

**Министерство образования Республики Беларусь**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»**

**Кафедра «Автоматизированный электропривод»**

**Л. В. Веппер, В. В. Логвин**

**РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫЕ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

**ПРАКТИКУМ**

**по одноименной дисциплине для студентов  
специальности 1-53 01 05**

**«Автоматизированные электроприводы»**

**дневной и заочной форм обучения**

**В двух частях**

**Часть 1**

**Гомель 2012**

УДК 62-83-52(075.8)  
ББК 31.291я73  
В30

*Рекомендовано научно-методическим советом  
факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 11 от 27.06.2011 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *О. Г. Широков*

**Веппер, Л. В.**  
В30 Релейно-контакторные системы управления и защиты автоматизированных электроприводов : практикум по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. и заоч. форм обучения : в 2 ч. Ч. 1 / Л. В. Веппер, В. В. Логвин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 82 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены вопросы составления релейно-контакторных схем управления электроприводами, даны рекомендации по выбору электродвигателей.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 62-83-52(075.8)  
ББК 31.291я73**

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2012

## **ВВЕДЕНИЕ**

При обучении студентов по специальности 1–53 01 05 – «Автоматизированные электроприводы» дисциплина «Релейно-контакторные системы управления и защиты автоматизированных электроприводов» является очень важной для успешного освоения материала профилирующих дисциплин. Поэтому целью практической работы является развитие, систематизация и закрепление знаний, полученных при изучении теоретического материала.

Основная задача данной практической работы – выработать у студентов практические навыки самостоятельно решать вопросы составления релейно-контакторных схем управления автоматизированным пуском, реверсом и торможением двигателей. В практической работе на основании изучения назначения и анализа нагрузочной диаграммы производственного механизма, способов торможения и принципов пуска решаются вопросы выбора типа и мощности электродвигателя, расчета пусковых и тормозных сопротивлений, выбора аппаратов защиты и управления. Данное практическое руководство не является исчерпывающим источником для выполнения практической работы. Поэтому при выполнении работы следует использовать рекомендованную литературу.

### **1. ЗАДАНИЕ НА ПРАКТИЧЕСКУЮ РАБОТУ**

Задание на практическую работу содержит данные для построения нагрузочной диаграммы механизма, принципы пуска и способ торможения электродвигателя, тип двигателя (двигатель постоянного тока параллельного возбуждения, асинхронный двигатель с фазным ротором).

В данной практической работе студентам предлагается выполнить следующие разделы:

1. Построение нагрузочной диаграммы и определение режима работы электродвигателя.
2. Предварительный выбор электродвигателя и проверка его по перегрузочной способности и по возможности пуска.
3. Расчет пусковых и тормозных сопротивлений графоаналитическим методом.
4. Составление релейно-контакторной схемы автоматизации пуска, реверса и торможения электродвигателя.

5. Обоснование способа защиты электродвигателя, выбор и описание принципа действия аппаратов защиты.
6. Выбор и описание принципа действия электрических аппаратов схемы управления. Разработка схемы сигнализации.
7. Описание работы релейно-контакторной схемы управления и защиты.

Отчет по практическому заданию оформляется на стандартных листах писчей бумаги.

В излагаемый материал обязательно включаются используемые методики расчета, основные допущения и обозначения. При использовании графиков, численных коэффициентов, формул и методик необходимо делать ссылки на соответствующие литературные источники. Не допускается сокращение слов, кроме общепринятых.

В тексте отчета вначале записывается расчетная формула в общем виде, а затем с проставленными числовыми значениями. В конце каждой расчетной формулы обязательно указывается размерность полученных величин в системе СИ и при необходимости номер формулы. Результаты повторяющихся расчетов следует сводить в таблицы. Таблицы должны иметь наименование и нумерацию. Под буквенными обозначениями величин необходимо указывать размерность.

При выборе электродвигателя и электрических аппаратов обязательно делать ссылки на соответствующие литературные источники.

Если применяются программируемые микрокалькуляторы или другая вычислительная техника, то в записке приводятся программы расчета, операторы или указывается название стандартных программ.

Материал в отчете обязательно должен иллюстрироваться схемами, графиками и т.п., которые отражают результаты расчета. Они выполняются на листах записки, на кальке или координатной бумаге.

Графическая часть должна содержать электрическую схему силовой части и схему управления. Выполняются электрические схемы на миллиметровке или листах белой бумаги формата А3, А2, А1 в зависимости от сложности и конфигурации схемы в соответствии с заданием руководителя.

## 2. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Для выполнения практической работы студентам предлагаются следующие темы:

1. Автоматизация пуска, реверса и торможения асинхронного двигателя с фазным ротором.
2. Автоматизация пуска, реверса и торможения двигателя постоянного тока параллельного (последовательного, смешанного) возбуждения.

В табл. 3.1 приведены исходные данные для построения нагрузочной диаграммы механизма. В данной таблице обозначены:  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  ( $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5$ ) – мощности (моменты) на отдельных временных отрезках  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$ , которые требует механизм;  $t_0$  – время паузы в работе механизма, после чего начинается новый цикл;  $\omega_0$  – угловая скорость, с которой вращается механизм.

В табл. 3.2 задается принцип управления пуском, способ торможения, тип двигателя. Здесь приняты следующие обозначения:

- принцип управления пуском (В – в функции времени, С – в функции скорости, Т – в функции тока);
- способ торможения (Д – динамическое, П – противоблуксированием).

Вариант задания состоит из четырех цифр: две первые берутся из табл. 3.1, а две последние – из табл. 3.2.

## 3. ПОСТРОЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ ДИАГРАММЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В данном разделе вначале строится нагрузочная диаграмма механизма в произвольно выбранном масштабе по численным значениям своего варианта (рис. 2.1).

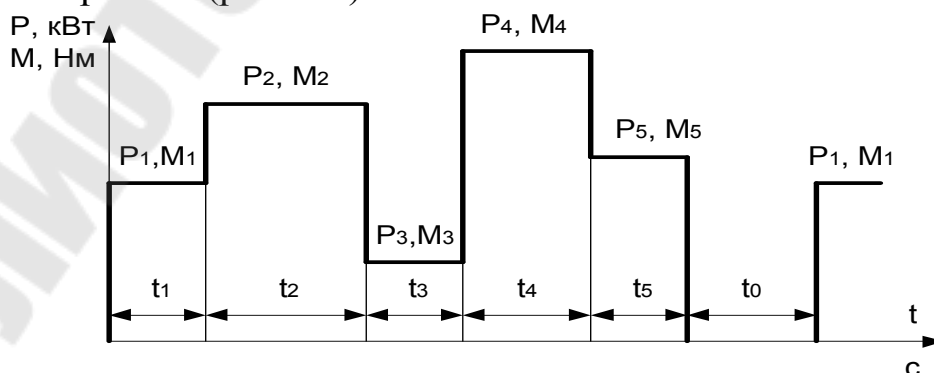


Рис. 3.1. Нагрузочная диаграмма механизма

Таблица 3.1

№	P <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	M <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	M <sub>5</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>0</sub>	ω <sub>0</sub>
	кВт	Н·м	кВт	Н·м	кВт	Н·м	кВт	Н·м	кВт	Н·м	с	с	с	с	с	с	рад/с
01	90	—	60	—	30	—	100	—	20	—	60	70	30	10	40	90	62,8
02	20	—	15	—	10	—	30	—	25	—	30	90	70	20	65	2500	104,7
03	60	—	30	—	40	—	25	—	10	—	10	100	20	120	70	200	104,7
04	10	—	60	—	55	—	90	—	10	—	60	70	20	90	60	5000	78,5
05	50	—	30	—	60	—	10	—	15	—	10	15	30	20	10	150	78,5
06	60	—	20	—	60	—	20	—	60	—	90	75	20	10	80	25	78,5
07	70	—	20	—	50	—	30	—	25	—	40	20	10	10	15	80	78,5
08	30	—	90	—	20	—	40	—	60	—	60	90	70	30	20	380	62,8
09	70	—	80	—	40	—	100	—	10	—	20	10	15	5	40	20	78,5
10	60	—	10	—	20	—	30	—	90	—	60	70	30	10	90	150	62,8
11	70	—	90	—	50	—	10	—	50	—	30	20	40	50	10	180	78,5
12	60	—	80	—	20	—	40	—	30	—	25	25	45	60	10	130	78,5
13	50	—	70	—	20	—	50	—	90	—	60	50	80	100	50	130	62,8
14	80	—	90	—	50	—	90	—	40	—	90	80	50	60	70	1300	62,8
15	70	—	20	—	30	—	50	—	20	—	10	15	20	15	30	410	104,7
16	30	—	5	—	10	—	15	—	10	—	30	60	70	40	20	70	104,7
17	10	—	20	—	10	—	20	—	10	—	60	30	40	50	60	430	104,7
18	20	—	30	—	5	—	10	—	5	—	20	70	60	30	20	600	104,7

Продолжение табл. 3.1

№	P <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	M <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	M <sub>5</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>0</sub>	ω <sub>0</sub>
	кВт	Н·м	кВт	Н·м	кВт	Н·м	кВт	Н·м	кВт	Н·м	с	с	с	с	с	с	рад/с
19	—	300	—	400	—	800	—	500	—	600	20	10	30	40	50	50	78,5
20	—	500	—	600	—	900	—	300	—	900	60	80	90	60	100	90	62,8
21	—	900	—	800	—	1000	—	500	—	600	90	80	20	10	60	120	62,8
2	—	600	—	1200	—	800	—	900	—	1000	100	150	60	80	120	510	62,8
23	—	1500	—	1000	—	1220 0	—	900	—	600	60	80	70	30	90	370	62,8
24	—	900	—	300	—	700	—	800	—	900	80	70	60	20	80	500	78,5
25	—	800	—	700	—	600	—	1000	—	600	95	15	30	40	100	1300	62,8
26	—	600	—	500	—	400	—	900	—	800	60	50	10	20	50	570	78,5
27	—	700	—	800	—	500	—	600	—	1000	50	50	20	30	10	1400	78,5
28	—	800	—	1200	—	1500	—	300	—	900	20	10	10	25	40	90	62,8
29	—	900	—	1500	—	1200	—	2000	—	2500	60	80	90	20	70	160	62,8
30	—	300	—	800	—	700	—	200	—	800	25	35	40	55	10	60	78,5
31	—	1200	—	1000	—	900	—	600	—	1500	30	60	50	20	80	50	62,8
32	—	900	—	800	—	600	—	1500	—	800	20	10	60	100	120	500	78,5
33	—	600	—	800	—	1200	—	900	—	1500	80	90	20	60	90	40	78,5
34	—	100	—	200	—	100	—	300	—	150	30	40	70	20	40	20	104,7
35	—	300	—	100	—	200	—	50	—	150	60	70	20	40	40	300	104,7
36	—	400	—	100	—	150	—	50	—	100	70	20	10	30	60	100	104,7

Таблица 3.2

№	Принцип управления пуском	Число пусковых ступеней(Шт)	Способ торможения	Электро-двигатель переменного тока	Электро-двигатель постоянного тока
1	В	2	Д	Х	
2	В	3	Д	Х	
3	В	4	Д	Х	
4	В	2	П	Х	
5	В	3	П	Х	
6	В	4	П	Х	
7	С	2	Д	Х	
8	С	3	Д	Х	
9	С	4	Д	Х	
10	С	2	П	Х	
11	С	3	П	Х	
12	С	4	П	Х	
13	Т	2	Д	Х	
14	Т	3	Д	Х	
15	Т	4	Д	Х	
16	Т	2	П	Х	
17	Т	3	П	Х	
18	Т	4	П	Х	
19	В	2	Д		Х
20	В	3	Д		Х
21	В	4	Д		Х
22	В	2	П		Х
23	В	3	П		Х
24	В	4	П		Х
25	С	2	Д		Х
26	С	3	Д		Х
27	С	4	Д		Х
28	С	2	П		Х
29	С	3	П		Х
30	С	4	П		Х
31	Т	2	Д		Х
32	Т	3	Д		Х
33	Т	4	Д		Х
34	Т	2	П		Х
35	Т	3	П		Х
36	Т	4	П		Х



Режим работы электродвигателя определяется в зависимости от фактического значения продолжительности включения в процентном отношении

$$ПФ_{\phi\%} = \frac{\sum t_p}{\sum t_p + t_0} \cdot 100\% = \frac{\sum t_p}{\sum t_u} \cdot 100\%,$$

где  $\sum t_p = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$  – время работы электродвигателя;  
 $t_0$  – время паузы;  $\sum t_u = t_p + t_0$  – время цикла.

Если численное значение  $ПВ_{\phi\%}$  мало (0-8 %), то электродвигатель работает в режиме кратковременной нагрузки (S2). При больших значениях  $ПВ_{\phi\%}$  (80-100 %) режим работы двигателя продолжительный при переменной нагрузке (S6). Когда  $ПВ_{\phi\%}$  находится в пределах 8-80 %, имеет место повторно-кратковременный режим (S3).

#### **4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И ПРОВЕРКА ЕГО ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПУСКА**

##### **4.1. ДЛИТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ С ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ (S6)**

Выбор двигателя по наибольшей мощности нагрузки вызовет его недоиспользование при остальных нагрузках, что приведет к снижению энергетических и экономических показателей (КПД, коэффициента мощности, удельного расхода электроэнергии). Выбор по минимальной нагрузке вызовет его перегрузку и быстрое изнашивание. Выбор мощности двигателя по средней нагрузке  $P_{cp} = \frac{P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + \dots + P_k \cdot t_k}{t_1 + t_2 + \dots + t_k}$  также неверен, т.к. средняя ордината на нагрузочной диаграмме не учитывает квадратичную зависимость потерь мощности в двигателе от тока. Лишь при небольших колебаниях нагрузки (до 50 %) электродвигатель можно выбирать по средней мощности.

Метод средних потерь дает отличные результаты, однако не всегда возможно определить потери мощности для различных нагрузок  $P_1, P_2, \dots, P_k$ .

Метод эквивалентных величин (I, P, M) обычно применяют для проверки правильности выбора мощности электродвигателя. Однако этот метод может быть использован и для предварительного выбора. Метод эквивалентного тока основан на замене действительно изменяющегося тока в двигателе таким эквивалентным током, который вызывал бы такие же потери, что и действительный ток.

Общее выражение для эквивалентного тока имеет вид:

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + \dots + I_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}},$$

где  $I_1, I_2, \dots, I_n$  – токи, соответственно, на 1, 2, ..., n участках;  
 $t_1, t_2, \dots, t_n$  – продолжительность 1, 2, ..., n участков.

Если в рассматриваемый цикл работы входят пуск и торможение двигателя, то, учитывая ухудшение условий охлаждения для этих режимов, формула эквивалентного тока имеет вид:

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + \dots + I_n^2 \cdot t_n}{\beta_{\text{п}} t_1 + t_2 + \dots + \beta_{\text{т}} t_n + \beta_0 t_0}},$$

где  $t_1, t_n, \dots, t_0$  – время, соответственно, пуска торможения, паузы ( $t_0$  для этого режима мало и его можно не учитывать);

$\beta_0$  – коэффициент, учитывающий уменьшение теплоотдачи двигателя в неподвижном состоянии, который равен:

$\beta_0 = (0,9-1,0)$  – для электродвигателей закрытых, без наружного охлаждения или с принудительной вентиляцией;

$\beta_0 = (0,45-0,55)$  – для электродвигателей закрытых с наружным охлаждением от собственного вентилятора на валу;

$\beta_0 = (0,25-0,35)$  – для электродвигателей защищенных, с самовентиляцией;

$\beta_{\text{п}} = \beta_{\text{т}} = \frac{1 + \beta_0}{2}$  – коэффициенты, учитывающие ухудшение охлаждения двигателя при пуске и торможении.

Двигатель выбирают из условия  $I_{\text{ндог}} \geq I_{\text{э}}$ , а затем проверяют его по перегрузочной способности

$$I_{\text{ндв}} \geq \frac{I_{\text{наиб}}}{\lambda_I},$$

где  $I_{\text{наиб}}$  – наибольший ток по нагрузочной диаграмме;

$\lambda_I$  – перегрузочная способность двигателя по току.

*Метод эквивалентного момента* можно получить простым преобразованием метода эквивалентного тока. Если  $M = k \cdot \Phi \cdot I$ , то при постоянном магнитном потоке момент пропорционален току. Однако это справедливо для ДПТ параллельного возбуждения при отсутствии регулирования магнитного потока, и приблизительно справедливо для АД, за исключением пусковых и тормозных режимов короткозамкнутых двигателей. Следовательно эквивалентный момент равен

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots + M_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}.$$

Правильно выбранный двигатель должен удовлетворять условию  $M_{\text{ндв}} \geq M_{\text{э}}$ .

*Метод эквивалентной мощности* можно легко получить из метода эквивалентного момента. Если двигатель имеет жесткую характеристику ( $n \approx \text{const}$ ), то мощность пропорциональна моменту  $P = \omega \cdot M$ . Следовательно эквивалентная мощность равна

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots + P_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}.$$

Правильность выбора проверяется из условия  $P_{\text{ндв}} \geq P_{\text{э}}$ . Этот метод еще более ограничен, так как необходимо постоянство скорости.

## 4.2. КРАТКОВРЕМЕННАЯ НАГРУЗКА (S2)

Промышленность выпускает для данного режима специальные электродвигатели, имеющие большую перегрузочную способность и рассчитанные на работу со стандартным временем  $t_{p,cm}$  (15, 30, 60, 90 минут). Если нагрузка в течении работы изменяется и время  $t_p$  отли-

чается от  $t_{p,cm}$ , то рассчитываются эквивалентные величины, которые приводятся к стандартному значению продолжительности кратковременной работы  $t_{p,cm}$ , ближайшему к реальному значению  $t_p$ . При выборе электродвигателя должно соблюдаться одно из условий

$$M_{\text{эт } p,cm} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_{p1} + M_2^2 \cdot t_{p2} + \dots + M_n^2 \cdot t_{pn}}{t_{p,cm}}} \leq M_{\text{ндвт } p,cm},$$

$$P_{\text{эт } p,cm} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_{p1} + P_2^2 \cdot t_{p2} + \dots + P_n^2 \cdot t_{pn}}{t_{p,cm}}} \leq P_{\text{ндвт } p,cm},$$

где  $M_{\text{эт } p,cm}$ ,  $P_{\text{эт } p,cm}$  – эквивалентные значения момента и мощности за время работы  $t_p$ , приведенные к ближайшему стандартному значению  $t_{p,cm}$ ;

$M_{\text{ндвт } p,cm}$ ,  $P_{\text{ндвт } p,cm}$  – номинальные значения момента и мощности двигателя, соответствующие продолжительности кратковременной работы  $t_{p,cm}$ .

Выбранный двигатель необходимо проверить по условиям пуска  $M_{\text{пуск}} > M_1$ , и перегрузочной способности  $M_{kp} > M_{\text{max}}$ .

Для режима кратковременной нагрузки может быть выбран двигатель, предназначенный для длительного режима. В этом случае номинальная мощность электродвигателя выбирается из условия

$$P_{\text{ндвт}} \geq \frac{P_k}{k} = \frac{P_k}{\sqrt{k_T}},$$

где  $P_k$  – мощность кратковременного режима;  
 $k$  – коэффициент временно допустимой механической перегрузки;  
 $k_T$  – коэффициент временно допустимой тепловой перегрузки.

Коэффициент  $k_T$ , в свою очередь, находят по формуле:

$$k_T = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_k}{T}}},$$

где  $t_k$  – длительность кратковременной работы;

$T$  – постоянная времени нагрева.

Затем выбранный двигатель проверяют по пусковым условиям.

### 4.3. ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННАЯ НАГРУЗКА (S3)

Для данной нагрузки целесообразно выбирать электродвигатели специально предназначенные для этого режима и рассчитанные на стандартные ПВ 15, 25, 40 и 60 %. Продолжительность цикла не должна превышать 10 мин, в противном случае электродвигатель выбирают как для продолжительного режима.

При выборе двигателя по нагрузочной диаграмме определяют эквивалентную величину тока, момента, мощности за один цикл без учета паузы (см. ранее). Затем по нагрузочной диаграмме определяют

фактическую продолжительность включения  $PВ_{\phi\%} = \left( \frac{t_p}{t_p + t_0} \right) \cdot 100\%$  с

учетом времени паузы  $t_0$ . Если  $PВ_{\phi\%}$  равна одной из стандартных  $PВ_{см\%}$ , то мощность электродвигателя выбирают по каталогу так, чтобы соблюдалось условие  $P_{ндв} \geq P_{\mathcal{E}}$ .

Если  $PВ_{\phi\%}$  отличается от  $PВ_{см\%}$ , то мощность электродвигателя необходимо выбирать по ближайшему стандартному значению, пересчитывая ее по формуле

$$P_{см} = P_{\mathcal{E}} \cdot \sqrt{\frac{PВ_{\phi\%}}{PВ_{см\%}}}.$$

Выбирается двигатель из условия  $P_{ндв} \geq P_{см}$ . Затем его проверяют по перегрузочной способности и условиям пуска так же, как при режиме S6.

Если механизм приводится двигателем, рассчитанным для длительного режима, при определении  $I_{\text{э}}, M_{\text{э}}, P_{\text{э}}$  необходимо учитывать время паузы  $t_0$ , а также коэффициенты  $\beta_{\text{п}}, \beta_{\text{т}}, \beta_0$ , учитывающие ухудшение охлаждения при разгоне, торможении и паузе.

## 5. РАСЧЕТ ПУСКОВЫХ И ТОРМОЗНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

### 5.1. РАСЧЕТ ПУСКОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ (ДПТ ПВ)

Электромеханическая и механическая характеристики для ДПТ ПВ описываются уравнениями

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{k\Phi} \cdot I_{\text{я}}; \quad (5.1)$$

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{(k\Phi)^2} \cdot M, \quad (5.2)$$

где  $\omega$  – угловая скорость якоря, рад/с;  $U$  – питающее напряжение якорной цепи, В;  $R_{\text{я}}$  – сопротивление якорной цепи двигателя (обмотки якоря, щеточного контакта, обмотки дополнительных полюсов (компенсационной обмотки)), Ом;  $\Phi$  – магнитный поток одного полюса, Вб;  $I_{\text{я}}$  – ток якоря, А;  $M$  – электромагнитный момент, Н·м.

Если ДПТ ПВ работает с  $U = \text{const}$  и  $\Phi = \text{const}$ , то пренебрегая реакцией якоря зависимости  $\omega(I_{\text{я}})$  (2.1) и  $\omega(M)$  (2.2) представляют собой прямые линии. При использовании скорости идеального холостого хода  $\omega_0 = U/k\Phi$  в качестве базовой величины, номинальные значения  $U_{\text{н}}, I_{\text{н}}, M_{\text{н}}, \Phi_{\text{н}}$  и фиктивное номинальное сопротивление двигателя  $R_{\text{н}} = U_{\text{н}}/I_{\text{н}}$  в относительных величинах запишутся:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad i = \frac{I}{I_{\text{н}}}, \quad m = \frac{M}{M_{\text{н}}}, \quad \alpha = \frac{k\Phi}{k\Phi_{\text{н}}}, \quad c = \frac{R}{R_{\text{н}}}, \quad \gamma = \frac{U}{U_{\text{н}}}.$$

Электромеханическая и механическая характеристики в относительных единицах описываются уравнениями:

$$v = \frac{\Gamma - \rho \cdot i}{\varphi} \text{ и } v = \frac{\Gamma}{\varphi} - \frac{\rho}{\varphi^2} \cdot \mu.$$

При номинальных значениях напряжения и магнитного потока ( $U = U_H$ ,  $\Phi = \Phi_H$ ) получим:

$$n = 1 - c \cdot i \text{ и } n = 1 - c \cdot m. \quad (5.3)$$

Естественные характеристики с  $c_{я} = \frac{R_{я}}{R_H}$ :

$$n = 1 - c_{я} \cdot i \text{ и } n = 1 - c_{я} \cdot m. \quad (5.4)$$

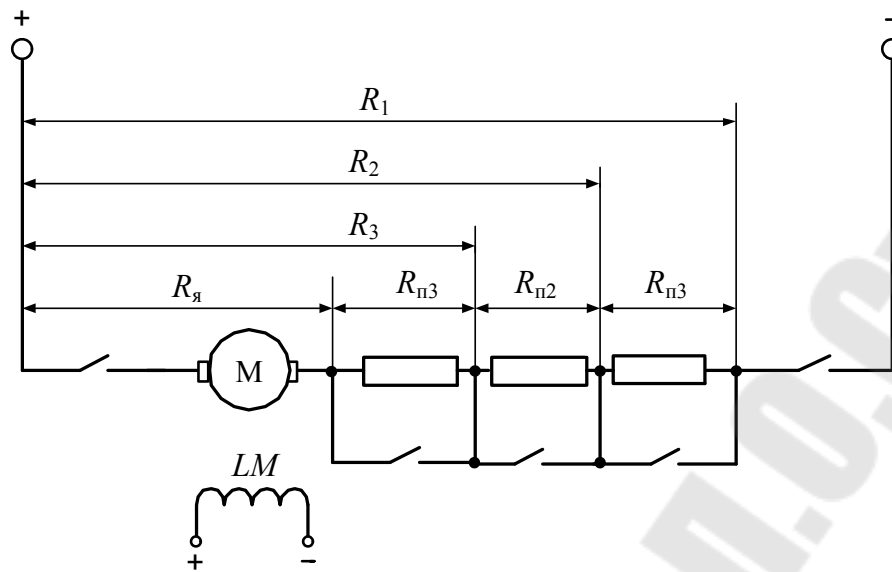
### Графический способ расчета сопротивлений

На практике возможны несколько ситуаций при расчете пусковых сопротивлений. Рассмотрим их на примере с использованием рис. 5.1. Вначале строится естественная характеристика 1. Далее рассмотрим следующие ситуации:

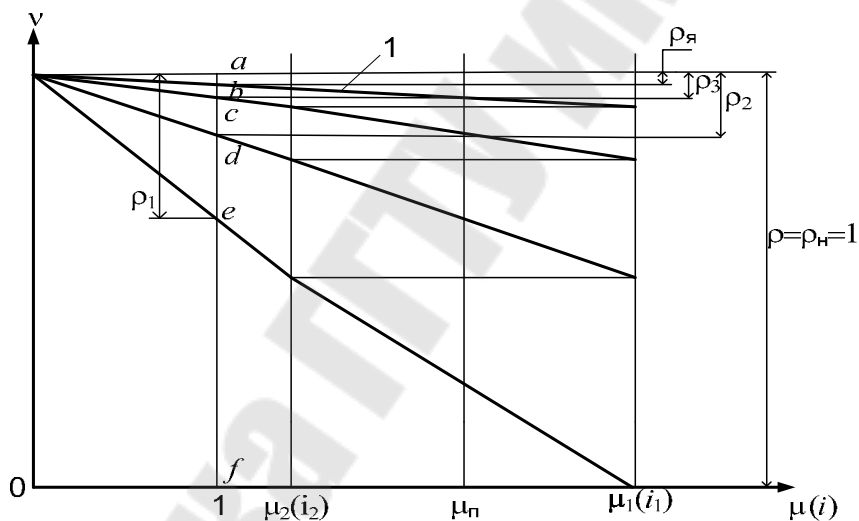
1. *Число ступеней задано и пуск нормальный.* При этом задаются переключающими моментом  $\mu_2$  или током  $i_2$ , которые должны быть на 10–20 % больше статических значений. Далее предположительно задаются максимальными значениями  $\mu_1(i_1)$ , чтобы для заданного количества ступеней получить одинаковые моменты переключения и пиковые для всех характеристик. Практически эти построения проводятся методом подбора легкими линиями на миллиметровой бумаге.

2. *Число ступеней задано и пуск форсированный.* В данном случае задаются максимально допустимыми значениями  $m_1$  или  $i_1$  и подбирают момент  $m_2$  или ток  $i_2$  переключения.

3. *Число ступеней неизвестно, а задано ускорение.* Если задано ускорение исполнительного органа механизма, то его вначале приводят к скорости якоря, получая угловое ускорение  $e$ . По уравнению движения электропривода определяют средний пусковой момент  $M_{п} = M_c + J \cdot e$  и его относительное значение  $m_{п}^0$ . Далее, задаваясь одинаковыми отклонениями  $(m_1 - m_{п}) = (m_{п} - m_2)$ , подбирают характеристики и определяют количество пусковых ступеней. Окончательное их число уточняется после расчета пусковой диаграммы с учетом времени срабатывания аппаратуры.



а)



б)

Рис. 5.1. Схема включения (а) и пусковые характеристики (б) ДПТ ПВ с тремя ступенями пускового сопротивления

После построения пусковых характеристик определяют сопротивления ступеней по длине отрезков при номинальном моменте или токе (рис. 2.1, б)  $c_{п1} = de/af$ ,  $c_{п2} = cd/af$ ,  $c_{п3} = bc/af$ , а затем в абсолютных величинах  $R_{п1} = c_{п1} \cdot R_n$ ,  $R_{п2} = c_{п2} \cdot R_n$ ,  $R_{п3} = c_{п3} \cdot R_n$  (рис. 2.1, а).

#### Аналитический способ расчета сопротивлений

1. Число ступеней задано и пуск нормальный. В этом случае, как и при графическом, задаются моментом  $\mu_2$  или током  $i_2$  пере-



ключения. Соотношения между максимальным значением и значением переключения  $\lambda = m_1/m_2 = i_1/i_2$  определяются как:

$$\lambda = m+1 \sqrt{\frac{1}{c_{\text{я}} \cdot M_2}} = m+1 \sqrt{\frac{1}{c_{\text{я}} \cdot i_2}},$$

где  $m$  – число ступеней пускового сопротивления.

2. *Число ступеней задано и пуск форсированный.* В этой ситуации опять же задаются максимально допустимыми значениями  $\mu_1$  или  $i_1$ . Соотношения значений:

$$\lambda = m \sqrt{\frac{1}{c_{\text{я}} \cdot M_2}} = m \sqrt{\frac{1}{c_{\text{я}} \cdot i_2}}.$$

3. *Число ступеней не задано.* В данном случае задаются  $\mu_1$  и  $\mu_2$  в соответствии с режимами, а число ступеней определяется по выражению

$$m = \frac{\lg \frac{1}{c_{\text{я}} \cdot M_1}}{\lg \frac{M_1}{M_2}}.$$

Если число  $m$  получается дробным, то изменяют  $m_1$  или  $m_2$  так, чтобы получить  $m$  целым числом. По принятым значениям рассчитывают  $\lambda$ . После определения соотношения  $\lambda$  находят полные значения сопротивлений:  $R_3 = R_{\text{я}} \cdot \lambda$ ;  $R_2 = R_3 \cdot \lambda$ ;  $R_1 = R_2 \cdot \lambda$  или  $R_{\text{п3}} = R_{\text{я}} \cdot (\lambda - 1)$ ;  $R_{\text{п2}} = R_{\text{п3}} \cdot \lambda$ ;  $R_{\text{п1}} = R_{\text{п2}} \cdot \lambda$ .

Аналитический метод более простой и точный, но если по каким-то условиям на разных пусковых ступенях требуются разные значения максимальных или переключающих величин, то он не применим.

## 5.2. РАСЧЕТ ПУСКОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ ДПТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЛУЧЕВОЙ ДИАГРАММЫ.

Данный способ основан на том, что если для семейства характеристик (рис. 5.2, б) провести прямые линии через две точки при одинаковых значениях токов  $I_1$  и  $I_2$ , то они пересекутся в одной точке «0».

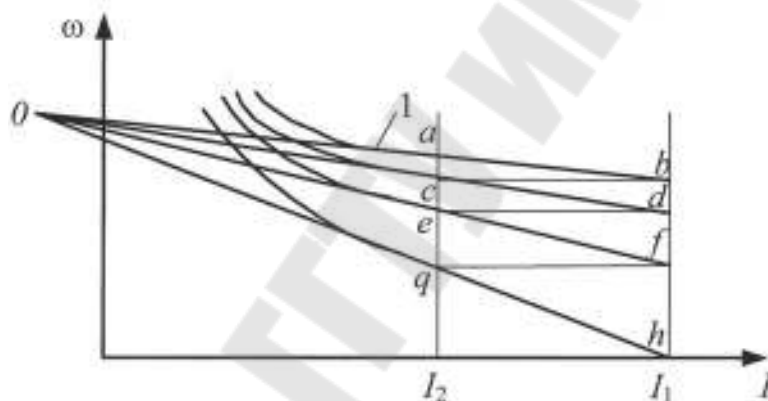
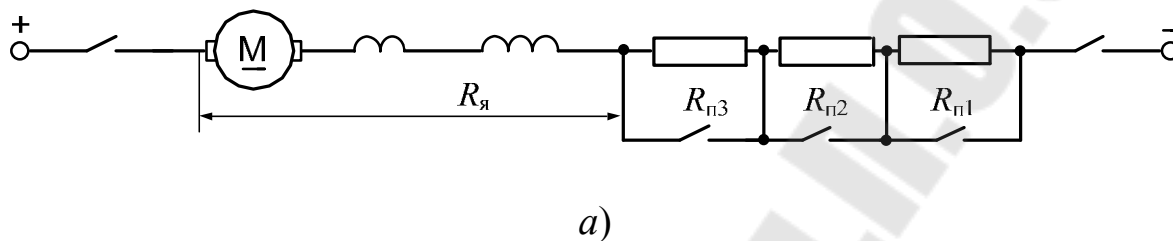


Рис. 5.2. Схема включения ДПТ последовательного возбуждения (а) и построение лучевой диаграммы (б)

Порядок построения следующий:

1. Строится естественная характеристика 1 (рис. 5.2, б).
2. Исходя из желательных значений максимального момента определяется ток  $I_1$  и рассчитывается полное сопротивление силовой цепи при неподвижном якоре  $R = U / I_1$ .
3. Для получения одинаковых значений максимальных и переключающих токов при заданном количестве ступеней предположительно задаются током  $I_2$  и скоростью двигателя  $\omega_{и.к}$  в точке «q» при полностью введенном сопротивлении (аналитически):

$$\omega_{и.к} = \omega_{e.a} \cdot \frac{U - I_2 \cdot R}{U - I_2 \cdot R_{я}}$$

где  $\omega_{e.a}$  – скорость на естественной характеристике в точке «а» при токе  $I_2$ .

4. Через точки «а–b» и «q–h» проводятся прямые до пересечения в точке «О».

5. Из точки «О» проводятся лучи и строятся пусковые характеристики.

6. Находится полное пусковое сопротивление  $R_{п} = R_{п1} + R_{п2} + R_{п3} = R - R_{я}$  и сопротивления ступеней:  $R_{п1} = \frac{fh}{bh} \cdot R_{п}$ ,  $R_{п2} = \frac{df}{bh} \cdot R_{п}$ ,  $R_{п3} = \frac{bd}{bh} \cdot R_{п}$ .

Если при построении пусковых характеристик пики токов оказываются разными, то необходимо задаться иным значением  $I_2$  и построение повторить.

При построении можно не строить сами характеристики, а определить значение скорости в точках «а» и «b».

### Пример

ДПТ параллельного возбуждения с параметрами  $P_{н} = 75$  кВт,  $U_{н} = 220$  В,  $I_{н} = 380$  А,  $n_{н} = 900$  об/мин используется для автоматизации пуска, реверса и торможения в функции ЭДС (рис. 5.3).

Для данного двигателя необходимо:

- 1) рассчитать и построить естественную механическую характеристику;
- 2) рассчитать и построить две искусственные характеристики и характеристику торможения противовключением;
- 3) рассчитать пусковые и тормозные сопротивления;
- 4) определить, при каком напряжении происходит срабатывание реле  $KV1$ ,  $KV2$  и  $KV3$ .

### Решение

1. Построение естественной механической характеристики.

Рассчитаем номинальный КПД двигателя:

$$\eta_{н} = \frac{P_{н}}{U_{н} \cdot I_{н}} = \frac{75 \cdot 10^3}{220 \cdot 380} = 0,9.$$

Сопротивление обмотки якоря:

$$R_{яH} = \frac{0,5 \cdot U_H (1 - z_H)}{I_H} = \frac{0,5 \cdot 220 \cdot (1 - 0,9)}{380} = 0,029 \text{ Ом.}$$

Частота вращения идеального холостого хода, считая, что  $I_я = I_H$ :

$$n_0 = n_H \frac{U_H}{U_H - I_H R_{яH}} = 900 \cdot \frac{220}{220 - 380 \cdot 0,029} = 950 \text{ об/мин.}$$

Номинальный момент электродвигателя:

$$M_H = \frac{9550 \cdot P_H}{n_0} = \frac{9550 \cdot 75}{900} = 800 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Естественную характеристику строим по двум точкам (рис. 5.4):

точка  $A$   $n_{(A)} = n_0 = 950$  об/мин,  $M_{(A)} = 0$ ;

точка  $B$   $n_{(B)} = n_H = 900$  об/мин,  $M_{(B)} = M_H = 800$  Н·м.

2. Построение искусственных и тормозной характеристик.

Для построения искусственных характеристик задаемся:

а) наибольшим моментом  $M_1 = (2 - 2,5)M_H$ ;

б) моментом  $M_2 = (1,1 - 1,2)M_c$ , при котором происходит шунтирование пусковых сопротивлений.

Пусть  $M_1 = 2,5M_H = 2,5 \cdot 800 = 2000$  Н·м;

$M_2 = 0,94M_H = 0,94 \cdot 800 = 750$  Н·м.

Момент  $M_2$  подбирается графически, в зависимости от мощности электродвигателя и числа пусковых ступеней.

Через точки, соответствующие моментам  $M_1$  и  $M_2$ , проводим линии, перпендикулярные оси моментов. Соединяем точки 1 и  $A$ . Получаем первую искусственную характеристику, по которой разгоняется двигатель с пусковым сопротивлением  $R_1 + R_2$ . В точке 2 срабатывает реле  $KV1$  и закорачивается сопротивление  $R_1$ . Двигатель «переходит» в точку 3 и разгоняется по второй искусственной характеристике. В точке 4 срабатывает реле  $KV2$ , закорачивающее пусковое сопротивление  $R_2$ , и двигатель выходит на естественную характеристику в точке 5. Если при построении пусковой диаграммы не попадаем

в точку 5, то необходимо изменить значение  $M_2$  независимо от предварительного расчета.

### 3. Расчет сопротивлений

Рассчитаем номинальное сопротивление двигателя:

$$R_H = \frac{U_H}{I_H} = \frac{220}{380} = 0,579 \text{ Ом.}$$

Определим масштаб сопротивлений.

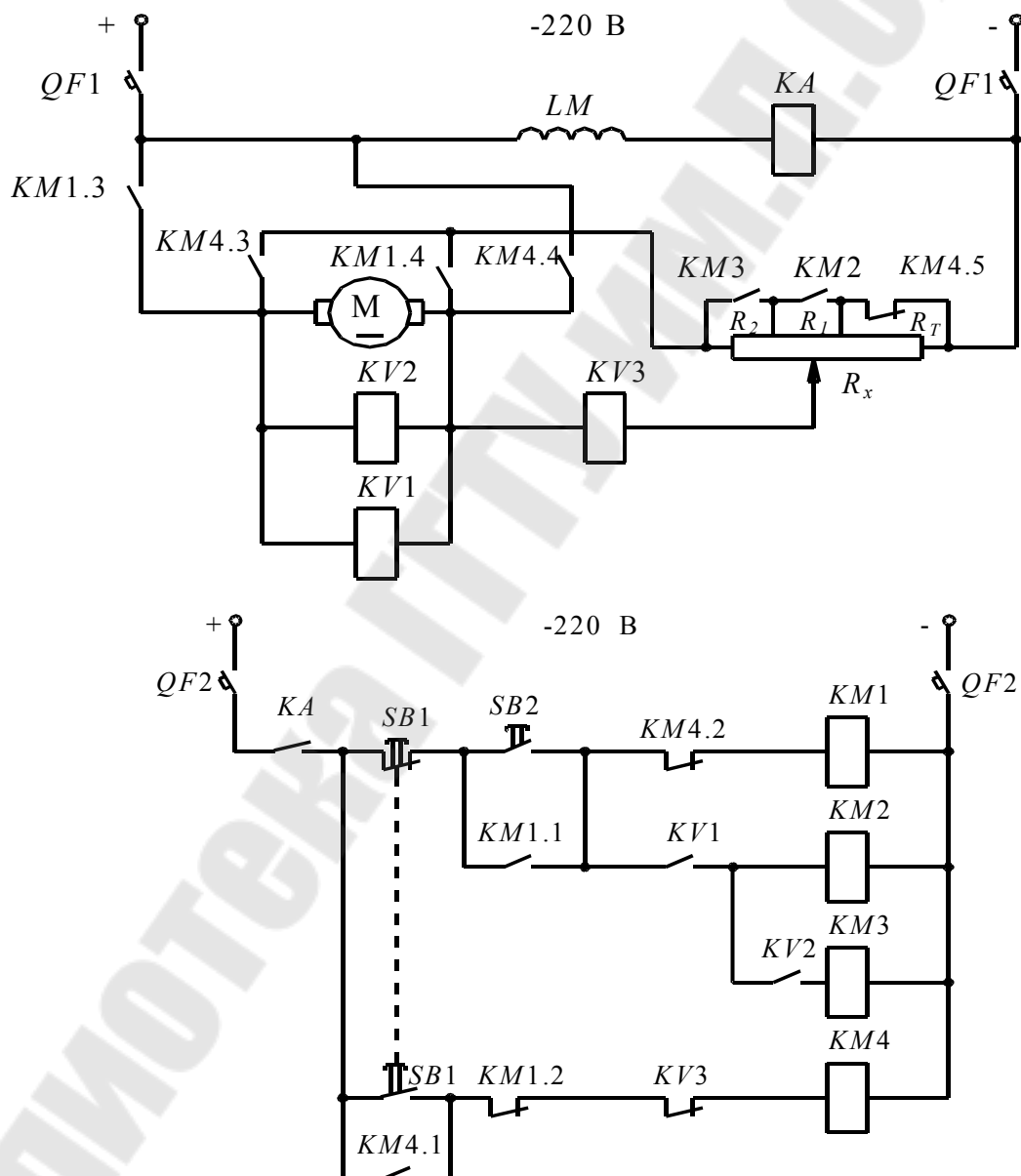


Рис. 5.3. Исследуемая схема

Длина отрезка между точками [1,6] = 9,5 см соответствует  $R_H = 0,579$  Ом, тогда

$$m_R = \frac{R_H}{[1, 6]} = \frac{0,579}{9,5} = 0,0609 \text{ Ом/см.}$$

Сопротивления пускового реостата (отрезки берутся при номинальном моменте двигателя  $M_H$ ) равны:

$$R_1 = m_R \cdot [1', 2'] = 0,0609 \cdot 5,6 = 0,341 \text{ Ом,}$$

$$R_2 = m_R \cdot [2', 4'] = 0,0609 \cdot 2,3 = 0,14 \text{ Ом.}$$

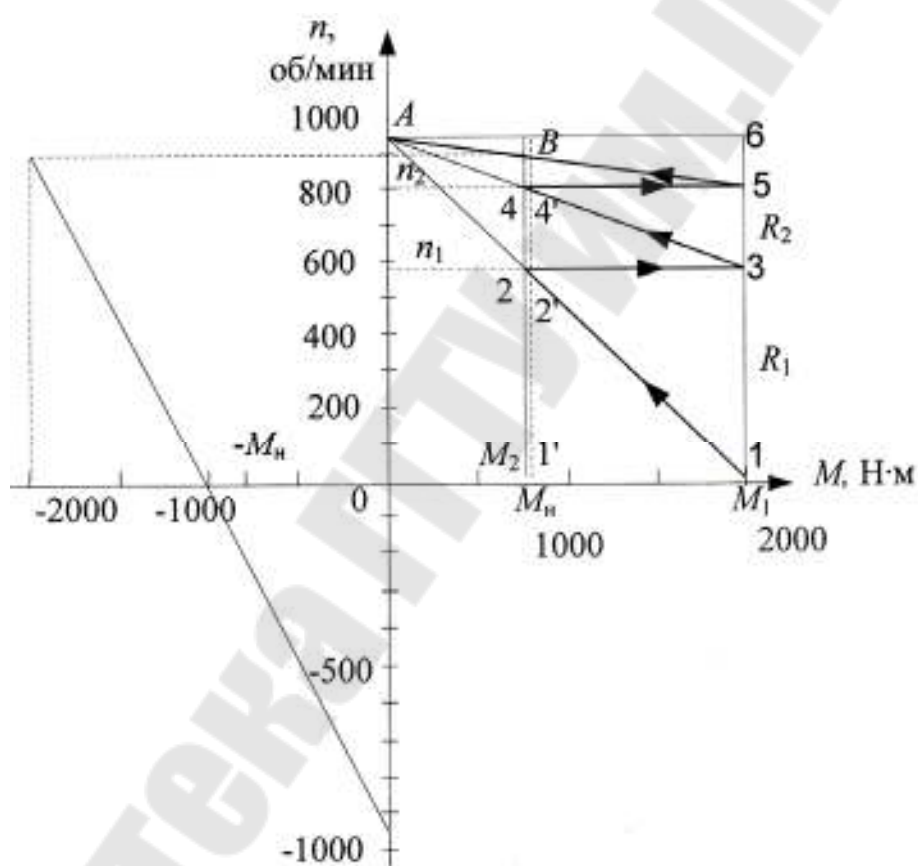


Рис. 5.4. Пусковая диаграмма

Сопротивление торможения противовключением равно (задаем-ся током  $I_{доп} = 2,5 \cdot I_H$ ):

$$R_{T\Sigma} = \frac{2 \cdot U_H}{I_{доп}} - R_{яH} = \frac{2 \cdot U_H}{2,5 I_H} - R_{яH} = \frac{2 \cdot 220}{2,5 \cdot 380} - 0,029 = 0,434 \text{ Ом.}$$

Определим напряжения срабатывания реле  $KV1$ ,  $KV2$  и  $KV3$ . При постоянном магнитном потоке ЭДС ДПТ прямо пропорциональна скорости  $E = k\Phi\omega$ . Поэтому катушку реле напряжения можно включать непосредственно на зажимы якоря. Однако напряжение на зажимах якоря  $U_{я}$  отличается от  $E_{я}$  на величину падения напряжения в обмотке якоря, тогда  $U_{я} = E + I_{я}R_{я} = k \cdot \Phi \cdot \omega + I_{я}R_{я}$ .

В соответствии с пусковой диаграммой (рис. 2.4) шунтирование пусковых сопротивлений происходит при моменте двигателя  $M_2 = 0,94 \cdot M_{н}$ . Так как момент  $M$  пропорционален току  $M = k \cdot \Phi \cdot I$ , то величина тока, при котором происходит шунтирование, равна:

$$I_2 = 0,94 \cdot I_{н} = 0,94 \cdot 380 = 357 \text{ А.}$$

Определим напряжение срабатывания реле  $KV1$ :

$$U_{ср1} = U_{KV1} = k \cdot \Phi \cdot \omega_1 + I_2 R_{ян} = 2,1 \cdot 61,7 + 357 \cdot 0,029 = 140 \text{ В,}$$

где  $\omega_1 = \frac{p n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 590}{30} = 61,7$  рад/с – угловая скорость, при которой шунтируется  $R_1$  (рис. 2.3);

$$k\Phi = \frac{M_{н}}{I_{н}} = \frac{800}{380} = 2,1 \text{ В} \cdot \text{с} \text{ – из формулы } M = k \cdot \Phi \cdot I.$$

Напряжение срабатывания реле  $KV2$  определим аналогично:

$$U_{ср1} = U_{KV2} = k\Phi\omega_2 + I_2 R_{ян} = 2,1 \cdot 85,9 + 357 \cdot 0,029 = 191 \text{ В,}$$

где  $\omega_2 = \frac{p \cdot n_2}{30} = \frac{3,14 \cdot 820}{30} = 85,9$  рад/с – угловая скорость, при которой шунтируется  $R_2$ .

Определим напряжение срабатывания реле  $KV3$ , когда двигатель остановится ( $\omega = 0$ ).

Напряжение на катушке  $KV3$  может быть определено по формуле

$$U_{KV3} = U_c - (U_c + k\Phi\omega) \frac{R_x}{R_{я\Sigma}},$$

где  $U_c = 220$  В – напряжение сети;  $k\Phi = 2,1$  В с – определено ранее;  $\omega = 0$ ;  $R_{я\Sigma} = R_{ян} + R_1 + R_2 + R_T$  – суммарное сопротивление цепи

якоря при пуске;  $R_x$  – часть сопротивления пускового реостата, которая зависит от точки подключения катушки реле  $KV3$ .

Как видно из предыдущей формулы, напряжение  $U_{KV3}$  зависит от величины  $R_x$ .

Зададимся отношением  $\frac{R_x}{R_{я\Sigma}} = 0,5$ , тогда

$$U_{KV3} = 220 \cdot (220 + 2,1 \cdot 0) \cdot 0,5 = 110 \text{ В.}$$

С учетом времени срабатывания аппаратов напряжение срабатывания реле  $KV3$  равно

$$U_{ср3} = 0,8 \cdot U_{KV3} = 0,8 \cdot 110 = 88 \text{ В.}$$

При таком напряжении скорость двигателя практически равна нулю.

### 5.3. РАСЧЕТ ПУСКОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ (АД) С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Отличие расчета пусковых сопротивлений АД от расчета для ДПТ заключается лишь в том, что при форсированном пуске максимальные пики момента в ДПТ ограничивались коммутацией, а для АД – динамическими усилиями в обмотках и их нагревом от увеличенных токов при больших скольжениях. Поэтому максимальное значение пускового момента нужно принимать не более 0,85 от критического, и лишь при редких пусках допускается равным критическому.

Точный способ расчета пусковых сопротивлений

Как и для ДПТ ПВ, этот способ основан на построении лучевой диаграммы (рис. 5.5): прямые характеристик, проведенные через две точки при одинаковых моментах, пересекаются в одной точке  $O$  на прямой  $s = 0$ .

Уравнения прямых:

$$a - b: \frac{s - s_{e1}}{s_{e2} - s_{e1}} = \frac{M - M_1}{M_2 - M_1}, \quad c - d: \frac{s - s_{и1}}{s_{и2} - s_{и1}} = \frac{M - M_1}{M_2 - M_1},$$



где индексы «е» и «и» соответствуют естественной и искусственной характеристикам.

С учетом того, что при одинаковых моментах скольжение пропорционально полному сопротивлению цепи ротора  $s_e / s_{и} = R_2 / R_{2\Sigma}$ , уравнение для прямой  $c - d$  будет иметь вид:

$$\frac{s / (R_{я\Sigma} / R_2)}{s_{e2} - s_{e1}} = \frac{M - M_1}{M_2 - M_1},$$

где  $R_2$  – сопротивление фазной обмотки ротора;  $R_{2\Sigma}$  – суммарное сопротивление фазы цепи ротора с учетом пусковых резисторов.

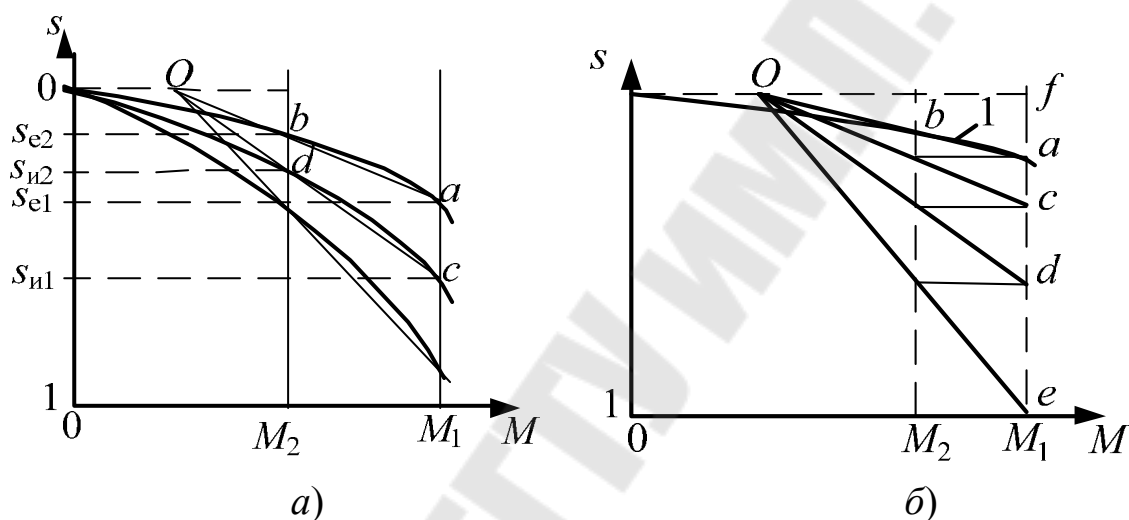


Рис. 5.5. Построение лучевой диаграммы АД (а) и расчет пусковых сопротивлений (б)

Теперь видно, что для естественной и искусственных характеристик равенство текущих значений  $M$  возможно только при  $s = 0$ .

Рассмотрим построение диаграммы для расчета пуска в три ступени.

1. Строится естественная характеристика 1 (рис. 5.5, б).

2. В зависимости от требуемых пусковых условий задаются максимальным  $M_1$  и переключающим  $M_2$  моментами. Через точки «а» и «b» строится первый луч до пересечения с прямой  $s = 0$  в точке «О».

3. Строятся лучи с соблюдением равенства моментов на всех ступенях. Если броски моментов оказываются неодинаковыми, то следует изменить  $M_1$  или  $M_2$  и построение повторить.

4. По построенным лучам находят полные сопротивления цепи ротора:

$$R_{1\Sigma} = R_2 \cdot \frac{fe}{fa}; R_{2\Sigma} = R_2 \cdot \frac{fd}{fa}; R_{3\Sigma} = R_2 \cdot \frac{fc}{fa},$$

а сопротивления ступеней:

$$R_{п3} = R_{3\Sigma} - R_2; R_{п2} = R_{2\Sigma} - R_{3\Sigma}; R_{п1} = R_{1\Sigma} - R_{2\Sigma}.$$

### Приближенный способ

Данный способ основан на прямолинейности механических характеристик и аналогичен расчету для ДПТ ПВ. Но его нежелательно применять при значениях максимального момента, превышающих 0,7 критического. Графический метод аналогичен расчету для ДПТ ПВ, а при использовании аналитического метода в выражениях для определения кратности моментов  $l$  или числа ступеней  $m$  вместо сопротивления якорной цепи двигателя  $s_{я}$  указывают номинальное скольжение  $s_{н}$ , например, при форсированном пуске:

$$l = m \sqrt{\frac{1}{s_{н} \cdot M_1}}.$$

### Пример

Для АД с фазным ротором с номинальными параметрами  $P_{н} = 5$  кВт,  $n_{н} = 940 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ,  $I_{2н} = 20,6$  А,  $\frac{M_{кр}}{M_{н}} = 2,9$  рассчитать пусковые сопротивления.

### Решение

1. Строим естественную механическую характеристику. Определяем недостающие параметры:

Номинальный момент двигателя:

$$M_{н} = \frac{9550 \cdot P_{н}}{n_{н}} = \frac{9550 \cdot 5}{940} = 50,8 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Номинальное скольжение:

$$s_{н} = \frac{n_0 - n_{н}}{n_0} = \frac{1000 - 940}{1000} = 0,06.$$

Синхронная угловая скорость:



$$M_1 = (0,8 - 0,85) \cdot M_{кр} = 0,85 \cdot M_{кр} = 0,85 \cdot 147 = 125 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_2 = (1,1 - 1,2) \cdot M_H = 1,1 \cdot M_H = 1,1 \cdot 50,8 = 56 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Пусковые характеристики представлены на рис. 2.6.

4. Определяем сопротивление фаз ротора:

$$R_{рот} = \frac{\omega_0 \cdot M_H \cdot s_H}{m \cdot I_{2H}^2} = \frac{105 \cdot 50,8 \cdot 0,06}{3 \cdot 20,6^2} = 0,25 \text{ Ом}.$$

На механической характеристике сопротивлению  $R_{рот}$  соответствует отрезок [АЕ].

5. Определяем пусковые ступени реостата

$$R_1 = \frac{[ВД]}{[АЕ]} \cdot R_{рот} = \frac{60}{21} \cdot 0,25 = 0,715 \text{ Ом}.$$

$$R_2 = \frac{[АД]}{[АЕ]} \cdot R_{рот} = \frac{26}{21} \cdot 0,25 = 0,31 \text{ Ом}.$$

## 6. СОСТАВЛЕНИЕ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПУСКА, РЕВЕРСА И ТОРМОЖЕНИЯ

В данном разделе разрабатывается релейно-контакторная схема автоматизации пуска, реверса и торможения. Вначале составляется релейно-контакторная схема пуска в функции какой-либо величины (ток, время, скорость). В ней также необходимо предусмотреть пуск в одну и в другую стороны. Далее к этой схеме добавляются элементы, чтобы обеспечить реверс и торможение. Реверсирование или изменение направления вращения электродвигателя осуществляется изменением направления вращения магнитного поля статора, т.е. по сути это торможение противовключением. Реверсирование осуществляется следующим образом: вначале происходит разгон двигателя по ступеням при закороченном тормозном сопротивлении в цепи якоря ДПТ или в цепи ротора АД, затем изменяется направление вращения магнитного поля статора и в цепь якоря или ротора включаются все пусковые сопротивления и тормозное, двигатель тормозится до нулевой скорости и начинает разгоняться в другую сторону, а тормозное со-

противление закорачивается. При осуществлении торможения противовключением двигатель отключается от сети при нулевой скорости.

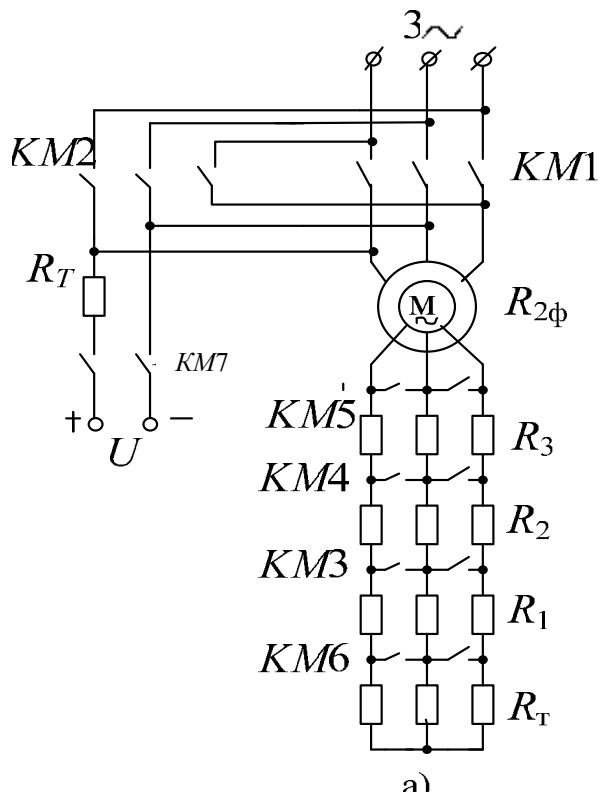
## 6.1. ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ И ТОРМОЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрим схемы включения пусковых сопротивлений и контактов контакторов  $KM3$ ,  $KM4$ ,  $KM5$ , управляющих ими, при пуске АД с фазным ротором (ф. р.) и ДПТ НВ (рис. 6.1). В этих схемах предусмотрены динамическое торможение (рис. 6.1, а) и торможение противовключением (рис. 6.1, б).

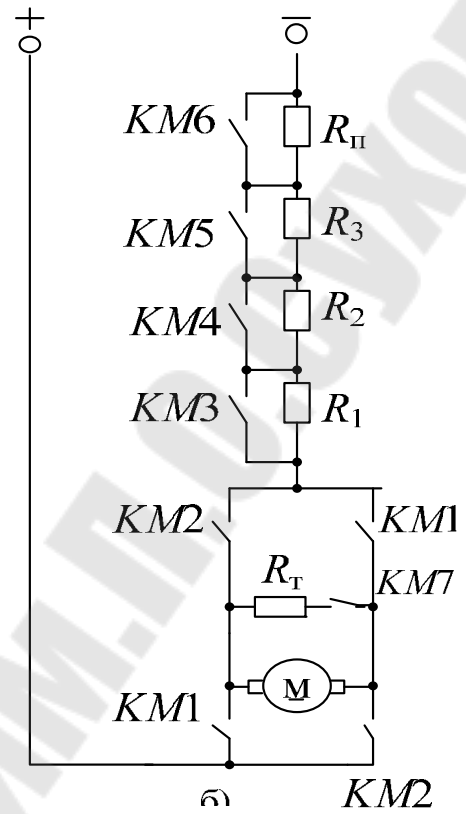
При реостатном пуске ДПТ НВ или АД с фазным ротором очередное замыкание (закорачивание) ступеней пускового реостата  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  производится автоматически при помощи контактов контакторов  $KM3$ ,  $KM4$ ,  $KM5$ , управление которыми может быть осуществлено тремя способами:

- путем отсчета промежутков времени  $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$  (рис. 6.1), для чего используются реле времени (управление по принципу времени);
- посредством контроля величины скорости ЭД или ЭДС (управление по принципу скорости). В качестве датчиков ЭДС используются реле напряжения или непосредственно контакторы, включенные через реостаты;
- применением датчиков тока (токовые реле, настраиваемые на ток возврата, равный  $I_{\min}$ ), дающим командный импульс при снижении тока якоря (ротора) в процессе пуска до значения  $I_{\min}$  (управление по принципу тока).

Рассмотрим механические характеристики ДПТ (рис. 6.2) (для АД аналогично, если использовать рабочий участок механической характеристики) при пуске и торможении, а также кривые скорости, момента (тока) в зависимости от времени.



а)



б)

Рис. 6.1. Схемы включения пусковых сопротивлений АД СФ.Р.(а) и ДТП НВ(б)

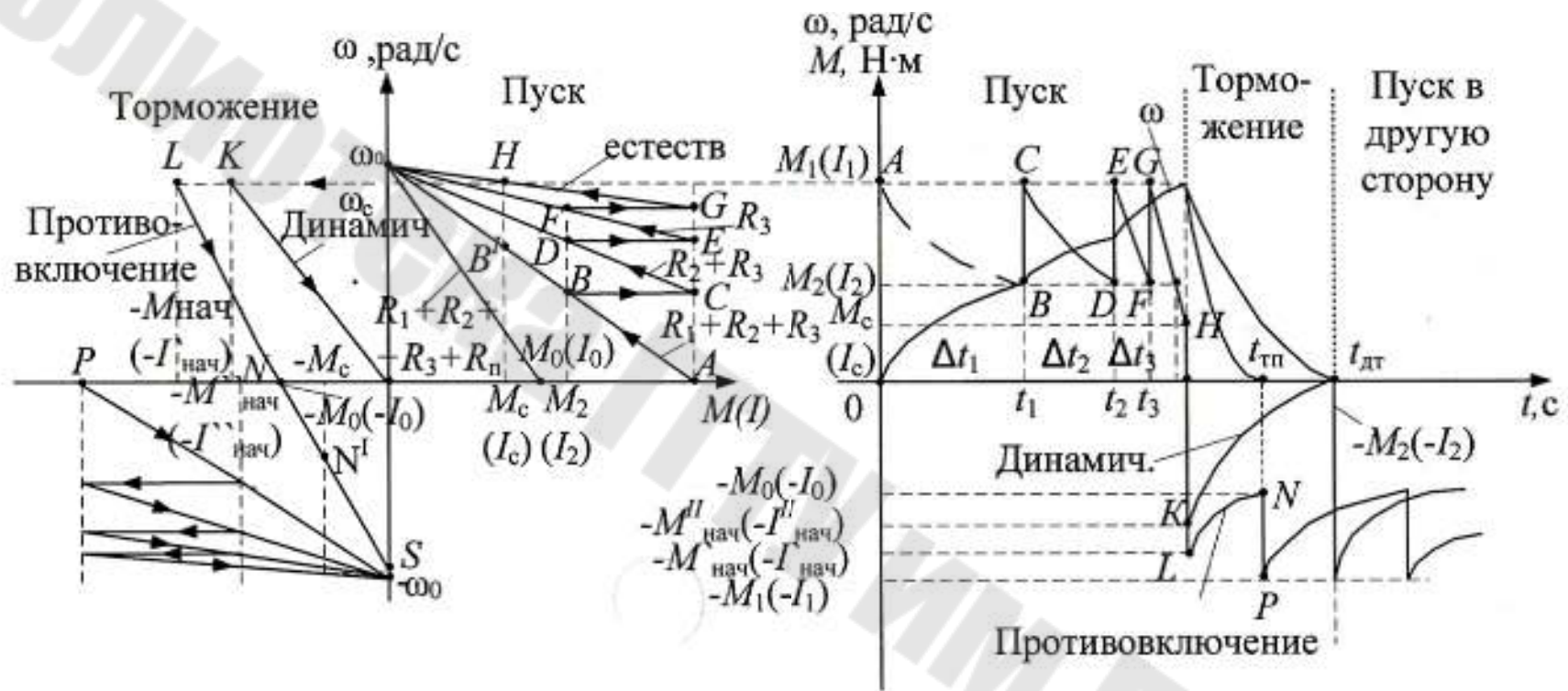


Рис. 6.2. Пусковые и тормозные характеристики (а) и зависимости  $\omega, M = f(t)$  (б) ДТП

*Пуск электродвигателя* (замыкаются контакты  $KM1$  (рис. 6.1)). При подаче напряжения ток (момент) в ЭД равен  $I_1$  ( $M_1$ ) (точка  $A$ ) и двигатель разгоняется с пусковым сопротивлением ( $R_1 + R_2 + R_3$ ). По мере разгона ток уменьшается и при токе  $I_2$  (точка  $B$ ) происходит закорачивание  $R_1$ , ток возрастает до значения  $I_1$  (точка  $C$ ) и т. п. В точке  $F$  при токе  $I_2$  происходит закорачивание последней ступени пускового реостата и ЭД выходит на естественную характеристику (точка  $G$ ). Разгон происходит до (точки  $H$ ), которой соответствует ток  $I_c$  (зависит от нагрузки). Если в точке  $B$  не закоротить  $R_1$ , то ЭД разгонится до точки  $B'$  и будет иметь установившуюся скорость.

*Динамическое торможение* (размыкаются  $KM1$ , замыкаются  $KM7$ ), при этом ЭД переходит в точку  $K$ , которой соответствует момент (ток) ( $-M''_{нач}$  ( $-I''_{нач}$ )) и его величина зависит от сопротивления  $R_{тд}$ .

*Торможение противовключением* (размыкаются  $KM1$ , замыкаются  $KM2$ ), при этом ЭД переходит в точку  $L$  и начинает очень быстро тормозиться с сопротивлением ( $R_1 + R_2 + R_3 + R_{тп}$ ). Наклон этой характеристики, а значит и величина ( $-M'_{нач}$  ( $-I'_{нач}$ )), одинаков (параллелен) пусковой характеристике с сопротивлением ( $R_1 + R_2 + R_3 + R_{тп}$ ). В точке  $N$  необходимо закоротить  $R_{тп}$ , ЭД переходит в точку  $P$  и происходит разгон в противоположную сторону. Если в точке  $N$  не закоротить  $R_{тп}$ , то ЭД разгонится до точки  $N'$  и будет работать на этой скорости.

## 6.2. СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ ДПТ

*Управление в функции времени* (рис. 6.3)

Наиболее часто в качестве реле времени в схемах ЭП применяются электромагнитные реле времени. Они настраиваются на отсчет заданных выдержек времени  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots$ . Каждое реле времени должно включать соответствующий силовой контактор.

При линейных механических характеристиках ЭП время разгона на каждой ступени равно:

$$t_i = T_{Mi} \ln \frac{M_1 - M_c}{M_2 - M_c} = T_{Mi} \cdot \ln \frac{I_1 - I_c}{I_2 - I_c},$$



где  $T_{Mi} = J \frac{\Psi_{\text{кон}} - \Psi_{\text{нач}}}{M_1 - M_2}$  – электромеханическая постоянная времени;

$\Psi_{\text{кон}i}$ ,  $\Psi_{\text{нач}i}$  – конечное и начальное значения скорости  $i$ -й ступени;  
 $J$  – суммарный момент инерции, приведенный к валу ЭД.

*Управление в функции скорости* (чаще всего используется для динамического торможения и торможения противовключением)

Данный принцип автоматизации управления предполагает использование реле, которые прямо или косвенно контролируют скорость ЭД: для ДПТ осуществляется измерение ЭДС якоря, для АД и СД – измерение ЭДС или частоты тока.

Использование устройств, непосредственно измеряющих скорость (реле контроля скорости (РКС) сложного устройства), усложняет установку и схему управления. РКС чаще используют для контроля торможения, чтобы отключить ЭД от сети при скорости близкой к нулю. Чаще используются косвенные методы.

При постоянном магнитном потоке ЭДС якоря ДПТ прямо пропорциональна скорости. Поэтому катушку реле напряжения можно включать непосредственно на зажимы якоря. Однако напряжение на зажимах якоря  $U_{\text{я}}$  отличается от  $E_{\text{я}}$  на величину падения напряжения на обмотке якоря. В общем случае:

$$U_{\text{с}} = E_{\text{я}} + I_{\text{я}} \cdot \sum R_{\text{я}} = k\Phi\omega + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я0}} + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{п}}.$$

откуда  $U_{\text{я}} = k\Phi\omega + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я0}} = U_{\text{с}} - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{п}}$ ,

где  $R_{\text{я0}}$  – сопротивление якорной обмотки;  $R_{\text{п}}$  – пусковое сопротивление.

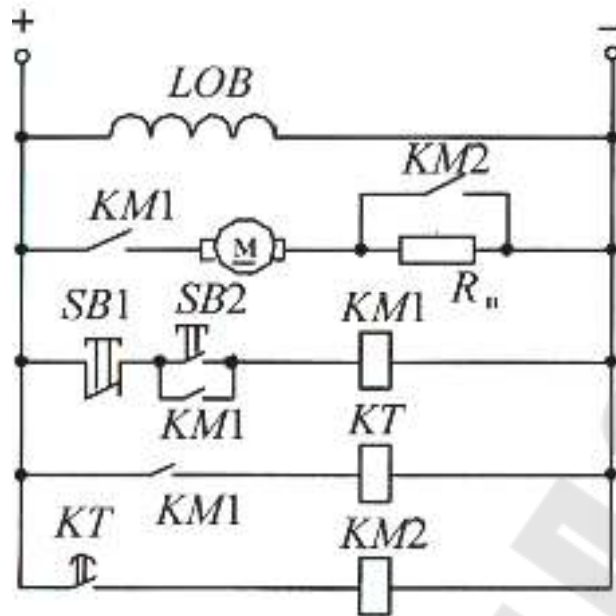


Рис. 6.3. Схема автоматического пуска ДПТ в функции времени

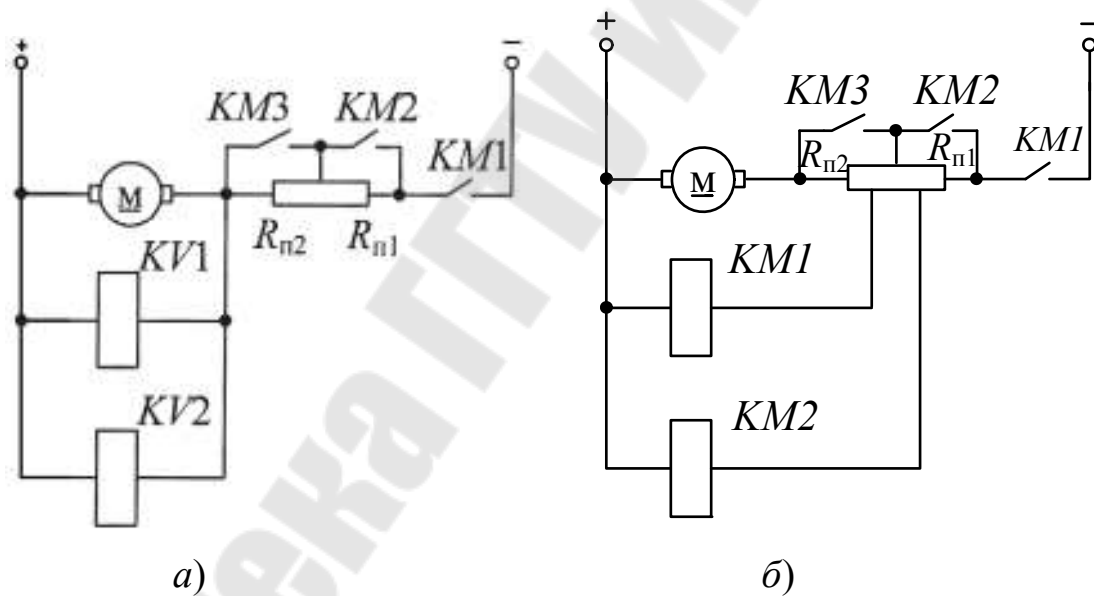


Рис. 6.4. Силовые схемы подключения ДПТ при использовании в качестве РКС реле напряжений (а) и контакторов (б)

При этом возможны два варианта:

- использование реле напряжений  $KV$ , допускающие настройку на разные напряжения срабатывания (рис. 6.4, а);
- использование контакторов  $KM$ , подключенных через пусковые сопротивления (рис. 6.4, б).

В соответствии с пусковой диаграммой  $\omega(t)$  (см. рис. 6.2) напряжения срабатывания при скоростях  $\omega_1$  и  $\omega_2$  можно определить как

$$U_{cp1} = U_{KV1} = k\Phi\omega_2 + I_{я} R_{я0};$$

$$U_{cp2} = U_{KV2} = k\Phi\omega_2 + I_{я} R_{я0}.$$

Замыкающие контакты реле  $KV1$ ,  $KV2$  подают напряжение на катушки силовых контакторов  $KM2$ ,  $KM3$ .

При малом числе ступеней, когда скорости достаточно велики ( $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ) и напряжения срабатывания тоже велики, могут быть использованы непосредственно силовые контакторы с напряжением срабатывания

$$U_{cp} = U_1 = U_2,$$

где  $U_1 = k\Phi\omega_1 + I_2(R_{я0} + R_1 + R_2)$  – напряжение срабатывания контактора  $KM2$ , соответствующее скорости  $\omega_1$ ;  $U_2 = k\Phi\omega_2 + I_2(R_{я0} + R_1)$  – напряжение срабатывания контактора  $KM3$ , соответствующее скорости  $\omega_2$ .

Теперь, зная напряжения срабатывания контакторов, можно рассчитать сопротивления

$$R_1 = \frac{U_{cp} - k\Phi\omega_2 - I_2 R_{я0}}{I_2} \quad \text{и} \quad R_2 = \frac{U_{cp} - k\Phi\omega_1 - I_2 R_{я0}}{I_2} - R_1.$$

Если сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  велики и  $(R_1 + R_2) > (R_{п1} + R_{п2})$ , то необходимо использовать реле напряжения  $KV1$ ,  $KV2$  с одинаковым (фиксированным) значением или использовать следующую схему (рис. 6.11, а). Схема управления имеет вид (рис. 6.11, б).

Штриховыми линиями показана схема, когда для измерения напряжения используются реле напряжения  $KV1$ ,  $KV2$ .

*Достоинства:* шунтирование ступеней и переход на очередную характеристику происходит только при расчетной скорости и допустимых бросках тока; если для измерения скорости используются контакторы, то схема очень проста.

*Недостатки:* затягивание пуска при  $\downarrow U$  или  $\uparrow M_c$  и «застывание» ЭД на промежуточных характеристиках при  $M_c > M_2$  ( $I_c > I_2$ ).

#### *Управление в функции тока*

Этот принцип управления реализуется с помощью реле минимального тока, которые включают силовые контакторы при достиже-

нии током значение  $I_1$  (рис. 6.6, б). Применяется чаще всего для пуска до повышенной скорости при ослаблении магнитного потока.

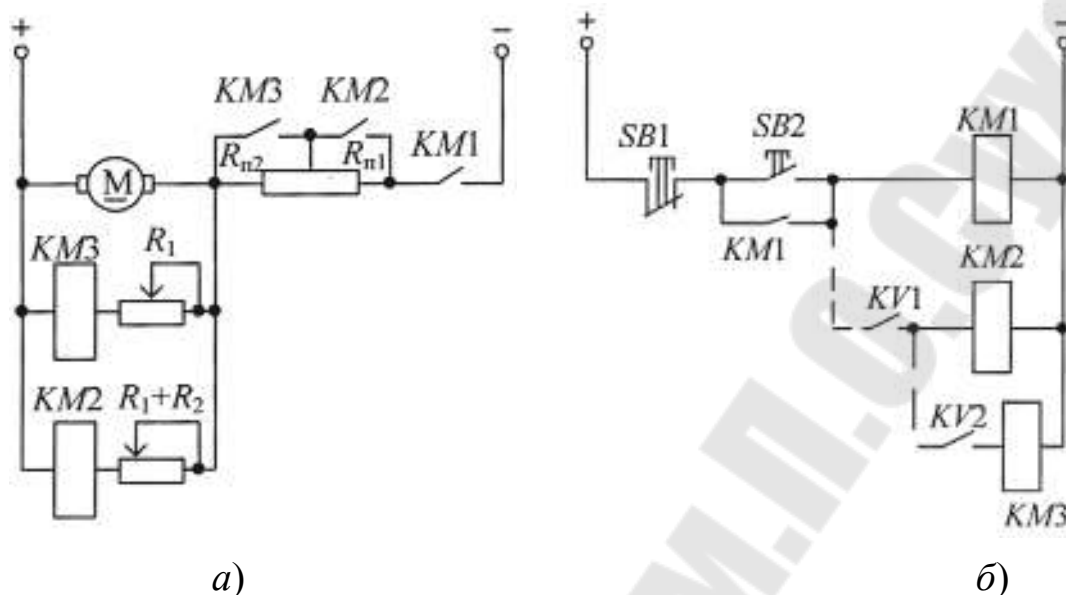
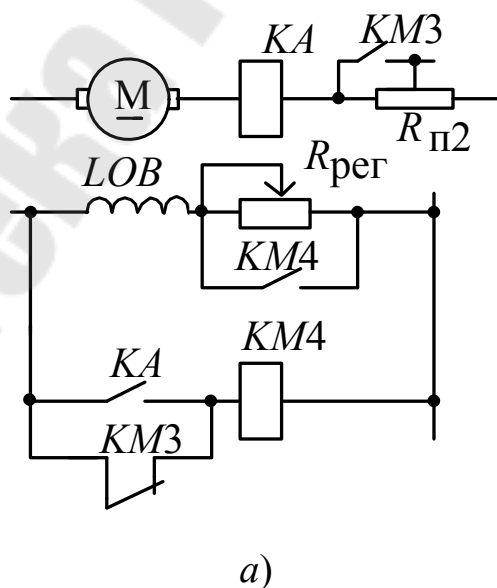
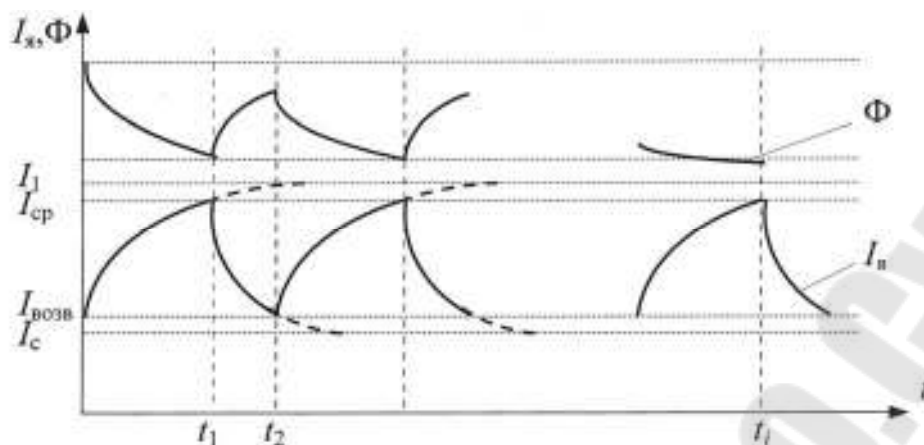


Рис. 6.5. Силовая схема (а) и схема управления (б) ДПТ при автоматизации пуска в функции скорости

Токовое реле  $KA$  выбирают таким образом, чтобы выполнялись следующие условия:  $I_{cp} < I_1$ ,  $I_{возв.} > I_c$  (рис. 6.6, б). После срабатывания  $KM3$  ЭД разгоняется по естественной характеристике при  $\Psi = \Psi_n$  (до срабатывания  $KM3$  напряжение подавалось на катушку  $KM4$  и сопротивление  $R_{рег}$  было закорочено).



а)



б)

Рис. 6.6. Схема включения (а) и зависимость  $\Phi$ ,  $I_{\text{я}} = f(t)$  (б) при пуске ДПТ в функции тока

При броске тока ( $R_{\text{п2}}$  замкнuto) реле  $KA$  срабатывает и питание на катушку  $KM4$  подается через контакт  $KA$ . Когда ток якоря уменьшается до тока возврата, контактор  $KM4$  отключается и начинается уменьшение магнитного потока (в цепь обмотки возбуждения  $LOB$  вводится  $R_{\text{рег}}$ ). При этом ток якоря начинает возрастать (темп изменения тока якоря выше темпа изменения магнитного потока). При достижении  $I_{\text{я}} = I_{\text{ср}}$  в точке  $t_1$  реле  $KA$  и  $KM4$  срабатывают и  $R_{\text{рег}}$  зашунтируется. Начнется процесс нарастания потока и уменьшения  $I_{\text{я}}$  до момента  $t_2$ , когда произойдет отключение  $KA$  и  $KM4$ . При всех этих коммутациях  $M > M_c$  и ЭД будет разгоняться. Процесс пуска заканчивается, когда величина магнитного потока приближается к заданному значению, определяемому введением в цепь обмотки возбуждения сопротивления  $R_{\text{рег}}$  и когда при очередном отключении  $KA$ ,  $KM4$  ток якоря не достигает  $I_{\text{ср}}$  (точка  $t_i$ ). Такой принцип управления называют вибрационным.

### 6.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЖЕНИЕМ ДПТ

В данном случае применяются те же принципы, что и при автоматизации пуска. Задачей этих схем является отключение ЭД от сети при скорости равной или близкой к нулю. Наиболее просто она решается при динамическом торможении с помощью принципов времени или скорости (рис. 6.7).

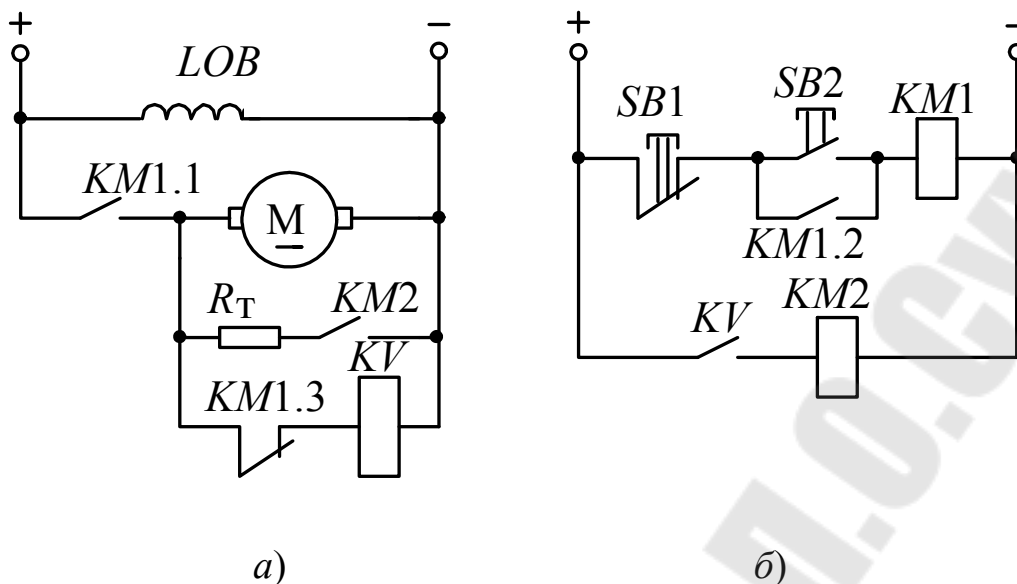


Рис. 6.7. Силовая схема (а) и схема управления (б) динамическим торможением

При пуске нажимаем  $SB2$  и напряжение подается на катушку  $KM1$ , при этом: шунтируется кнопка  $SB2$  ( $KM1.2$ ), подается напряжение на якорь ЭД ( $KM1.1$ ), размыкается цепь питания  $KV$  ( $KM1.3$ ).

При торможении нажимаем  $SB1$ , при этом якорь отключается от сети, замыкается  $KM1.3$  и срабатывает реле  $KV$  (т. к. в момент отключения  $E_{я} \approx U_c$  и уменьшается по мере уменьшения скорости). Напряжение подается на катушку  $KM2$  и к якорю ЭД подключается  $R_T$ . При угловой скорости, близкой к нулю ( $E \approx 0$ ), якорь реле  $KV$  отпадает, обесточивается  $KM2$  и отключается  $R_T$ . Реле  $KV$  в данной схеме должно иметь возможно меньший коэффициент возврата ( $\kappa_B = 0,1 \div 0,15$ ), т. к. только в этом случае можно получить торможение до минимальной скорости.

При реверсе ЭД используется *торможение противовключением* и задача схемы управления заключается во введении дополнительной ступени сопротивления при подаче команды на реверс и шунтирование ее, когда скорость ЭД близка к нулю. Чаще всего для этих целей используется управление в функции скорости (рис. 6.7). Рассмотрим схему без узла автоматизации пуска.

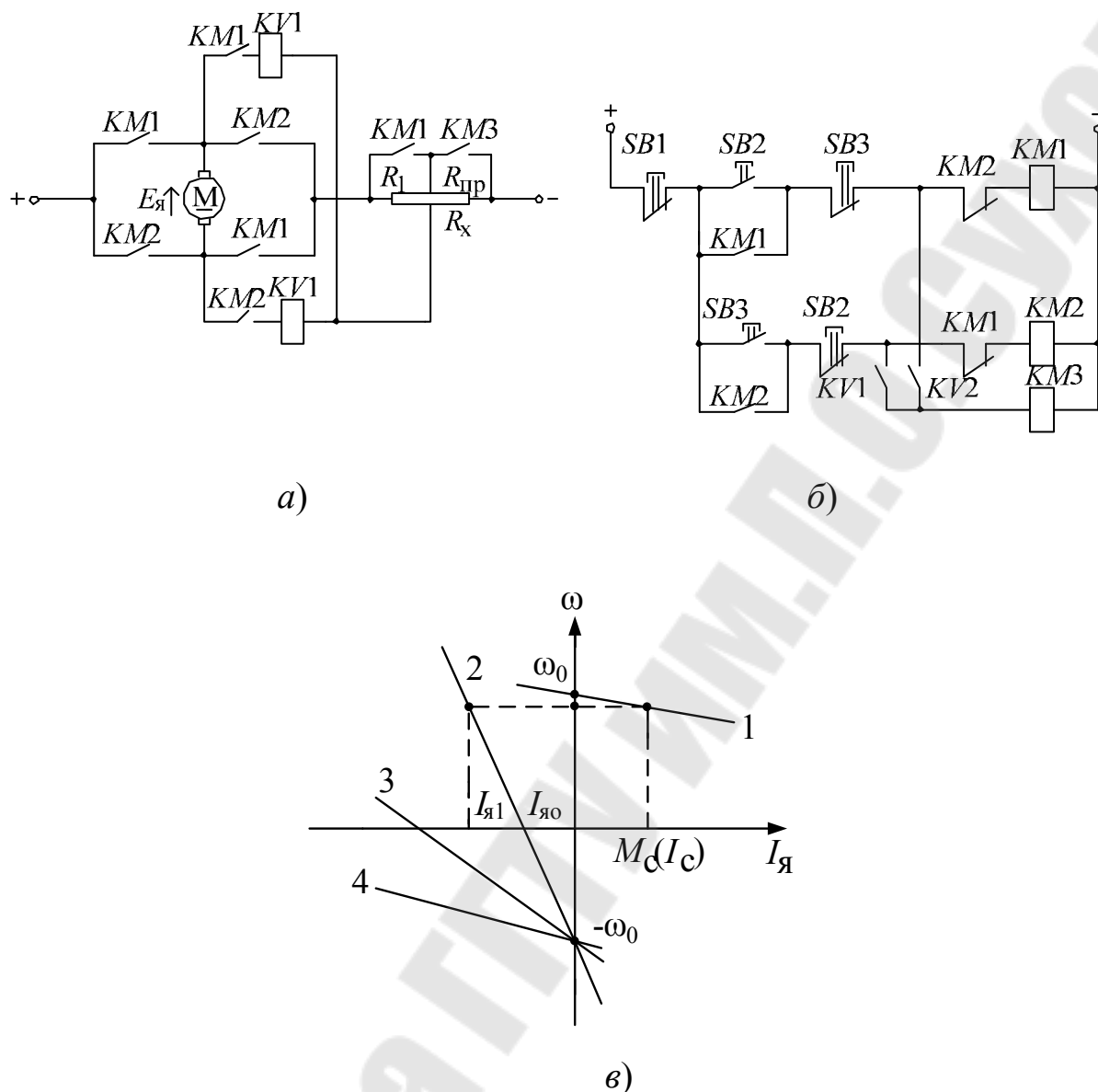


Рис. 6.8. Силовая схема (а), схема управления (б) и тормозные характеристики (в) торможения противовключением ДПТ

Пусть ЭД работает «вперед» на естественной характеристике 1 (рис. 6.8, в) (включение  $KM1$ , разгон не рассматривается). ЭДС якоря  $E_{я}$  направлена вверх (рис. 6.8, а). При нажатии кнопки  $SB3$  отключается  $KM1$  и включается  $KM2$ . Изменяется полярность приложенного к якорю напряжения. Контакты  $KM1$  и  $KM3$  разомкнуты, в цепь якоря вводится полное сопротивление. Происходит бросок тока и ЭД переходит на характеристику 2, по которой и осуществляется торможение. При скорости близкой к нулю должны включиться реле  $KV1$  и контактор  $KM3$ . Ступень  $R_{пр}$  зашунтируется и начинается разгон в противоположную сторону по характеристике 3.

Для расчета сопротивления  $R_x$  составим схему замещения для момента после включения  $KM2$  (рис. 6.9).

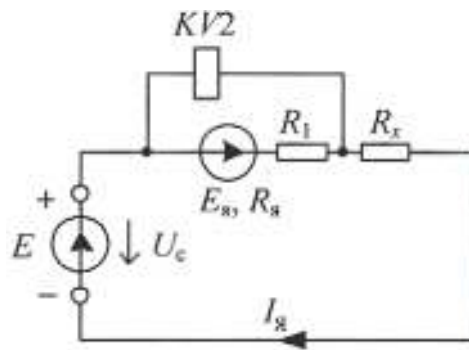


Рис. 6.9. Схема замещения при пуске ДПТ

Для данной схемы по второму закону Кирхгофа составим два уравнения:

$$I_{я1} = \frac{U_c - E_{я}}{R_{я\Sigma}};$$

$$U_{KV2} = U_c - I_{я1} \cdot R_x,$$

где  $R_{я\Sigma} = R_1 + R_{пр}$  – суммарное сопротивление якорной цепи;  $U_c$  – напряжение питания (сети).

Если принять, что в начальный момент  $U_{KV2} = 0$ , то  $R_x = \frac{U_c}{I_{я1}}$ .

При скорости  $\omega = 0$  ток якоря

$$I_{я1} = \frac{U_c}{R_{я\Sigma}}$$

и

$$U_{KV2_0} = U_c - \frac{U_c}{R_{я\Sigma}} R_x = U_c \cdot \left(1 - \frac{R_x}{R_{я\Sigma}}\right)$$

и обычно выбирают

$$U_{CPKV2} = 0,8 \cdot U_{KV2_0},$$

чтобы с учетом времени срабатывания аппаратов шунтирование  $R_{пр}'$  произошло практически при скорости  $\omega = 0$ .

#### 6.4. ОСОБЕННОСТИ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ АД

1. Для управления торможением (особенно противовключением) часто применяются индукционные реле контроля скорости (РКС).



2. Для АД с фазным ротором используются реле напряжения  $KV$ , срабатывающие от различных значений ЭДС ротора (рис. 6.10). Эти реле включаются через выпрямитель, чтобы исключить влияние частоты тока ротора на величину индуктивного сопротивления катушек самого реле (с изменением  $X_L$  изменяется и  $I_{cp}$ ,  $U_{cp}$ ), уменьшить коэффициент возврата и увеличить надежность работы.

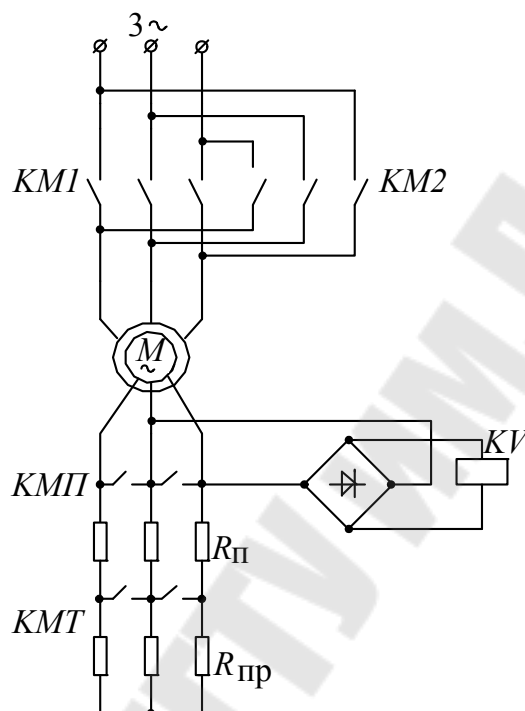


Рис. 6.10. Схема торможения противовключением АД

Принцип действия: при большой угловой скорости ротора ЭД наведенная в его обмотках ЭДС небольшая, т. к.  $E_{2s} = E_{2k} \cdot s$ , а скольжение  $s$  незначительно (3–10 %). Напряжение на реле  $KV$  недостаточно для втягивания его якоря. При реверсе ( $KM1$  размыкается, а замыкается  $KM2$ ) направление вращения магнитного поля в статоре изменяется на противоположное. Скольжение ротора  $s = (\omega_0 - \omega) / (\omega_0) \approx 2$  и реле  $KV$  срабатывает, размыкает цепь питания контакторов  $KMP$  и  $KMT$  и в цепь ротора вводится пусковое  $R_{II}$  и тормозное  $R_{IIpr}$  сопротивления. При скорости близкой к нулю реле  $KV$  отключается, замыкается  $KMT$  и ЭД разгоняется в противоположную сторону.

## 7. ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, ВЫБОР И ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ И ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ

В данном разделе необходимо обосновать способы защиты электродвигателя и схемы управления. Для электродвигателя необходимо предусмотреть защиту от коротких замыканий и защиту от перегрузки, а для ДПТ еще и защиту от обрыва поля. Защиту от коротких замыканий можно осуществлять трехполюсным автоматическим выключателем с электромагнитным расцепителем или с помощью максимальных токовых реле. Защита от перегрузки электродвигателя осуществляется с помощью двухполюсного теплового реле или автоматическим выключателем с тепловым расцепителем. Для защиты ДПТ от обрыва поля используется минимальное токовое реле, замыкающий контакт которого ставится в цепь питания силовых контакторов.

Для защиты цепей управления рекомендуется использовать плавкие предохранители или автоматы с электромагнитным расцепителем.

Далее осуществляется выбор и описание принципа действия всех используемых аппаратов защиты.

### Выбор предохранителей

Предохранители и плавкие вставки к ним выбираются по номинальному напряжению и току. Номинальное напряжение предохранителей и вставок должно равняться или быть больше номинального напряжению сети, к которой подключена защищаемая нагрузка, т. е.

$$U_{н.пр} \geq U_c,$$

где  $U_{н.пр}$  – номинальное напряжение предохранителя;  $U_c$  – номинальное напряжение сети.

Для надежной работы предохранителя как защитного аппарата, при выборе номинальных токов плавкой вставки и патрона необходимо выполнить следующие основные условия:

– номинальный ток плавкой вставки по нагреву должен быть равен или несколько больше номинального тока защищаемой установки ( $I_{н.вст} \geq I_{н.уст}$ );

– плавкая вставка не должна перегорать при пуске кратковременных допустимых для двигателя, перегрузок, и в них не должно происходить старение плавкой ставки под действием этих токов;

– должна быть обеспечена селективность срабатывания, т. е. при нарушении нормального режима работы отключался бы только поврежденный участок электрической сети. Это осуществляется за счет того, что время срабатывания плавких вставок, стоящих выше в цепи, увеличивается на одну-две ступени по отношению к предохранителям, установленным ниже по схеме от пункта питания.

При пуске *асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором* пусковой ток может достигать значения  $7 \cdot I_{\text{ном}}$ . По мере разгона пусковой ток падает до значения, равного номинальному току электродвигателя. Поэтому для защиты таких электродвигателей от коротких замыканий величина плавкой вставки предохранителя должна удовлетворять условию:

$$I_{\text{н.вст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{\delta} = \frac{I_{\text{н.дв}} \cdot K_I}{\delta},$$

где  $I_{\text{пуск}}$  – пусковой ток двигателя;  $I_{\text{н.дв}}$  – номинальный ток двигателя;  $K_I$  – кратность пускового тока;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий условия пуска и длительность пускового периода ( $\alpha = 2,5$  – нормальные (легкие) условия пуска, время разгона от 2 до 5 (привода металлорежущих станков с относительно небольшой инерцией механизма),  $\alpha = 2,0$  – тяжелые условия пуска, время разгона больше 10 с (мощные вентиляторы, компрессоры, насосные установки, прессы, дробилки или работа в повторно-кратковременном режиме)).

Если предохранитель стоит в линии, питающей несколько двигателей, плавкую вставку рекомендуется выбирать по двум условиям:

$$I_{\text{н.вст}} \geq \Sigma I_{\text{н.дв}},$$

$$I_{\text{н.вст}} \geq \frac{\Sigma I_{\text{н.дв}} + (I_{\text{п.дв}} - I_{\text{н.дв}})}{\delta},$$

где  $\Sigma I_{\text{н.дв}}$  – сумма номинальных токов двигателей, подключенных к линии;  $(I_{\text{п.дв}} - I_{\text{н.дв}})$  – разность пускового и номинального токов (берется для двигателя, у которого она наибольшая).

Ток плавкой вставки выбирается по большей из величин, определенных по этим формулам.

Плавкие вставки предохранителей для защиты *асинхронных двигателей с фазным ротором и двигателей постоянного тока*, если они запускаются с помощью пусковых реостатов (кратность пускового тока не превышает 2,5), рекомендуется выбирать в соответствии с формулой:

$$I_{н.вст} \geq (1,15 \div 1,25)I_{н.дв.}$$

Для двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, за номинальный принимается ток в режиме ПВ = 25 %.

Для расчета плавкой вставки при использовании предохранителей для защиты *цепей управления релейно-контакторных схем* поступают следующим образом. Рассматривают режимы работы релейно-контакторной схемы (пуск, торможение, реверс) и определяют наиболее тяжелый режим, т. е. включено наибольшее количество электрических аппаратов. Плавкая вставка выбирается по условию

$$I_{н.вст} \geq I_{п.мах} + \sum I_p,$$

где  $I_{п.мах}$  – пусковой ток катушки наибольшего аппарата;  $\sum I_p$  – сумма рабочих токов катушек аппаратов, кроме наибольшего, включенных в наиболее тяжелом режиме.

Выбор автоматических воздушных выключателей (автоматов)

Автоматы могут иметь электромагнитный, тепловой, комбинированный и другие расцепители. Для защиты электродвигателя, работающего в повторно-кратковременном режиме, номинальный ток электромагнитного расцепителя принимается равным току двигателя в режиме ПВ = 25 %.

Выбор автомата в общем случае осуществляется по двум условиям:

$$U_{н.а} \geq U_{н.с}, \quad I_{н.а} \geq I_{н.с},$$

где  $U_{н.а}$  и  $U_{н.с}$  – соответственно номинальные напряжения автомата и сети;  $I_{н.а}$  и  $I_{н.с}$  – соответственно номинальные токи автомата и нагрузки.

Ток уставки *электромагнитного расцепителя*:

– для АД с короткозамкнутым ротором

$$I_{уст.эм} \geq (1,5 \div 1,8)I_{п.дв.};$$

– для АД с фазным ротором и двигателей постоянного тока (ДПТ)

$$I_{\text{уст.эм}} \geq (2,5 \div 3)I_{\text{н.дв}};$$

– для группы короткозамкнутых АД

$$I_{\text{уст.эм}} \geq (1,5 \div 1,8) [\sum I_{\text{н.дв}} + (I_{\text{п.дв}} - I'_{\text{н.дв}})];$$

– для групп двигателей с фазным ротором

$$I_{\text{уст.эм}} \geq (1,5 \div 2)I'_{\text{н.дв}} + \sum I_{\text{н.дв}},$$

где  $I_{\text{уст.эм}}$  – ток уставки электромагнитного расцепителя;  $I_{\text{п.дв}}$ ,  $I_{\text{н.дв}}$  – соответственно пусковой и номинальный токи двигателя;  $(I_{\text{п.дв}} - I'_{\text{н.дв}})$  – разность пускового и номинального токов для двигателя, у которого она наибольшая;  $I'_{\text{н.дв}}$  – номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током.

Ток срабатывания (отсечки)  $I_{\text{ср.эм}}$  электромагнитного расцепителя проверяется по максимальному кратковременному току  $I_{\text{кр}}$  линии (установки)

$$I_{\text{ср.эм}} \geq 1,25I_{\text{кр}}.$$

Выбор автомата с электромагнитным расцепителем для защиты цепи управления релейно-контакторной схемы аналогичен выбору предохранителей.

Ток уставки теплового расцепителя и **теплового реле**:

– при питании одного электродвигателя

$$I_{\text{уст. тр}} \geq I_{\text{н.дв}};$$

– при затяжных пусках двигателя

$$I_{\text{уст. тр}} \geq (1,2 \div 1,25)I_{\text{н.дв}};$$

– с учетом температуры окружающей среды

$$I_{\text{уст. тр}} = I_{\text{н.дв}}/\beta,$$

где  $\beta = 1 + 0,006(40 - t_{\text{окр}})$  – коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды;  $t_{\text{окр}}$  – температура окружающей среды.

Автоматические выключатели с *комбинированным расцепителем* выбирается по двум условиям:

$$I_{н.тр} \geq (1,15 - 1,25)I_{н.дв};$$

$$I_{ср.эм(отс)} \geq 1,25I_{п.дв},$$

где  $I_{н.тр}$  – номинальный ток уставки теплового расцепителя;  $I_{ср.эм(отс)}$  – ток срабатывания электромагнитного расцепителя (отсечка).

Выбор токовых реле

Выбор *максимально-токовых реле* (для защиты от токов короткого замыкания) осуществляется из условия  $I_{н.р} \geq I_{н.дв}$ , а для двигателей, работающих в повторно-кратковременном режим при ПВ = 25 % (рис. 7.1),

$$I_{н.дв} = I_{н.дв25},$$

где  $I_{н.р}$ ,  $I_{н.дв}$  – номинальные токи реле и защищаемого двигателя;  $I_{н.дв25}$  – номинальный ток двигателя, работающего при ПВ = 5 %.

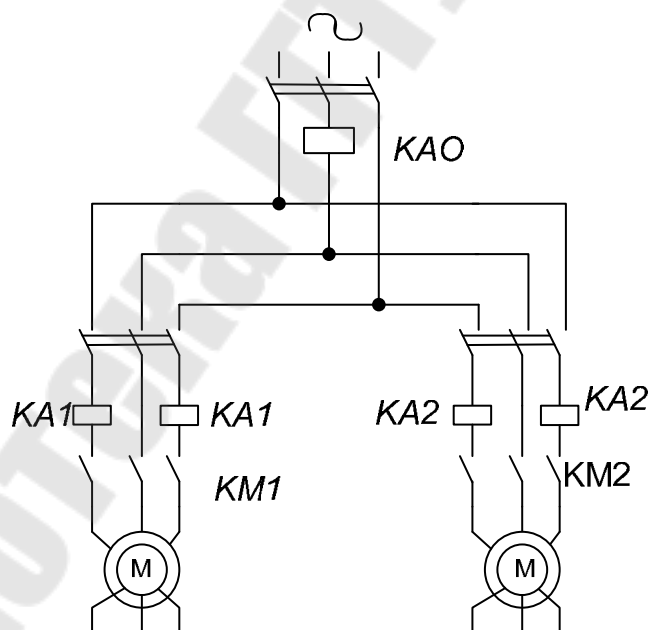


Рис. 7.1. Схема включения максимальных токовых реле

Уставка реле по току срабатывания для АД с короткозамкнутым ротором должна быть  $I_{уст} \geq (1,3 - 1,5)I_{п.дв}$ , где  $I_{п.дв}$  – пусковой ток дви-

гателя. Для защиты двигателей с фазным ротором и ДПТ ток срабатывания выбирается из условия

$$I_{уст} \geq (2,25 \div 2,5)I_{н.дв}.$$

Если несколько двигателей с фазным ротором питаются через общий ввод (рис.7.1), уставка реле  $KA1$  и  $KA2$  должна быть  $I_{уст} \geq (2,25 - 2,5)I_{н.дв}$ . Уставка реле  $KA0$  выбирается из условия

$$I_{уст} = (1,25 - 1,5)I'_{н.дв25} + \sum I_{н.дв25},$$

где  $I'_{н.дв25}$  – номинальный ток двигателя наибольшей мощности (режим ПВ = 25 %);  $\sum I_{н.дв25}$  – сумма номинальных токов всех двигателей, защищаемых реле  $KA0$ .

Если токовое реле используется в качестве *реле управления по-лем*, то

$$I_{вкл} \approx I_1, \quad I_{отк} = I_{вкл} / K_B,$$

где  $I_{отк}$ ,  $I_{вкл}$  – токи включения и отключения реле;  $K_B$  – коэффициент возврата реле (должен быть как можно больше);  $I_1$  – максимально допустимый ток на пусковой диаграмме.

Если токовое реле используется в качестве *реле обрыва поля*, то

$$I_{отк} = 0,9 \cdot I_{в\min}; \quad I_{в\min} < I_{вкл} \leq 0,85I_{вн},$$

где  $I_{вн}$  – номинальный ток возбуждения двигателя;  $I_{в\min}$  – ток возбуждения при ослабленном магнитном потоке двигателя.

#### Выбор контакторов и пускателей

Выбор силовых аппаратов следует производить с учетом следующих основных требований: напряжение и максимальный ток аппаратов должны соответствовать напряжению и допустимому длительному току цепи, аппараты должны без повреждений включать пусковой ток нагрузки и отключать полный рабочий ток, а также без разрушения допускать отключение пускового тока.

При выборе контакторов или пускателей, если не учитывать количество главных и вспомогательных контактов, продолжительность включения, число включений в час и требуемую электрическую износостойкость контактов, следует руководствоваться условиями:

$$I_{\text{нк}} \geq I_{\text{н.дв}}, I_{\text{нв}} \geq I_{\text{п}},$$

где  $I_{\text{нк}}$  – номинальный ток главных контактов контактора;  $I_{\text{нв}}$  – допустимый ток включения контактора;  $I_{\text{н.дв}}$ ,  $I_{\text{п}}$  – номинальный и пусковой токи двигателя.

Если окажется, что число вспомогательных контактов в выбранном контакторе или пускателе меньше числа контактов данного аппарата в принципиальной электрической схеме, то для «размножения» контактов выбирают промежуточное реле. Катушка этого реле получает питание от одного контакта уже выбранного аппарата, а все недостающие контакты этого аппарата заменяются на соответствующие контакты промежуточного реле.



## **Крановые и металлургические двигатели**

### **Особенности крановых и металлургических двигателей**

Особенности конструкции крановых и металлургических двигателей определяются условиями эксплуатации и требованиями к их характеристикам. Двигатели работают в повторно-кратковременных и кратковременных режимах с частыми пусками в условиях повышенной тряски и вибраций. Они должны допускать широкое регулирование частоты вращения и иметь высокие пусковые и максимальные моменты. Должны также обеспечивать работу в режимах электрического торможения, включая режим противовключения.

К краново-металлургическим двигателям предъявляются повышенные требования по надежности и удобству обслуживания, в частности удобству сочленения с приводным механизмом и механическим тормозом. Двигатели, установленные в металлургических цехах, должны допускать работу при высокой (до 70°C) температуре окружающей среды. Конструкция двигателей подъемных кранов должна обеспечивать их нормальную эксплуатацию и в закрытых помещениях, и на открытом воздухе при температуре окружающей среды до -50°C.

В промышленности нашли применение краново-металлургические двигатели постоянного и переменного тока специальных серий, разработанных с учетом предъявляемых к ним специфических требований.

### **Электродвигатели переменного тока серий МТКФ(Н) и МТФ(Н)**

Основным номинальным режимом работы электродвигателей является повторно-кратковременный с ПВ=40 %. Электродвигатели серий МТКФ и МТКН изготавливаются с короткозамкнутым ротором повышенного скольжения и рассчитаны на непосредственный пуск при полном напряжении сети. Электродвигатели МТФ и МТН изготавливаются с фазным ротором. Краново-металлургические двигатели выпускаются на частоту 50 Гц и напряжения 380/220 и 500 В, при синхронной частоте вращения 1000, 750 и 600 об/мин. Климатическое исполнение У, категория 2. По способу защиты от воздействия окру-

жающей среды – закрытые обдуваемые. Электродвигатели этих серий характеризуются повышенной перегрузочной способностью, большими пусковыми моментами при сравнительно небольших пусковых токах. Кратность пусковых и максимальных моментов по отношению к номинальному находятся в пределах 2,3 – 3,2. Крановые двигатели имеют класс нагревостойкости F (155°C), металлургические – H (180°C). По размерам внешнего диаметра статора двигатели МТФ и МТН имеют восемь габаритов (с нулевого по седьмой), а двигатели МТКФ и МТКН – шесть (с нулевого по пятый).

Типообразование краново-металлургических электродвигателей.

МТХ<sub>1</sub>Х<sub>2</sub>Х<sub>3</sub>Х<sub>4</sub>Х<sub>5</sub>-Х<sub>6</sub>

М – машина;

Т – трехфазная;

Х<sub>1</sub> – буква К – короткозамкнутый ротор, отсутствие буквы – фазный ротор;

Х<sub>2</sub> – класс нагревостойкости (F, H);

Х<sub>3</sub> – габарит (0 – 7);

Х<sub>4</sub> – порядковый номер серии;

Х<sub>5</sub> – условная длина;

Х<sub>6</sub> – число полюсов.

Усредненные значения потерь в двигателях серии МТФ и МТН для ПВ=40 % приведены в табл. П. 1.1, потери в стали даны для марки 1213 (Э13).

Технические данные двигателей серии МТФ и МТН приведены в табл. П. 1.2, серий МТКФ и МТКН – в табл. П. 1.3.

### **Электродвигатели переменного тока серии 4МТ**

В настоящее время электродвигатели серий МТКФ(Н) и МТФ(Н) заменяются на новую серию 4МТ, по основным размерам и параметрам унифицированную с общепринятой серией 4А. Все двигатели рассчитаны на две группы напряжений 220/380 и 380/660 В, 50 Гц и имеют в коробке шесть выводных концов для включения обмоток, соответственно, в треугольник или звезду.

Типообразование электродвигателей 4 МТ

4MTX<sub>1</sub>X<sub>2</sub>XXX<sub>3</sub>X<sub>4</sub>X<sub>5</sub>XX<sub>6</sub>

4 – порядковый номер серии;

М – машина;

Т – трехфазная;

X<sub>1</sub> – тип ротора (К – короткозамкнутый ротор, отсутствие буквы – фазный ротор);

X<sub>2</sub> – класс нагревостойкости (F, H);

XXX<sub>3</sub> – высота оси вращения (112, 132, 160, 200, 225, 280, 355 мм);

X<sub>4</sub> – условный размер двигателя по длине (S, M, L, LB – меньший, средний, большой, сверхбольшой);

X<sub>5</sub> – число полюсов;

X<sub>6</sub> – климатическое исполнение, категория размещения.

Технические данные двигателей серий 4MTF(H) приведены в табл. П. 1.4, серий 4MTKF(H) – в табл. П. 1.5. Обмоточные данные приведены в табл. П. 1.6.

Таблица П. 1.1

Потери в электродвигателях серии МТФ и МТН при ПВ=40 %  
(для номинальной нагрузки)

Тип двигателя	2р	$\Delta P_{ст}, ВТ$	$\Delta P_{м.ст}, ВТ$	$\Delta P_{м.рот}, ВТ$	$\Delta P_{мехт}, ВТ$
МТФ011	6	100	535	215	60
МТФ012		140	515	275	60
МТФ(Н)111		180	755	415	150
МТФ(Н)112		250	990	525	160
МТФ(Н)211		340	875	510	180
МТФ(Н)311		410	1170	625	200
МТФ(Н)312		540	1240	655	220
МТФ(Н)411		750	1490	800	360
МТФ(Н)412		970	1440	665	380
МТН512		1450	2480	1970	500
МТФ(Н)311	8	320	1120	640	180
МТФ(Н)312		520	1550	785	200
МТФ(Н)411		630	1350	685	280
МТФ(Н)412		840	2030	1050	300
МТН511		950	2550	1120	350
МТН512		1190	2430	1610	360
МТН611	10	1370	3390	1990	400
МТН612		1950	3660	2240	400
МТН613		2270	4240	2490	400
МТН711		1660	3200	2720	1000
МТН712		2360	3230	2540	1000
МТН713		2950	3410	2570	1000

Таблица П. 1.2

Технические данные двигателей серии МТФ и МТН с фазным ротором (50 Гц 220/380 и 500 В, режим S3)

Тип двигателя	Р <sub>2н</sub> , кВт, при ПВ%						n <sub>н</sub> , об/мин	I <sub>1</sub> , А при 380В	cosφ <sub>н</sub>	η <sub>н</sub> , %	I <sub>2н</sub> , А	U <sub>2н</sub> , В	M <sub>max</sub> , Н·М	J <sub>p</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>max</sub> , об/мин	m, кг
	15	25	40	60	30 мин	60 мин										
МТФ011-6	2,0	—	—	—	—	—	800	7,1	0,78	55,0	16,5	116	39	0,021	2500	51
	—	1,7	—	—	—	—	850	5,9	0,72	60,0	12,0					
	—	—	1,4	—	1,4	—	885	5,3	0,65	61,5	9,1					
	—	—	—	1,2	—	1,2	910	5,1	0,59	60,5	7,5					
МТФ012-6	3,1	—	—	—	—	—	785	10,4	0,78	58,0	18,5	144	56	0,029	2500	58
	—	2,7	—	—	—	—	840	8,9	0,74	62,0	15,0					
	—	—	2,2	—	2,2	—	890	7,6	0,68	64,0	11,5					
	—	—	—	—1,7	—	1,7	920	7,0	0,57	64,0	8,4					
МТФ111-6	4,5	—	—	—	—	—	850	12,9	0,81	66,0	21,0	176	85	0,049	2500	76
	—	4,1	—	—	—	—	870	11,7	0,79	68,0	18,7					
	—	—	3,5	—	3,5	—	895	10,4	0,73	70,0	15,0					
	—	—	—	2,8	—	2,8	920	9,1	0,65	72,0	11,5					
МТН111-6	3,5	—	—	—	—	—	870	11,6	0,72	64,0	16,5	176	83	0,049	2500	76
	—	3,0	—	—	3,0	—	895	10,5	0,67	65,0	13,2					
	—	—	2,5	—	—	2,5	920	9,8	0,60	65,0	10,8					
	—	—	—	2,0	—	—	940	9,2	0,52	63,0	8,5					
МТФ112-6	6,5	—	—	—	—	—	895	17,5	0,78	72,07	21,8	216	137	0,068	2500	88
	—	5,8	—	—	—	—	915	16,0	0,74	4,0	19,0					
	—	—	5,0	—	5,0	—	930	14,4	0,70	75,0	15,7					
	—	—	—	4,0	—	4,0	950	13,2	0,62	74,0	12,0					

Продолжение табл. П. 1.2

Тип двигателя	P <sub>2H</sub> , кВт, при ПВ%						n <sub>H</sub> , об/мин	I <sub>1</sub> , А при 380 В	cosφ <sub>H</sub>	η <sub>H</sub> , %	I <sub>2H</sub> , А	U <sub>2H</sub> , В	M <sub>max</sub> , Н·М	J <sub>p</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>max</sub> , об/мин	m, кг
	15	25	40	60	30 мин	60 мин										
МТН112-6	5,3	—	—	—	—	—	885	15,3	0,76	69,0	19,0	203	118	0,068	2500	88
	—	4,5	—	—	4,5	—	910	13,9	0,71	69,0	15,6					
	—	—	3,6	—	—	3,6	930	12,6	0,64	68,0	12,2					
	—	—	—	3,0	—	—	945	12,1	0,58	65,0	10,0					
МТF211-6	10,5	—	—	—	—	—	895	27,5	0,78	74,0	30,0	256	191	0,115	2500	120
	—	9,0	—	—	—	—	915	24,0	0,74	77,0	25,0					
	—	—	7,5	—	7,5	—	930	21,0	0,70	77,0	19,8					
	—	—	—	6,0	—	6,0	945	18,5	0,63	78,0	15,5					
МТН211-6	8,2	—	—	—	—	—	900	24,6	0,70	72,0	23,0	236	196	0,115	2500	120
	—	7,0	—	—	7,0	—	920	22,5	0,64	73,0	19,5					
	—	—	5,6	—	—	5,6	940	21,5	0,56	72,0	14,7					
	—	—	—	4,2	—	—	955	19,5	0,47	69,0	10,7					
МТF(Н)311-6	14,0	—	—	—	—	—	925	37,0	0,76	75,5	56,0	172	314	0,225	2500	170
	—	13,0	—	—	—	—	935	34,5	0,74	77,0	51,0					
	—	—	11,0	—	11,0	—	945	30,5	0,69	79,0	42,0					
	—	—	—	9,0	—	9,0	960	28,0	0,63	77,0	34,0					
МТF(Н)312-6	19,5	—	—	—	—	—	945	46,5	0,80	80,0	61,0	219	471	0,313	2500	210
	—	17,5	—	—	—	—	950	42,5	0,77	81,0	54,0					
	—	—	15,0	—	15,0	—	955	38,0	0,73	82,0	46,0					
	—	—	—	12,0	—	12,0	965	34,0	0,66	81,0	36,0					

Тип двигателя	Р <sub>2н</sub> , кВт, при ПВ%						n <sub>н</sub> , об/мин	I <sub>н</sub> , А при 380 В	cosφ <sub>н</sub>	η <sub>н</sub> %	I <sub>2н</sub> , А	U <sub>2н</sub> , В	M <sub>нmax</sub> , НМ	J <sub>р</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>нmax</sub> , об/мин	m, кг
	15	25	40	60	30 мин	60 мин										
МТФ(Н)411-6	30,0	—	—	—	—	—	945	69,5	0,80	82,0	86,0	235	638	0,5	2500	280
	—	27,0	—	—	—	—	955	64,0	0,77	83,0	77,0					
	—	—	22,0	—	22,0	—	965	55,0	0,73	83,5	60,0					
	—	—	—	18,0	—	18,0	970	49,0	0,67	83,0	49,0					
МТФ(Н)412-6	40,0	—	—	—	—	—	960	94,0	0,77	84,0	100,0	255	932	0,675	2500	345
	—	36,0	—	—	—	—	965	86,5	0,75	84,5	88,0					
	—	—	30,0	—	30,0	—	970	75,0	0,71	85,5	73,0					
	—	—	—	25,0	—	25,0	975	70,0	0,65	83,5	61,0					
МТН512-6	65,0	—	—	—	65,0	—	955	137,0	0,82	88,0	130,0	340	1630	1,03	2500	520
	—	55,0	—	—	—	55,0	960	120,0	0,79	88,0	105,0					
	—	—	44,0	—	—	—	970	99,0	0,76	89,0	86,0					
	—	—	—	33,0	—	—	980	85,0	0,67	88,0	63,0					
МТН611-6	85,0	—	—	—	85,0	—	940	175,0	0,86	86,0	204,0	270	2610	3,28	2500	810
	—	75,0	—	—	—	75,0	950	154,0	0,85	87,0	180,0					
	—	—	58,0	—	—	—	960	127,0	0,80	87,0	140,0					
	—	—	—	45,0	—	—	970	107,0	0,74	86,0	108,0					
МТН612-6	112	—	—	—	112	—	950	225,0	0,86	88,0	207,0	366	3580	4,13	2500	930
	—	95	—	—	—	95	960	193,0	0,85	88,0	176,0					
	—	—	80	—	—	—	965	171,0	0,81	88,0	148,0					
	—	—	—	60	—	—	975	140,0	0,75	87,0	111,0					

Тип двигателя	Р <sub>2н</sub> , кВт, при ПВ%						n <sub>н</sub> , об/мин	I <sub>1</sub> , А при 380 В	cosφ <sub>н</sub>	η <sub>н</sub> , %	I <sub>2н</sub> , А	U <sub>2н</sub> , В	M <sub>max</sub> , Н·М	J <sub>p</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>max</sub> , об/мин	m, кг
	15	25	40	60	30 мин	60 мин										
МТН613-6	140	—	—	—	140	—	955	278,0	0,86	89,0	190,0	473	4660	5,10	2500	1100
	—	118	—	—	—	118	960	237,0	0,84	90,0	160,0					
	—	—	94	—	—	—	965	198,0	0,80	90,0	128,0					
	—	—	—	70	—	—	970	164,0	0,76	89,0	95,0					
МТФ(Н)311-8	10,5	—	—	—	—	—	665	29,0	0,78	71,0	32,0	245	265	0,275	1900	170
	—	9,0	—	—	—	—	680	25,6	0,74	72,0	26,0					
	—	—	7,5	—	7,5	—	695	22,8	0,68	73,0	21,0					
	—	—	—	6,0	—	6,0	710	21,0	0,60	72,0	16,0					
МТФ(Н)312-8	15,0	—	—	—	—	—	680	37,5	0,80	76,0	63,0	165	422	0,386	1900	210
	—	13,0	—	—	—	—	695	34,0	0,76	76,5	53,0					
	—	—	11,0	—	11,0	—	705	30,5	0,71	77,0	43,0					
	—	—	—	8,2	—	8,2	720	27,0	0,61	75,5	32,0					
МТФ(Н)411-8	22,0	—	—	—	—	—	685	56,0	0,76	78,0	76,0	206	569	0,538	1900	280
	—	18,0	—	—	18,0	—	700	46,7	0,73	80,0	59,0					
	—	—	15,0	—	—	15,0	710	42,0	0,67	81,0	48,8					
	—	—	—	13,0	—	—	715	38,5	0,63	81,0	42,0					
МТФ(Н)412-8	30,0	—	—	—	—	—	705	78,5	0,71	81,0	80,5	248	883	0,750	1900	345
	—	26,0	—	—	—	—	715	71,0	0,68	82,0	68,0					
	—	—	22,0	—	22,0	—	720	65,0	0,63	82,0	57,0					
	—	—	—	18,0	—	18,0	730	59,5	0,56	81,0	46,0					



Тип двигателя	P <sub>2н</sub> , кВт, при ПВ%						n <sub>н</sub> об/мин	I <sub>н</sub> , А при 380 В	cosφ <sub>н</sub>	η <sub>н</sub> , %	I <sub>2н</sub> , А	U <sub>2н</sub> , В	M <sub>пmax</sub> НМ	J <sub>p</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>пmax</sub> об/мин	m, кг
	15	25	40	60	30 мин	60 мин										
МТН511-8	34	—	—	—	34	—	695	82,0	0,77	82,0	81,0	281	1000	1,08	1900	470
	—	28	—	—	—	28	705	71,0	0,72	83,0	64,0					
	—	—	23	—	—	—	715	63,0	0,66	84,0	57,0					
	—	—	—	18	—	—	725	57,0	0,58	83,0	41,0					
МТН512-8	45	—	—	—	45	—	695	104,0	0,79	83,0	94,0	305	1370	1,43	1900	570
	—	37	—	—	—	37	705	89,0	0,74	85,0	77,0					
	—	—	31	—	—	—	715	79,0	0,69	86,0	63,0					
	—	—	—	25	—	—	725	70,0	0,63	86,0	50,0					
МТН611-10	53	—	—	—	53	—	560	128,0	0,76	83,0	185,0	185	2320	4,25	1500	900
	—	45	—	—	—	45	570	112,0	0,72	84,0	154,0					
	—	—	36	—	—	—	575	98,0	0,66	85,0	123,0					
	—	—	—	28	—	—	580	90,0	0,56	85,0	94,0					
МТН612-10	70	—	—	—	70	—	560	165,0	0,77	84,0	181,0	248	3140	5,25	1500	1070
	—	60	—	—	—	60	565	147,0	0,78	85,0	154,0					
	—	—	48	—	—	—	575	125,0	0,68	86,0	120,0					
	—	—	—	35	—	—	580	108,0	0,58	85,0	88,0					
МТН613-10	90	—	—	—	90	—	570	207,0	0,76	87,0	179,0	320	4120	6,25	1500	1240
	—	75	—	—	—	75	575	180,0	0,72	88,0	145,0					
	—	—	60	—	—	—	580	157,0	0,66	88,0	144,0					
	—	—	—	40	—	—	585	132,0	0,53	87,0	76,0					

Окончание табл. П. 1.2

Тип двигателя	Р <sub>2н</sub> , кВт, при ПВ%						n <sub>н</sub> , об/мин	I <sub>1</sub> , А при 380 В	cosφ <sub>н</sub>	η <sub>н</sub> , %	I <sub>2н</sub> , А	U <sub>2н</sub> , В	M <sub>max</sub> , НМ	J <sub>p</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>max</sub> , об/мин	m, кг
	15	25	40	60	30 мин	60 мин										
МТН711-10	125	—	—	—	125	—	580	287,0	0,74	89,5	294,0	272	4560	10,25	1500	1550
	—	100	—	—	—	100	584	246,0	0,69	89,5	233,0					
	—	—	80	—	—	—	588	216,0	0,63	89,0	180,0					
	—	—	—	65	—	—	592	195,0	0,57	88,5	147,0					
МТН712-10	155	—	—	—	155	—	580	355,0	0,75	88,5	295,0	327	5690	12,75	1500	1700
	—	125	—	—	—	125	585	300,0	0,70	90,3	237,0					
	—	—	100	—	—	—	590	262,0	0,65	89,0	185,0					
	—	—	—	80	—	—	593	235,0	0,58	88,5	146,0					
МТН713-10	200	—	—	—	200	—	582	458,0	0,73	90,5	305,0	408	7310	15	1500	1900
	—	160	—	—	—	160	586	392,0	0,68	91,5	244,0					
	—	—	125	—	—	—	590	344,0	0,61	90,3	186,0					
	—	—	—	100	—	—	593	313,0	0,54	89,5	148,0					

Технические данные двигателей серии МТКФ и МТКН с короткозамкнутым ротором (50 Гц 220/380 и 500 В)

Тип двигателя	P <sub>2н</sub> , кВт, при ПВ%						n <sub>н</sub> , об/мин	I <sub>н</sub> , А при 380 В	cosφ <sub>н</sub>	η <sub>н</sub> , %	M <sub>нmax</sub> , Н·М	M <sub>н</sub> , Н·М	I <sub>н</sub> , А при 380 В	J <sub>н</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>нmax</sub> , об/мин	m, кг
	15	25	40	60	30 мин	60 мин										
МТКФ011-6	2	—	—	—	—	—	780	6,7	0,81	56,0	41	41	15	0,02	2500	47
	—	1,7	—	—	—	—	835	5,8	0,74	60,0						
	—	—	1,4	—	1,4	—	875	5,2	0,66	60,5						
	—	—	—	1,2	—	1,2	900	4,9	0,61	61,0						
МТКФ012-6	3,1	—	—	—	—	—	785	9,3	0,82	61,5	66	66	22	0,028	2500	53
	—	2,7	—	—	—	—	835	8,2	0,77	65,0						
	—	—	2,2	—	2,2	—	880	7,2	0,69	67,0						
	—	—	—	1,7	—	1,7	915	6,6	0,60	65,0						
МТКФ111-6	4,5	—	—	—	—	—	825	12,0	0,85	67,0	103	102	35	0,045	2500	70
	—	4,1	—	—	—	—	850	10,9	0,83	69,0						
	—	—	3,5	—	3,5	—	885	9,4	0,79	72,0						
	—	—	—	2,8	—	2,8	915	8,2	0,71	73,0						
МТКН111-6	3,5	—	—	—	—	—	890	10,5	0,75	67,5	97	96	32	0,045	2500	70
	—	3,0	—	—	3,0	—	910	9,5	0,70	68,0						
	—	—	2,5	—	—	2,5	930	8,8	0,63	68,0						
	—	—	—	2,0	—	—	945	8,3	0,55	65,5						
МТКФ112-6	6,5	—	—	—	—	—	845	17,2	0,83	69,5	172	172	53	0,065	2500	80
	—	5,8	—	—	—	—	870	15,5	0,80	71,0						
	—	—	5,0	—	5,0	—	895	13,8	0,74	74,0						
	—	—	—	4,0	—	4,0	920	12,5	0,65	74,0						

Тип двигателя	P <sub>2н</sub> , кВт, при ПВ%						n <sub>н</sub> , об/мин	I <sub>н</sub> , А при 380 В	cosφ <sub>н</sub>	η <sub>н</sub> %	M <sub>нmax</sub> , Н·М	M <sub>н</sub> , Н·М	I <sub>н</sub> , А при 380 В	J <sub>н</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>нmax</sub> , об/мин	m, кг
	15	25	40	60	30 мин	60 мин										
МТКН112-6	5,3	—	—	—	—	—	875	14,0	0,81	71,0	155	154	50	0,065	2500	80
	—	4,5	—	—	4,5	—	900	12,7	0,75	71,5						
	—	—	3,6	—	—	3,6	925	11,5	0,66	72,0						
	—	—	—	3,0	—	—	940	10,6	0,60	71,5						
МТКФ211-6	10,5	—	—	—	—	—	800	28,3	0,83	68,0	216	206	78	0,11	2500	110
	—	9,0	—	—	—	—	840	23,2	0,81	72,5						
	—	—	7,5	—	7,5	—	880	19,5	0,77	75,5						
	—	—	—	6,0	—	6,0	910	16,9	0,69	78,0						
МТКН211-6	8,2	—	—	—	—	—	875	23,2	0,75	71,5	226	216	88	0,11	2500	110
	—	7,0	—	—	7,0	—	895	20,8	0,70	73,0						
	—	—	5,6	—	—	5,6	920	18,5	0,62	74,0						
	—	—	—	4,2	—	—	940	16,5	0,53	73,0						
МТКФ(Н)311-6	14,0	—	—	—	—	—	880	34,0	0,82	76,0	382	373	130	0,213	2500	155
	—	13,0	—	—	—	—	895	32,3	0,80	76,5						
	—	—	11,0	—	11,0	—	910	28,5	0,76	77,5						
	—	—	—	9,0	—	9,0	930	25,5	0,69	77,5						
МТКФ(Н)312-6	19,5	—	—	—	—	—	900	45,0	0,83	79,0	589	579	205	0,3	2500	195
	—	17,5	—	—	—	—	915	40,5	0,82	80,0						
	—	—	15,0	—	15,0	—	930	36,0	0,78	81,0						
	—	—	—	12,0	—	12,0	945	31,5	0,71	81,0						

Тип двигателя	Р <sub>дв</sub> , кВт, при ПВ%						n <sub>дв</sub> , об/мин	I <sub>дв</sub> , А при 380 В	cosφ <sub>дв</sub>	η <sub>дв</sub> %	M <sub>дв</sub> макс, Н·М	M <sub>дв</sub> , Н·М	I <sub>дв</sub> , А при 380 В	J <sub>дв</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>дв</sub> макс, об/мин	m, кг
	15	25	40	60	30 мин	60 мин										
МТКФ(Н)411-6	30,0	—	—	—	—	—	905	67,0	0,85	80,0	765	706	275	0,475	2500	255
	—	27,0	—	—	—	—	915	61,0	0,83	81,0						
	—	—	22,0	—	22,0	—	935	51,0	0,79	82,5						
	—	—	—	18,0	—	18,0	950	45,5	0,73	82,5						
МТКФ(Н)412-6	40,0	—	—	—	—	—	910	88,0	0,84	81,5	981	932	380	0,638	2500	315
	—	36,0	—	—	—	—	920	81,0	0,82	82,5						
	—	—	30,0	—	30,0	—	935	70,0	0,78	83,5						
	—	—	—	25,0	—	25,0	950	62,5	0,73	81,5						
МТКФ(Н)311-8	10,5	—	—	—	—	—	660	27,0	0,81	73,0	324	314	95	0,275	1900	155
	—	9,0	—	—	—	—	670	24,0	0,77	74,0						
	—	—	7,5	—	7,5	—	690	21,8	0,71	73,5						
	—	—	—	6,0	—	6,0	705	19,8	0,62	73,5						
МТКФ(Н)312-8	15,0	—	—	—	—	—	675	35,3	0,83	78,0	500	461	150	0,388	1900	195
	—	13,0	—	—	—	—	690	31,8	0,79	78,5						
	—	—	11,0	—	11,0	—	700	29,0	0,74	78,0						
	—	—	—	8,2	—	8,2	710	26,0	0,63	76,0						
МТКФ(Н)411-8	22,0	—	—	—	—	—	660	54,0	0,81	76,5	657	638	185	0,538	1900	255
	—	18,0	—	—	18,0	—	680	45,0	0,77	78,5						
	—	—	15,0	—	—	15,0	695	40,0	0,71	80,0						
	—	—	—	13,0	—	—	705	36,5	0,67	81,0						

Окончание табл. П. 1.3

Тип двигателя	P <sub>2H</sub> , кВт, при ПВ%						n <sub>н</sub> , об/мин	I <sub>н</sub> , А при 380 В	cosφ <sub>н</sub>	η <sub>н</sub> , %	M <sub>пmax</sub> , Н·М	M <sub>н</sub> , Н·М	I <sub>н</sub> , А при 380 В	J <sub>н</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>пmax</sub> , об/мин	m, кг
	15	25	40	60	30 мин	60 мин										
МТКФ(Н)412-8	30,0	—	—	—	—	—	675	74,0	0,78	79,0	981	932	295	0,75	1900	315
	—	26,0	—	—	26,0	—	690	66,0	0,75	80,0						
	—	—	22,0	—	—	22,0	700	60,0	0,69	80,5						
	—	—	—	18,0	—	—	710	54,0	0,63	80,0						
МТКН511-8	34	—	—	—	34	—	680	79,0	0,82	80,0	1128	1128	1128	1,08	1900	440
	—	28	—	—	—	28	695	67,0	0,77	83,0						
	—	—	23	—	—	—	705	57,0	0,73	84,0						
	—	—	—	18	—	—	715	49,0	0,67	84,0						
МТКН512-8	45	—	—	—	45	—	680	104,0	0,81	81,0	1470	1390	460	1,43	1900	540
	—	37	—	—	—	37	695	87,0	0,78	83,0						
	—	—	31	—	—	—	705	76,0	0,74	84,0						
	—	—	—	25	—	—	715	64,0	0,70	85,0						

Таблица П. 1.4

Основные технические данные электродвигателей серии 4МТН(Ф)  
(50 Гц, 220/380, 230/400, 240/415, 380/600 и 500 В)

Тип двигателя	Р <sub>2н</sub> , кВт при ПВ%							2р	n <sub>н</sub> , об/мин	cosφ	I <sub>1</sub> , А	I <sub>2</sub> , А	U <sub>2</sub> , В	η <sub>н</sub> , %	M <sub>max</sub> , Нм	J <sub>дв</sub> , кгм <sup>2</sup>	m, кг
	15	25	40	60	100	30 мин	60 мин										
4МТН(Ф)112L4			3,7				3,7	4	1370	0,82	10,5	—	—		57		51
4МТН(Ф)112LB4			5,5				5,5	4	1390	0,81	15	—	—		94		63
4МТН(Ф)132L4			7,5				7,5	4	1400	0,84	19	—	—		126		104
4МТН(Ф)132LB4			11				11	4	1410	0,86	28	—	—		205		115
4МТН(Ф)112L6			2,2				2,2	6	810	0,76	7,2	11	144		55	0,035	51
4МТН(Ф)112LB6			3,7				3,7	6	900	0,79	11,2	13,8	190		88	0,045	63
4МТН(Ф)132L6			5,5				5,5	6	915	0,74	14,8	18,3	213		135	0,09	104
4МТН(Ф)132LB6			7,5				7,5	6	935	0,77	18,2	20,7	242		190	0,11	115
4МТН(Ф)160L6			11				11	6	910	0,76	32	41	179		325	0,23	165
4МТН(Ф)160LB6			15				15	6	930	0,77	39	48	213		460	0,28	194
4МТН(Ф)200L6			22				22	6	935	0,79	55	60	235		638	0,57	270
4МТН(Ф)200LB6			30				30	6	935	0,78	75	73	235		932	0,68	320
4МТН(Ф)225M6	52	—	—	—	—	—	—	6	940	0,818	78	77	293	1000	0,75	420	
	—	43	—	—	—	43	—		945								
	—	—	37	—	—	—	37		950								
	—	—	—	30	—	—	—		960								
	—	—	—	—	22	—	—		970								
4МТН 225L6	75	—	—	—	—	—	—	6	945	0,9	115	115	290	1530	1,02	500	
	—	65	—	—	—	65	—		950								
	—	—	55	—	—	—	55		960								
	—	—	—	44	—	—	—		965								
	—	—	—	—	33	—	—		970								

Продолжение табл. П. 1.4

Тип двигателя	P <sub>2Н</sub> , кВт при ПВ%							2р	n <sub>н</sub> , об/мин	cosφ	I <sub>1</sub> , А	I <sub>2</sub> , А	U <sub>2</sub> , В	η <sub>н</sub> , %	M <sub>max</sub> , Нм	J <sub>ДВ</sub> , кгм <sup>2</sup>	m, кг
	15	25	40	60	100	30МИН	60МИН										
4МТН 280S6	105	—	—	—	—	—	—	6	945	0,89	142	178	270	86,0	2160	3,3	750
	—	90	—	—	—	90	—		950								
	—	—	75	—	—	—	75		955								
	—	—	—	60	—	—	—		960								
	—	—	—	—	45	—	—		970								
4МТН 280M6	154	—	—	—	—	—	—	6	960	0,89	205	160	420	88,0	3490	4,8	970
	—	132	—	—	—	132	—		965								
	—	—	110	—	—	—	110		970								
	—	—	—	88	—	—	—		975								
	—	—	—	—	66	—	—		980								
4МТН(F)160L8			7,5				7,5	8	695	0,73	25	22	227		248	0,23	165
4МТН 160LB8			11				11	8	705	0,74	38	39	185		400	0,29	194
4МТН 200L8			15				15	8	710	0,71	42	48,8	206		569	0,62	270
4МТН 200LB8			22				22	8	715	0,7	57	59	241		800	0,74	320
4МТН 225M8	42	—	—	—	—	—	—	8	700	0,72	74,6	71	252	82,0	1030	0,95	420
	—	36	—	—	—	36	—		705								
	—	—	30	—	—	—	30		715								
	—	—	—	24	—	—	—		720								
	—	—	—	—	15	—	—		730								



Продолжение табл. П. 1.4

Тип двигателя	P <sub>2н</sub> , кВт при ПВ%							2р	n <sub>н</sub> , об/мин	cosφ	I <sub>1</sub> , А	I <sub>2</sub> , А	U <sub>2</sub> , В	η <sub>н</sub> , %	M <sub>max</sub> , Нм	J <sub>дв</sub> , кг·м <sup>2</sup>	m, кг
	15	25	40	60	100	30 мин	60 мин										
4МТН 225L8	52	—	—	—	—	—	—	8	705	0,74	87,4	79	302	84,0	1390	1,27	500
	—	44	—	—	—	44	—		715								
	—	—	37	—	—	—	37		720								
	—	—	—	30	—	—	—		725								
	—	—	—	—	22	—	—		730								
4МТН 280S8	77	—	—	—	—	—	—	8	700	0,84	112	170	196	84,0	2160	3,7	750
	—	66	—	—	—	66	—		705								
	—	—	55	—	—	—	55		710								
	—	—	—	44	—	—	—		715								
	—	—	—	—	33	—	—		720								
4МТН 280M8	105	—	—	—	—	—	—	8	710	0,82	154	165	277	85,0	2940	4,5	850
	—	90	—	—	—	90	—		715								
	—	—	75	—	—	—	75		720								
	—	—	—	60	—	—	—		725								
	—	—	—	—	45	—	—		730								
4МТН 280L8	125	—	—	—	—	—	—	8	710	0,84	179	162	355	86,0	3470	5,5	1000
	—	108	—	—	—	108	—		715								
	—	—	90	—	—	—	90		720								
	—	—	—	72	—	—	—		725								
	—	—	—	—	54	—	—		730								
4МТН 355S8			132				132	8	710	0,85	270	—	—	—	10,2	1545	
4МТН 355M8			160				160	8	715	0,87	320	—	—	—	12,8	1695	

Окончание табл. П. 1.4

Тип двигателя	P <sub>дв</sub> , кВт при ПВ%							2р	n <sub>н</sub> , об/мин	cosφ	I <sub>1</sub> , А	I <sub>2</sub> , А	U <sub>2</sub> , В	η <sub>н</sub> %	M <sub>max</sub> , Нм	J <sub>дв</sub> , кг·м <sup>2</sup>	m, кг
	15	25	40	60	100	30 мин	60 мин										
4МТН 355L8			200				200	8	730	0,86	400	—	—		—	15	1895
4МТН 280S10	63	—	—	—	—	—	—	10	555	0,76	103	146	181	1940	3,8	750	
	—	54	—	—	—	54	—		560								
	—	—	45	—	—	—	45		565								
	—	—	—	36	—	—	—		570								
	—	—	—	—	27	—	—		575								
4МТН 280M10	84	—	—	—	—	—	—	10	555	0,76	124	135	239	2670	4,6	850	
	—	72	—	—	—	72	—		565								
	—	—	60	—	—	—	60		570								
	—	—	—	48	—	—	—		575								
	—	—	—	—	36	—	—		580								
4МТН 280L10	105	—	—	—	—	—	—	10	560	0,77	166	142	308	3480	5,6	1000	
	—	90	—	—	—	90	—		565								
	—	—	75	—	—	—	75		570								
	—	—	—	60	—	—	—		575								
	—	—	—	—	45	—	—		580								
4МТН 355S10			110				110	10	584	0,7	266	250	272	4560	10,2	1545	
4МТН 355M10			132				132	10	585	0,68	315	250	327	5690	12,8	1695	
4МТН 355L10			160				160	10	586	0,61	392	242	408	7310	15	1895	

Таблица П. 1.5

Технические данные электродвигателей с короткозамкнутым ротором  
(ПВ=40 %, 380 В, 50 Гц)

Тип	2р	$P_{2H}$ , кВт	$n_{max}$ , об/мин	$I_1$ , А	$\cos\varphi$	$M_{max}$ , Н·м	$M_{п}$ , Н·м	$I_{п}$ , А
4МТКФ(Н)112L4	4	3,7	1390	10,5	0,83	56	56	41
4МТКФ(Н)112LB4	4	5,5	1400	15,2	0,82	91	85	61
4МТКФ(Н)132L4	4	7,5	1390	18,5	0,85	131	121	87
4МТКФ(Н)132LB4	4	11,0	1410	27,5	0,87	215	195	152
4МТКФ(Н)112L6	6	2,2	880	6,8	0,73	64	62	22,7
4МТКФ(Н)112LB6	6	3,7	870	10,6	0,75	114	114	37,2
4МТКФ(Н)132L6	6	5,5	900	13,6	0,75	155	145	57
4МТКФ(Н)132LB6	6	7,5	900	18,3	0,7	225	216	79
4МТКФ(Н)160L6	6	11	910	29	0,76	39,5	340	148
4МТКФ(Н)160LB6	6	15	930	36,5	0,78	560	480	203
4МТКФ(Н)200L6	6	22	935	51	0,79	760	706	275
4МТКФ(Н)200LB6	6	30	935	70	0,78	980	932	380
4МТКФ(Н)160L8	8	7,5	690	24	0,71	310	260	91,5
4МТКФ(Н)160LB8	8	11	700	33,5	0,74	500	420	141
4МТКФ(Н)200L8	8	15	695	40	0,71	657	638	185
4МТКФ(Н)200LB8	8	22	700	60	0,69	981	932	295
4МТКН225M8	8	30	700	68	0,77	1128	1128	336
4МТКН225L8	8	37	710	86	0,78	1470	1390	460

Таблица П. 1.6

## Обмоточные данные электродвигателей серии 4МТ

Тип (4МТКФ, 4МТКН, 4МТФ, 4МТН)	2р	Число пазов	Всего прово- дов в пазу	Число парал- лельных проводов	Число парал- лель- ных цепей на фазу	Число витков в катушке	Диаметр провода, мм	Сопро- тивление фазы Г <sub>1</sub> при 20 °С, Ом
Обмотки статора фазных и короткозамкнутых двигателей								
112L6	6	54	31	—	—	31	1	2,97
112LB6	6	54	20	—	—	20	1,25	1,55
132L6	6	54	36	2	—	18	1	1,07
132LB6	6	54	28	2	—	14	1,18	0,68
160L6	6	54	32	—	3	32	1,25	0,35
160LB6	6	54	32	4	—	8	1,25	0,236
200L6	6	72	30	2	2	15	1,3	0,235
200LB6	6	72	42	2	4	21	1,12	0,132
225M6	6	72	56	3	3	56	1,32	0,1
225L6	6	72	38	2	6	38	1,4	0,053
280S6	6	72	40	3	6	40	1,32	0,041
280M6	6	72	26	4	6	26	1,32	0,025
160L8	8	48	48	3	—	16	1,18	0,48
160LB8	8	48	44	2	2	22	1,25	0,265
200L8	8	72	30	2	2	15	1,3	0,235
200LB8	8	72	42	2	4	21	1,12	0,14
225M8	8	72	63	2	4	63	1,25	0,14
225L8	8	72	48	2	4	48	1,4	0,1
280S10	10	75	48	2	5	48	1,4	0,06
280M10	10	75	54	3	5	54	1,3	0,047
280L10	10	75	42	3	5	42	1,5	0,031
355S10	10	105	12	—	5	6	2,5X3,75	0,019
255M10	10	105	10	—	5	5	2,8X4	0,014
355L10	10	105	16	2	5	4	1,8X3,75	0,012

Продолжение табл. П. 1.6

Тип (4МТКФ, 4МТКН, 4МТФ, 4МТН)	2р	Число пазов	Всего проводов в пазу	Число парал- лельных проводов	Число парал- лельных цепей на фазу	Число витков в катушке	Диаметр провода, мм	Сопро- тивление фазы Г <sub>1</sub> при 20 °С, Ом
Обмотки ротора фазных двигателей								
112L6	6	36	19	—	—	19	1,4	0,565
112LB6	6	36	32	2	—	16	1,12	0,462
132L6	6	36	32	2	—	16	1,25	0,306
132LB6	6	36	42	3	—	14	1,12	0,3
160L6	6	36	46	2	3	23	1,25	0,072
160LB6	6	36	42	2	3	21	1,32	0,073
200L6	6	36	42	2	3	21	1,5	0,054
200LB6	6	36	51	3	3	17	1,4	0,04
225M6	6	54	45	3	3	15	1,4	0,048
225L6	6	54	40	4	3	10	1,5	0,026
280S6	6	90	2	1	1	—	2,8X10	0,019
280M6	6	90	2	1	1	—	2,8X10	0,024
160L8	8	36	56	2	2	28	1,12	0,095
160LB8	8	36	48	3	2	16	1,18	0,096
200L8	8	48	39	3	2	13	1,3	0,082
200LB8	8	48	33	3	2	11	1,45	0,068
225M8	8	48	44	4	2	11	1,4	0,051
225L8	8	48	40	4	2	10	1,5	0,049
280S10	10	90	2	1	1	—	2,8X10	0,017
280M10	10	90	2	1	1	—	2,8X10	0,021
280L10	10	90	2	1	1	—	2,8X10	0,024
355S10	10	90	2	—	—	—	3,05X16,8	0,012
255M10	10	90	2	—	—	—	3,05X16,8	0,014
355L10	10	90	2	—	—	—	3,05X16,8	0,015

**Электродвигатели постоянного тока серии Д**

Электродвигатели серии Д предназначены для специализированных кранов, вспомогательных металлургических механизмов с повторно-кратковременным режимом работы, большим числом включений, широким диапазоном регулирования частоты вращения.

Номинальный режим работы двигателей 60 мин, основной – при ПВ=40 %. Отношение максимальной частоты вращения к номинальной – (3,5 – 4,9). При регулировании скорости допустимо увеличение напряжения до 440 В относительно номинального 220 В. Для тихоходных двигателей ( $n_{н\text{ср.}}=700$  об/мин) допустимое число включений в час 2000, для быстроходных ( $n_{н\text{ср.}}=1200$  об/мин) – 300. Отношение максимального и пускового моментов к номинальному лежат в пределах 2,7 – 5 (таблица П. 2.1).

Таблица П. 2.1

Возбуждение	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{H}}}$ , о.е		$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{H}}}$ , о.е		$\frac{I_{\text{max}}}{I_{\text{H}}}$ , о.е	
	Номинальное напряжение двигателя, В					
	220	440	220	440	220	440
Последовательное	4	3,2	5	4	3,2	2,55
Смешанное	3,5	2,8	4,2	3,4	3	2,4
Параллельное со стабилизирующей обмоткой	3	2,4	3,5	2,8	3	2,4
Параллельное	2,7	2,15	3	2,4	2,8	2,25

Длительность перегрузки по току якоря  $3I_{\text{H}}$  30с для двигателей Д12 – Д32 и 60с для двигателей Д41, Д806 – 818. Класс нагревостойкости изоляции обмоток и коллектора Н.

Потери энергии в двигателях серии Д параллельного возбуждения при ПВ=40 % представлены в таблице П. 2.2.

Технические данные двигателей серии Д приведены в табл. П. 2.3.

Некоторые зависимости, необходимые для расчетов приведены на рис. 1.1 – рис. 1.4.

Таблица П. 2.2

Тип двигателя	$\Delta P_{ов}$ , Вт	$(\Delta P_{я} + \Delta P_{дп})$ , Вт	$\Delta P_{ст}$ , Вт	$\Delta P_{доб}$ , Вт
Д12	140	400	100	30
Д21	230	500	150	45
Д22	260	510	210	60
Д31	330	750	240	85
Д32	350	1050	280	120
Д41	450	1150	450	180
Д806	550	1000	700	190
Д808	700	970	900	250
Д810	750	1000	1300	350
Д812	950	1150	1600	420
Д814	1000	1400	2300	600
Д816	1250	1470	2800	930
Д818	1500	1550	3400	1000

Таблица П. 2.3

Технические данные двигателей серии Д параллельного возбуждения ( $U_n=220$  В)

Тип двигателя	$P_{2H}$ , кВт, при ПВ%					$I_H$ , А	$n_H$ , об/мин	$M_{max}$ , Н·м	$R_B$ , Ом	$I_{BH}$ , А	$\Phi_H \cdot 10^2$ , Вб	$R_A$ , Ом	$R_{дп}$ , Ом	$J_H$ , кг·м <sup>2</sup>	$n_{max}$ , об/мин	$m$ , кг
	15	25	40	60	100											
Тихоходные																
Д12	3,6	—	—	—	—	23	1140	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	3,0	—	—	—	18	1130	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	2,4	—	—	14	1230	57	260	0,65	0,460	1,13	0,5	0,05	3600	130
	—	—	—	2,0	—	11	1270	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	1,1	6	1330	54	—	0,7	0,476	—	—	—	—	—
Д21	5,2	—	—	—	—	32	1020	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	4,5	—	—	—	26	1010	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	3,6	—	—	21	1080	90	142	1,0	0,580	0,66	0,28	0,125	3600	200
	—	—	—	2,9	—	16	1120	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	1,6	9	1170	113	—	1,2	0,584	—	—	—	—	—
Д22	7,2	—	—	—	—	41	1120	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	6,0	—	—	—	33	1060	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	4,8	—	—	26	1150	108	130	1,18	0,741	0,37	0,196	0,155	3600	225
	—	—	—	3,6	—	20	1120	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	2,0	12	1220	137	—	1,35	0,754	—	—	—	—	—
Д31	10,5	—	—	—	—	60	850	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	8,5	—	—	—	47	840	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	6,8	—	—	37	880	201	120	1,25	0,909	0,325	0,093	0,3	3600	310
	—	—	—	5,4	—	29	910	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—3,0	17	940	245	—	1,45	0,933	—	—	—	—	—



Продолжение табл. П. 2.3

Тип двигателя	P <sub>2H</sub> , кВт, при ПВ%					I <sub>H</sub> , А	n <sub>н</sub> , об/МИН	M <sub>макс.</sub> , Н·М	R <sub>B</sub> , Ом	I <sub>BH</sub> , А	Ф <sub>H</sub> · 10 <sup>2</sup> , Вб	R <sub>Я</sub> , Ом	R <sub>ДП</sub> , Ом	J <sub>я</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>макс.</sub> , об/МИН	m, кг
	15	25	40	60	100											
Д32	14,5	—	—	—	—	82	780	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	12,0	—	—	—	65	760	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—9,5	—	—	51	800	319	94	1,62	1,33	0,2	0,08	0,43	3300	365
	—	—	—	7,5	—	39	800	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	4,0	22	815	402	—	1,85	0,35	—	—	—	—	—
Д41	19,0	—	—	—	—	105	700	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	16,0	—	—	—	85	680	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	13,0	—	—	70	720	476	70	2,2	1,72	0,11	0,051	0,8	3000	540
	—	—	—	9,5	—	50	730	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	5,5	30	745	598	—	2,5	1,76	—	—	—	—	—
Д806	24,5	—	—	—	—	130	695	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	20,0	—	—	—	104	705	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	16,0	—	—	84	710	677	65	2,3	2,34	0,068	0,041	1,0	2600	635
	—	—	—	12,0	—	62	715	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	6,5	35	720	872	—	2,7	2,5	—	—	—	—	—
Д808	37,0	—	—	—	—	190	625	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	30,0	—	—	—	150	630	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	22,0	—	—	112	630	1295	44,4	3,4	3,58	0,034	0,02	2,0	2300	885
	—	—	—	—17,0	—	85	635	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	9,5	50	640	1655	—	3,93	3,81	—	—	—	—	—

Продолжение табл. П. 2.3

Тип двигателя	P <sub>2H</sub> , кВт, при ПВ%					I <sub>H</sub> , А	n <sub>н</sub> , об/мин	M <sub>нmax</sub> , Н·м	R <sub>B</sub> , Ом	I <sub>BH</sub> , А	Ф <sub>H</sub> · 10 <sup>-2</sup> , Вб	R <sub>я</sub> , Ом	R <sub>дп</sub> , Ом	J <sub>я</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>max</sub> , об/мин	m, кг
	15	25	40	60	100											
Д810	50,0	—	—	—	—	255	595	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	40,0	—	—	—	205	595	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	29,0	—	—	148	600	1910	46,2	3,25	4,5	0,023	0,012	3,63	2200	1250
	—	—	—	22,5	—	115	600	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	12,0	65	605	2550	—	3,9	4,76	—	—	—	—	—
Д812	66,5	—	—	—	—	335	545	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	53,5	—	—	—	270	550	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	38,0	—	—	192	565	2795	34,4	4,3	5,36	0,014	0,009	7,0	1900	1770
	—	—	—	28,5	—	145	570	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	16,0	85	575	3720	—	5,3	5,71	—	—	—	—	—
Д814	100	—	—	—	—	495	550	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	80,0	—	—	—	395	555	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	55,0	—	—	280	560	4720	34,0	4,4	7,52	0,0079	0,005	10,25	1700	2240
	—	—	—	38,5	—	196	560	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	20,5	110	565	5680	—	5,5	8,22	—	—	—	—	—
Д816	125	—	—	—	—	620	535	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	97,0	—	—	—	480	535	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	70,0	—	—	350	535	6030	26,4	5,6	9,5	0,0059	0,0032	16,25	1600	2860
	—	—	—	47,0	—	240	540	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	24,0	130	545	8040	—	7,1	10,36	—	—	—	—	—

Продолжение табл. П. 2.3

Тип двигателя	P <sub>2H</sub> , кВт, при ПВ%					I <sub>H</sub> , А	n <sub>н</sub> , об/мин	M <sub>max</sub> , Н·м	R <sub>B</sub> , Ом	I <sub>BH</sub> , А	Ф <sub>H</sub> · 10 <sup>-2</sup> , Вб	R <sub>Я</sub> , Ом	R <sub>ДП</sub> , Ом	J <sub>в</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>max</sub> , об/мин	m, кг
	15	25	40	60	100											
Д818	165	—	—	—	—	820	470	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	130	—	—	—	650	470	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	83,0	—	—	415	470	7950	22,2	6,7	10,9	0,0039	0,0027	27,5	1500	3745
	—	—	—	58,0	—	292	475	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	32,0	166	480	10600	—	8,26	11,1	—	—	—	—	—
Быстроходные																
Д21	6,8	—	—	—	—	39	1420	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	5,5	—	—	—	31	1400	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	4,4	—	—	25	1500	78	142	1,0	0,58	0,356	0,175	0,5	3600	200
	—	—	—	3,4	—	19	1520	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	2,0	12	1570	98	—	1,2	0,59	—	—	—	—	—
Д22	10,0	—	—	—	—	56	1560	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	8,0	—	—	—	44	1490	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	6,5	—	—	34	1570	108	130	1,18	—0,743	0,202	0,12	0,62	3600	225
	—	—	—	5,0	—	28	1550	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	2,5	15	1600	137	—	1,35	0,757	—	—	—	—	—
Д31	15,0	—	—	—	—	82	1390	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	12,0	—	—	—	64	1350	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	9,5	—	—	51	1420	181	120	1,25	0,812	0,138	0,056	1,2	3600	310
	—	—	—	7,0	—	38	1440	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	4,0	22	1480	225	—	1,45	0,834	—	—	—	—	—

Окончание табл. П. 2.3

Тип двигателя	P <sub>2H</sub> , кВт, при ПВ%					I <sub>H</sub> , А	n <sub>н</sub> , об/мин	M <sub>max</sub> , Н·м	R <sub>B</sub> , Ом	I <sub>BH</sub> , А	Ф <sub>H</sub> · 10 <sup>-2</sup> , Вб	R <sub>я</sub> , Ом	R <sub>дп</sub> , Ом	J <sub>я</sub> , кг·м <sup>2</sup>	n <sub>max</sub> , об/мин	m, кг
	15	25	40	60	100											
Д32	20,0	—	—	—	—	106	1230	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	16,0	—	—	—	84	1180	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	13,0	—	—	68	1240	304	94	1,62	1,34	0,085	0,036	1,7	3300	365
	—	—	—	10,0	—	52	1240	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	5,5	30	1260	382	—	1,85	1,37	—	—	—	—	—
Д41	27,0	—	—	—	—	140	1160	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	22,0	—	—	—	114	1110	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	17,5	—	—	91	1160	446	70	2,2	1,74	0,047	0,025	3,2	3000	540
	—	—	—	13,0	—	68	1170	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	7,0	40	1170	559	—	2,5	1,81	—	—	—	—	—
Д806	33,0	—	—	—	—	170	1060	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	27,5	—	—	—	140	1060	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	21,0	—	—	110	1060	643	65	2,3	2,42	0,031	0,016	4,0	2600	635
	—	—	—	15,0	—	80	1060	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	8,5	47	1060	823	—	2,7	2,52	—	—	—	—	—
Д808	43,0	—	—	—	—	220	825	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	35,0	—	—	—	175	825	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	26,0	—	—	134	825	1175	44	3,4	3,68	0,0185	0,011	8,0	2300	885
	—	—	—	19,0	—	96	830	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	10,0	57	835	1510	—	3,93	3,72	—	—	—	—	—

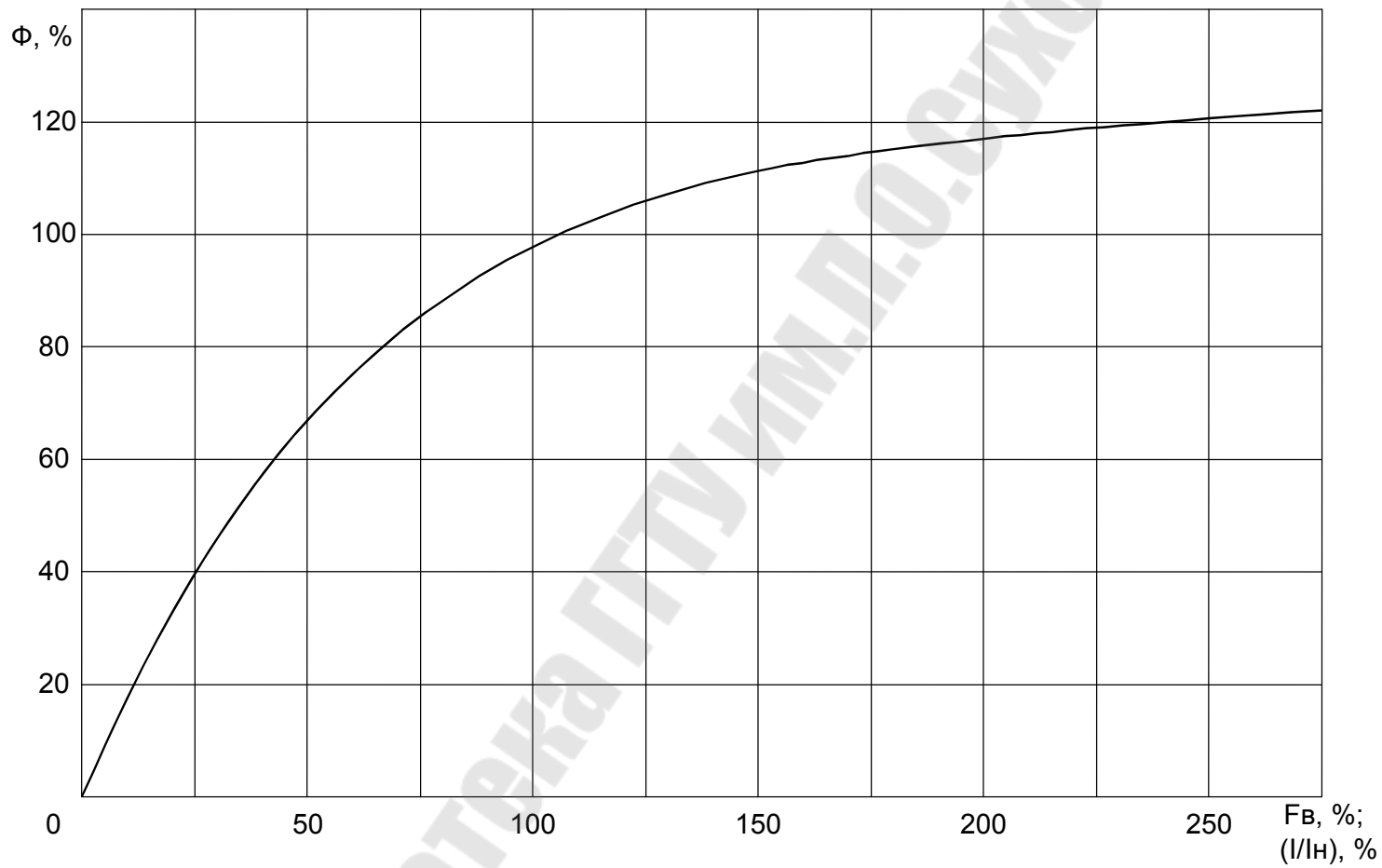


Рис. П .2.1. Универсальная магнитная характеристика двигателей серии Д

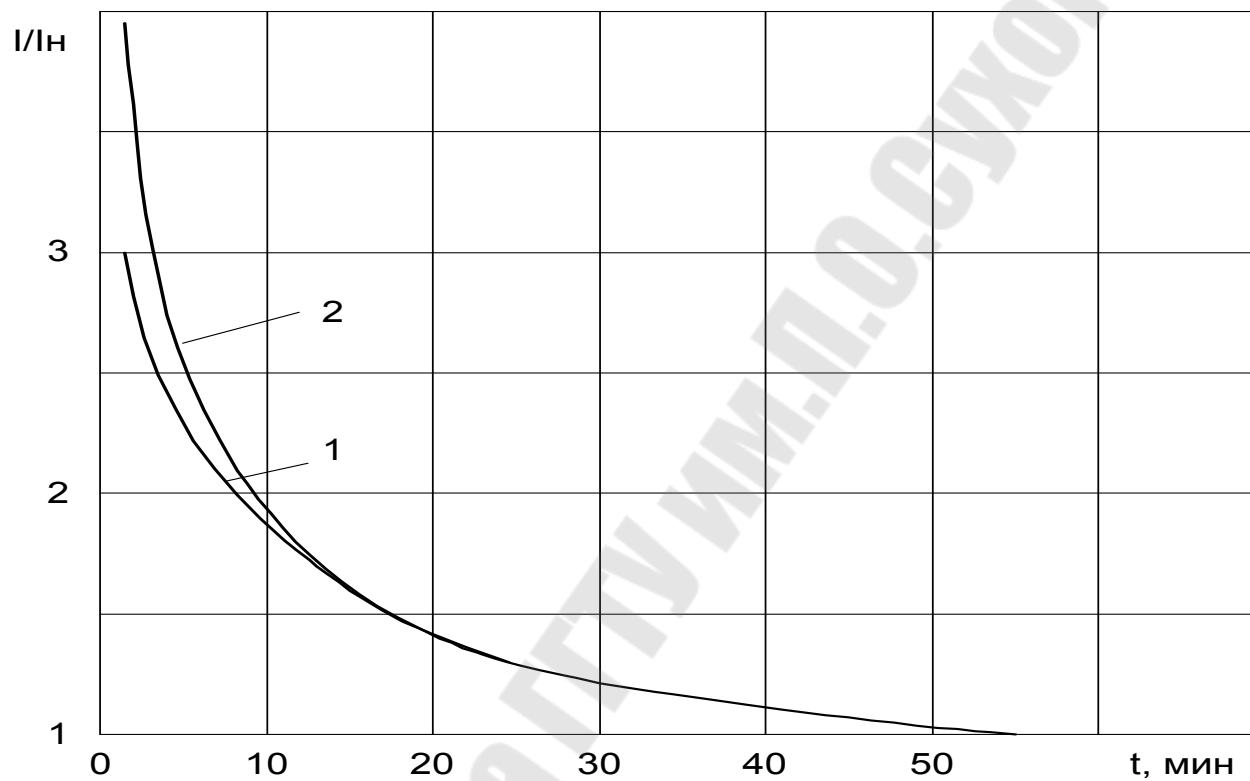


Рис. П. 2.2. Допустимая кратность перегрузки то току при кратковременных режимах работы:  
 1) Д12-Д808; 2) Д810-Д818

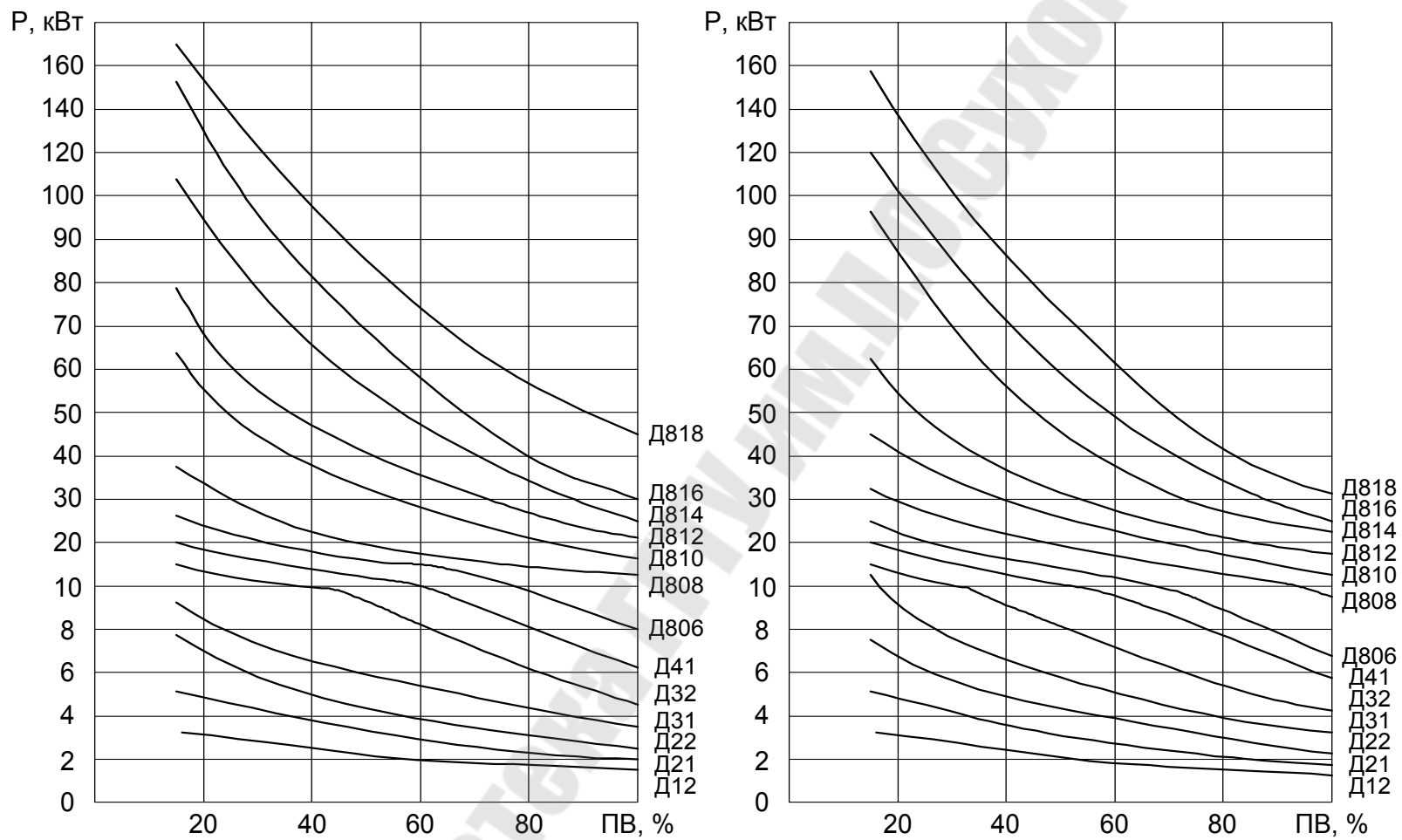


Рис. П. 2.3. Зависимость мощности двигателей серии Д от продолжительности включения:  
 а) последовательное возбуждение; б) параллельное возбуждение

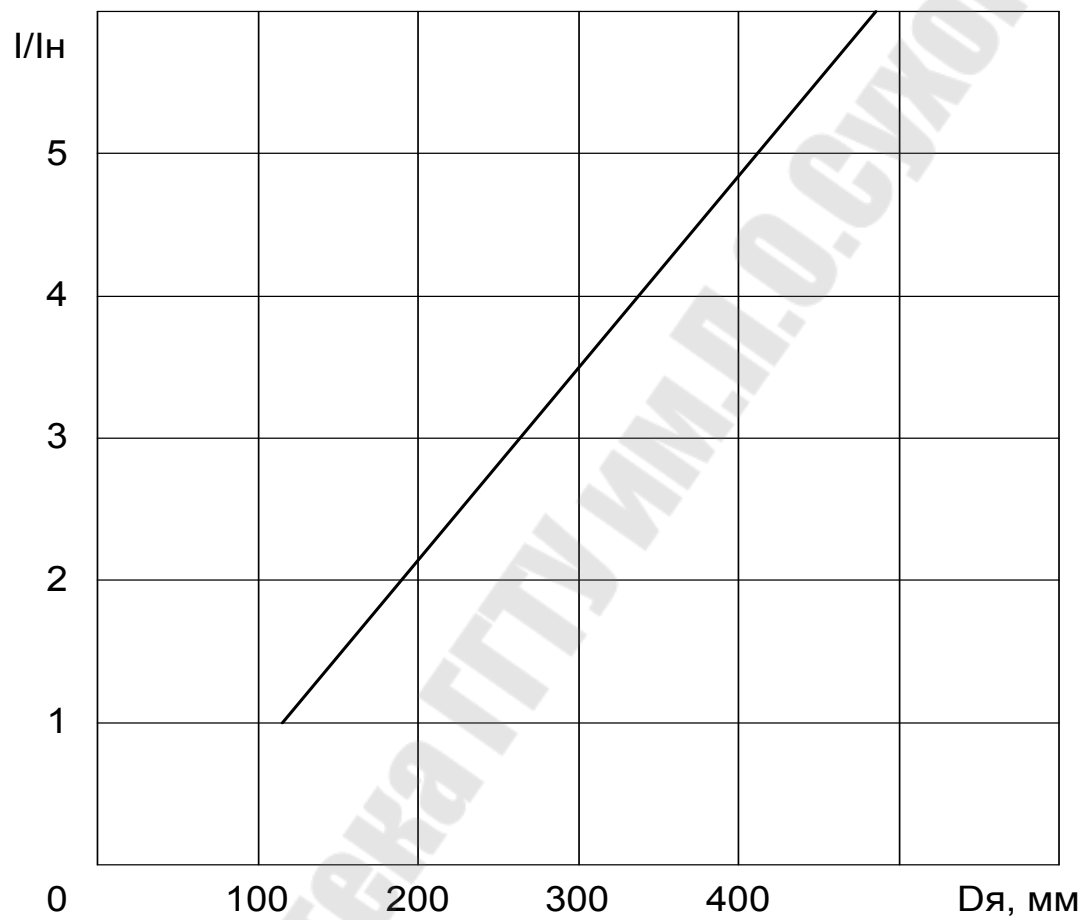


Рис. П. 2.4. Зависимость постоянной времени нагрева от диаметра якоря двигателей серии Д.



## Литература

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М.: Энергоиздат, 1998.
2. Кузнецов Б.В., Сацункевич М.Ф. Асинхронные электродвигатели и аппараты управления. – Мн.: Беларусь, 1982.
3. Сацункевич М.Ф. Электрические аппараты управления и защиты. – Мн.: Беларусь, 1984.
4. Кузнецов Б.В. Выбор электродвигателей к производственным механизмам. – Мн.: Беларусь, 1984.
5. Михеев Ю.А., Морозов Э.В. Электрический привод. – М.: Агропромиздат, 1988.
6. Электротехнический справочник /Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Энергоиздат, 1981. – Т. 2.
7. Электротехнический справочник /Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Энергоиздат, 1982. – Т. 3.– Кн. 2.
8. Кузнецов Б.В., Сацункевич М.Ф. Справочное пособие заводского электрика. – Мн.: Беларусь, 1978.
9. Автоматизированное управление электроприводами (Лабораторные работы) /Под ред. А.А. Сиротина. – М.: Высшая школа, 1978.
10. Васин В.М. Электрический привод – М.: Высшая школа, 1984.
11. Справочник по наладке электроустановок /Под ред. А.С. Дорофеевца. – М.: Энергия, 1976.
12. Хализев Г.П. Электропривод и основы управления. – М.: Высшая школа, 1968.
13. Хализев Г.П. Электрический привод. – М.: Высшая школа, 1977.
14. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
15. Крановое электрооборудование: Справочник /Под ред. А.А. Рабиновича. – М.: Энергия, 1979.

## Содержание

1. Задание на практическую работу	3
2. Варианты заданий	5
3. Построение нагрузочной диаграммы и определение режима электродвигателя	5
4. Предварительный выбор электродвигателя и проверка его по перегрузочной способности и возможности пуска	9
4.1. Длительный режим с переменной нагрузкой (S6)	9
4.2. Кратковременная нагрузка(S2)	11
4.3. Повторно-кратковременная нагрузка (S3)	13
5. Расчет пусковых и тормозных сопротивлений	14
5.1. Расчет пусковых сопротивлений для двигателя постоянного тока параллельного возбуждения (ДПТ НВ)	14
5.2. Расчет пусковых сопротивлений для ДПТ последовательного возбуждения при помощи лучевой диаграммы.	18
5.3. Расчет пусковых сопротивлений для асинхронного двигателя (АД) с фазным ротором	24
6. Составление релейно-контакторной схемы автоматизации пуска, реверса и торможения электродвигателя	28
6.1. Принципы автоматического управления пуском и торможением электродвигателей	29
6.2. Схемы автоматического управления пуском ДПТ	32
6.3. Особенности схем управления АД	37
7. Обоснование способа защиты электродвигателя, выбор и описание принципа действия аппаратов защиты и цепи управления	42
Приложение 1	49
Приложение 2	70
Литература	81

**Веппер Леонид Владимирович**  
**Логвин Владимир Васильевич**

**РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНЫЕ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

**Практикум**  
**по одноименной дисциплине для студентов**  
**специальности 1-53 01 05**  
**«Автоматизированные электроприводы»**  
**дневной и заочной форм обучения**  
**В двух частях**  
**Часть 1**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 17.01.12.

Рег. № 65Е.

E-mail: [ic@gstu.by](mailto:ic@gstu.by)

<http://www.gstu.by>