.6), выбор мощности можно выполнять в соответствии с (2.9). При этом следует учитывать особенности работы конкретного станка. Чем больше времени на протяжении цикла привод работает с максимальным ускорением, тем с большим запасом должно выполняться (2.9).

Значение КПД в (2.9) можно предварительно принять в пределах 0,85...0,9 либо примерно оценить, задавшись типом и числом передач, исходя из возможных значений u при заданных ω_M и предельных значениях ω_H для выбираемых двигателей.

Корректировка мощности может потребоваться только в случае, когда выбранный двигатель не обеспечивает требуемую скорость вращения

$$\omega_{TP} = u_0 \omega_M, \quad (2.10)$$

что требует изменения передаточного отношения (принятия $u \neq u_0$).

Скорость ДПТ по цепи якоря может регулироваться в диапазоне от нуля до номинального значения ω_H . Следовательно, если $\omega_{TP} \leq \omega_H$, передаточное отношение можно не корректировать. Однако следует иметь в виду, что ошибка регулирования будет тем больше, чем меньше используемая часть диапазона регулирования.

Поэтому, если ω_{TP} существенно меньше ω_H , можно увеличить u насколько позволяет условие (2.5), либо проверить другие двигатели с близкой мощностью, вычислив для них u_0 и ω_{TP} .

При регулировании скорости по цепи якоря двигатель не может обеспечить $\omega_{TP} \geq \omega_H$. Поэтому следует принять $u = \omega_{TP} / \omega_H$ и обеспечить выполнение (2.9), увеличивая при необходимости мощность двигателя.

Исходя из вышеизложенного, можно предложить следующий порядок выбора двигателя для регулируемого привода:

1) вычислить минимально допустимую номинальную мощность двигателя по (2.9) и выбрать несколько двигателей с ближайшей большей мощностью и различными значениями J_d ;

2) для выбранных двигателей вычислить u_0 и ω_{TP} по (2.6) и (2.10) и оставить один из них, для которого ω_H наиболее близко к ω_{TP} и желательно $\omega_H \geq \omega_{TP}$;

3) при необходимости скорректировать u и P_H , учитывая приведенные выше рекомендации;

4) разработать кинематическую схему привода, определить η_M , сравнить его с принятым и при необходимости скорректировать P_H .

Параметры двигателей серии 2П для широко регулируемых приводов приведены в табл. П.2 приложения.

2.4. Выбор схемы управляемого выпрямителя и ее расчет

Силовая часть регулируемого привода содержит трансформатор, управляемый выпрямитель и якорную обмотку двигателя. Сигналы управления тиристорами выпрямителя формируются системой импульсно-фазового управления (СИФУ).

Управляемый выпрямитель (УВ) может быть выполнен по однофазной или трехфазной нулевой или мостовой схеме. Однофазные схемы используются в приводах ма-

лой мощности (единицы киловатт). Для приводов средней (несколько десятков киловатт) и большой (десятки и сотни киловатт) мощности - трехфазная нулевая и мостовая схемы соответственно.

При выполнении данной работы схему УВ следует выбирать исходя из мощности двигателя, если она не задана.

Расчет УВ состоит в определении входных и выходных напряжений и токов, а также – выборе тиристоров. На основе расчета формулируются требования к трансформатору.

Максимальное значение среднего напряжения на выходе выпрямителя

$$U_0 = U_{я.н} \omega_{ТР} / \omega_H,$$

где $U_{я.н}$ - номинальное напряжение якорной обмотки двигателя.

Максимальное значение среднего тока

$$I_0 = 2 I_{я.н},$$

где $I_{я.н}$ - номинальный ток обмотки якоря ДПТ.

Прямой средний ток $I_{пр.ср}$ и максимальное обратное напряжение $U_{о.макс}$ тиристоров, а также действующие значения тока I_2 , напряжения U_2 вторичной обмотки и габаритная мощность P_T трансформатора зависят от схемы УВ и могут быть выражены через выходные значения U_0 и I_0 . Формулы для их расчета приведены в табл. 2.1. Для трехфазных схем U_2 - фазное напряжение при соединении вторичной обмотки трансформатора по схеме "звезда".

Таблица 2.1. Формулы для расчета УВ

Параметр	Схема выпрямителя		
	однофазная мостовая	трехфазная нулевая	трехфазная мостовая
$I_{пр.ср}$	$0,5I_0$	$0,33I_0$	$0,33I_0$
$U_{о.макс}$	$1,57U_0$	$2,09U_0$	$1,05U_0$
I_2	$1,11I_0$	$0,58I_0$	$0,82I_0$
U_2	$1,1U_0$	$0,85U_0$	$0,43U_0$
P_T	$1,23I_0U_0$	$1,35I_0U_0$	$1,05I_0U_0$

Выбор тиристоров производится по току и напряжению так, чтобы выполнялись условия

$$I_{ок.ср} \geq I_{пр.ср}; \quad U_{зс.п} \geq U_{о.макс}; \quad U_{обр.п} \geq U_{о.макс};$$

где $I_{ок.ср}$ - максимально допустимый средний ток в открытом состоянии;

$U_{зс.п}$ - максимально допустимое повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии;

$U_{обр.п}$ - максимально допустимое повторяющееся импульсное обратное напряжение (обычно совпадает с $U_{зс.п}$).

Для УВ следует выбирать силовые унифицированные тиристоры, обозначаемые по ГОСТ 20859-79. Первая буква в обозначении – Т. За ней следуют несколько групп цифр, разделенных тире. Первая группа из трех цифр характеризует размеры и конструктивные признаки, вторая – значение $I_{ок.ср}$, третья – класс по напряжению ($0,01U_{зс.п}$). Пример обозначения: Т122-25-8 – силовой тиристор с $I_{ок.ср} = 25$ А и $U_{зс.п} = 800$ В. Параметры тиристоров приведены в табл. П.5 приложения.

После выполнения расчета следует привести упрощенную принципиальную схему силовой части привода, на которой показать трансформатор, УВ, обмотку двигателя.

2.5. Расчет характеристик привода

Для выбранного двигателя необходимо рассчитать и построить механическую характеристику $\omega = f(M)$, а также определить передаточную функцию по управляющему воздействию, которая необходима для последующего расчета управляющей части привода.

Механическая характеристика ДПТ является линейной (см. рис. 2.1). Естественная механическая характеристика соответствует $U_{я} = U_{я.н}$. При $U_{я} \rightarrow 0$ характеристика смещается вниз (получается семейство характеристик, имеющих одинаковый наклон). Таким образом, при $M = M_H$ за счет изменения $U_{я}$ можно регулировать скорость от 0 до ω_H .

Точка А характеризуется номинальными параметрами ω_H и M_H , а участок ВС соответствует ограничению тока якоря на уровне $2I_{я.н}$. При этом момент двигателя также ограничен величиной $2M_H$.

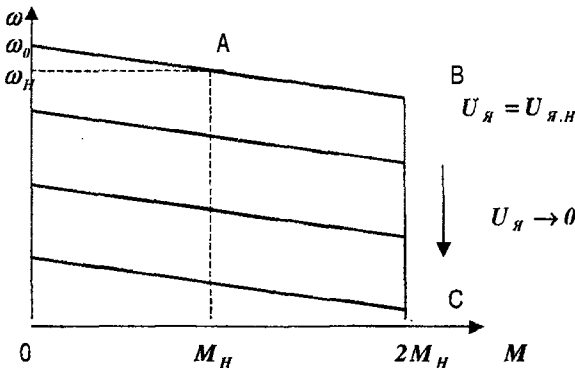


Рис. 2.1. Семейство механических характеристик ДПТ.

Уравнение механической характеристики

$$\omega = \omega_0 + M / \beta_d,$$

где $\omega_0 = U_{я.н} / c_E$ — скорость холостого хода (c_E — постоянный коэффициент);

β_d — коэффициент, характеризующий жесткость механической характеристики.

По определению $\beta_d = dM / d\omega$ и для характеристики ДПТ, которая линейна, может быть вычислен через координаты точек, соответствующих режиму холостого хода $[0; \omega_0]$ и номинальному режиму $[M_H; \omega_H]$

$$\beta_d = - \frac{M_H}{\omega_0 - \omega_H}.$$

По этим же точкам может быть построена механическая характеристика. Коэффициент жесткости можно также определить через параметры якорной обмотки

$$\beta_d = - \frac{c_E c_M}{R_{я} + R_{д.п}},$$

где c_M — постоянный коэффициент;

$R_{я}$ и $R_{д.п}$ — сопротивление обмоток якоря и дополнительных полюсов.

Коэффициент c_M может быть найден из уравнения

$$M_H = c_M I_{Я.Н.},$$

а коэффициент c_E - из уравнения электромеханической характеристики при параметрах, соответствующих номинальному режиму

$$\omega_H = \frac{U_{Я.Н.}}{c_E} - \frac{R_{Я} + R_{Д.П}}{c_E} I_{Я.Н.}$$

Номинальный ток обмотки якоря

$$I_{Я.Н.} = (P_{1H} - P_B) / U_{Я.Н.},$$

где P_{1H} - номинальная мощность, потребляемая двигателем;

P_B - мощность, потребляемая обмоткой возбуждения.

Значение P_{1H} вычисляется через номинальный КПД двигателя η_H , а значение P_B определяется напряжением U_B и сопротивлением R_B обмотки возбуждения. При этом следует учитывать, что независимо от значения $U_{Я.Н.}$ для всех двигателей используются обмотки возбуждения на 110 или 220 В. Причем меньшему значению U_B соответствует меньшее R_B .

Поэтому для двигателей с номинальным напряжением 110 и 220 В $U_B = U_{Я.Н.}$, а для ДПТ с $U_H = 440$ В, следует принимать $U_B = 220$ В. Более высокое напряжение используется только для цепи якоря.

Передачная функция ДПТ соответствует звену второго порядка

$$W(p) = \frac{k}{T_\gamma T_M p^2 + T_M p + 1},$$

где $k = 1 / c_E$ - коэффициент передачи по скорости;

$T_\gamma = L_{Я} / (R_{Я} + R_{Д.П.})$ - электромеханическая постоянная времени ($L_{Я}$ - индуктивность обмотки якоря);

$T_M = J_p / \beta_{1.}$ - механическая постоянная времени (J_p - момент инерции ротора).

3. Исходные данные, содержание РГР и требования к оформлению

Исходные данные в соответствии с вариантами задания выдаются преподавателем индивидуально каждому студенту в первой половине семестра. Студент обязан выполнять РГР в соответствии с исходными данными своего варианта.

В задании №1 задаются графики изменения нагрузки и скорости за цикл работы для выходного звена одного из механизмов станка-автомата.

Требуется:

- 1) построить кинематическую схему привода и рассчитать ее параметры;
- 2) рассчитать и построить нагрузочную диаграмму двигателя;
- 3) выбрать двигатель, используя методы эквивалентных величин;
- 4) построить принципиальную электрическую схему привода;
- 5) выбрать аппаратуру управления и защиты.

Варианты задания №2 содержат числовые значения кинематических, силовых и инерционных параметров выходного звена одного из механизмов станка с ЧПУ.

Требуется:

- 1) рассчитать и выбрать исполнительный двигатель;
- 2) построить кинематическую схему привода и рассчитать ее параметры;
- 3) рассчитать управляемый выпрямитель и выбрать тиристоры;
- 4) построить принципиальную электрическую схему силовой части привода;

- 5) рассчитать и построить механическую характеристику;
- 6) определить передаточную функцию двигателя.

РГР оформляется в соответствии с принятым в университете стандартом на листах формата А4. Первым является титульный лист установленного образца. Содержание работы разбивается на разделы и подразделы по усмотрению студента.

Каждый пункт расчета обязательно сопровождать краткими пояснениями. При выполнении расчетов сначала приводится формула в общем виде, затем – с подставленными числовыми данными и в конце – результат вычисления с обязательным указанием размерности.

Все графические построения выполняются с помощью чертежных инструментов, графики – на миллиметровой бумаге. При построении графиков необходимо предварительно выполнить разметку координатных осей.

Условные графические и буквенные обозначения на электрических схемах должны соответствовать требованиям ЕСКД.

Как для выполнения вычислений, так и для оформления работы может использоваться компьютерная техника, однако все вышеизложенные требования при этом должны быть соблюдены.

Работы, не соответствующие указанным требованиям, возвращаются на доработку студенту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981.
2. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Уч-к для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1992.
3. Справочник по электрическим машинам: В 2 т./Под общ. ред. И.П.Копылова и Б.К.Клокова. Т.1. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
4. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие/ Под ред. А.С.Клюева.- 2-е изд., перераб. и доп.-М.: Энергоиздат, 1990.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1. Параметры асинхронных электродвигателей серии 4А

Типоразмер	n_{II} , мин ⁻¹	P_{II} , кВт	η_{II}	$\cos \varphi_{II}$	I_{II} / I_{II}	$\frac{M_{MAX}}{M_{II}}$
1	2	3	4	5	6	7
Синхронная частота вращения 3000 мин ⁻¹						
4A71A2Y3	2840	0,75	0,77	0,87	5,5	2,2
4A71B2Y3	2810	1,1	0,775	0,87	5,5	2,2
4A80A2Y3	2850	1,5	0,81	0,85	6,5	2,2
4A80B2Y3	2850	2,2	0,83	0,87	6,5	2,2
4A90L2Y3	2880	3	0,845	0,88	6,5	2,2
4A100S2Y3	2880	4	0,865	0,89	7,5	2,2
4A100L2Y3	2880	5,5	0,875	0,91	7,5	2,2
4A112MC2Y3	2900	7,5	0,875	0,88	7,5	2,2
4A132MC2Y3	2900	11	0,88	0,9	7,5	2,2
4A160S2Y3	2940	15	0,88	0,91	7,5	2,2
4A160M2Y3	2940	18,5	0,885	0,92	7,5	2,2
4A180S2Y3	2945	22	0,885	0,91	7,5	2,2
4A180M2Y3	2945	30	0,9	0,9	7,5	2,2
4A200M2Y3	2945	37	0,9	0,89	7,5	2,2
4A200L2Y3	2945	45	0,91	0,9	7,5	2,2
Синхронная частота вращения 1500 мин ⁻¹						
4A71A4Y3	1390	0,55	0,705	0,7	4,5	2,2
4A71B4Y3	1390	0,75	0,72	0,73	4,5	2,2
4A80A4Y3	1420	1,1	0,75	0,81	5	2,2
4A80B4Y3	1415	1,5	0,77	0,83	5	2,2
4A90L4Y3	1425	2,2	0,8	0,83	6	2,2
4A100S4Y3	1435	3	0,82	0,83	6,5	2,2
4A100L4Y3	1430	4	0,84	0,84	6,5	2,2
4A112M4Y3	1445	5,5	0,855	0,85	7	2,2
4A132S4Y3	1455	7,5	0,875	0,86	7,5	2,2
4A132M4Y3	1460	11	0,875	0,87	7,5	2,2
4A160S4Y3	1465	15	0,885	0,88	7	2,2
4A160M4Y3	1465	18,5	0,895	0,88	7	2,2
4A180S4Y3	1470	22	0,9	0,9	7	2,2
4A180M4Y3	1470	30	0,905	0,89	7	2,2
4A200M4Y3	1475	37	0,91	0,9	7	2,2
4A200L4Y3	1475	45	0,92	0,9	7	2,2
Синхронная частота вращения 1000 мин ⁻¹						
4A71A6Y3	910	0,37	0,645	0,69	4	2,2
4A71B6Y3	900	0,55	0,675	0,71	4	2,2
4A80A6Y3	915	0,75	0,69	0,74	4	2,2
4A80B6Y3	920	1,1	0,74	0,74	4	2,2
4A90L6Y3	935	1,5	0,75	0,74	5,5	2,2
4A100L6Y3	950	2,2	0,81	0,73	5,5	2,2
4A112MA6Y3	955	3	0,81	0,76	6	2,2

Таблица П.1. (Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
4A112МВ6У3	950	4	0,82	0,81	6	2,2
4A132S6У3	965	5,5	0,85	0,8	7	2,2
4A132М6У3	970	7,5	0,855	0,81	7	2,2
4A160S6У3	975	11	0,86	0,86	6	2,2
4A160М6У3	975	15	0,875	0,87	6	2
4A180М6У3	975	18,5	0,88	0,87	6	2
4A200М6У3	975	22	0,9	0,9	6,5	2
4A200L6У3	980	30	0,905	0,9	6,5	2
4A225М6У3	980	37	0,91	0,89	6,5	2
4A250S6У3	985	45	0,915	0,89	7	2
Синхронная частота вращения 750 мин ⁻¹						
4A71В8У3	680	0,25	0,56	0,65	3,5	1,7
4A80А8У3	675	0,37	0,615	0,65	3,5	1,7
4A80В8У3	700	0,55	0,64	0,65	3,5	1,7
4A90LА8У3	700	0,75	0,68	0,62	4	1,9
4A90LВ8У3	700	1,1	0,7	0,68	4	1,9
4A100L8У3	700	1,5	0,74	0,65	5	1,9
4A112МА8У3	700	2,2	0,765	0,71	5	2,2
4A112МВ8У3	700	3	0,79	0,74	5,5	2,2
4A132S8У3	720	4	0,83	0,7	5,5	2,6
4A132М8У3	720	5,5	0,83	0,74	6	2,6
4A160S8У3	730	7,5	0,86	0,75	6	2,2
4A160М8У3	730	11	0,87	0,75	6	2,2
4A180М8У3	730	15	0,87	0,82	6	2
4A200М8У3	735	18,5	0,885	0,84	6	2,2
4A200L8У3	730	22	0,885	0,84	6	2
4A225М8У3	735	30	0,9	0,81	6	2,1
4A250S8У3	735	37	0,9	0,83	6,5	2
4A250М8У3	740	45	0,91	0,84	6,5	2

Таблица П.2. Параметры двигателей серии 2Г.

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	R_n , Ом	R_{II} , Ом	R_n , Ом	L_n , мГн	J_n , кг м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2ГБ90МУХЛ4								
0,13	110	800	49,5	7,48	4,79	222	173	0,004
	220	750	47,5	34	20,37	810	694	
0,18	110	1000	54,5	5,41	3,47	222	122	
	220	1000	55,5	21,77	13,31	810	490	
0,28	110	1600	63,5	2,69	1,85	222	62	
	220	1500	63,5	11,7	7,35	810	267	
0,4	110	2360	69,5	1,46	0,87	222	34	
	220	2200	58,5	6,84	4,4	810	147	
0,55	110	3000	71	1	0,58	222	21	
	220	3000	71	3,99	2,55	810	82	
2ГБ90ЛУХЛ4								
0,18	110	750	53	5,44	3,89	192	150	0,005
	220	750	53	23,55	15	720	610	
0,25	110	1000	58,5	4,01	2,3	192	96	
	220	1120	61,5	13,25	8,65	720	360	
0,37	110	1500	66	2,1	1,297	192	54	
	220	1500	67,5	7,74	5,17	720	199	
0,53	110	2200	72	1,13	0,687	192	28	
	220	2240	73	4,26	2,84	720	108	
0,75	110	3000	78,5	0,644	0,4	192	17	
	220	3150	77	2,28	1,609	720	63	
2ГБ100МУХЛ4								
0,26	110	750	58,5	3,4	2,05	153	120	0,011
	220	800	60,6	12,76	8,35	595	461	
0,37	110	1000	66	1,99	1,22	153	78	
	220	1000	65,5	8,49	5,14	595	313	
0,6	110	1500	72	1,083	0,659	153	40	
	220	1600	72,5	4,38	2,62	595	150	
0,85	110	2300	77	0,48	0,374	153	20	
	220	2360	78	1,99	1,22	595	78	
1,2	110	3150	79	0,331	0,192	153	11	
	220	3150	80	1,325	0,7	595	45	
2ГБ112МУХЛ4								
0,34	110	800	60,5	1,91	1,65	111	26	0,015
	220	750	59,5	8,72	7,07	403	106	
0,45	110	1060	64,5	1,29	1,12	111	16	
	220	1060	66	5,07	4,5	403	66	
0,75	110	1500	70	0,565	0,565	111	7,4	
	220	1500	71	2,48	2,13	403	31	
1,1	110	2200	74	0,308	0,304	111	4	
	220	2200	75	1,29	1,12	403	16	
1,4	110	3000	78,5	0,196	0,134	111	2,7	
	220	3000	78,5	0,788	0,682	403	11	

Таблица П.2. (Продолжение).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2ПБ112ЛУХЛ4									
0,5	110	800	65	1,18	0,892	80	18	0,018	
	220	800	65,5	4,74	3,79	303	74		
0,63	110	1000	68,5	0,74	0,74	80	12		
	220	1060	68,5	3,13	3,16	303	50		
1	110	1600	74	0,378	0,378	80	5,9		
	220	1500	75	1,66	1,45	303	26		
1,5	110	2240	79	0,139	0,128	80	3		
	220	2240	80	0,74	0,74	303	12		
2	110	3000	81	0,103	0,11	80	1,8		
	220	3150	81	0,413	0,411	303	7,1		
2ПБ132МУХЛ4									
1,1	110	750	64	0,564	0,336	54,5	13		0,038
	220	800	67	2,44	1,53	202	55		
1,6	110	1060	71	0,346	0,224	54,5	7,9		
	220	1000	70,5	1,38	1,0	202	32		
2,4	110	1600	76,5	0,185	0,148	54,5	4,2		
	220		77	0,74	0,486	202	16,7		
	440		76,5	2,82	1,64		62		
3,7	110	2200	79,5	0,104	0,059	54,5	2,4		
	220	2360	81	0,346	0,224	202	7,9		
	440	2120	80,5	1,38	1,0		32		
4,5	220	3150	81,5	0,185	0,148	54,5	4,2		
	440	3150	82	0,74	0,486	202	16,7		
2ПБ132ЛУХЛ4									
1,3	110	800	73	0,412	0,296	50	9,8	0,048	
	220	800	72	1,98	1,38	216	43		
1,9	110	1060	76	0,269	0,22	50	6,5		
	220	1060	76,5	1,08	0,915	216	26		
3,2	110	1600	82	0,12	0,089	50	2,9		
	220		82,5	0,518	0,323	216	11,6		
	440		82,5	2,02	1,67		46		
4,5	110	2360	84	0,055	0,039	50	1,3		
	220	2200	84	0,269	0,22	216	6,5		
	440	2360	85	0,88	0,64		21		
5,3	220	3000	85,5	0,167	0,124	50	4		
	440	3150	85,5	0,562	0,407	216	13,6		
2ПБ160МУХЛ4									
2,1	110	800	77	0,235	0,151	46,4	7,1	0,083	
	220	750	76,5	0,99	0,72	177	31		
2,5	110	1000	80,5	0,145	0,101	46,4	4,6		
	220	1000	80	0,59	0,43	177	18		
4,2	110	1500	83,5	0,081	0,056	46,4	2,6		
	220	1500	84,5	0,326	0,208	177	10		
	440	1600	85,5	0,99	0,72	201	31		
6	220	2120	86,5	0,145	0,101	177	4,5		
	440	2200	87	0,59	0,43	177	18		
7,1	220	3000	85,5	0,081	0,056	201	2,6		
	440	3000	86,5	0,326	0,208	201	10,2		

Таблица П.2. (Продолжение)

2ПБ160ЛУХЛ4								
2,5	110	750	78,5	0,171	0,131	49,4	6,3	0,1
	220	800	79,5	0,609	0,526	181	22	
	440	800	79	2,71	2,4		95	
3,2	110	1060	82	0,096	0,073	49,4	3,6	
	220		82,5	0,385	0,364	181	14	
	440		83	1,54	1,36		57	
5,3	220	1500	85,5	0,216	0,175	181	8	
	440	1500	86,5	0,816	0,6		29	
7,5	220	2240	88	0,096	0,073	181	3,6	
	440	2240	88	0,385	0,364		14	
8,1	220	3350	86,5	0,044	0,031	181	1,6	
	440	3000	88	0,216	0,175		8	
2ПБ180МУХЛ4								
3,4	110	800	80,5	0,121	0,071	40,9	4,2	0,2
	220		81	0,486	0,296	150	17	
	440		81,5	1,95	1,17		68	
4,5	110	1000	82,5	0,084	0,056	49,2	3,1	
	220	1000	83,5	0,338	0,221	177	12,5	
	440	950	84	1,5	0,825		54	
7,1	110	1500	86	0,038	0,025	49,2	1,4	
	220		86,5	0,15	0,092	177	5,5	
	440		86	0,688	0,482		25	
9,5	110	2120	87	0,022	0,015	49,2	0,78	
	220	2200	88	0,084	0,056	197	3,1	
	440	2200	88,5	0,338	0,221		12	
12	220	3350	87,5	0,038	0,025	197	1,4	
	440	3000	88,5	0,181	0,122		7	
2ПБ180ЛУХЛ4								
	110	750	81	0,094	0,067	34,7	3,7	0,23
	220		81,5	0,378	0,263	131	15	
	440		82	1,69	0,981		64	
3,2	110	1000	83,5	0,065	0,044	40,2	2,6	
	220		84	0,26	0,183	152	10,2	
	440		84,5	0,99	0,644	131	37	
4,5	110	1600	86,5	0,025	0,018	34,7	0,92	
	220	1600	87,5	0,094	0,067	131	3,7	
	440	1500	87,5	0,44	0,326		17	
5,3	220	2200	89	0,065	0,044	174	2,6	
	440	2200	89,5	0,26	0,183		10,2	
2ПБ200ЛУХЛ4								
3,2	110	800	83,5	0,055	0,037	37,1	2,4	0,3
	220		84,5	0,22	0,15	137	9,4	
	440		84,5	0,925	0,652		38	
5,3	220	950	87,5	0,125	0,08	137	5,3	
	440	1060	87	0,565	0,393		25	
7,5	220	1500	88,5	0,083	0,053	180	3,7	
	440	1500	89	0,286	0,168	137	12	
8,1	220	2360	89,5	0,031	0,02	137	1,3	
	440	2360	90	0,125	0,08		5,3	

Таблица П.3. Параметры магнитных пускателей и тепловых реле

Параметр	ПМЕ-000	ПМЕ-100	ПМЕ-200	ПАЕ-300	ПАЕ-400	ПАЕ-500	ПАЕ-600
$I_{н.н.л.}, A$	3	10	25	40	63	110	146
$I_{н.р.л.}, A$	30	100	280	400	630	1000	1500
Мощность катушки (номинальная), Вт	3.6	6	8	17	20	26	38
Тип теплового реле	ТРН-10А		ТРН-10		ТРН-25		
$I_{ном.т.}, A$	0,32;0,4;0,5;0,63;0,8; 1;1,25;1,6;2;2,5;3,2		0,5;0,63;0,8;1;1,25;1,6;2;2 5;3,2;4;5;6;3;8;10		5;6;3;8;10; 12,5;16;20;25		

Таблица П.4. Параметры автоматических выключателей

Тип	$U_{ном.л.}, B$	$I_{ном.в.с.ч.т.}, A$	Кратность тока отсечки
AK50-2МГ, AK50-2М	400	0,6; 0,8; 1; 1,6; 2,2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5	5; 10
AK50-3М, AK50-3М		15; 20; 25; 32; 40; 45; 50	
AK63-1МГ	440	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4	12
AK63-1М, AK63-2МГ		5,6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40;	1,3; 3; 12
AK63-2М		50; 63	3; 12
AK63-3М			12
AK63-3М			3; 12

Таблица П.5. Параметры тиристоров

Тип	$I_{ос.ср.}, A$	$U_{ж.п.}, B$	$U_{ока.п.}, B$
T112-10	10	100...1200	100...1200
T112-16	16		
T122-20	20		
T122-25	25		
T142-32	32		
T142-40	40	1300...2000	1300...2000
T142-50	50		
T152-63	63		
T152-80	80		
T151-100	100	300...1600	300...1600

Учебное издание

Составитель: Прокопеня Олег Николаевич

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к расчётно-графическим работам
по электрическим приводам
для специальности 36 01 03 01

Ответственный за выпуск: Клопоцкий А.В.

Редактор: Строкач Т.В.

Компьютерная вёрстка: Боровикова Е.А.

Корректор: Никитчик Е.В.

Технический редактор: Никитчик А.Д.

Подписано к печати 7.07.2004 г. Уч. изд. л. 1,5. Усл. п. л. 1,4. Бумага писчая. Тираж 120 экз.
Заказ № 628. Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.