

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА**

Кафедра «Электромеханика»

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Методические указания по выполнению курсового проекта
по дисциплине «Основы электропривода»
для студентов направления
640000 «Электроэнергетика и электротехника»
дневной и заочной форм обучения

Бишкек 2011

«ОДОБРЕНО»

Методическим советом
Энергетического факультета
Протокол № 2
от 16 ноября 2011 г.

«РЕКОМЕНДОВАНО»

на заседании кафедры
«Электромеханика»
Протокол № 4
от 15 ноября 2011 г.

УДК 621.313

Составитель БОЧКАРЕВ И. В.

Электроприводы постоянного и переменного тока. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Основы электропривода» для студентов направления 640000 «Электроэнергетика и электротехника» дневной и заочной форм обучения / КГТУ им. И.Раззакова; сост. И.В.Бочкарев. – Б.: ИЦ «Текник», 2011. - 32 с.

Изложены цели, содержание и практические рекомендации по выполнению отдельных этапов проекта, представлены необходимые справочные материалы для проектирования. Приведены основные требования к содержанию и оформлению пояснительной записки и графической части, порядок защиты готового проекта, а также список литературы, необходимый для выполнения проекта.

Предназначены для студентов специальности 551301.

Библиогр.: 7 назв.

Рецензент к.т.н., доц. В.Н. Цой.

Тех. редактор *Субанбердиева Н.Е.*

Подписано к печати 15.12.2011 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆. Бумага офс. Печать офс.

Объем 2 п.л. Тираж 50 экз. Заказ 34,2 с.

Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ «Текник» КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43

e-mail: beknur@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень механизации и автоматизации технологических процессов предполагает широкое использование высокоэффективного оборудования, способного работать в соответствии с заданными технологическими требованиями. Повышение требований к точности выполнения требуемых операций и повышению производительности работы этих устройств приводит к необходимости совершенствования, как их механической части, так и их приводов. При этом именно привод является основным структурным элементом, который влияет на конструкцию любого механизма, станка или электромеханического устройства и определяет их функциональные возможности, статические и динамические характеристики. Таким образом, технический уровень и эксплуатационные показатели автоматизированного оборудования однозначно определяются параметрами и характеристиками его привода, который является энергетической основой всех технологических и производственных процессов.

Электрический привод – это электромеханическая система, состоящая из электродвигателя и преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенных для передачи движения исполнительному органу и управления им в соответствии с заданными условиями движения. Расширение технологических возможностей производственного оборудования и повышение требований к качеству их работы ужесточило требования к эксплуатационным характеристикам всех элементов их электроприводов.

Основой любого электропривода является электродвигатель, от эксплуатационных свойств и характеристик которого в значительной степени зависят возможности электропривода.

Правильность выбора мощности и типа двигателя является очень важной. При неправильном выборе механизм может не выполнить своих функций. Так, выбор двигателя с мощностью меньше требуемой может привести к нарушениям в нормальной работе механизма. Кроме того, происходит перегрев двигателя, так как нагрузка значительно превышает допустимую. При этом падает производительность механизма, значительно уменьшается ресурс двигателя, возможность его работы в критических моментах и т.п. При выборе же слишком мощного двигателя неоправданно увеличиваются капитальные затраты, размеры и масса электропривода, резко увеличивается расход потребляемой энергии и снижается КПД, ухудшается коэффициент мощности $\cos\varphi$.

При выборе электродвигателя необходимо выбрать не только его мощность, но и его исполнение (по степени защиты, по способу охлаждения, по климатическому исполнению). Это необходимо делать с учетом назначения электропривода и условий, в которых он будет работать. От правильности выбора исполнения двигателя существенным образом зависит его работоспособность, надежность и срок службы.

При управлении движением исполнительных рабочих органов производственных механизмов и обеспечения требуемых режимов работы самого электропривода (ЭП) необходимо регулировать (или ограничивать) ряд переменных,

таких как скорость, ускорение и положение исполнительных органов, а также направление их движения, токи в обмотках и момент на валу двигателя и т.д. Эти переменные называются координатами. Например, при управлении пассажирским лифтом необходимо ограничивать ускорение и замедление кабины (для комфортности пассажиров), а перед остановкой кабины скорость необходимо снизить. Кроме того, кабина должна останавливаться на требуемом этаже, следовательно, надо обеспечить ее позиционирование. Все это обеспечивает ЭП лифта за счет регулирования его координат.

В электроприводе в качестве электродвигателя могут использоваться двигатели постоянного тока с различными типами возбуждения, и двигатели переменного тока - асинхронные и синхронные.

Для управления координатами электропривода (скорость, ток и момент) применяются различные способы, такие как изменение питающего напряжения по величине; введение регулирующих сопротивлений в силовой цепи электродвигателей; изменение магнитного потока, создаваемого в магнитной цепи электродвигателей и т. п.

Одним из самых распространённых и легко реализуемых способов регулирования скорости, тока и момента является введение добавочных сопротивлений в цепь обмотки возбуждения или якорную цепь для двигателей постоянного тока и в цепь обмотки ротора для асинхронных электродвигателей с фазным ротором.

Двигатели постоянного тока мощностью до 250 кВт обычно выполняются с принудительной вентиляцией, что обуславливает хороший отвод тепла во всём диапазоне скоростей. Кроме того, электропривод постоянного тока обеспечивает высокую жёсткость скоростных характеристик и постоянный момент во всём диапазоне скоростей. Поэтому основным применением двигателей постоянного тока является применение электропривода в транспорте, волоочильных станках, поршневых компрессорах, подъёмных механизмах и т. д.

Асинхронные электродвигатели мощностью до 250 кВт выполняются с самовентиляцией, что обуславливает плохой отвод тепла от ротора на низких скоростях. Максимальный момент, развиваемый асинхронным электродвигателем, уменьшается обратно пропорционально квадрату скорости. Основным недостатком асинхронного двигателя является зависимость его момента на валу от приложенного напряжения: момент прямо пропорционален квадрату напряжения. Даже незначительное уменьшение напряжения 15-20% приводит к заметному уменьшению перегрузочной способности двигателя. Типичной областью применения привода с асинхронным двигателем являются случаи с квадратичной зависимостью момента сопротивления механизмов от частоты. Как правило, это насосы, вентиляторы, турбовинтовые компрессоры и т. д.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Целью курсового проекта является расширение, углубление и закрепление знаний, полученных студентами на лекциях и лабораторных занятиях, а также приобретение навыков самостоятельной работы.

Содержание проекта включает следующие основные этапы проектирования: построение нагрузочной диаграммы механизма; выбор двигателя, проверка выбранного двигателя, расчет его естественных и искусственных характеристик, сопротивлений; выбор пусковых и тормозных реостатов; расчет и построение кривых переходных процессов; составление описания работы электропривода.

Приведенные практические рекомендации по выполнению задания на проектирование и требования к оформлению проекта обеспечат помощь студенту в его самостоятельной работе и позволят унифицировать требования к содержанию, объему и оформлению проекта.

Ниже приводится типовое задание с таблицей исходных заданных, методические указания по выполнению отдельных этапов проекта, требования к оформлению и защите, список литературы.

В типовое задание включено 27 задач, сгруппированных по трем разделам, в зависимости от вида рассматриваемого электродвигателя. Кроме того, задачи каждого раздела объединены определенной логикой рабочих режимов конкретного технологического механизма. В качестве исходных параметров заданы параметры, отражающие в пределах приемлемых допущений свойства реальных производственных машин и механизмов.

Объем полного задания велик, поэтому все задачи разбиты на две группы – А и Б. Для обеих групп следует считать обязательными первые две задачи в каждом разделе, а остальные разбить на нечетные (А) и четные (Б). В задачах группы Б уделяется большее внимание свойствам упругой электромеханической системы и анализу свойств электропривода по его динамической механической характеристике.

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ

1. Электропривод с двигателем постоянного тока параллельного возбуждения

1.1. Построить нагрузочную диаграмму двигателя механизма передвижения тележки мостового крана.

Известны следующие параметры механизма:

J_{Σ} - суммарный момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя (с учетом самого двигателя) при полной загрузке M_c ;

$J'_{\Sigma} = 0,2J_{\Sigma}$ - суммарный момент инерции механизма без груза $M'_c = 0,2 M_c$.

Цикл работы механизма состоит из двух операций: перемещение груза в одном направлении и перемещение пустого грузозахватывающего устройства – в обратном; каждая операция включает в себя режимы пуска, установившейся работы и торможения. Продолжительность включения двигателя в цикле составляет 50%. Время в паузах между операциями распределяется поровну.

Максимально допустимое ускорение электропривода в режиме торможения без груза не должно превышать $|\mathcal{E}_{\text{доп}}|$.

Во всех переходных режимах допустимый момент двигателя поддерживается на неизменном уровне, равном максимальному моменту, определенному из условий торможения без груза.

Время установившейся работы на естественной характеристике $t_{\text{уст}}$ с нагрузкой M_c равно времени пуска. Время установившейся работы с нагрузкой M'_c составляет $t_{\text{уст}} = 1,6 t_{\text{уст}}$.

1.2. По нагрузочной диаграмме (задача 1.1) выбрать двигатель постоянного тока параллельного возбуждения из серии машин длительного режима работы, имеющий рабочую угловую скорость ω_p .

1.3. Построить диаграмму пусковых механических характеристик электродвигателя для разгона на естественную характеристику. Определить параметры пусковых резисторов.

1.4. Определить пределы, в которых будет изменяться механическая характеристика в естественной схеме включения при колебаниях напряжения питания в пределах $\pm 20\%$.

1.5. Построить характеристику динамического торможения, обеспечивающую замедления с ускорениями не превышающими $|\mathcal{E}_{\text{доп}}|$. Определить параметры тормозного резистора.

1.6. Изобразить структурную схему двухмассовой системы механизма передвижения тележки. Приняв $J_1 = 1,5J_{\text{дв}}$; $J_2 = J_{\Sigma} - J_1$; $J'_2 = J'_{\Sigma} - J_1$ с учетом жесткости упругой связи C_{12} , определить частоты свободных колебаний механической системы Ω_{12} и Ω'_{12} при полной загрузке механизма и пустом грузозахватывающем устройстве. Построить соответствующие амплитуд-

но-частотные характеристики (АЧХ) при воздействии возмущения на вал механизма.

1.7. Получить выражения динамической механической характеристики и выражение динамической жесткости механической характеристики в естественной схеме включения. Определить динамический перепад угловой скорости, считая, что раскачивающийся с частотой Ω_{12} груз изменяет нагрузку двигателя в пределах $(0,5 \div 1,5) M_c$.

1.8. Определить и построить механические характеристики, обеспечивающие оптимальное демпфирование в двухмассовых системах, имеющих частоты свободных колебаний Ω_{12} ; Ω'_{12} .

1.9. Рассчитать и построить пусковые диаграммы $\omega(t)$ и $M(t)$ при реостатном ступенчатом пуске (задача 1.3) с учетом электромагнитных процессов на последней ступени, если $m - T_M/T_H < 4$. Считать механическую часть жестким звеном с суммарным моментом инерции J'_Σ , нагрузку принять равной M'_c .

1.10. Построить механическую характеристику разомкнутой системы электропривода при питании якорной цепи двигателя постоянного тока от управляемого преобразователя, имеющего ЭДС E_{Π} , внутреннее сопротивление r_{Π} . Оценить статическую точность регулирования скорости и диапазон регулирования по отношению к номинальной скорости.

1.11. Определить параметры компенсирующей положительной обратной связи по скорости при упреждающем токоограничении, обеспечивающей $M_{\text{макс}} = \text{const}$ без обратной связи по току.

1.12. В системе электропривода, замкнутой обратной связью по моменту, построить структурную схему и получить уравнение динамической механической характеристики. Определить задающий сигнал $U_{\text{з.м}}$ и коэффициент обратной связи по моменту $K_{\text{ом}}$, обеспечивающие стопорный момент $M_{\text{макс.доп}}$ при $\omega = 0$ и оптимальное демпфирование на частоте Ω'_{12} при безинерционном преобразователе, имеющем коэффициент усиления K_{Π} и максимальную ЭДС преобразователя $E_{\text{пм}}$. Построить соответствующую характеристику.

1.13. Построить структурную схему и получить уравнение динамической механической характеристики в системе ТП-Д, замкнутой обратной связью по скорости двигателя. Определить коэффициент обратной связи по скорости $K_{\text{ос}}$ и задающий сигнал $U_{\text{з.с}}$, если статическая механическая характеристика замкнутой системы проходит через точку M_H , ω_H и имеет жесткость в 10 раз большую, чем в разомкнутой системе.

Преобразователь считать инерционным звеном с коэффициентом усиления K_{Π} , постоянной времени $T_{\Pi} = 0,01$ с, внутренним сопротивлением r_{Π} .

1.14. Рассчитать и построить графики механических переходных процессов пуска $\omega_1(t); \omega_2(t); M_{12}(t)$ в двухмассовой электромеханической системы при питании двигателя от параметрического источника тока. Принять, что неизменный пусковой момент $M = M_H = const$ прикладывается скачком, механизм загружен моментом M'_c , суммарный момент инерции J'_Σ ; $J_1 = 1,5J_{дв}$; жесткость механизма C_{12} . Расчет произвести до достижения двигателем скорости ω_H .

1.15. Рассчитать и построить динамические характеристики $M(t); \omega(t)$ системы УП-Д в режимах пуска до ω_H и реверса при известных M_c, J_Σ , если задание на скорость изменяется по линейному закону $\omega_0(t) = \varepsilon t$.

Величину $|\varepsilon|$ выбрать из условия пуска $\varepsilon_{п} = \frac{M_{макс} - M_c}{J_\Sigma}$. При торможении $\varepsilon_r = -\varepsilon_{п}$. Характер нагрузки реактивный.

2. Электропривод с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения

2.1. Построить нагрузочную диаграмму механизма подъемной лебедки. Диаграмма имеет следующие параметры: цикл состоит из двух операций одинаковой длительности с нагрузками, приведенными к валу двигателя и равными $10M_c$ и $10M'_c$, длительность цикла не превышает 10 мин, продолжительность включения двигателя в цикле 30%.

2.2. По нагрузочной диаграмме (задача 2.1) выбрать двигатель последовательного возбуждения с естественным охлаждением, тихоходного исполнения с $\omega_p = 40 \dots 100$ 1/с.

2.3. Рассчитать и построить естественную механическую характеристику и диаграмму пусковых механических характеристик, определить параметры пусковых резисторов.

2.4. Построить механическую характеристику с шунтированием якоря, обеспечивающую при максимальном пусковом сопротивлении пониженную скорость $\omega_{0ш} = 0,1 \omega_H$.

2.5. Построить механические характеристики динамического торможения с самовозбуждением, позволяющие производить спуск груза (нагрузка $10 M_c$) со скоростью $\omega_p = -\omega_H$ и его посадку с пониженной скоростью $-0,2 \omega_H$.

2.6. Построить динамические характеристики $\omega(t), M(t)$ при переходе с работы на естественной характеристике на характеристику с шунтированием якоря. Электромагнитные процессы не учитывать, считать, что нагрузка равна $10M'_c$, механизм является жестким звеном с суммарным приведенным к валу двигателя моментом инерции $1,5J_{дв}$.

3. Электропривод с асинхронным двигателем

3.1. Производственный механизм приводится в движение асинхронным двигателем, работающим в кратковременном режиме. Время работы 2 мин. Максимальная нагрузка, приведенная к валу двигателя, равна M_C и прикладывается после разгона вхолостую. Рабочая угловая скорость двигателя $\omega_p = 70 \dots 100$ 1/с.

Выбрать двигатель с фазным ротором крановой или краново-металлургической серии.

3.2. Рассчитать и построить естественную механическую и электромеханическую характеристику.

3.3. Построить диаграмму пусковых механических характеристик электродвигателя для разгона на естественную характеристику. Определить параметры пусковых резисторов.

3.4. Получить выражение динамической механической характеристики для рабочего участка линеаризованной естественной механической характеристики. Определить динамический провал скорости при скачкообразном набросе нагрузки M_C .

3.5. Построить граничные механические характеристики при частотном регулировании с постоянной мощностью в диапазоне $3 \div 1$. Определить статическую точность поддержания скорости на характеристиках.

3.6. Построить граничные механические характеристики при частотном регулировании с постоянным моментом. Скорость регулируется в диапазоне $10 \div 1$. Определить статическую точность поддержания скорости на характеристиках в диапазоне моментов $0 \div M_H$.

Исходные данные для расчета приведены в приложении 1.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1.1 Характерной особенностью электроприводов инерционных механизмов циклического действия (к числу которых относится и механизм передвижения тележки крана) является значительная динамическая нагрузка двигателей в переходных процессах. Относительное время переходных процессов в цикле для этих механизмов также значительно. Поэтому при выборе электродвигателя по нагреву необходимо учитывать динамические нагрузки уже на этапе предварительного выбора. Уменьшение времени переходных процессов обычно ограничено допустимым ускорением (например, по условиям механической прочности). Так как реализация этого ограничения возлагается на привод, то максимальный момент электропривода в переходных процессах также должен быть ограничен.

Если принять, что все механические связи в ЭП являются абсолютно жесткими, то момент двигателя $M(t)$ определяется текущими значениями статического $M_C(t)$ и динамического $M_D(t) = J_\Sigma d\omega / dt$ моментов нагрузки:

$$M(t) = M_C(t) + M_D(t).$$

Зависимость $M(t)$ называется нагрузочной диаграммой двигателя. Она является базовой характеристикой, используемой при выборе мощности двигателя. Таким образом, для расчета нагрузочной диаграммы необходимо иметь величины $M_C(t)$ на каждом этапе работы, т.е. нагрузочную диаграмму механизма, а также зависимость изменения скорости двигателя $\omega(t)$, которая называется тахограммой ЭП. При проектировании ЭП зависимости $M_C(t)$ и $\omega(t)$ являются обычно заданными. Процедура построения нагрузочной диаграммы двигателя показана в [1].

Время разгона и торможения рабочего механизма на участках работы определяется по формуле:

$$t_i = \left| \frac{(\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}})}{\varepsilon_i} \right|,$$

где $\omega_{\text{нач(кон)}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{нач(кон)}}}{30}$ – начальное и конечное значения угловой скорости двигателя на данном участке;

$\varepsilon_i = i \cdot \varepsilon_{\text{р.м}} \quad i \cdot \frac{20}{D_\sigma}$ – угловое ускорение (замедление) двигателя на i -ом участке диаграммы.

Пример тахограммы электропривода показан на рис. 1.

Полное время работы будет складываться из суммарного времени работы и времени паузы:

$$t_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^i t_i + t_0.$$

Если момент статического сопротивления изменяется во времени по линейному закону, то его значение в j -ой точке диаграммы будет равно

$$M_{c_j} = M_{c.\text{нач}} + \frac{M_{c.\text{кон}} - M_{c.\text{нач}}}{t_{\text{ц}} - t_0} \cdot \sum_{i=1}^{j-1} t_i.$$

Значение требуемого момента на валу двигателя в i -ой точке диаграммы определяют из уравнения движения, в котором все величины приведены к валу двигателя:

$$M_i = M_{c_j} + \mathfrak{Z} \cdot \varepsilon_i.$$

Пример нагрузочной диаграммы представлен на рис. 1.

В приводе с двигателем независимого возбуждения ток якоря (ротора) определяется по формуле:

$$I_i = I_{\text{ном}} \cdot \frac{M_i}{M_{\text{ном}}}.$$

Пример диаграммы токов представлен на рис. 1.

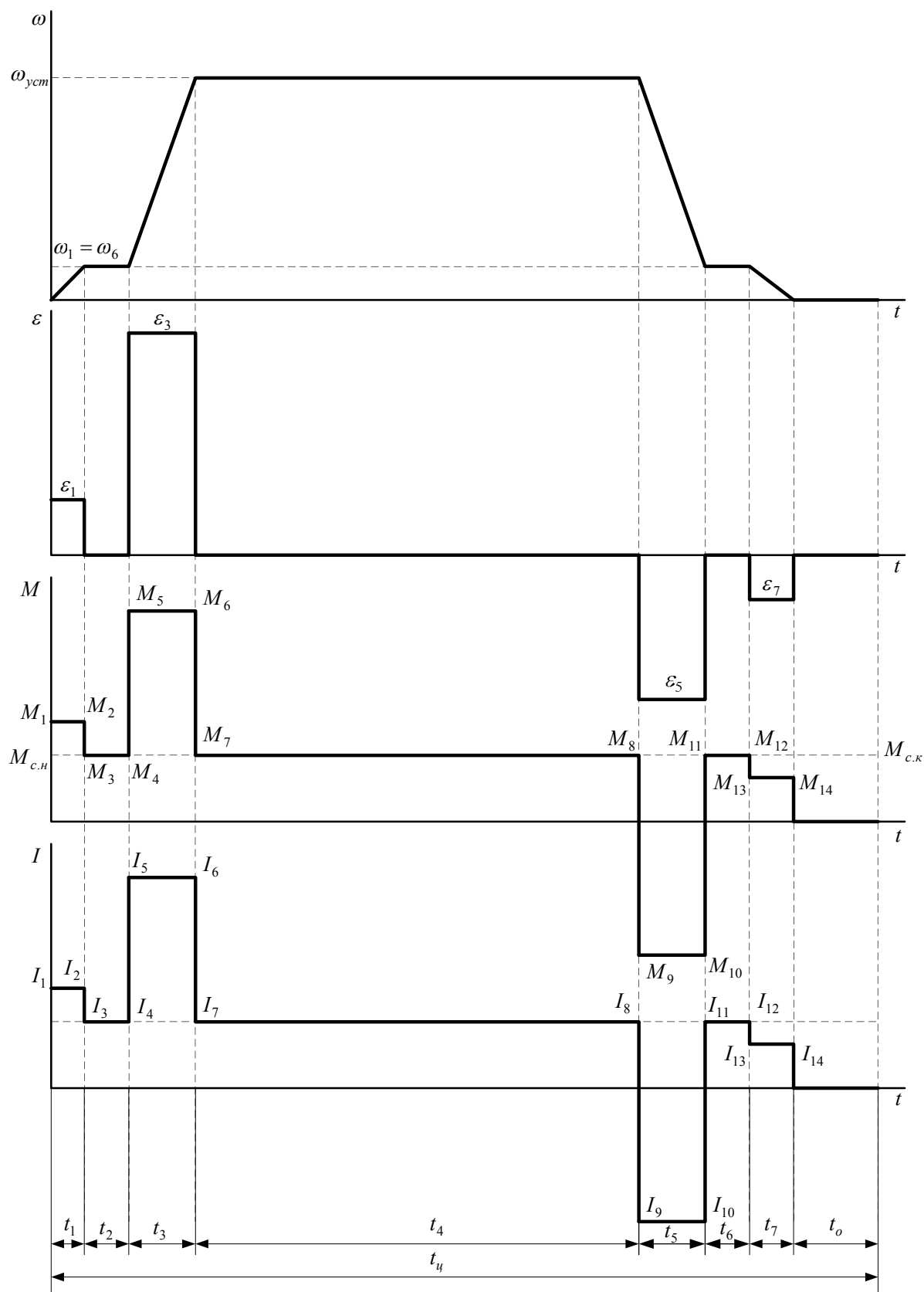


Рис. 1. Тахограмма и нагрузочная диаграмма электропривода

Построенные нагрузочные диаграммы позволяют обосновать и выбрать

режим работы двигателя на каждом участке. Если в период замедления момент положительный, то применяют торможение в двигательном режиме, если отрицательный – динамическое торможение.

Перед проверкой правильности выбора электродвигателя необходимо определить тепловой режим его работы:

$$ПВ\% = \frac{\sum_{i=1}^i t_i}{t_u} \cdot 100\%.$$

Если $ПВ \geq 60\%$, то двигатель проверяют как для длительного режима. Если $ПВ \leq 60\%$, то двигатель выбирают и проверяют как для повторно-кратковременного режима. Если $ПВ \leq 10\%$ - двигатель выбирают для кратковременного режима.

1.2. Для правильного выбора электродвигателя необходимо оценить его тепловое состояние в процессе работы. Очевидно, что при работе в циклическом режиме с переменной нагрузкой на каждом цикле потери ΔP в двигателе являются также переменными и изменение температуры обмоток двигателя определяется зависимостью $\Delta P(t)$. На практике довольно часты случаи, когда номинальные режимы имеющихся в наличии двигателей не соответствуют требуемому номинальному режиму механизма. Так в данном задании для кранового механизма предлагается выбрать двигатель продолжительного режима. В этом случае не следует забывать об ухудшении теплоотдачи двигателя с самоventилиацией в переходных режимах и во время пауз.

Эквивалентный по нагреву момент можно рассчитать по методике, изложенной в [1] в разделе 14-5, где подробно показана вся процедура расчета методом эквивалентного момента.

По среднему значению приведенного к валу двигателя статического момента сопротивления определяют требуемую (расчетную) мощность электродвигателя:

$$P_{расч} = \kappa_3 \cdot M_{эkv} \cdot \omega_{dv},$$

где $\kappa_3 = 1,1 \div 1,4$ – коэффициент запаса, большее значение которого принимается при больших значениях динамического момента.

По заданной частоте вращения $n_{уст}$ и расчетной мощности $P_{расч}$ по каталогу [2, 3, 4] выбирают двигатель с параметрами удовлетворяющими следующим условиям: $P_{ном} \geq P_{расч}$; $n_{ном} \approx n_{уст}$. В приложении 2 приведены технические данные двигателей серии 4П.

Из каталога выписывают все необходимые данные принятого двигателя, включая момент инерции двигателя J_{dv} или маховый момент двигателя GD^2 . Значения сопротивления якоря двигателя определяются на основании номинальных (паспортных) данных электродвигателей. Необходимо убедиться в том, что максимально допустимый момент по заданию меньше максимально допустимого момента для данного двигателя по условиям коммутации.

1.3. Основой расчета является уравнение механической характеристики двигателя. Для построения естественной характеристики необходимо знать координаты двух точек: № 1 – $(M_{ном}; \omega_{ном})$ и № 2 – $(0; \omega_0)$. Значения $M_{ном}$, $\omega_{ном}$ определяют по паспортным данным двигателя.

Угловая скорость идеального холостого хода двигателя:

$$\omega_0 = \frac{U_{ном}}{k\Phi_{ном}},$$

где $k\Phi_{ном}$ – постоянная электродвигателя, которую определяют по паспортным данным

$$k\Phi_{ном} = \left(\frac{M_{ном}}{I_{ном}} \right).$$

Сопротивление якоря определяют по формуле:

$$R_{я} = \frac{(\omega_0 - \omega_{ном}) \cdot k\Phi_{ном}}{I_{ном}}.$$

Если каталожные данные отсутствуют, то сопротивление якоря определяют приближенно:

$$R_{я} = 0,5 \cdot R_{ном} \cdot (1 - \eta_{ном}),$$

где $R_{ном} = U_{ном} / I_{ном}$ – номинальное сопротивление двигателя.

Если двигатель успевает во время работы нагреться, то значения его сопротивлений, приведенные в каталоге при $20^{\circ}C$, необходимо умножить на коэффициент 1,22.

Учитывая линейность механических характеристик $\omega(M)$, требуемую пусковую диаграмму строят следующим образом [1]. На графике строят естественную характеристику $\omega(M)$ и характеристику $M_c(\omega)$. Для обеспечения заданного ускорения системы на этом же графике откладывают требуемые пусковые моменты. Значения моментов $M_1 \div M_6$ и соответствующие им угловые скорости $\omega_1 \div \omega_6$ берут из тахограммы и диаграммы моментов (см. рис. 1). Заданные значения ускорения привода на соответствующих участках обеспечиваются работой двигателя на искусственных характеристиках.

Расчет задания можно выполнять графически (пример 2-3 на стр. 50 [4]) или аналитически (пример 2-4 на стр.55 [4]).

Построение пусковой характеристики на участке диаграммы $M_1 - M_2$ производят следующим образом (см. рис. 2). Для обеспечения среднего ускорения, равного заданному ε_1 , через середину отрезка M_1M_2 и точку ω_0 проводим прямую – искусственную характеристику, соответствующую сопротивлению цепи якоря $R_{н1}$:

$$R_{н1} = \Delta v_{н3} \cdot R_{ном},$$

где $\Delta v_{н3} = \Delta \omega_{н3} / \omega_0$ – относительный перепад скорости при номинальном моменте с сопротивлением цепи якоря R_3 ; $R_{ном}$ – номинальное сопротивление двигателя.

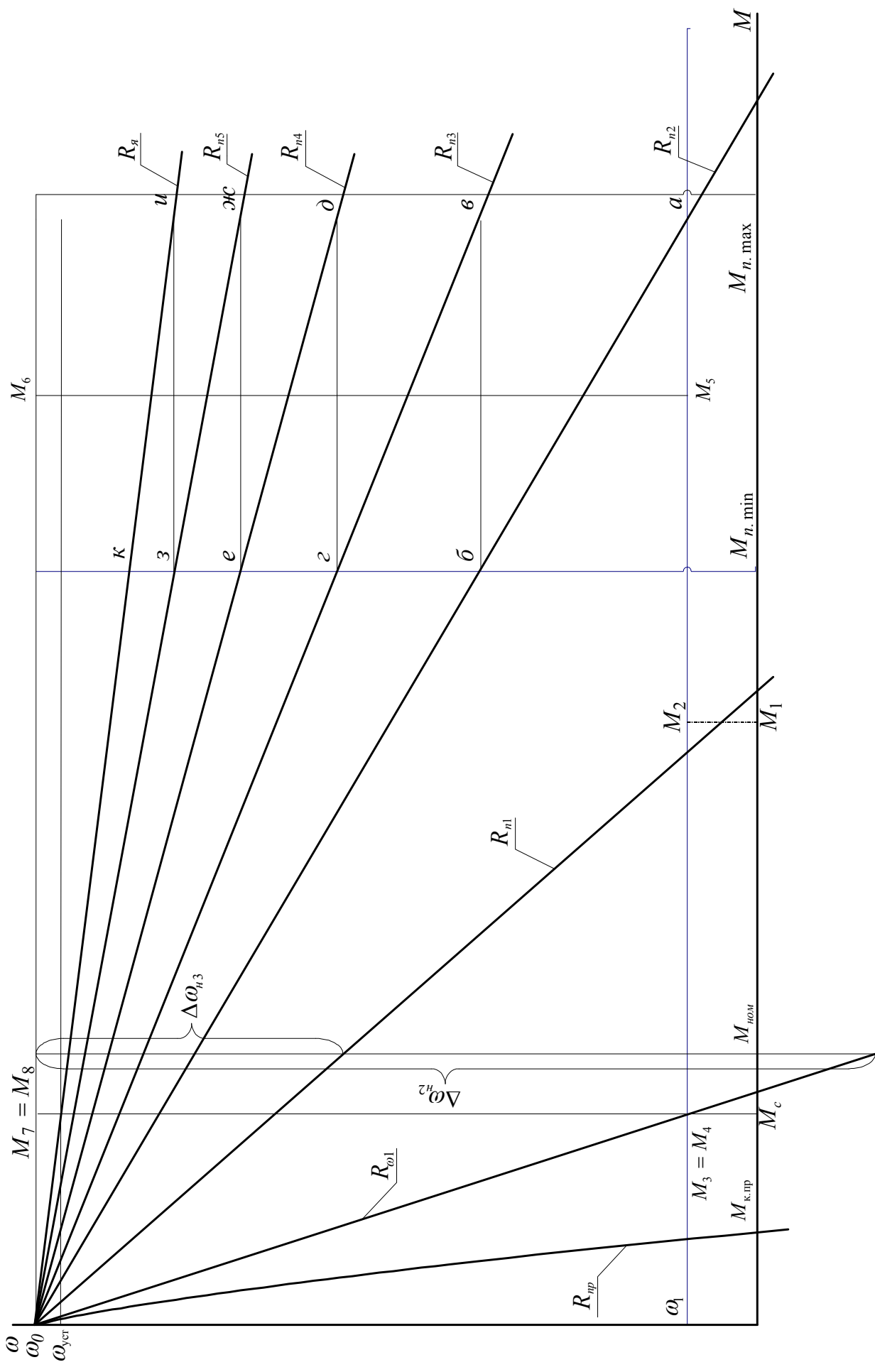


Рис. 2. Построение пусковой диаграммы двигателя постоянного тока

Для обеспечения работы привода с постоянной скоростью ω_1 на участке диаграммы $M_3 - M_4$ через точку ω_0 и точку пересечения значения момента $M_{c.сп}$ и скорости ω_1 проводим прямую – искусственную характеристику, соответствующую сопротивлению цепи якоря $R_{\omega 1}$ (рис. 2):

$$R_{\omega 1} = \Delta v_{n2} \cdot R_{ном}.$$

На участке диаграммы $M_5 - M_6$ для обеспечения заданного ускорения параллельно отрезку $M_5 M_6$ проводят симметрично линии минимального $M_{n.min}$ и максимального $M_{n.max}$ пусковых моментов от скорости ω_1 до горизонтали $\omega_0 = const$.

Для упрощения расчета допускается линии максимального и минимального моментов переключения провести параллельно линии, проходящей вертикально через $M_{n.сп}$: $M_{n.min} = (0,7...0,95) \cdot M_5$; $M_{n.max} = (1,3...1,5) \cdot M_5$.

Через точку *a* ($M_{i.max}; \omega_1$) и ω_0 проводят прямую, соответствующую искусственной характеристике с сопротивлением R_{n2} ; из точки *b* (пересечение характеристики R_{n2} с линией $M_{n.min}$) – горизонталь до линии $M_{n.max}$ и определяют точку *в*. Через точки *в* и ω_0 проводят прямую, соответствующую искусственной характеристике с сопротивлением R_{n3} ; из точки *г* (пересечение характеристики R_{n3} с $M_{n.min}$) – горизонталь до линии $M_{n.max}$ и определяют точку *д* и т. д. (рис. 2).

Пусковую реостатную диаграмму строят до тех пор, пока соответствующая горизонталь не пересечет естественную характеристику. При этом желательно, чтобы точка пересечения горизонтали с естественной характеристикой совпадала с точкой пересечения линии $M_{n.max}$ с естественной характеристикой (точка *e* на рис. 2). В противном случае необходимо несколько изменить пределы $M_{n.min}$ и $M_{n.max}$ и повторить построение. Значения сопротивлений цепи якоря, соответствующие пусковым ступеням:

$$R_{n2} = R_{ном} \cdot \frac{\Delta \omega_{н4}}{\omega_0} = R_{ном} \cdot \Delta v_{н4}; \quad R_{n3} = R_{ном} \cdot \frac{\Delta \omega_{н5}}{\omega_0} = R_{ном} \cdot \Delta v_{н5};$$

$$R_{n4} = R_{ном} \cdot \frac{\Delta \omega_{н6}}{\omega_0} = R_{ном} \cdot \Delta v_{н6}; \quad R_{n5} = R_{ном} \cdot \frac{\Delta \omega_{н7}}{\omega_0} = R_{ном} \cdot \Delta v_{н7}.$$

Сопротивление якоря определим по формуле:

$$R_{я} = R_{ном} \cdot \frac{\Delta \omega_{н}}{\omega_0}.$$

1.4. Исходя из схемы включения видно, что для двигателя параллельного возбуждения при колебаниях напряжения питания изменяется не только напряжение питания якорной цепи, но в такой же степени и ток возбуждения, а поток – в меньшей степени (в соответствии с универсальной кривой намагничивания для двигателей различных типов, приведенной на рис.2-14 [4]). Расчет может быть произведен на базе уравнения (2-9) из [6].

1.5. Из уравнения движения привода (1-17) из [6] при минимальном моменте статической нагрузки M'_c , минимальном моменте инерции J'_Σ и максимально допустимом отрицательном ускорении необходимо определить максимальный тормозной момент двигателя. Он соответствует начальной скорости торможения ω_p . Дальнейший расчет производится по выражению (2-32) [6].

1.6. Структурная схема двухмассовой упругой системы без учета естественного демпфирования представлена на рис. 1-16 [1]. Частота свободных колебаний может быть рассчитана по формуле (1-42) [1]. Передаточная функция механизма, необходимая для построения АЧХ, имеет вид (1-46) [1].

1.7. В динамике изменение угловой скорости двигателя при изменении нагрузки может оказаться значительно большим, чем в статике. Виной тому электромагнитная инерция двигателя, которая учитывается уравнением динамической механической характеристики (3-5) или (3-26) [1]. Величина перепада скорости при известном отклонении момента от среднего значения может быть определена по выражению АЧХ динамической жесткости механической характеристики (3-29) [1]. Необходимая при определении электромагнитной постоянной времени индуктивность якорной цепи, в Гн, может быть определена по формуле Уманского-Линвиля (стр.117 [1]).

1.8. При низких частотах собственных колебаний двухмассовой системы, собственных раскачивающимся грузам, оптимальная жесткость механической характеристики невелика и обеспечивается введением большого добавочного резистора в якорную цепь. В этих условиях электромагнитной инерцией можно пренебречь и решить задачу с использованием выражения (4-70) [1].

1.9. Основой расчета являются формулы (5-9) и (5-10) из [1], которые представляют собой решения уравнения движения при линейной зависимости электромагнитного момента двигателя от его скорости. Значительное облегчение при построении диаграмм дает использование свойств экспоненты (рис.8-2, [6]) и методика построения, показанная на рис.8.3 [6].

Увеличение жесткости механической характеристики приводит к пропорциональному уменьшению механической постоянной времени. На естественной характеристике может оказаться, что $T_m/T_y < 4$, тогда переходной процесс на последней ступени носит колебательный характер и рассчитывается по выражениям (5-23) и (5-27) [1].

1.10. В разомкнутой системе УП-Д скорость идеального холостого хода определяется электродвижущей силой преобразователя, жесткость характеристики – суммарным сопротивлением якорной цепи двигателя и преобразователя. В основе расчета лежит уравнение механической характеристики вида (2-9) [6]. Обмотка возбуждения двигателя в системе УП-Д питается от постороннего источника. Относительная ошибка регулирования может быть определена по формуле (8-2) [1], диапазон регулирования – по (8-3) [1].

Диапазон изменения нагрузок принять от 0 до 2 Мн.

1.11. В системе УП-Д возможно формирование абсолютно мягких статических характеристик за счет использования только положительной связи по скорости. Сигнал задания на момент можно определить с помощью выражения (7-

31) [1], а коэффициент обратной связи по (7-30) [1] для абсолютно мягкой механической характеристики.

1.12. В соответствии с (7-33) [1] при безинерционном преобразователе динамическая жесткость механической характеристики такая же, как и в разомкнутой системе при реостатном регулировании. Поэтому оптимальное значение жесткости принимается на основании решения задачи 1.8. С помощью (7-26) [1] определяется коэффициент обратной связи по току (моменту), а затем и задание на момент. При построении характеристики необходимо помнить, что система ограничивает момент лишь до тех пор, пока преобразователь не войдет в зону насыщения.

1.13. При известной требуемой статической жесткости механической характеристики коэффициент обратной связи по скорости определяется по выражению (8-18) [1]. Затем при известных координатах электропривода по этому же выражению находится сигнал задания на скорость.

1.14. Если в системе электропривода с упругой механической связью естественное демпфирование пренебрежимо мало, то в динамических режимах, протекающих под действием неизменного по величине момента двигателя, устанавливаются незатухающие колебания скоростей первой и второй масс и нагрузки в упругом элементе. Динамика этих параметров описывается уравнениями (1-75), (1-76), (1-89) [1].

1.15. Необходимо обратить внимание на соотношение постоянных времени. Если $T_m/T_j < 2$, то переходные процессы для момента и скорости будут носить колебательный характер. При реактивной нагрузке в начальный момент пуска до тех пор, пока момент двигателя меньше момента статической нагрузки – двигатель неподвижен, аналогичное положение может сложиться и при реверсе в зоне малых ЭДС преобразователь. В такой системе все участки равноускоренного движения обусловлены динамическим моментом пропорциональным скорости изменения ЭДС холостого хода преобразователя. Окончание процессов пуска и реверса характеризуется экспоненциальным изменением момента и скорости. Соответствующие пояснения и уравнения динамики привода приведены в параграфе 5-2 [1].

2.1. Механизм подъемной лебедки крана является малоинерционным механизмом. При построении нагрузочной диаграммы динамические нагрузки привода не учитываются, так как из-за малой длительности практически не оказывают влияния на нагрев двигателя. Учитываются только статические нагрузки механизма (такую диаграмму называют нагрузочной диаграммой механизма). Время пауз можно распределить равномерно между рабочими операциями.

2.2. Полученная нагрузочная диаграмма свидетельствует о необходимости выбора двигателя из серии машин повторно-кратковременного режима работы. Для выбора двигателя можно воспользоваться примером 2-1 на стр.51 [5]. Находится среднеквадратичный момент нагрузки при действительной продолжительности включения (при этом учитывается только время работы двигателя). Затем этот момент пересчитывается на среднеквадратичный момент при ближайшей номинальной продолжительности включения. После чего для заданной

рабочей скорости с некоторым запасом выбирается требуемая мощность двигателя. Двигатель можно выбрать по каталогу в приложении 5 [4].

2.3. Естественную механическую характеристику можно получить, пересчитав универсальные зависимости, приведенные на рис.2-41 [4], на абсолютные значения. Для этого надо заменить единицу по обеим осям координат на номинальное значение для данного двигателя. Расчет пусковых резисторов и реостатных характеристик можно произвести либо по методике, описанной в параграфе 2-14 [4], либо по методике, показанной на рис.4-5 [6].

2.4. При шунтировании обмотки якоря падение напряжения на шунтирующем резисторе равно ЭДС якоря двигателя, а ток возбуждения I_B равен потребляемому току I_C . Тогда можно записать

$$k \cdot \Phi(I_B) \cdot \omega_0 = U_C - I_B \cdot R'_n.$$

Отсюда зависимость потока от тока возбуждения

$$\Phi(I_B) = \frac{U_C - I_B \cdot R'}{k \cdot \omega_0}.$$

Полученное уравнение можно решить графически, если на зависимости кривой намагничивания (рис.2-42 [4]) нанести прямую, соответствующую правой части уравнения. Точка пересечения определит значение тока возбуждения I_B при заданной скорости холостого хода. Так как в режиме холостого хода ток по якорю практически не протекает, то определение величины шунтирующего резистора при известном токе возбуждения затруднений не вызывает. Для определения каждой точки электромеханической и механической характеристик используется следующая последовательность расчета: задаются ток возбуждения и находят напряжение на зажимах якоря, определяют ток в шунтирующей цепи, определяют ток якоря, находят ЭДС якоря, с помощью кривой намагничивания при данном токе возбуждения определяют поток и угловую скорость, при известном потоке и токе якоря определяют электромагнитный момент двигателя.

2.5. Для построения механических характеристик можно воспользоваться методикой, приведенной на стр.76-77 [6], приняв вместо $\omega_{нач}$ заданные в задании значения ω_n и $0,2 \omega_n$. Прежде всего необходимо построить зависимость $E(\omega_{зад})$, определить на ней подбором в соответствии с уравнением $M \cdot \omega_{зад} = E \cdot I_a$ значения ЭДС и тока, выявить требуемое значение суммарного сопротивления якорной цепи и добавочного резистора. Затем по методу, проиллюстрированному на рис.2-24 [6], построить электромеханические характеристики и пересчитать их на механические.

2.6. Торможение осуществляется по ярко выраженной нелинейной характеристике (рис.8-7,б [1]). В подобных случаях, если не учитываются электромагнитные переходные процессы, при расчете переходных процессов можно пользоваться методом конечных приращений (стр.245 [1]). Следует помнить, что при торможении как момент статической нагрузки, так и момент двигателя могут оказаться отрицательными, отрицательным является и динамический

момент, представляющий собой их сумму. Приращение скорости при торможении также имеет отрицательный знак.

3.1. По условию задачи время работы двигателя во много раз меньше, чем минимальная возможная постоянная времени нагрева. В этом случае двигатель по нагреву полностью использован быть не может (стр.599 [1]) и выбирается только по условию допустимой механической перегрузки. Так как пуск производится вхолостую, то достаточно, чтобы максимальный момент двигателя с учетом возможной просадки напряжения на 10% оказался больше, чем момент статической нагрузки M_c . Двигатель можно выбрать по приложению 3 или по каталогам (например, в приложения 8 или 9 из [4]).

3.2. Прежде всего необходимо привести параметры ротора к цепи статора (стр.187 [4]). Расчет характеристик можно выполнить по формулам (3-56) и (3-59) [1], полученным из Г-образной схемы замещения АД. При построении характеристик желательно откладывать по оси ординат не скольжение, а угловую скорость.

3.3. Расчет пусковой характеристики для асинхронного двигателя с фазным ротором производится следующим образом. Так как при большом сопротивлении в цепи ротора механические характеристики асинхронного двигателя на рабочем участке практически линейны, то построение и определение сопротивления ступени R_{n2} производят аналогично ДПТ, используя выражение:

$$R_{n2} = R_{p.ном} \cdot s_{н3},$$

где $R_{p.ном} = \frac{U_{p.ном}}{\sqrt{3} \cdot I_{p.ном}}$ – номинальное сопротивление ротора, Ом; $s_{н3}$ – сколь-

жение при номинальном моменте на характеристике с сопротивлением R_{n2} .

Расчет пусковой диаграммы на участке диаграммы $M_5 - M_6$ (см. рис.3) проводят следующим способом. В случае незначительного и линейного изменения M_c за данный период пуска (несколько процентов от начального) для обеспечения заданного постоянного ускорения параллельно отрезку $M_{n.cp}$ проводят линии минимального $M_{n.min}$ и максимального $M_{n.max}$ пусковых моментов переключения до горизонтали $\omega_0 = const$.

Значения минимального и максимального пусковых моментов определим по выражениям:

$$M_{n.min} = (0,7 \dots 0,95) \cdot M_{n.cp}; \quad M_{n.max} = (1,3 \dots 1,5) \cdot M_{n.cp}.$$

Через точки a, a' , соответствующие пересечению естественной характеристики с линиями моментов $M_{n.min}$ и $M_{n.max}$, проводят линию до пересечения с горизонталью $\omega_0 = const$.

Через полученную точку o_1 пересечения проводят луч o_1d . Пересечение с линией $M_{n.min}$ – точка d' . Из точки d' проводят горизонталь до пересечения с линией $M_{n.max}$ (точка a) и через эту точку луч $-o_1z$. Пересечение o_1z с линией $M_{n.min}$ – точка z' и т. д.

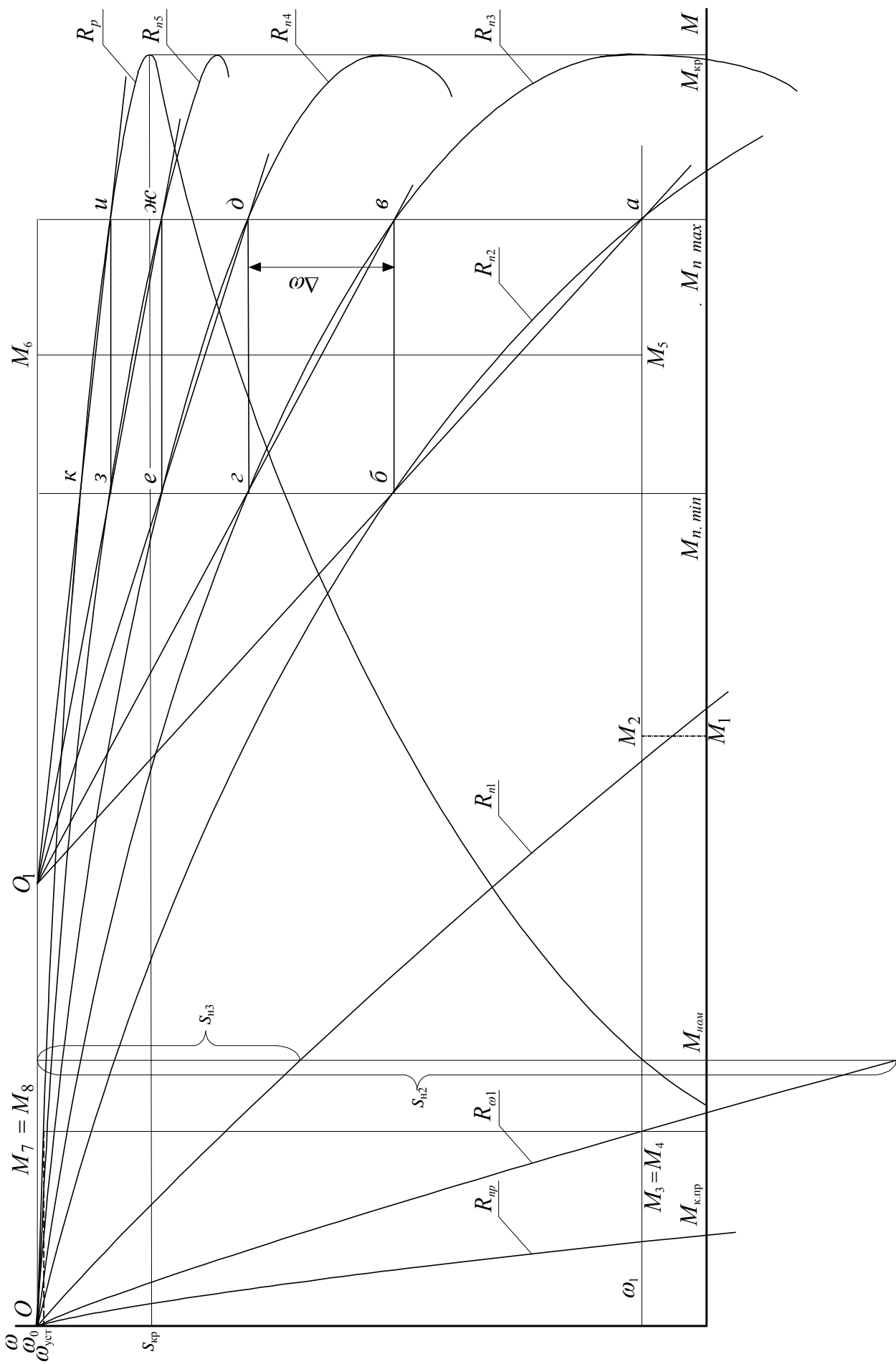


Рис. 3. Построение пусковой диаграммы асинхронного двигателя

Построение проводят до тех пор, пока горизонталь не пересечет естественную характеристику при моменте $M_{n.\max}$ (точка **a**). В противном случае необходимо симметрично изменить пределы $M_{n.\min}$ и $M_{n.\max}$ и повторить построение.

Сопротивления цепи ротора, соответствующие пусковым ступеням, определяются методом пропорций:

$$R_{n2} = R_p \cdot \frac{o\partial}{oa}; R_{n3} = R_p \cdot \frac{o\zeta}{oa}; R_{n4} = R_p \cdot \frac{o\vartheta}{oa}; R_{n5} = R_p \cdot \frac{o\delta}{oa},$$

где $R_p = R_{p.\text{ном}} \cdot s_{\text{ном}}$ – сопротивление ротора, Ом.

3.4. Уравнение динамической механической характеристики можно представить в виде (3.74) [1]:

$$(T_\varepsilon p + 1)\Delta M = -\frac{2M_\kappa}{\omega_0 s_\kappa} \Delta \omega,$$

где $T_\varepsilon = 1/\omega_{0.\text{эл.}} \cdot s_{\text{кр}}$ – электромагнитная постоянная времени; $p = d/dt$; s_κ , M_κ – критическое скольжение и критический момент. Динамический провал скорости при скачкообразном набросе нагрузки можно определить с помощью выражения (5-28) [1].

3.5. Регулирование с постоянной мощностью обеспечивается увеличением частоты при напряжении $U_1 = \sqrt{f_1}$. Расчет механической характеристики можно выполнить по формуле (3-59) [1], но необходимо помнить, что синхронная скорость и индуктивные сопротивления обмоток пропорциональны частоте. Статическую точность определять в диапазоне моментов, не превышающих номинальных по условиям нагрева.

3.6. Регулирование с постоянным моментом обеспечивается снижением частоты и пропорциональным снижением напряжения. Расчет характеристик выполняется также как и в задаче 3.5. По мере снижения частоты увеличивается относительное падение напряжения на активном сопротивлении статора, что приводит к уменьшению критических моментов на характеристиках.

Для того, чтобы обеспечить неизменным критический момент при регулировании, напряжение нужно снижать в меньшей степени, чем частоту. Значение напряжения обеспечивающие такой же критический момент, как и на естественной характеристике, может быть найдено на основании напряжения (3-61) [1], в котором синхронная скорость и реактивное сопротивление пропорциональны частоте.

Оформление курсового проекта

Курсовой проект оформляется в виде пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка представляет собой сброшюрованную папку объемом 30-35 страниц текста с форматом листов 297 x 210 мм. Допускается оформление записки на компьютере. Записка должна иметь титульный лист;

заполненный бланк задания на курсовое проектирование, подписанный руководителем проекта; содержание; основной текст с иллюстрационным материалом и список используемой литературы. В тексте пояснительной записки приводятся все материалы, связанные с расчетами и выбором электрооборудования, необходимые иллюстрации в виде схем и графиков. В конце записки помещается список используемой литературы, в который включаются литературные источники, использованные автором при курсовом проектировании. Ссылка на литературу в тексте дается в квадратных скобках: [3].

Записка выполняется в соответствии с правилами выполнения текстовой конструкторской документации. Формы, размеры, содержание, порядок заполнения основных надписей и дополнительных граф к ним устанавливает ГОСТ 2.104-68 «ЕСКД. Основные надписи».

Содержание записки должно быть разделено на разделы, подразделы и, при необходимости, пункты и подпункты. Порядковые номера разделов, подразделов, пунктов и подпунктов обозначаются арабскими цифрами.

Записка выполняется со сквозной нумерацией страниц, начиная с титульного листа. На титульном листе и листе с заданием номера страниц не ставятся. Номера страниц располагаются по центру страницы снизу.

Все расчеты в проекте выполняются в системе единиц СИ. Сначала записывается формула в общем виде, затем подставляются численные значения и указывается окончательный результат с соответствующей размерностью. При необходимости дается расшифровка буквенных обозначений в формуле.

Результаты расчетов для удобства могут сводиться в таблицы, которые располагаются по тексту записки. На каждую таблицу в тексте необходимо давать ссылку.

Текст записки должен сопровождаться иллюстративным материалом в виде графиков, схем, которые выполняются на миллиметровой бумаге. Рисунки нужно давать с подрисуночной подписью.

Графическая часть проекта выполняется на одном – двух листах формата А1 в карандаше (допускается изображение характеристик в цвете) или на плоттере. На чертежных листах приводится: кинематическая схема привода, нагрузочные диаграммы, пусковые и тормозные диаграммы, графики переходных процессов при пуске и торможении электропривода. Схемы и графики на листах должны иметь названия, а листы – основную надпись (штамп).

Защита курсового проекта

При защите студентом делается доклад по содержанию проекта, на который отводится время, не превышающее 10 минут. В докладе необходимо отразить общее задание, задание по разделам, конкретное задание по задачам, методику расчета, основные допущения, результат.

После доклада студент отвечает на вопросы, относящиеся непосредственно к проекту и к разделам теоретического курса, которые в той или иной степени затрагиваются при выполнении проекта.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1.

Исходные параметры к расчету

№ п/п	J_{Σ} Нмс ²	M_c Нм	$ \varepsilon_{\text{доп}} $ $1/c^2$	ω_p 1/с	C_{12} Нм	$r_{\text{п}}$ Ом	$E_{\text{п}}$ В	$E_{\text{пм}}$ В	$K_{\text{п}}$
1.	0,125	1,42	124	157	0,064	5,0	120	230	11,5
2.	0,15	1,42	104	105	0,077	4,0	95	230	11,5
3.	0,15	2,14	156	157	0,077	4,0	95	230	11,5
4.	0,42	1,8	47	79	0,21	2,0	75	230	11,5
5.	0,42	2,14	56	105	0,21	2,0	75	230	11,5
6.	0,42	3,33	87	157	0,21	2,0	80	230	11,5
7.	0,52	2,8	59	79	0,27	1,0	65	342	17,1
8.	0,52	3,2	67	105	0,27	1,0	65	342	17,1
9.	0,52	4,75	100	157	0,27	1,0	65	342	17,1
10.	0,9	4,25	51	79	0,46	0,6	65	342	17,1
11.	0,9	4,9	59	105	0,46	0,6	55	342	17,1
12.	0,9	7,14	87	157	0,46	0,6	55	342	17,1
13.	1,16	6,6	62	79	0,6	0,5	50	257	12,82
14.	1,16	7,14	67	105	0,6	0,5	45	257	12,85
15.	1,16	10,5	99	157	0,6	0,5	45	257	12,85
16.	1,5	9,5	69	79	0,77	0,45	85	257	12,85
17.	1,5	10,7	78	105	0,77	0,45	65	257	12,85
18.	1,5	15,2	111	157	0,77	0,45	55	257	12,85
19.	1,8	14,2	86	79	0,92	0,4	66	297	14,85
20.	1,8	15,7	95	105	0,92	0,4	60	297	14,85
21.	1,8	21,5	130	157	0,92	0,4	60	297	14,85
22.	3,5	20,8	65	79	1,8	0,3	65	297	14,85
23.	3,5	22,8	71	105	1,8	0,3	50	297	14,85
24.	3,5	28,5	89	157	1,8	0,3	55	297	14,85
25.	4,0	30,3	83	79	2,1	0,25	55	513	25,65
26.	4,0	32,1	88	105	2,1	0,25	45	513	25,65
27.	4,0	38,0	104	57	2,1	0,25	45	513	25,65
28.	5,6	42,7	83	79	2,9	0,2	55	513	25,65
29.	5,6	42,8	84	105	2,9	0,2	45	513	25,65
30.	5,6	52,3	102	157	2,9	0,2	50	513	25,65

МАШИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА СЕРИИ 4П

Электрические машины постоянного тока серии 4П предназначены для привода механизмов, работа которых требует регулирования частоты вращения в широких пределах (от нуля до номинальной частоты вращения регулирование осуществляется напряжением, а от номинальной до максимальной частоты – током возбуждения). Допускаются частые кратковременные перегрузки по току при условии, что среднеквадратичный ток не будет превышать номинальный.

Структура условного обозначения: 4П X X₁ X₂ X₃ X₄

4 - порядковый номер серии; П - электрическая машина постоянного тока;

X - обозначение машины в зависимости от исполнения по степени защиты и способа охлаждения:

Ф - защищенное IP23 с независимой вентиляцией от постороннего вентилятора IC06

Н - защищенное IP23 с самовентиляцией IC01

П - закрытое IP44, продуваемое от постороннего вентилятора IC37 (IC17)

Б - закрытое IP44 с естественной вентиляцией IC0041

О - обдуваемое IC141

X₁ - высота оси вращения, мм;

X₂ - условная длина корпуса по МЭК 72-1 (А,В,С,Л,М);

X₃ - условная длина сердечника якоря (1 - первая; 2 - вторая);

X₄ - климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150.

Основные параметры и размеры

Типы и основные параметры электродвигателей основного исполнения и модификаций приведены в табл. 1 (электродвигатели защищенного исполнения IP23 с самовентиляцией IC01) и в табл. 2 (электродвигатели защищенного исполнения IP23 с независимой вентиляцией IC06 и продуваемое от постороннего вентилятора IC17 и закрытого исполнения IP44 продуваемые от постороннего вентилятора IC37).

Режим работы электродвигателей продолжительный S1 по ГОСТ183-74. Электродвигатели допускают работу в режимах S2–S8 по ГОСТ 183-74 при условии, что среднеквадратичный ток за цикл не превышает номинальное значение.

Коэффициент пульсации тока якоря 15%. Перегрузка по току якоря - $4I_{ном}$ в течение 12 с. Изоляция обмоток класса F.

Табл.1.

Номинальные параметры электродвигателей типа 4ПНМ200 - 4ПНМ280

Тип двигателя	Мощность кВт	Напряжение В	Ток А	Частота вращения об/мин	КПД %
4ПНМ200СУХЛ4	8.5	220	44.5	800/2500	82
	13	110	135	1120/3500	84
	13	220	67	1120/3000	85
	22	220	111	1600/3500	87.5
	22	440	55.6	1500/3500	87.5
	36	220	181	2200/3500	88.5
	60	440	149	3150/3500	90.5
4ПНМ200МУХЛ4	11	110	115	800/3000	83
	11	220	57	800/2500	84
	16	220	82	1000/2000	86
	16	440	41	1000/2500	85
	30	220	150	1600/3600	88.5
	30	440	74.5	1600/3500	89.5
	53	440	131	2360/3500	90.5
	75	440	184	3150/3500	91.5
4ПНМ225СУХЛ4	8.5	220	46	500/1800	77
	12.5	220	69	600/2100	79.5
	15	220	78	750/2500	80.5
	22	220	118	1000/2500	82.5
	22	440	58	1000/1000	83.5
	37	220	189	1500/3000	86.5
	37	440	94	1500/1850	86.5
4ПНМ225МУХЛ4	15	220	80	600/2100	79
	20	220	105	750/2500	83
	20	440	54	750/1500	83
	32	220	164	1060/2500	85
	32	440	82	1060/2250	84.5
	48	220	244	1500/3000	87.3
4ПНМ250СУХЛ4	14	220	78	530/1500	80
	20	220	108	630/2100	80.5
	24	220	124	750/2000	82
	38	220	195	1060/2500	85
	38	440	99	1060/2500	85
	50	440	130	1500/1800	87
	60	220	306	1500/2800	87.1
	60	440	155	1700/2800	87
4ПНМ250МУХЛ4	24	220	125	600/2100	82
	32	220	165	750/2000	84
	48	220	248	1000/2500	85.5

	48	440	125	1000/1500	86
	71	440	180	1500/2800	88.5
	80	220	402	1500/2800	89.5
4ПНМ280СУХЛ4	24	220	122	530/1250	84
	34	220	175	600/1500	84.5
	45	220	230	750/2000	87
	68	220	342	1000/2250	88.5
	80	440	202	1180/2400	88.5
	110	220	528	1500/2600	89.5
4ПНМ280МУХЛ4	30	440	77	500/1250	83.5
	37	220	190	600/1500	85.5
	55	220	280	750/2000	87.3
	79	440	197	1000/2250	88.4
	124	220	612	1500/2600	90.4
	123	440	303	1500/1900	92

Табл.2.

**Номинальные параметры электродвигателей
типа 4ПФМ200–4ПФМ280 и 4ППМ200–4ППМ280**

Тип двигателя	Мощность кВт	Напряжение В	Ток А	Частота вращения об/мин	КПД %
4ПФМ200СУХЛ4, 4ППМ200СУХЛ4	22	220	111	1600/3500	87.5
	22	340	72	1500/3500	87
	22	440	54.4	1600/3500	88
	30	340	96	2120/3500	90
	30	440	74	2200/3500	90
	40	340	129	3000/3500	90.5
	40	440	99	3000/3500	90.5
4ПФМ200МУХЛ4, 4ППМ200МУХЛ4	15	110	159	750/3000	82
	15	220	78.5	750/2500	82.5
	15	340	50.2	800/2000	83.5
	15	440	38.8	800/1850	83.5
	20	220	103	1000/3000	85.5
	20	340	65.5	1000/2500	85.5
	20	440	50.6	1000/2500	85.5
	30	220	150	1500/3500	88.5
	30	340	96.3	1500/3500	89
	30	440	75	1500/3500	88.5
	42	340	133	2360/3500	90.5
	42	440	103	2360/3500	90.5
	55	440	135	3150/3500	91
4ПФМ225СУХЛ4,	11.2	220	70	500/1800	70.2
	18	220	101	600/2100	78

4ППМ225SУХЛ4	21	220	115	750/2500	80.1
	26.5	220	141	1000/2500	83
	26.5	440	71	1000/1250	82.5
	45	220	232	1500/3000	86.8
	40	440	103	1500/2700	86.8
	45	440	115	1500/2000	87.2
4ПФМ225МУХЛ4, 4ППМ225МУХЛ4	20	220	111	600/2100	79
	22	440	59	750/1500	82
	27	220	146	750/2500	82
	37	220	191	1060/3000	85.5
	37	440	95	1060/2250	85.6
	55	220	280	1500/3000	87.6
4ПФМ225ЛУХЛ4, 4ППМ225ЛУХЛ4	20	220	117	500/1500	75
	26.5	220	147	600/1800	79.5
	33.5	220	180	750/2250	82.3
	45	220	233	1000/2500	85
	63	220	318	1500/3000	88.7
4ПФМ250SУХЛ4, 4ППМ250SУХЛ4	26	220	144	600/1800	79.1
	31.5	220	169	750/2000	82
	37	440	97	850/2100	83.4
	45	220	232	1060/2800	85.5
	45	440	116	1060/2250	86.7
	56	440	144	1500/1800	87.5
	67	220	340	1500/2800	87
	71	440	178	1700/2800	88
4ПФМ250МУХЛ4, 4ППМ250МУХЛ4	42	220	223	750/2000	83.2
	37	440	99	750/2000	82.9
	55	220	284	1000/2500	86
	55	440	142	1000/1500	86.4
	71	440	180	1500/2800	88.5
	80	220	403	1500/2800	89
	80	440	202	1500/2800	88.8
4ПФМ250ЛУХЛ4, 4ППМ250ЛУХЛ4	36	220	196	500/1500	79.5
	36	440	98	500/1500	80.4
	55	220	287	750/2250	84.7
	55	440	143	750/1000	85
	75	220	380	1060/2500	86.5
	90	440	224	1500/2400	89
4ПФМ280SУХЛ4, 4ППМ280SУХЛ4	45	220	234	600/1800	84.5
	55	440	142	750/1100	86.4
	84	220	425	1000/2250	88.5
	90	440	224	1180/2600	89
	120	440	297	1500/2100	89.5
	125	220	624	1500/2400	90.2

4ПФМ280МУХЛ4, 4ППМ280МУХЛ4	45	440	118	500/1250	83.9
	55	220	284	600/1800	85.3
	55	440	142	600/1000	85.4
	68	220	352	750/1900	87
	68	440	175	750/1000	87.1
	100	440	251	1000/2400	89.2
	140	220	693	1500/2600	90.8
	145	440	358	1500/1900	91
	160	440	393	1900/2400	91.2
4ПФМ280ЛУХЛ4, 4ППМ280ЛУХЛ4	55	220	291	500/1500	83.8
	55	440	145	500/750	84.2
	100	440	258	750/2000	85.8
	102	220	520	800/2000	87.6
	118	440	297	1000/2000	89.3
	122	220	611	1000/2000	89.3
	160	440	392	1500/2000	90.5
	180	440	442	1500/2000	91
	200	440	490	1700/2000	91.7

АСИНХРОННЫЕ ТРЁХФАЗНЫЕ КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Асинхронные крановые электродвигатели с фазным ротором серий МТ, МТН, 4МТН, 4МТМ, 4МТКМ предназначены для привода крановых и других механизмов, работающих в кратковременных и повторно-кратковременных режимах, в том числе с частыми пусками и электрическим торможением. Режим работы электродвигателей в крановом электроприводе характеризуется широким изменением нагрузок и широким диапазоном изменения скорости ниже и выше номинальной. Асинхронные крановые электродвигатели также используются в механизмах длительного режима работы и характеризуются повышенной перегрузочной способностью, большими пусковыми моментами при сравнительно небольших пусковых токах, а также малым временем разгона. Кратность пусковых и максимальных моментов по отношению к номинальному составляет 2,3 - 3,5. При работе электродвигателей в повторно-кратковременном режиме продолжительность рабочего цикла 10 мин (продолжительность включения + пауза) по ГОСТ 18374.

Электродвигатели изготавливаются на частоту 50Гц и напряжения 380/220 и 500В.

Степень защиты двигателей - IP44.

Основным номинальным режимом крановых двигателей переменного тока является повторно-кратковременный режим работы S3 - ПВ 40% по ГОСТ 183. Двигатели могут работать в других режимах: S3 15, 25, 60, 100%, кратковременных S2 - 30 и 60 мин.

Из-за высоких требований к динамике двигателей в переходных процессах пуска и торможения и для снижения расхода энергии при этом двигатели сконструированы таким образом, что момент инерции ротора выполнен минимально возможным. Снижение момента инерции достигается путем уменьшения высоты оси вращения при заданной мощности двигателя. Электродвигатели имеют повышенный (по сравнению с электродвигателями общепромышленного исполнения) запас прочности механических узлов и деталей.

Регулирование скорости и момента в электроприводах с асинхронными двигателями с фазным ротором производится включением в цепь ротора пускорегулирующих резисторов. Для получения пониженных (посадочных) скоростей опускания груза применяется режим противовключения или различные специальные схемы включения (например – динамического торможения самовозбуждением).

Основные технические характеристики асинхронных крановых двигателей при частоте 50 Гц

Тип электродвигателя	Мощность S3-ПВ 40%, кВт	Частота вращения, об/мин	Масса, кг	Номинальный ток при U=380В, А	Ток ротора, А	Напряжение между кольцами, В	M_{max} / M_H	КПД %	cosφ	Момент инерции ротора J_p , кг·м ²
МТН 011-6	1.4	890	60	4.9	8.8	114	2.6	65.0	0.67	0.021
МТН 012-6	2.2	895	68	6.9	11.0	138	2.7	70.0	0.69	0.026
МТН 111-6	3.5	905	91	8.9	14.2	171	2.75	75.5	0.79	0.042
МТН 112-6	5.0	935	101	12.8	15.5	212	3.15	80.0	0.74	0.056
4МТН 132 LA6	5.5	925	108	14.3	17.4	211	3.0	79.0	0.73	0.068
4МТН 132 LB6	7.5	940	120	19.0	19.2	255	3.1	82.0	0.73	0.082
МТН 211A6	5.5	925	123	14.3	17.4	211	3.0	79.0	0.73	0.068
МТН 211B6	7.5	940	135	19.0	19.2	255	3.1	82.0	0.73	0.082
МТН 311-6	11	950	210	25.4	41	170	2.8	83.0	0.79	0.304
МТН 311-8	7.5	700	220	23.0	21	240	2.8	78.5	0.69	0.302
МТН 312-6	15	950	240	34.7	46	210	3.1	84.0	0.78	0.374
МТН 312-8	11	710	240	29.6	43	165	3.0	81.3	0.69	0.380
4МТ 200 LA6 МТН 411-6	22	960	270	51	59	246	2.8	86.0	0.76	0.52
4МТ 200 LB6 МТН 412-6	30	960	300	66	72	273	2.8	87.0	0.79	0.63
4МТ 200 LA8 МТН 411-8	15	720	275	44	46	189	3.2	83.0	0.62	0.52
4МТМ 200 LB8 МТН 412-8	22	715	305	58	58	248	3.0	83.0	0.70	0.63
4МТМ 225M6 МТН 511-6	37	955	390	80	80	295	3.0	87.0	0.81	0.75

4MTM 225L6 MTH 512-6	55	955	490	117	122	285	2.9	88.0	0.81	1.02
4MTM 225M8 MTH 511-8	30	715	390	74	70	275	2.9	85.0	0.72	0.95
4MTM 225L8 MTH 512-8	37	725	470	88	76	305	2.9	86.0	0.74	1.27
4MTM 280S6 4MTH 280S6 MTH 611-6	75	955	740	149	180	266	3.2	89.0	0.86	3.3
4MTM 280L6 4MTH 280L6 MTH 613-6	110	970	970	216	168	420	3.5	91.0	0.85	4.8
4MTM 280S8 4MTH 280S8	55	715	740	118	186	190	2.9	88.0	0.80	2.9
4MTM 280M8 4MTH 280M8	75	720	820	156	188	250	3.0	90.0	0.81	3.7
4MTM 280L8 4MTH 280L8	90	725	980	190	171	335	3.2	91.0	0.79	4.8
4MTM 280S10 4MTH 280S10 MTH 611-10	45	570	715	109	167	177	3.0	86.0	0.73	3.8
4MTM 280M10 4MTH 280M10 MTH 612-10	60	575	825	140	162	235	3.2	88.0	0.74	4.6
4MTM 280L10 4MTH 280L10 MTH 613-10	75	575	975	175	150	308	3.0	89.0	0.73	5.6

Литература

1. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода [Текст]. – М.: Энергия, 1979. – 616 с.
2. Электротехнический справочник [Текст]. Т1. / Под ред. М. Г. Чиликина - М.: Энергия, 1974.
3. Справочник по электрическим машинам [Текст]. В 2 т. Под ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова – Т1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
4. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе [Текст]. – М.: Энергия. 1977. – 432 с.
5. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов [Текст]. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
6. Чиликин М.Г., Соколов М.М., Терехов В.М., Шинянский А.В. Основы автоматизированного электропривода [Текст]. – М.: Энергия, 1974. . – 568 с.
7. Микитченко А.Я. Теория электропривода [Текст]. – Фрунзе, 1982. – 16 с.