

В. Д. АВИЛОВ, В. П. БЕЛЯЕВ, Е. Н. САВЕЛЬЕВА

**АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ
В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

ОМСК 2011

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Омский государственный университет путей сообщения

В. Д. Авилов, В. П. Бе­ляев, Е. Н. Савельева

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний к выполнению курсовой работы
для студентов дневной и заочной форм обучения по специальностям:
150700 (190301) – “Локомотивы”, 150800 (190302) – “Вагоны”,
100700 (140104) – “Промышленная теплоэнергетика”

Омск 2011

УДК 621.313.33(075.8)
ББК 31.261.63Я7
А20

Асинхронные двигатели в системах электропривода: Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов дневной и заочной форм обучения по специальностям 150700 (190301) – “Локомотивы”, 150800 (190302) – “Вагоны”, 100700 (140104) – “Промышленная теплоэнергетика”. 3-е изд., доп. и испр./ В. Д. Авилов, В. П. Беляев, Е. Н. Савельева; Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2011. 44 с.

Указания предусматривают выполнение курсовой работы по дисциплинам “Электротехника и электроника”, “Электрические машины и электропривод”, содержат принцип выбора асинхронного двигателя с фазным ротором при длительном режиме работы с переменным графиком нагрузки. Приведены варианты задания, основные формулы, пример расчета и схемы управления пуском и реверсом асинхронных двигателей.

Данная работа поможет студентам закрепить теоретический материал и выработать навыки его практического использования.

Предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения по специальностям 150700 (190301) – “Локомотивы”, 150800 (190302) – “Вагоны”, 100700 (140104) – “Промышленная теплоэнергетика”.

Библиогр.: 6 назв. Табл. 5. Рис. 8.

Рецензенты: доктор техн. наук В. К. Федоров;
канд. техн. наук В. К. Кучеренко;
доктор техн. наук А. И. Володин.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1. Асинхронные двигатели в системах электропривода.....	6
1.1. Общий обзор.....	6
1.2. Задание.....	7
1.3. Выбор варианта задания.....	7
1.4. Расчет мощности и выбор АД.....	8
1.5. Проверка выбранного двигателя по нагреву.....	12
1.6. Проверка на перегрузку при снижении напряжения.....	14
1.7. Расчет теплового состояния АД.....	15
1.8. Расчет механических характеристик.....	17
1.9. Расчет резисторов пускового реостата.....	20
1.10. Расчет электрических потерь при пуске двигателя.....	21
2. Пример выполнения задания.....	23
2.1. Параметры задания.....	23
2.2. Расчет эквивалентной мощности и выбор АД.....	24
2.3. Проверка выбранного двигателя по нагреву.....	25
2.4. Проверка на перегрузку при снижении напряжения.....	26
2.5. Расчет теплового состояния АД.....	26
2.6. Расчет механических характеристик.....	28
2.7. Расчет резисторов пускового реостата.....	30
2.8. Расчет электрических потерь при пуске двигателя.....	31
3. Управление пуском асинхронных двигателей.....	33
3.1. Общие положения.....	33
3.2. Управление пуском АД с короткозамкнутым ротором.....	36
3.3. Управление пуском АД с фазным ротором в функции времени.....	37
4. Управление реверсом АД с короткозамкнутым ротором.....	38
Заключение.....	41
Библиографический список.....	41
Приложение. Технические характеристики асинхронных двигателей с фазным ротором единой серии 4А.....	42

ВВЕДЕНИЕ

В процессе изучения дисциплин “Электротехника и электроника”, “Электрические машины и электропривод” студент должен выполнить курсовую работу, посвященную выбору мощности, пуску, регулированию частоты вращения и расчету теплового состояния асинхронного двигателя, а также применению его в распространенных системах электропривода.

Основное назначение курсовой работы – закрепление теоретического материала и выработка навыков его практического использования. Методические указания к выполнению того или иного пункта работы содержат минимально необходимые сведения по теории рассматриваемого вопроса. Для глубокого изучения теоретических вопросов дисциплин “Электротехника и электроника”, “Электрические машины и электропривод” следует воспользоваться рекомендуемой литературой.

Задания на курсовую работу содержат 100 вариантов. Выбор варианта производится по шифру, присвоенному студенту. Порядок выбора варианта указан. При необходимости содержание задач может быть изменено преподавателем без сокращения общего объема работы.

Пояснительная записка выполняется в соответствии со стандартом предприятия СТП ОмГУПС-1.2-2005. Студентам заочного факультета разрешается оформлять ее в обычной ученической тетради с соблюдением всех других требований стандарта.

Пояснительная записка должна содержать все рисунки и графики, поясняющие расчет и его результаты, а также необходимые электрические схемы, как это показано в примере.

1. АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

1.1. Общий обзор

Асинхронные двигатели (АД) широко используются в промышленности благодаря простоте их конструкции, надежности в эксплуатации и сравнительно низкой себестоимости.

Наиболее простыми в отношении устройства и управления, надежными в эксплуатации являются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, имеющие наименьшую массу, габариты и стоимость при определенной мощности. Их масса на единицу мощности в 1,5 – 2,0 раза ниже, чем у машин постоянного тока. Чаще всего асинхронные двигатели применяются при невысокой частоте включений, когда не регулируют частоту вращения или возможно ступенчатое его регулирование.

В установках, где требуется регулирование частоты вращения в относительно небольших пределах, необходимы плавный пуск, хорошие тормозные качества, ограничение токов в переходных процессах и т. д., находят широкое применение асинхронные двигатели с фазным ротором. Характерной особенностью этих двигателей является возможность уменьшения с помощью реостатов их пусковых токов при одновременном увеличении пусковых моментов.

При выборе двигателя по мощности следует исходить из необходимости его полного использования в процессе работы. В случае завышения номинальной мощности двигателя снижаются технико-экономические показатели электропривода, т. е. КПД и коэффициент мощности. Если нагрузка на валу двигателя превышает номинальную, то это приводит к росту токов в его обмотках, а значит и потерь мощности выше соответствующих номинальных значений.

Для обоснованного выбора асинхронного двигателя необходимо знать, как изменяется нагрузка на валу двигателя во времени, что в свою очередь позволяет судить о характере изменения потерь мощности. С целью определения нагрузки двигателя для большинства производственных механизмов строятся так называемые нагрузочные диаграммы, под которыми

понимаются зависимости развиваемых двигателем момента и мощности от времени, т. е. $M = f(t)$ и $P = f(t)$.

Различают следующие основные режимы работы двигателей:

длительный;

кратковременный;

повторно-кратковременный.

В методических указаниях рассматривается длительный режим с переменным графиком нагрузки.

1.2. Задание

По заданной нагрузочной диаграмме электропривода определить эквивалентную мощность и выбрать асинхронный двигатель с фазным ротором. Произвести проверку выбранного двигателя на нагрев по методу средних потерь, на перегрузочную способность при снижении напряжения в сети, а также расчет теплового режима выбранного двигателя по заданной нагрузочной диаграмме.

Определить сопротивление добавочного резистора, который необходимо включить в цепь ротора выбранного двигателя для снижения частоты вращения на заданную величину при номинальном моменте сопротивления. Построить естественную и реостатную механические характеристики выбранного двигателя.

Рассчитать сопротивление секций пускового резистора и потери электрической энергии при реостатном и прямом пуске.

Начертить и изучить схемы управления пуском и реверсом асинхронных двигателей.

1.3. Выбор варианта задания

Вариант задания выбирается по двузначному шифру, присвоенному студенту преподавателем; для студентов заочной формы обучения – по двум последним цифрам шифра зачетной книжки.

Параметры нагрузки на каждой ступени, синхронная частота вращения АД и требуемое снижение частоты вращения ротора в процентах от номинальной приведены в табл. 1.1, а длительность ступеней – в табл. 1.2.

При расчете принять, что в период паузы (t_5) двигатель работает в режиме холостого хода без отключения от сети.

Напряжение питающей (цеховой) сети принять в зависимости от мощности двигателя:

от 22 до 75 кВт – 380 В;

от 45 до 110 кВт – 660 В.

от 45 до 75 кВт – 380 либо 660 В (выбрать по желанию).

Снижение напряжения в питающей сети для проверки выбранного АД на перегрузочную способность принять 10 % от номинального для всех вариантов.

Число ступеней пускового реостата для всех вариантов $z = 2$.

1.4. Расчет мощности и выбор АД

Многоступенчатый график нагрузки, характеризующий длительный переменный режим работы электропривода (рис. 1.1), можно привести к равномерному, воспользовавшись понятием эквивалентной (среднеквадратичной) мощности

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}, \quad (1.1)$$

где n – число ступеней нагрузки;

P_i, t_i – соответственно мощность и продолжительность нагрузки каждой i -й ступени графика, включая паузу.

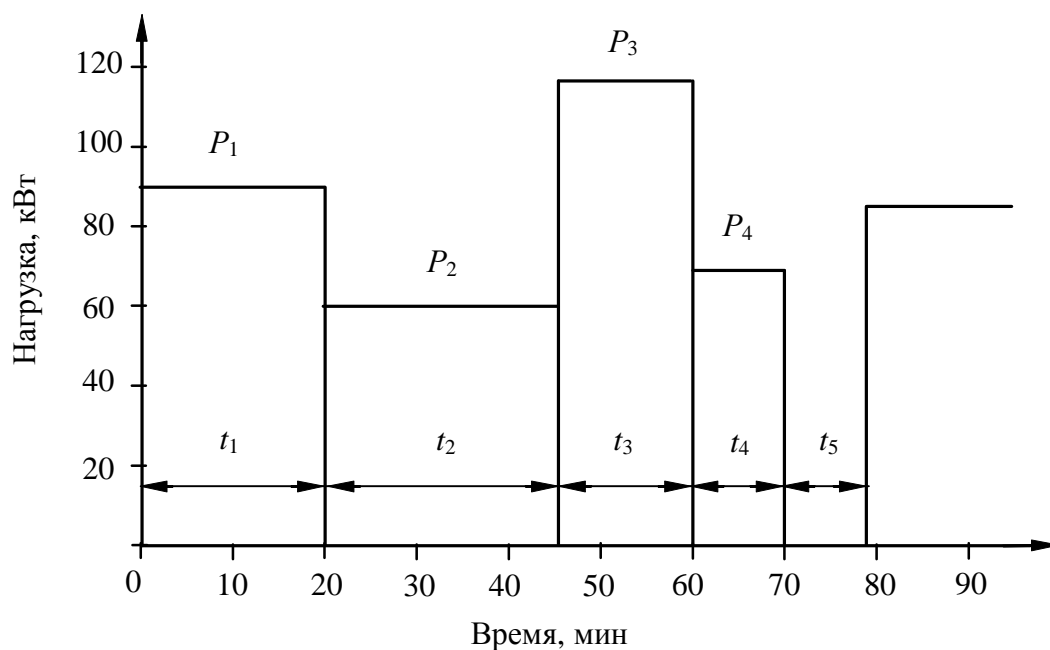


Рис. 1.1. Нагрузочная диаграмма

Т а б л и ц а 1.1

Параметры нагрузки

Последняя цифра варианта	Мощность на ступенях нагрузки, кВт				Синхронная частота вращения, об/мин	Δn , %
	P_1	P_2	P_3	P_4		
0	3	5	9	4	750	5,8
1	7	13	9	18	750	5,5
2	15	10	35	22	750	4,6
3	13	6	10	5	1000	4,8
4	18	22	9	12	1000	4,0
5	22	30	40	25	1000	4,5
6	8	15	5	18	1000	4,2
7	25	12	15	10	1500	5,0
8	25	35	45	12	1500	5,7
9	45	27	40	50	1500	6,0

Т а б л и ц а 1.2

Длительность ступеней нагрузки, мин

Длительность ступеней нагрузки, мин	Предпоследняя цифра варианта (шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_1	10	13	12	13	9	6	16	10	11	7
t_2	5	7	9	8	15	8	6	12	7	14
t_3	15	9	14	9	8	18	13	15	18	10
t_4	8	13	8	11	12	10	9	6	9	13
t_5	7	8	7	4	6	8	6	7	5	6

По найденной эквивалентной мощности выбирается необходимый двигатель при условии

$$P_n \geq P_{\text{э}} . \quad (1.2)$$

Для выполнения курсовой работы необходимые данные можно взять из любых каталогов на АД с фазным ротором или из приложения данных методических указаний.

В настоящее время наиболее массовой серией асинхронных двигателей является серия 4А, основное исполнение которой имеет следующую систему условных обозначений:

$$\frac{4A}{1} \frac{X}{2} \frac{X}{3} \frac{X}{4} \frac{X}{5} \frac{X}{6} \frac{X}{7} \frac{X}{8},$$

где знаменатель дроби – порядковый номер части условного обозначения, а вместо X в числителях должны стоять условные обозначения:

1 – серия 4А;

2 – исполнение АД по способу защиты: буква Н – исполнение IP23 (см. ниже), нет буквы – исполнение IP44;

3 – исполнение АД по материалу станины: буква А – станина и щиты алюминиевые, X – станина алюминиевая, щиты чугунные (или наоборот), нет буквы – станина и щиты стальные или чугунные;

4 – высота оси вращения, мм (две или три цифры);

5 – установочный размер по длине станины: буква S, M или L (меньший, средний или больший);

6 – длина сердечника: A – меньшая, B – большая, нет буквы – выпускается только одна длина;

7 – число полюсов АД (одна или две цифры);

8 – климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69.

Различные модификации и специализированные исполнения обозначаются дополнительными буквами, место которых в маркировке может изменяться:

4AP... – с повышенным пусковым моментом;

4AC... – с повышенным скольжением;

4AK (4АНК)... – с фазным ротором;

4AB... – встраиваемые;

4A...X – химостойкое исполнение;

4A...C(CX) – сельскохозяйственное назначение;

4A...УП – пылезащищенное исполнение;

4A...РН – рудничное исполнение;

4A...П2 – высокочастотные двигатели;

4A...НЛБ – лифтовые двигатели;

4A...Б2П...ПБ – для станков с числовым программным исполнением;

4АХД... – для деревообрабатывающих станков и др.

Кроме серии 4А имеются двигатели серии 4АМ (модернизированные), серии АИ (унифицированные, разработанные совместно со странами Интерэлектро), а также серий А2 и АО2, которые сняты с производства, но еще встречаются в эксплуатации.

Исполнение по способу защиты обозначается латинскими буквами IP с последующими двумя цифрами. По ГОСТ 14254-80 первая цифра характеризует степень защиты обслуживающего персонала от соприкосновения с вращающимися или токоведущими частями, вторая – степень защиты от проникновения внутрь машины воды. Наиболее распространены машины со степенью защиты IP23 и IP44. В данных маркировках первая цифра означает:

2 – защита от проникновения внутрь оболочки предметов длиной до 80 мм и твердых тел размером свыше 12 мм;

4 – защита от проникновения внутрь оболочки проволоки и твердых тел размером более 1 мм;

вторая цифра показывает степень защиты от воды:

3 – защита от дождя (при падении дождя на оболочку под углом 60° капли не попадают внутрь машины);

4 – защита от брызг (брызги воды в любом направлении не попадают внутрь).

Климатическое исполнение УЗ означает возможность эксплуатации электрической машины в зоне умеренного климата, в закрытых помещениях (ГОСТ 15150-69).

1.5. Проверка выбранного двигателя по нагреву

Выбор АД по условию (1.2) гарантирует, что данный двигатель при заданном графике нагрузки удовлетворяет требованиям по нагреву, однако целесообразно выполнить проверку в учебных целях.

Проверка по нагреву производится по методу средних потерь. Для этого вначале определяются потери мощности в номинальном режиме по данным каталога:

$$P_{\text{н}} = \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} P_{\text{д}} \quad (1.3)$$

где $P_{\text{н}}$ – номинальная мощность выбранного АД, кВт;

$\eta_{\text{н}}$ – КПД в номинальном режиме по каталогу в относительных единицах (о. е.).

Найденные по уравнению (1.3) потери мощности являются суммой потерь в меди обмоток статора и ротора, в стали и механических. Будем считать, что механические потери остаются постоянными, тогда сумму потерь разделим на две группы:

постоянные потери, или потери х.х., включающие в себя потери в стали, механические и дополнительные;

переменные потери в обмотках, зависящие от нагрузки.

В большинстве случаев соблюдаются следующие соотношения:

$$P_m \approx 0,65\Delta P_n; P_0 = P_c + P_{\text{мех}} \approx 0,35\Delta P_n, \quad (1.4)$$

где P_m – потери в меди обмоток, кВт;

P_0 – потери х.х. (постоянные потери), кВт.

Потери в обмотках являются переменными, они пропорциональны квадрату тока или квадрату коэффициента нагрузки. Исходя из этого можно найти потери для каждой ступени графика нагрузок, кВт:

$$\Delta P_i = P_0 + K_{ni}^2 P_m, \quad (1.5)$$

где P_i – мощность i -й ступени нагрузки, кВт;

K_{ni} – коэффициент нагрузки i -й ступени,

$$K_{ni} = \frac{P_i}{P_n}. \quad (1.6)$$

Средние потери за цикл определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (1.7)$$

где n – число ступеней нагрузки.

При расчете средних потерь нужно учитывать, что в течение паузы двигатель работает в режиме х.х., не отключаясь от сети.

Проверка выбранного двигателя по нагреву заключается в проверке условия:

$$\Delta P_{\text{ср}} \leq \Delta P_{\text{н}}. \quad (1.8)$$

Если условие (1.8) не выполняется, то двигатель в процессе эксплуатации будет перегреваться и срок службы его резко сократится. В этом случае следует выбрать другой двигатель большей мощности и повторить расчет.

Если средние потери значительно меньше потерь в номинальном режиме, то это свидетельствует о недоиспользовании мощности двигателя и, следовательно, пониженной экономической эффективности электропривода. В этом случае необходимо взять двигатель меньшей мощности и вновь произвести проверку его по нагреву. Если условие (1.8) при этом будет выполняться, то дальнейший расчет следует проводить для вновь выбранного двигателя (если новый двигатель будет перегреваться, придется вернуться к двигателю, выбранному ранее).

1.6. Проверка на перегрузку при снижении напряжения

В заводских силовых электрических цепях допускается снижение напряжения на 10 %. Естественно, что при таком снижении напряжения оборудование не должно терять работоспособности. В то же время известно, что момент на валу асинхронных двигателей снижается пропорционально квадрату напряжения, поэтому выбранный двигатель должен быть проверен на перегрузочную способность при понижении напряжения. Иногда может быть и большее понижение напряжения (это должно быть оговорено в задании).

Проверка сводится к проверке условия, что максимальный момент двигателя при снижении напряжения будет не меньше момента сопротивления на валу. Это условие может быть записано в виде:

$$\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{н}}} \leq \left(1 - \frac{\Delta U}{100}\right)^2 K_{\text{м}}, \quad (1.9)$$

где P_{max} – максимальная мощность по нагрузочной диаграмме, кВт;

ΔU – заданное снижение напряжения, %;

K_M – кратность максимального момента (коэффициент перегрузочной способности) по каталогу, $K_M = M_{\max} / M_H$.

Если условие (1.9) не выполняется, необходимо выбрать двигатель большей мощности (или с большим значением K_M). При выборе двигателя большей мощности проверку его на нагрев можно не повторять.

1.7. Расчет теплового состояния АД

Непосредственный расчет теплового режима электрической машины представляет собой сложную многофакторную задачу, решить которую можно лишь при детальном конструктивном расчете. В данной работе рассмотрим этот вопрос с качественной стороны, введя ряд допущений.

Одним из таких допущений будет представление АД однородным телом с равномерно распределенными внутри его объема источниками тепла, которыми являются потери. Процесс нагревания такого тела описывается уравнением:

$$\tau = \tau_{\text{нач}} + (\tau_y - \tau_{\text{нач}}) \left(1 - e^{-\frac{t}{T_H}} \right), \quad (1.10)$$

где $\tau_{\text{нач}}$ – начальное превышение температуры машины;

τ_y – установившееся превышение температуры;

T_H – постоянная времени нагревания.

Если принять установившееся превышение температуры в номинальном режиме равным допустимому для данного класса термостойкости изоляции, то для любого иного режима

$$\tau_{yi} = \frac{\Delta P_i}{\Delta P_H} \tau_{\text{доп}}, \quad (1.11)$$

где ΔP_i – потери на i -й ступени нагрузки (1.5);

$\tau_{\text{доп}}$ – допустимое превышение температуры, в данном случае $\tau_{\text{доп}} = 80^\circ\text{C}$.

Ориентировочные значения постоянной времени нагревания и технические данные АД указаны в приложении.

За начальное превышение температуры каждой ступени, включая паузу, следует принимать конечное превышение, рассчитанное в конце предыдущей ступени. В начале расчета $\tau_{\text{нач1}} = 0^\circ\text{C}$.

С целью сокращения времени проверки допускается рассчитывать превышение температуры только в начале и конце каждой ступени без промежуточных точек. Эти точки на диаграмме соединяются по предполагаемой экспоненте. Расчет ведется для нескольких циклов, пока превышение температуры не стабилизируется на каждой ступени. По числу циклов можно судить об общем времени нагревания двигателя до установившегося теплового состояния.

Кривые изменения температурного режима показаны на рис. 1.2, где пунктиром нанесена обобщенная кривая нагревания, рассчитанная по средним потерям для нескольких значений t :

$$\tau_{y.c.p} = \frac{\Delta P_{c.p}}{\Delta P_n} \tau_{\text{доп}}; \quad \tau_{c.p} = \tau_{y.c.p} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}} \right). \quad (1.12)$$

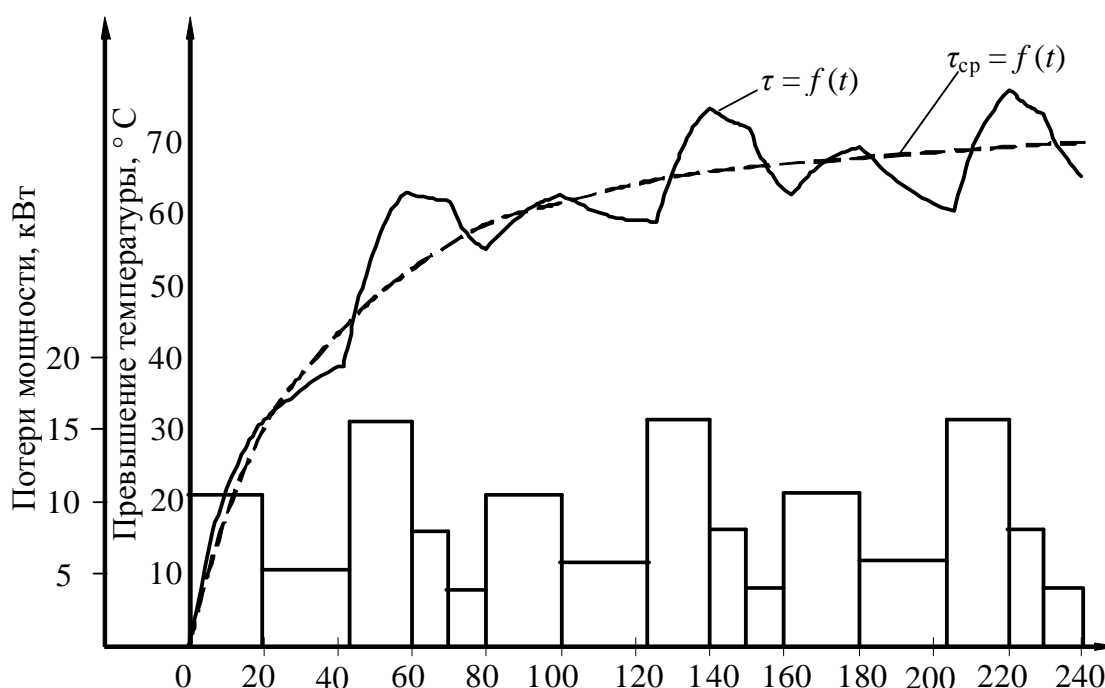


Рис. 1.2. Диаграмма потерь и кривые нагрева

1.8. Расчет механических характеристик

Механическими характеристиками АД называют зависимости $M = f(s)$ и $n = f(M)$, показанные на рис. 1.3. В некоторых источниках зависимость $M = f(s)$ называют также характеристикой электромагнитного момента.

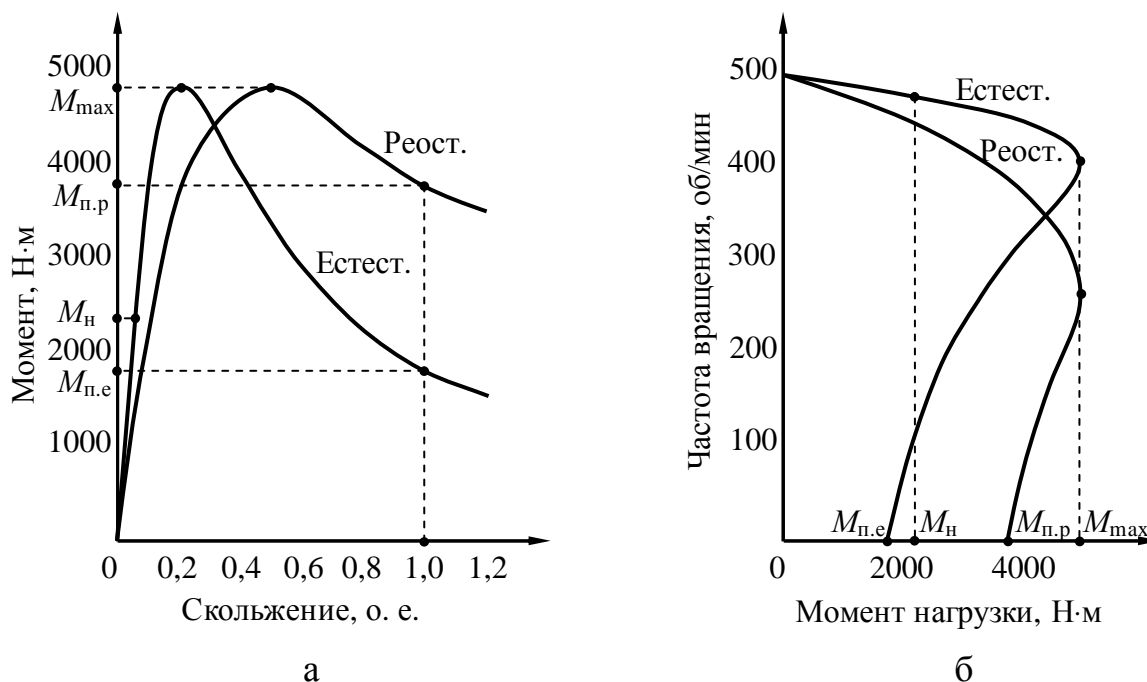


Рис. 1.3. Механические характеристики: $M_{\text{п.р}}$ – пусковой момент на реостатной характеристике; $M_{\text{п.е}}$ – пусковой момент на естественной характеристике.

Аналитические выражения данных характеристик достаточно сложны, требуют знания многих параметров АД и для практических целей используются редко. Более простой является формула Клосса, описывающая реальную характеристику в пределах изменения скольжения s от 0 до критического $s_{\text{к}}$. Вторая часть характеристики, рассчитанная по формуле Клосса, существенно отличается от реальной, однако на этой части характеристики асинхронные двигатели не работают, и практического значения для анализа задач электропривода она не представляет.

При выполнении курсовой работы можно воспользоваться упрощенной формулой Клосса:

$$M = \frac{2K_M M_H}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}, \quad (1.13)$$

где s – текущее значение скольжения;

M_H – номинальный момент на валу двигателя, Н·м,

$$M_H = 9550 \frac{P_H}{n_H}. \quad (1.14)$$

Номинальная частота вращения

$$n_H = n_1(1 - s_H), \quad (1.15)$$

где n_1 – синхронная частота вращения, об/мин;

s_H – номинальное скольжение по каталогу, о. е.

Критическое скольжение, соответствующее максимальному моменту, может быть найдено из формулы (1.13):

$$s_K = s_H \left(K_M + \sqrt{K_M^2 - 1} \right). \quad (1.16)$$

Определив критическое скольжение по уравнению (1.16) и задавшись величиной s от 0 до 1,2, по формуле (1.13) можно рассчитать зависимость $M = f(s)$, которую затем легко перевести в координаты $n = f(M)$ по выражению:

$$n = n_1(1 - s). \quad (1.17)$$

Характеристики, рассчитанные таким образом при отсутствии резисторов в цепи ротора, называются естественными.

Введение добавочного сопротивления в цепь ротора приводит к увеличению критического скольжения, максимальный момент при этом не изменяется. Иными словами, механическая характеристика $n = f(M)$ смещается вниз, а $M = f(s)$ – вправо. Тем самым при постоянном моменте сопротивления M_c частота вращения несколько снижается. При этом соблюдается соотношение:

$$\frac{s}{s_p} = \frac{s_k}{s_{p.k}} = \frac{r_p}{r_p + R_{доб}}, \quad (1.18)$$

где s , s_p – скольжение на естественной и реостатной характеристиках соответственно;

s_k , $s_{p.k}$ – критическое скольжение на тех же характеристиках;

r_p – сопротивление ротора АД при работе на естественной характеристике,

$$r_p = \frac{U_p}{\sqrt{3}I_p} s_n, \quad (1.19)$$

где U_p , I_p – напряжение и ток ротора по каталогу;

$R_{доб}$ – добавочный резистор в цепи ротора.

Частота вращения ротора при работе АД на реостатной характеристике может быть найдена при номинальной нагрузке и заданном Δn по формуле:

$$n_{p.n} = n_n \left(1 - \frac{\Delta n}{100} \right), \quad (1.20)$$

а соответствующее ей скольжение –

$$s_{p.n} = \frac{n_1 - n_{p.n}}{n_1}. \quad (1.21)$$

Добавочное сопротивление, которое необходимо включить в цепь ротора для достижения заданного снижения частоты вращения, легко найти на основании соотношения (1.18):

$$R_{\text{доб}} = r_p \left(\frac{s_{p.н}}{s_n} - 1 \right). \quad (1.22)$$

Рассчитать и построить реостатную характеристику можно также по формуле Клосса (1.13), заменив s_k на $s_{p.к}$ в соответствии с соотношением (1.18):

$$s_{p.к} = \frac{s_{p.н}}{s_n} s_k = s_k \left(\frac{R_{\text{доб}}}{r_p} + 1 \right). \quad (1.23)$$

1.9. Расчет резисторов пускового реостата

Пусковые диаграммы в этом случае обычно строятся не по токам, а по моментам M_1 и M_2 . Выбор максимального M_1 и переключающего M_2 моментов определяется условиями:

$$M_1 < M_{\text{max}} = K_m M_n; \quad M_2 = (1,1 - 1,25) M_c. \quad (1.24)$$

Эти моменты связаны соотношениями:

$$M_2 = M_1 \sqrt[2]{\frac{M_1 s_n}{M_n}}; \quad M_1 = M_2 \sqrt[2]{\frac{M_n}{M_2 s_n}}. \quad (1.25)$$

Если момент $M_1 \leq 0,75 M_{\text{max}}$, то механические характеристики асинхронного двигателя можно считать линейными. Такой подход возможен при пуске АД в режиме х.х. ($M_c = 0$), принятом в данной работе. Величина момента переключения M_2 в этом случае не ограничена нижним пределом.

По условию задания число пусковых ступеней $z = 2$. Пусковая диаграмма приведена на рис. 1.4. Если принять, что отрезок dc пропорционален s_n , то

сопротивление секций пускового реостата может быть найдено по соотношениям:

$$r_1 = r_p \frac{ab}{cd}; \quad r_2 = r_p \frac{bc}{cd}. \quad (1.26)$$

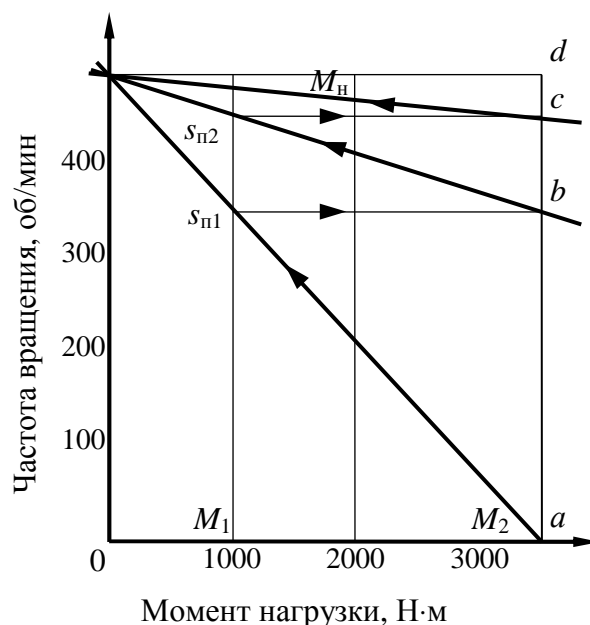


Рис. 1.4. Пусковая диаграмма

1.10. Расчет электрических потерь при пуске двигателя

Электрические потери при пуске асинхронных двигателей состоят из потерь в роторной цепи, определяемых запасом кинетической энергии, которую приобретает привод к концу пуска, и потерь в статорной цепи, зависящих от соотношения активных сопротивлений статорной и роторной цепей.

Незначительными постоянными потерями в процессе пуска и влиянием намагничивающего тока можно пренебречь.

При данных допущениях полные потери определяются по выражению:

$$A_{\pi} = \int_{s_{\text{кон}}}^{s_{\text{нач}}} J \omega_0^2 s \left(1 + \frac{R_1}{r'_p + R'_{\text{доб}}} \right) ds, \quad (1.27)$$

из которого

$$A_{\Pi} = \frac{J\omega_0^2}{2} (s_{\text{нач}}^2 - s_{\text{кон}}^2) \left(1 + \frac{R_1}{r'_p + R'_{\text{доб}}} \right), \quad (1.28)$$

где ω_0 – синхронная угловая частота вращения, рад/с;

$s_{\text{нач}}$, $s_{\text{кон}}$ – начальное и конечное скольжение на каждой конкретной пусковой характеристике соответственно;

R_1 – активное сопротивление цепи статора, Ом;

J – момент инерции двигателя и рабочей машины, приведенный к валу двигателя, кг·м²;

r'_p , $R'_{\text{доб}}$ – приведенные сопротивления, Ом.

В нашем случае при пуске в две ступени, включая разгон на естественной характеристике, потери при работе на первой реостатной характеристике определяются по формуле:

$$A_{\Pi 1} = \frac{J\omega_0^2}{2} (1 - s_{\Pi 1}^2) \left(1 + \frac{R_1}{r'_p + r'_1 + r'_2} \right), \quad (1.29)$$

на второй реостатной характеристике –

$$A_{\Pi 2} = \frac{J\omega_0^2}{2} (s_{\Pi 1}^2 - s_{\Pi 2}^2) \left(1 + \frac{R_1}{r'_p + r'_2} \right), \quad (1.30)$$

на естественной характеристике –

$$A_{\Pi 3} = \frac{J\omega_0^2}{2} s_{\Pi 2}^2 \left(1 + \frac{R_1}{r'_p} \right), \quad (1.31)$$

где $s_{\Pi 1}$, $s_{\Pi 2}$ – скольжение переключения.

Поскольку сопротивление в цепи статора R_1 неизвестно, можно в первом приближении принять $R_1 = r'_p$, тогда формула (1.31) принимает вид:

$$A_{п3} = J \omega_0^2 s_{п2}^2. \quad (1.32)$$

Полные потери при реостатном пуске

$$A_{п.р} = A_{п1} + A_{п2} + A_{п3}. \quad (1.33)$$

В случае прямого пуска, приняв $s_{нач} = 1$; $s_{кон} = 0$ и $R_{доб} = 0$, по выражению (1.27) можно вычислить потери:

$$A_{п.п} = J \omega_0^2. \quad (1.34)$$

Очевидно, что при прямом и реостатном пуске потери в роторной цепи, как это следует из их определения, остаются одинаковыми. Потери в статорной цепи при реостатном пуске значительно снижаются за счет уменьшения пускового тока. Таким образом, электрические потери при реостатном пуске оказываются меньше. Затраты на оборудование и его обслуживание достаточно быстро окупаются за счет снижения эксплуатационных расходов.

2. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

2.1. Параметры задания

Заданный график нагрузки приведен на рис. 1.1, из которого следует: мощности на ступенях нагрузки, кВт,

$$P_1 = 90; P_2 = 60; P_3 = 120; P_4 = 70;$$

длительность каждой ступени нагрузки, мин,

$$t_1 = 20; t_2 = 25; t_3 = 15; t_4 = 10; t_5 = 10;$$

синхронная частота вращения АД – 500 об/мин. Требуемое снижение частоты вращения на реостатной характеристике $\Delta n = 5,6 \%$.

2.2. Расчет эквивалентной мощности и выбор АД

Эквивалентная мощность по формуле (1.1), кВт,

$$P_3 = \sqrt{\frac{90^2 \cdot 20 + 60^2 \cdot 25 + 120^2 \cdot 15 + 70^2 \cdot 10}{20 + 25 + 15 + 10 + 10}} = 80,4.$$

По каталогу выбираем двигатель 4АНК35512УЗ, имеющий следующие параметры:

– номинальная мощность	$P_n = 90$ кВт;
– номинальное скольжение	$s_n = 4 \%$;
– КПД в номинальном режиме	$\eta_n = 89,5 \%$;
– кратность максимального момента	$K_M = 2,7$;
– напряжение ротора	$U_p = 260$ В;
– ток ротора	$I_p = 220$ А;
– постоянная времени нагрева	$T_n = 43$ мин;
– суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя,	$J_q = 11 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot 10^{-2}$.

Характеристика двигателя 4АНК35512УЗ: двигатель серии 4А с фазным ротором; исполнение по способу защиты – IP23; станины и щиты – чугунные; высота оси вращения – 355 мм; число полюсов – 12; климатическое исполнение – УЗ.

2.3. Проверка выбранного двигателя по нагреву

Потери в номинальном режиме определяем по формуле (1.3), кВт,

$$\Delta P_{\text{н}} = \frac{1 - 0,895}{0,895} \cdot 90 = 10,7.$$

Потери х.х. рассчитываем по соотношению (1.4), кВт,

$$P_0 = 0,35 \cdot 10,7 = 3,7.$$

Потери в обмотках при номинальной нагрузке, кВт,

$$P_{\text{м}} = 0,65 \cdot 10,7 = 7,0.$$

Коэффициенты нагрузки по ступеням графика вычисляем по формуле (1.6)

$$K_{\text{н1}} = \frac{90}{90} = 1; \quad K_{\text{н2}} = \frac{60}{90} = 0,67; \quad K_{\text{н3}} = \frac{120}{90} = 1,33;$$
$$K_{\text{н4}} = \frac{70}{90} = 0,78; \quad K_{\text{н5}} = \frac{0}{90} = 0.$$

Потери на каждой ступени графика нагрузки определяем по формуле (1.5), кВт,

$$\Delta P_1 = 3,7 + 1^2 \cdot 7 = 10,7; \quad \Delta P_2 = 3,7 + 0,67^2 \cdot 7 = 6,81;$$

$$\Delta P_3 = 3,7 + 1,33^2 \cdot 7 = 16,1; \quad \Delta P_4 = 3,7 + 0,78^2 \cdot 7 = 7,93;$$

$$\Delta P_5 = 3,7 + 0 = 3,7.$$

Средние потери за цикл рассчитываем по формуле (1.7), кВт,

$$\Delta P_{\text{cp}} = \frac{10,7 \cdot 20 + 6,81 \cdot 25 + 16,1 \cdot 15 + 7,93 \cdot 10 + 3,7 \cdot 10}{20 + 25 + 15 + 10 + 10} = 9,28.$$

Условие (1.8) выполняется: 9,28 кВт < 10,7 кВт.

2.4. Проверка на перегрузку при снижении напряжения

Условие (1.9) при снижении напряжения на 10 % выполняется:

$$\frac{120}{90} \leq \left(1 - \frac{10}{100}\right)^2 \cdot 2,7; \quad 1,33 < 2,43,$$

следовательно, двигатель сохраняет работоспособность при понижении напряжения в цеховой сети.

Таким образом, выбранный двигатель удовлетворяет всем принятым условиям.

2.5. Расчет теплового состояния АД

Для выполнения данного раздела необходимо прежде всего найти установившееся превышение температуры по формуле (1.11), соответствующее нагрузке на каждой ступени графика, °С:

$$\tau_{y1} = \frac{10,7}{10,7} \cdot 80 = 80; \quad \tau_{y2} = \frac{6,81}{10,7} \cdot 80 = 50,8;$$

$$\tau_{y3} = \frac{16,1}{10,7} \cdot 80 = 120,4; \quad \tau_{y4} = \frac{7,93}{10,7} \cdot 80 = 59,3;$$

$$\tau_{y5} = \frac{3,7}{10,7} \cdot 80 = 27,7.$$

Реальное превышение температуры, °С, определяем по уравнению (1.10):
в течение первого цикла –

$$\tau_{11} = 0 + (80 - 0) \left(1 - e^{-\frac{20}{43}} \right) = 29,8;$$

$$\tau_{12} = 29,8 + (50,8 - 29,8) \left(1 - e^{-\frac{25}{43}} \right) = 39,1;$$

$$\tau_{13} = 39,1 + (120,4 - 39,1) \left(1 - e^{-\frac{15}{43}} \right) = 63,0;$$

$$\tau_{14} = 63,0 + (59,3 - 63) \left(1 - e^{-\frac{10}{43}} \right) = 62,2;$$

$$\tau_{15} = 62,2 + (27,7 - 62,2) \left(1 - e^{-\frac{10}{43}} \right) = 55,1;$$

второго –

$$\tau_{21} = 55,1 + (80 - 55,1) \cdot 0,372 = 64,3;$$

$$\tau_{22} = 64,3 + (50,8 - 64,3) \cdot 0,441 = 58,4;$$

$$\tau_{23} = 58,4 + (120,4 - 58,4) \cdot 0,294 = 76,6;$$

$$\tau_{24} = 76,6 + (59,3 - 76,6) \cdot 0,207 = 73,0;$$

$$\tau_{25} = 73,0 + (27,7 - 73,0) \cdot 0,207 = 63,6 \text{ и т. д.}$$

Последующее превышение температуры, °С:

$$\tau_{31} = 69,7; \quad \tau_{32} = 61,4; \quad \tau_{33} = 78,7; \quad \tau_{34} = 74,7; \quad \tau_{35} = 65,0;$$

$$\tau_{41} = 70,6; \quad \tau_{42} = 61,8; \quad \tau_{43} = 79,1; \quad \tau_{44} = 75,0; \quad \tau_{45} = 65,2.$$

Как видно, превышение температуры после третьего цикла остается практически неизменным, т. е. тепловой режим двигателя достиг установив-

шегося состояния. Кривая нагрева показана на рис. 1.2, где пунктиром нанесена обобщенная кривая нагрева, рассчитанная по средним потерям при $\tau_{\text{нач}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, в данном примере – по формуле (1.12), $^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_{\text{y.ср}} = \frac{9,28}{10,7} \cdot 80 = 69,4;$$

$$\tau_{\text{ср}} = 69,4 \left(1 - e^{-\frac{t}{43}} \right),$$

где t – текущее время, мин.

Расчет следует вести до $t \geq 3T_{\text{н}}$.

Примечание. При вычислениях превышения температуры по циклам и ступеням графика нагрузки значение во вторых скобках в уравнении (1.10) остается величиной постоянной для конкретной ступени любого цикла. Это позволяет заметно сократить время расчета, особенно при наличии калькулятора с достаточным числом регистров памяти.

2.6. Расчет механических характеристик

Для расчета естественной механической характеристики находим: номинальную частоту вращения – по формуле (1.15), об/мин:

$$n_{\text{н}} = 500(1 - 0,04) = 480;$$

номинальный момент – по выражению (1.14), Н·м:

$$M_{\text{н}} = 9550 \frac{90}{480} = 1790;$$

критическое скольжение – по уравнению (1.16):

$$s_{\text{к}} = 0,04 \left(2,7 + \sqrt{2,7^2 - 1} \right) = 0,208;$$

максимальный момент, Н·м,

$$M_{\max} = 2,7 \cdot 1790 = 4830.$$

Расчет механической характеристики производим по упрощенной формуле Клосса (1.13), Н·м:

$$M = \frac{2 \cdot 2,7 \cdot 1790}{\frac{s}{0,208} + \frac{0,208}{s}}.$$

Результаты расчета приведены в табл. 2.1, характеристики показаны на рис. 1.3.

Т а б л и ц а 2.1

Механические характеристики выбранного АД

Исследуемые параметры машины	Скольжение s										
	0	$s_H =$ = 0,04	0,05	0,1	$s_K =$ = 0,208	0,4	$s_{p.k} =$ = 0,49	0,6	0,8	1,0	1,2
Частота вращения ротора n , об/мин	500	480	475	450	396	300	255	200	100	0	–100
Моменты M , Н·м: естественная характеристика	0	1790	2200	3780	4830	3960	3254	2990	2350	1930	1630
реостатная характеристика	0	784	980	1890	3380	4740	4830	4740	4300	3820	3380

Для расчета реостатной характеристики необходимо прежде всего определить по формуле (1.20) частоту вращения ротора при заданном Δn , об/мин:

$$n_{p.н} = 480 \left(1 - \frac{5,6}{100} \right) = 453,$$

и по уравнению (1.21) – скольжение, соответствующее данной частоте вращения:

$$s_{p.н} = \frac{500 - 453}{500} = 0,094.$$

Сопротивление ротора выбранного двигателя определяем по формуле (1.19), Ом:

$$r_p = \frac{260}{\sqrt{3} \cdot 220} \cdot 0,04 = 0,0273,$$

тогда необходимое добавочное сопротивление рассчитываем по уравнению (1.22), Ом:

$$R_{доб} = 0,0273 \left(\frac{0,094}{0,04} - 1 \right) = 0,037.$$

Критическое скольжение на реостатной характеристике вычисляем по формуле (1.23):

$$s_{p.к} = \frac{0,094}{0,04} \cdot 0,208 = 0,49.$$

Расчетные данные реостатной характеристики приведены в табл. 2.1, характеристики показаны на рис. 1.3.

2.7. Расчет резисторов пускового реостата

По заданию пуск двигателя производится при $M_c = 0$. Выбираем пиковый момент, Н·м:

$$M_1 = 0,75 M_{max}; \quad M_1 = 0,75 \cdot 4830 = 3620.$$

В этом случае при $z = 2$ переключающий момент определяем по формуле (1.25), Н·м,

$$M_2 = 3620 \cdot \sqrt[2]{\frac{3620}{1790}} \cdot 0,04 = 1030$$

или $M_2 = 0,576 M_n$, что вполне допустимо при пуске в режиме х.х.

По найденным моментам построена пусковая диаграмма (рис. 1.4), из которой получаем отношения отрезков:

$$\frac{ab}{cd} = 8,63; \quad \frac{bc}{cd} = 2,5.$$

Следовательно, сопротивление секций пускового реостата рассчитываем по формулам (1.26), Ом,

$$r_1 = 0,0273 \cdot 8,63 = 0,236; \quad r_2 = 0,0273 \cdot 2,5 = 0,068.$$

2.8. Расчет электрических потерь при пуске двигателя

Для расчета электрических потерь необходимо предварительно определить скольжение при переходе с одной характеристики на другую. В соответствии с пусковой диаграммой (см. рис. 1.4) первое переключение должно быть при частоте вращения 352 об/мин, второе – 460 об/мин, следовательно, по уравнению (1.21)

$$S_{n1} = \frac{500 - 352}{500} = 0,296;$$

$$S_{n2} = \frac{500 - 460}{500} = 0,08.$$

Угловую синхронную частоту вращения определяем по уравнению, рад/с:

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi \cdot 500}{60} = 52,4.$$

В выражениях (1.27) – (1.31) присутствует соотношение сопротивлений $\frac{R_1}{r'_p}$, и если принять $R_1 = r'_p$, то оно остается тем же в результате замены этого равенства на $R_1 = r_p$. В дальнейшем расчеты ведутся по реальным значениям сопротивлений ротора.

Потери электрической энергии, Дж, при реостатном пуске, принимая $R_1 = r_p$,

на первой реостатной характеристике определяем по формуле (1.29):

$$A_{п1} = \frac{11 \cdot 10^{-2} \cdot 52,4^2}{2} (1 - 0,296^2) \left(1 + \frac{0,0273}{0,0273 + 0,236 + 0,068} \right) = 149;$$

на второй реостатной характеристике – по формуле (1.30):

$$A_{п2} = \frac{11 \cdot 10^{-2} \cdot 52,4^2}{2} (0,296^2 - 0,08^2) \left(1 + \frac{0,0273}{0,0273 + 0,068} \right) = 15,8;$$

на естественной характеристике – по формуле (1.31):

$$A_{п3} = \frac{11 \cdot 10^{-2} \cdot 52,4^2}{2} \cdot 0,08^2 \cdot 2 = 0,97.$$

Суммарные электрические потери при реостатном пуске рассчитываем по уравнению (1.33), Дж,

$$A_{п,р} = 149 + 15,8 + 0,97 = 166;$$

в практических единицах, кВт·ч,

$$\dot{A}_{\text{т.о}} = \frac{166}{3,6 \cdot 10^6} = 46,1 \cdot 10^{-6}.$$

Для сравнения определяем электрические потери в случае прямого пуска по формуле (1.34), Дж:

$$A_{\text{п.п}} = 11 \cdot 10^{-2} \cdot 52,4^2 = 302;$$

в практических единицах, кВт·ч,

$$\dot{A}_{\text{т.п}} = \frac{302}{3,6 \cdot 10^6} = 83,9 \cdot 10^{-6}.$$

Как видно, электрические потери при прямом пуске почти вдвое больше, чем при реостатном. Иначе говоря, на каждом пуске экономится 37,8 кВт·ч $\cdot 10^{-6}$.

3. УПРАВЛЕНИЕ ПУСКОМ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

3.1. Общие положения

Управление электроприводом заключается в осуществлении пуска, регулировании скорости, торможения, реверсирования, а также в поддержании режима работы привода в соответствии с требованиями к технологическому процессу.

Современные регулируемые электроприводы для автоматических линий и механизмов обычно строятся с применением релейно-контакторной аппаратуры, на которую возлагаются функции включения питания (подсоединения к сети) силовых блоков и блоков управления, защиты и ввода первоначальных и конечных команд в систему управления приводом, однако наряду с электроприводами, выполняющими сложные функции, в ряде случаев содержащими микропроцессоры или программные устройства управления,

существует большое количество электроприводов, на которые возлагаются относительно простые функции. Это обычно нерегулируемые или регулируемые ступенчато в небольшом диапазоне электроприводы с невысоким быстродействием. В задачу систем управления такими электроприводами чаще всего входит организация пуска, торможения, перехода с одной ступени скорости на другую, реверса и осуществление этих операций в определенной последовательности во времени или по командам от рабочей машины, завершившей очередную технологическую операцию. Причем необязательно, чтобы система управления выполняла все эти функции (набор функций зависит от требований к приводу).

Автоматизация упрощает обслуживание механизмов, дает возможность осуществлять дистанционное управление электроприводами там, где нельзя непосредственно управлять двигателями по условиям территориального расположения машин или в связи с особенностями технологического процесса.

Для автоматического управления электроприводами применяются различные аппараты: контакторы, автоматы, регуляторы, реле, кнопочные станции, путевые выключатели, бесконтактные логические элементы, а также разного рода вспомогательные электрические аппараты и машины. Каждый из этих аппаратов состоит из ряда элементов: электромагнитной системы, создающей необходимое тяговое усилие; главных и вспомогательных контактов и т. д. С помощью проводов отдельные аппараты и их элементы электрически соединяются в общую систему, призванную осуществлять заданные операции в определенной последовательности.

В системах цепи делятся на две категории: главного тока и вспомогательные. К первым относятся силовые цепи двигателей и генераторов. Вспомогательные цепи включают в себя цепи управления, где присоединяются катушки контакторов и реле, контактные реле, вспомогательные контакты контакторов и другие элементы аппаратов. Кроме того, к вспомогательным относятся цепи защиты, сигнализации и цепи, связанные со специальными блокировками между отдельными электроприводами.

Принципиальная схема электроприводов содержит условные графические изображения элементов всех аппаратов и машин (табл. 3.1), которые располагают на схеме так, чтобы удобно было ее читать, а не по действительному пространственному расположению элементов, т. е. отдельные

Таблица 3.1

Условные обозначения элементов и машин в схемах электроприводов

Обозначение элемента	Название элемента	Обозначение элемента	Название элемента
	Обмотка компенсационная		Электротепловое реле
	Обмотка параллельного возбуждения МПТ, обмотка независимого возбуждения		Контакт замыкающий дугогасительный для коммутации силовой цепи
	Резистор постоянный		Катушка электромеханического устройства
	Предохранитель плавкий		Выключатель трехполюсный
	Контакт с автоматическим возвратом при перегрузке		Контакт замыкающий с механической связью
	Контакт замыкающий		Выключатель кнопочный без самовозврата, нажимной с возвратом посредством вторичного нажатия кнопки
	Контакт размыкающий		
	Контакт замыкающий с замедлителем, действующим при срабатывании		Выключатель кнопочный нажимной, с замыкающим контактом
	Контакт замыкающий с замедлителем, действующим при возврате		Выключатель кнопочный нажимной, с размыкающим контактом
	Контакт замыкающий, разрывающийся под током, для коммутации силовой цепи		Двигатель асинхронный трехфазный, соединенный в треугольник, с короткозамкнутым ротором
	Контакт размыкающий с замедлителем, действующим при срабатывании		Машина асинхронная трехфазная с фазным ротором, обмотка которого соединена в звезду (Y); обмотка статора соединена в

			треугольник (Δ)
--	--	--	--------------------------

токоведущие элементы аппаратов и машин показаны на схеме в электрической цепи вне зависимости от кинематической или конструктивной связи этих элементов. Каждому аппарату в схеме присваивается буквенное обозначение, соответствующее функции данного аппарата.

Условные обозначения элементов схем электропривода: Q – разъединитель в силовых цепях; QF – выключатель автоматический; FA – дискретный элемент защиты по току мгновенного действия; FU – предохранитель плавкий; KM – контактор, магнитный пускатель; KK – реле электротепловое; KT – реле времени; SB – выключатель кнопочный; M – двигатель.

Некоторые типовые схемы нашли практическое применение для управления пуском асинхронных двигателей с короткозамкнутым (рис. 3.1) и фазным (рис. 3.2) роторами. Схема реверсивного управления асинхронными двигателями представлена на рис. 4.1. Реверс – это изменение направления вращения, которое осуществляется изменением направления вращения магнитного поля статора, для чего изменяется чередование фаз.

В схемах предусмотрены различные способы защиты двигателей от перегрузки и короткого замыкания, от резкого снижения питающего напряжения и др.

3.2. Управление пуском АД с короткозамкнутым ротором

Схема управления асинхронным двигателем с использованием магнитного пускателя (рис. 3.1) включает в себя магнитный пускатель, состоящий из контактора KM и двух встроенных в него тепловых реле защиты KK . Такая схема обеспечивает прямой (без ограничения тока и момента) пуск АД, отключение его от сети, а также защиту от коротких замыканий (предохранители FA) и перегрузки (тепловые реле KK).

Для пуска двигателя замыкается выключатель QF и нажимается кнопка пуска $SB1$. При этом получает питание катушка контактора KM , который, включившись, своими главными силовыми контактами в цепи статора подключает двигатель к источнику питания, а вспомогательным контактом

шунтирует кнопку *SB1*. Происходит разбег асинхронного двигателя по его естественной характеристике. При нажатии кнопки остановки *SB2* контактор *KM* теряет питание и отключает АД от сети. Начинается процесс торможения асинхронного двигателя выбегом под действием момента нагрузки на его валу.

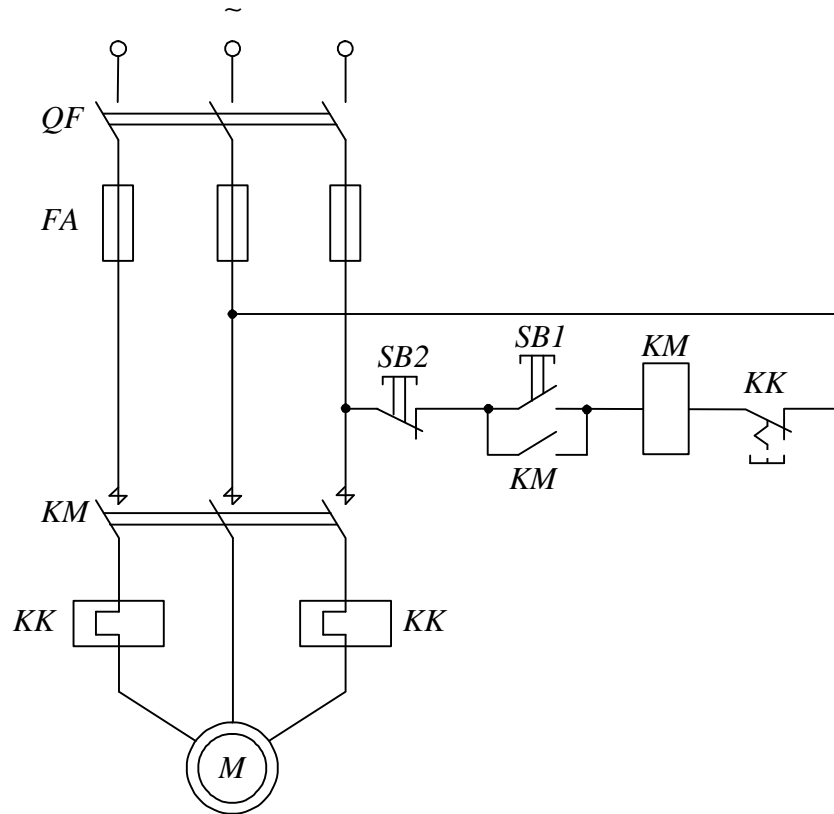


Рис. 3.1. Принципиальная схема управления пуском АД с короткозамкнутым ротором

3.3. Управление пуском АД с фазным ротором в функции времени

Упрощенная схема управления пуском АД с фазным ротором в функции времени в две пусковые ступени приведена на рис. 3.2. В данную схему включены реле времени *KT1* и *KT2*, имеющие свои контакты *KT1* и *KT2* в цепях силовых контакторов *KM2* и *KM3*. Контакты *KT1* и *KT2* работают на замыкание после потери питания катушек реле *KT1* и *KT2* с задержкой по времени.

При замыкании рубильника *Q* напряжение подается на катушки реле времени *KT1* и *KT2* через замкнутые контакты *KM1* и *KM2* и контакты реле *KT1* и *KT2* оказываются разомкнутыми. После нажатия кнопки пуска *SB1* получает

питание катушка контактора $KM1$, в результате чего подается напряжение на статор двигателя, блокируется кнопка $SB1$ и теряет питание катушка реле времени $KT1$. Начинается отсчет времени пуска со всеми пусковыми резисторами. После выдержки времени замыкается контакт $KT1$, получает питание силовой контактор $KM2$, что приводит к выводу из цепи ротора резистора $R_{\partial 1}$ и к потере питания реле времени $KT2$. По окончании времени срабатывания катушки реле $KT2$ замыкается контакт реле $KT2$, получает питание силовой контактор $KM3$, шунтируется оставшийся резистор $R_{\partial 2}$, двигатель переходит на естественную характеристику. Продолжительность автоматического пуска складывается из значений времени срабатывания реле $KT1$ и $KT2$ и времени разгона двигателя по естественной характеристике.

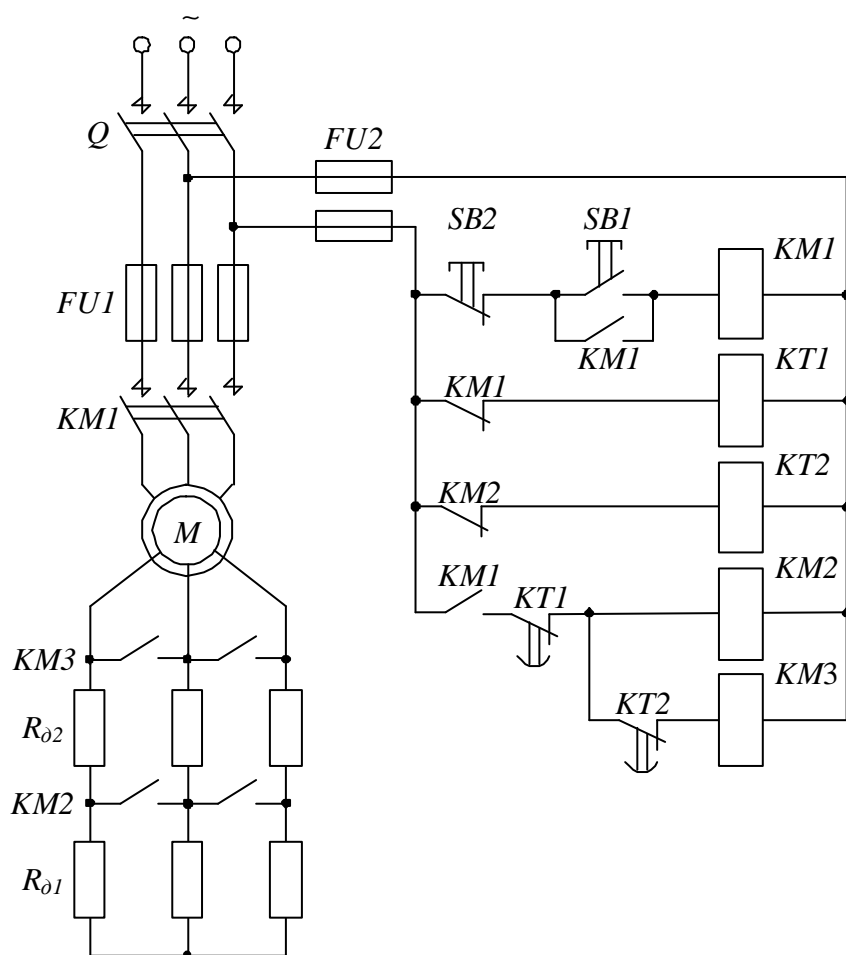


Рис. 3.2. Принципиальная схема управления пуском АД с фазным ротором

Защита АД предусмотрена такая же, как и в схеме, приведенной на рис. 3.1. Нажатием кнопки остановки *SB2* двигатель отключается от сети, при этом катушка контактора *KM1* теряет питание и замыкающие контакты его *KM1* размыкают цепь статора.

4. УПРАВЛЕНИЕ РЕВЕРСОМ АД С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Основным элементом в схеме управления реверсом (рис. 4.1) является реверсивный магнитный пускатель, который включает в себя два линейных контактора (*KM1* и *KM2*) и два тепловых реле защиты (*KK*). Такая схема обеспечивает прямой пуск и реверс асинхронного двигателя, а также торможение АД противовключением при ручном (неавтоматическом) управлении.

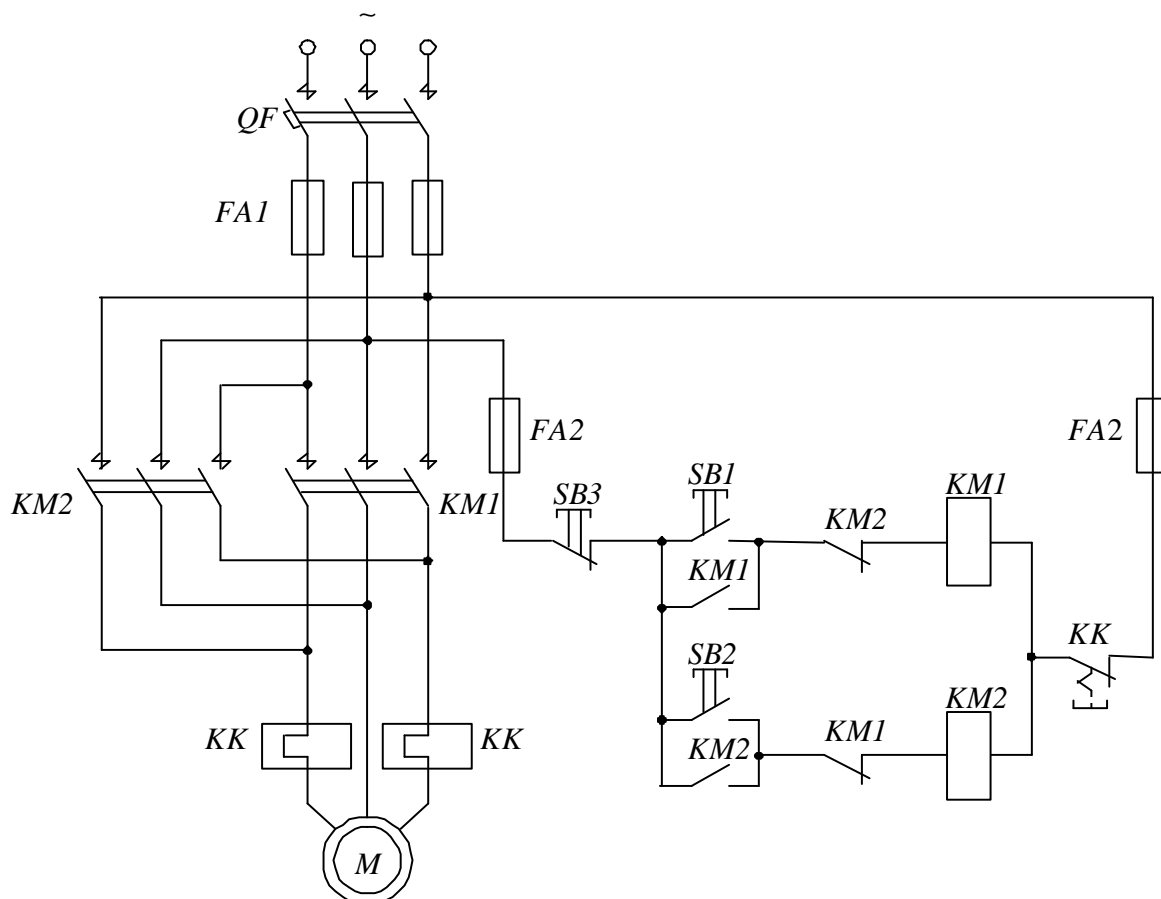


Рис. 4.1. Принципиальная схема управления реверсом АД с короткозамкнутым ротором

В схеме (см. рис. 4.1) предусмотрена также защита от перегрузок АД (реле *KK*) и коротких замыканий в цепях статора (автоматический выключатель *QF*) и управления (предохранители *FA*). Кроме того, в ней обеспечивается и нулевая защита от исчезновения (снижения) напряжения сети (контакторы *KM1* и *KM2*).

Пуск двигателя в условном направлении “Вперед” или “Назад” осуществляется нажатием соответственно кнопки *SB1* или *SB2*, что приводит к срабатыванию контактора *KM1* или *KM2* и подключению АД к сети (при включенном автоматическом выключателе *QF*).

Для обеспечения реверса или торможения двигателя сначала нажимается кнопка *SB3*, что приводит к отключению включенного до тех пор контактора (например, *KM1*), а затем – кнопка *SB2*, что приводит к включению контактора *KM2* и подаче на АД напряжения питания с другим чередованием фаз. После этого магнитное поле двигателя изменяет свое направление вращения и начинается процесс реверса, состоящий из двух этапов – торможения противовключением и разбега в противоположную сторону.

В случае необходимости только затормозить двигатель при достижении им нулевой скорости следует вновь нажать кнопку *SB3*, что приведет к отключению его от сети и возвращению схемы в исходное положение. Если кнопку *SB3* не нажимать, последует разбег АД в другую сторону, т. е. его реверс.

Во избежание короткого замыкания в цепи статора, которое может возникнуть в результате одновременного ошибочного нажатия кнопок *SB1* и *SB2*, в реверсивных магнитных пускателях иногда предусматривается специальная механическая блокировка – рычажная система, которая предотвращает одновременное включение двух контакторов. В дополнение к механической в такой схеме используется типовая электрическая блокировка, применяемая в реверсивных схемах управления, которая заключается в перекрестном включении размыкающих контактов аппарата *KM1* в цепь катушки аппарата *KM2*, и наоборот.

Отметим, что повышению надежности работы электропривода и удобства его в эксплуатации способствует использование в схеме управления воздушного автоматического выключателя *QF*, который исключает

возможность работы привода при обрыве одной фазы и однофазном коротком замыкании, как это может иметь место при использовании предохранителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Студент завершает работу общим анализом результатов и оценкой особенностей расчетов (имеются в виду общая характеристика выбранного двигателя, результаты проверки, тепловое состояние, оценка электрических потерь при пуске).

Для защиты курсовой работы необходимо обратить внимание на физическую сторону процессов, их взаимную связь и реальность теоретических значений. Авторы считают, что осознанное выполнение данной работы студентом окажет ему существенную помощь в освоении дисциплин “Электротехника и электроника” и “Электрические машины и электропривод”.

Библиографический список

1. Ч и л и к и н М. Г. Общий курс электропривода. 6-е изд./ М. Г. Ч и л и к и н , А. С. С а н д л е р. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. М о с к а л е н к о В. В. Электрический привод/ В. В. М о с к а л е н к о. М.: Мастерство, 2006.
3. В о л ь д е к А. И. Электрические машины/ А. И. В о л ь д е к. Л.: Энергия, 1990.
4. К а с а т к и н А. С. Электротехника/ А. С. К а с а т к и н, М. В. Н е м - ц о в. М.: Высшая школа, 2000.
5. Справочник по электрическим машинам/ Под общ. ред. И. П. К о п ы - л о в а, Б. К. К л о к о в а. М.: Энергоатомиздат, 1998.
6. А в и л о в В. Д. Основы электропривода технологических установок: Конспект лекций / В. Д. А в и л о в / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2008.

**Технические характеристики асинхронных двигателей
с фазным ротором серии 4А**

Типоразмер двигателя	P_n , кВт	s_n , %	η_n , %	K_M	U_p , В	I_p , А	$J_p \cdot 10^{-2}$, кг·м ²	T_n , мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Синхронная частота вращения 750 об/мин								
4AK160S8Y3	5,5	6,5	80	2,5	300	14	9	22
4AK160M8Y3	7,5	6,0	82	3,0	290	16	13	24
4AK180M8Y3	11	4,0	85,5	3,5	270	25	18	26
4АНК180M8Y3	14	4,5	86,5	3,5	310	28	16	25
4AK200M8Y3	15	3,5	86	3,0	360	28	25	27
4AK200L8Y3	18,5	3,5	86	3,0	300	40	40	28
4AK225M8Y3	22	4,5	87	2,2	102	140	45	30
4AK250S8Y3	30	4,0	88,5	2,2	125	155	74	33
4AK250M8Y3	37	3,5	89	2,2	148	155	115	34
Синхронная частота вращения 1000 об/мин								
4AK160S6Y3	7,5	5,0	82,5	3,5	300	18	10	22
4AK160M6Y3	10	4,5	84,5	3,8	310	20	12	24
4AK180M6Y3	13	4,5	85,5	4,0	325	25	14	25
4АНК180S6Y3	13	7,0	83,5	3,0	205	42	11	23
4АНК180M6Y3	17	6,0	85	3,0	335	33	13	24
4АНК200M6Y3	18,5	3,5	88	3,5	360	35	21	27
4AK200L6Y3	22	3,5	88	3,5	330	45	37	28
4AK225M6Y3	30	3,5	89	2,5	140	150	55	30
4АНК200L6Y3	30	4,0	88,5	3,0	375	46	46	28
4AK250S6Y3	37	3,5	89	2,5	150	165	74	33
4АНК225M6Y3	37	4,0	89	1,9	140	180	53	30
4AK250M6Y3	45	3,0	90,5	2,5	180	160	115	34
4АНК250SA6Y3	45	4,0	89,5	2,3	155	200	105	32

Окончание приложения

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Синхронная частота вращения 1500 об/мин								
4AK160S4Y3	11	5,0	86,5	3,0	305	22	9	22
4AK160M4Y3	14	4,0	88,5	3,5	300	29	10	23
4АНК160M4Y3	17	5,0	88	3,5	315	34	13	22
4AK180M4Y3	18	3,5	89	4,0	295	38	15	26
4AK200M4Y3	22	2,5	90	4,0	340	45	19	27
4АНК180S4Y3	22	5,5	87	3,2	300	43	16	23
4АНК180M4Y3	30	4,5	88	3,2	290	63	23	24
4AK200L4Y3	30	2,5	90,5	4,0	350	55	37	27
4АНК200M4Y3	37	3,0	90	3,0	360	62	40	27
4AK225M4Y3	37	3,5	90	3,0	160	160	42	30
4АНК200L4Y3	45	3,5	90	3,0	375	75	45	28
4AK250SA4Y3	45	3,0	91	3,0	230	170	49	33
4АНК225M4Y3	55	4,0	89,5	2,5	170	200	51	31
4AK250SB4Y3	55	3,0	90,5	3,0	200	170	64	34

Примечание. Сведения о моменте инерции и постоянной нагрева ориентировочные и могут использоваться только для учебных целей.

Учебное издание

АВИЛОВ Валерий Дмитриевич,
БЕЛЯЕВ Владимир Павлович,
САВЕЛЬЕВА Евгения Николаевна

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ
В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Редактор Т. С. Паршикова

* * *

Лицензия ИД № 01094 от 28.02.2000.

Подписано в печать . . . 2011. Формат $60 \times 84^{1/16}$.

Плоская печать. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 2,75 Уч.-изд. л. 3,0.

Тираж 250 экз. Заказ .

* *

Редакционно-издательский отдел ОмГУПСа
Типография ОмГУПСа

*

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35