

Кафедра "Электрические машины"
Л.В. Ющенко

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Учебно-методическое пособие

Хабаровск
1999

Ющенко Л.В. Асинхронные двигатели с фазным ротором и схемы управления: Учебно-методическое пособие. – Хабаровск: ДВГУПС, 1999. – 88 с.

В учебно-методическом пособии излагаются последовательность выбора и расчет основных размеров и параметров асинхронного двигателя с контактными кольцами, расчет и построение естественной и искусственных механических характеристик с применением ЭВМ, выполнение схем-разверток трехфазных обмоток, вопросы регулирования частоты вращения.

Рассматриваются вопросы устройства и принципа действия основного релейно-контакторного и бесконтактного электрооборудования и применения его в типовых схемах управления асинхронными двигателями; приводится справочный материал по аппаратуре управления.

Пособие предназначено студентам специальностей "Локомотивы" (150700) и "Электрический транспорт" (180700) всех форм обучения, изучающим дисциплины "Электрические машины общепромышленного назначения" и "Основы электропривода", для выполнения курсового проекта по теме: "Расчет трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором и разработка схем его управления", а также может быть использовано студентами специальности "Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование" (170900), изучающими дисциплину "Электрические машины с основами электропривода" и выполняющими курсовую работу.

Рис. 42, табл. 23, список лит. – 9 назв.

Рецензенты: кафедра "Электромеханика" КнАГТУ, зав.кафедрой, профессор, канд.техн. наук А.А. Скрипилев; доцент кафедры "Электротехника и электроника" ХГТУ, канд.техн. наук Е.А. Жуков

Содержание

ВВЕДЕНИЕ

1. ВЫБОР И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ И ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

1.1. Главные размеры асинхронной машины и их соотношения

1.2. Определение главных размеров асинхронной машины

1.3. Обмотка, пазы и ярмо статора

1.4. Расчет фазного ротора

1.5. Параметры двигателя

2. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

3. СХЕМА РАЗВЕРТКИ ОБМОТКИ СТАТОРА

4. МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

4.1. Расчет и построение механической характеристики

4.2. Программа расчета механической характеристики на ЭВМ

5. ЭЛЕКТРОПРИВОД С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

5.1. Понятие об электроприводе

5.2. Регулирование частоты вращения ротора асинхронного двигателя

5.3. Расчет пусковых характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором

5.4. Программа расчета пусковой диаграммы

6. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

6.1. Понятие об управлении электроприводами

6.2. Аппараты управления в электроприводах подъемно-транспортного оборудования

6.3. Графические и буквенные обозначения в электрических системах

6.4. Типовые схемы управления электроприводами с асинхронными двигателями

6.5. Крановые защитные панели

ПРИЛОЖЕНИЯ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая энергия имеет большое преимущество перед другими видами энергии: ее можно передавать на большие расстояния, удобно распределять между потребителями, сравнительно просто и с высоким коэффициентом полезного действия преобразовывать в другие виды энергии. Процессом преобразования электрической энергии легко управлять и при этом автоматически получать необходимые характеристики преобразованной энергии.

Электрическая энергия производится на электростанциях, где атомная, тепловая или энергия падающей воды преобразуется в электрическую при помощи электромеханического генератора.

Передача электрической энергии от электростанции к потребителям осуществляется по линиям электропередачи с применением трансформаторов.

Около семидесяти процентов всей электрической энергии на месте потребления преобразуется в механическую энергию с помощью электродвигателей, предназначенных для электропривода различных машин и механизмов.

Электрический привод нашел широкое применение в технологическом оборудовании локомотивных и вагонных депо, локомотиворемонтных и вагоноремонтных заводов, а также на других предприятиях. Большое распространение получил он и в быту.

На первом этапе развития электропривода его основу составляли коллекторные электродвигатели постоянного тока. Однако с начала девяностых годов прошлого столетия в промышленности широко применяется изобретенный М.О. Доливо-Добровольским трехфазный асинхронный бесколлекторный двигатель.

Двигатели этого типа более дешевые, надежные и не требующие дорогих преобразовательных установок. Они дают более эффективное динамическое торможение в одну ступень с небольшим начальным ударным моментом.

Асинхронные двигатели (АД), выполненные с короткозамкнутым ротором, имеют недостаток, выражающийся в невозможности плавного регулирования частоты вращения без специальных преобразовательных установок. У другого типа асинхронных двигателей на роторе располагается обмотка, аналогичная статорной обмотке. Выводы обмотки через кольца и щетки подключаются к реостату, который служит для пуска двигателя с повышенным начальным моментом или для регулирования его частоты вращения. Этот тип двигателя называется двигателем с фазным ротором или с контактными кольцами.

Таким образом, электрические машины являются существенным элементом энергетических систем и установок. Поэтому для специалистов, работающих в самых разных отраслях электротехники, необходимо изучение основ теории электрических машин и основ электропривода.

Изучив курс дисциплины “Электрические машины общепромышленного назначения” и “Основы электропривода” студент должен знать основы теории, устройство элементов и принцип действия электрических машин; иметь представление о номинальных параметрах и каталожных данных электрических машин, способах повышения коэффициента полезного действия и коэффициента мощности; уметь использовать в практической работе основные положения электропривода, понимать принципы

сопряжения характеристик рабочего механизма и характеристик электродвигателя.

Цель курсового проекта – формирование и закрепление комплекса знаний по проектированию и эксплуатации наиболее распространенных асинхронных двигателей и схем управления ими.

Курсовой проект должен оформляться в виде расчетной пояснительной записки, включающей содержание, введение, разделы, приведенные в таблице, графическую часть, при необходимости, приложения и список используемой литературы. Страницы нумеруются, начиная со страницы с содержанием.

Таблица

Разделы курсовой работы и время их выполнения

№ раздела	Наименование разделов	Специальность			
		150700, 180700		170900	
		Процент выполнения	Часы	Процент выполнения	Часы
1	2	3	4	5	6
1	Выбор и расчет основных размеров и параметров АД с фазным ротором	30	15	35	10,5
2		7	3,5	–	–
3	Расчет магнитной цепи	–	–	5	1,5
4	Проверочный расчет магнитной цепи	8	4	–	–
5	Схема обмоток статора	10	5	–	–
6	Расчет и построение рабочих характеристик	5	2,5	10	3
	Расчет и построение механических характеристик				
7	Расчет добавочных сопротивлений в цепи ротора и построение искусственных механических характеристик	10	5	10	3
8	Разработка схемы управления двигателем	10	5	20	6
9	Выбор основного оборудования схемы управления	–	–	–	–
10	Выполнение графической части: чертеж двигателя	10	5	–	–
11	схема управления	–	–	10	3

	Оформление пояснительной записки	10	5	10	3
		100	50	100	30

В пояснительной записке приводятся окончательные варианты расчетов по всем разделам с обоснованием выбора конструкции узлов, коэффициентов, тех или иных величин со ссылкой на соответствующие источники литературы. Объем пояснений и обоснований должен составлять не менее одной трети от всего объема записки.

При записи расчетов необходимо привести расчетную формулу в общем виде, затем ту же формулу с заменой символов соответствующими числами и, наконец, численный результат с указанием единицы измерения полученной величины. Все расчеты следует производить в системе СИ.

Текст пояснительной записки должен сопровождаться необходимым количеством иллюстраций-эскизов, графиков.

Нумерация формул, рисунков, таблиц осуществляется в пределах одного раздела двузначным числом через точку: сначала указывают номер раздела, затем ставят точку и приводят номер формулы, рисунка, таблицы в этом разделе.

1. ВЫБОР И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ И ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

1.1. Главные размеры асинхронной машины и их соотношения

К главным размерам асинхронной машины относятся:

- внутренний диаметр статора D ;
- расчетная длина воздушного зазора L_{δ} .

Эти размеры связаны с другими параметрами так называемой машинной постоянной [1,2]

$$C_A = \frac{D^2 L_{\delta} \omega_1}{S_1} = \frac{2}{\pi \alpha_{\delta} K_B K_{ob} A B_{\delta}}, \quad (1.1)$$

где ω_1 – синхронная угловая частота вращения магнитного поля статора

$\omega_1 = 2\pi n_1 / 60$; S_1 – расчетная мощность,

кВА; α_{δ} – расчетный коэффициент полюсного перекрытия, равный отношению полюсной дуги β_n к полюсному делению τ ;

K_B – коэффициент, зависящий от формы кривой магнитного поля в воздушном зазоре;

K_{ob} – обмоточный коэффициент;

A – линейная нагрузка, А/м;

B_6 – магнитная индукция в зазоре, Тл.

Все величины, кроме угловой синхронной частоты вращения, неизвестны, но на выбор параметров A , B_6 , α_6 , K_B , $K_{об}$ имеются рекомендации в литературе по проектированию электрических машин [1,2,3]. Расчетную мощность также можно определить приближенно. Остаются два неизвестных D и L_6 . От размеров D и L_6 и от соотношений между ними зависят вес машины и ее стоимость, а также технико-экономические характеристики и надежность [1].

Величина D^2L_6 определяет объем ротора; от нее зависит, и объем статора. Соотношение D^2L_6 / S_1 приближенно определяет объем машины на единицу мощности. Из формулы (1.1) следует, что этот объем при неизменных A и B_6 обратно пропорционален скорости вращения.

Внутренний диаметр статора D непосредственно связан определенными соотношениями с наружным диаметром статора D_a , от которого зависит высота оси вращения h . Следует помнить, что высота оси вращения стандартизована ГОСТ 13267-73.

1.2. Определение главных размеров асинхронной машины

Предварительно число пар полюсов статора определяется по формуле

$$p_1 = \frac{f_1 \cdot 60}{n_1}, \quad (1.2)$$

где f_1 – частота напряжения сети; n_1 – синхронная частота вращения магнитного поля статора (принимаются по заданию на расчет).

Расчетная мощность определяется из выражения

$$S_1 = \frac{K_E \cdot P_H}{\eta_H \cdot \cos \varphi_H}, \quad (1.3)$$

где K_E – коэффициент, показывающий какую часть от номинального напряжения составляет ЭДС в обмотке статора (принимается по графику, изображенному на рис.1.1);

P_H – мощность на валу двигателя, кВт (принимается по заданию);

η_H – коэффициент полезного действия;

$\cos \varphi_H$ – коэффициент мощности.

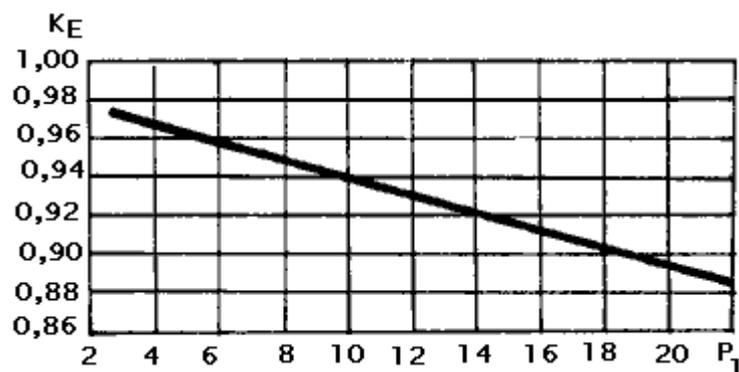


Рис. 1.1. График зависимости коэффициента K_E от числа пар полюсов

Приближенные значения η_n и $\cos \varphi_n$ принимаются по табл.1.1.

Таблица 1.1

Приближенные значения КПД и $\cos \varphi_n$ асинхронных двигателей с контактными кольцами

Мощность P_n , кВт	Синхронная частота вращения n_1 , об/мин					
	1500	1000	750	1500	1000	750
	Коэффициент полезного действия η_n , %			Коэффициент мощности $\cos \varphi_n$		
1.7	-	76.0	-	-	0.750	-
2.8	82	79	-	0.860	0.780	-
4.5	84	82.5	80.5	0.870	0.800	0.750
7.0	86	85	83.5	0.880	0.820	0.775
10	87.5	86.5	85.5	0.890	0.830	0.800
14	88.5	88.0	87.0	0.905	0.840	0.810
20	90.5	89.0	88.5	0.905	0.850	0.830
28	91.5	91.0	90.5	0.915	0.860	0.840
40	92.5	92.0	92.5	0.915	0.870	0.850

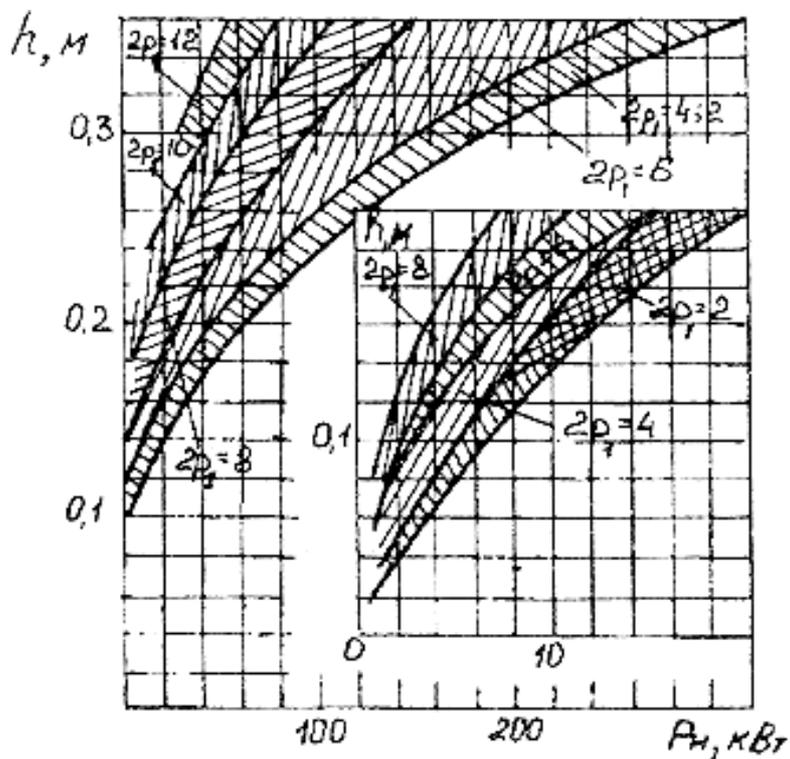


Рис.1.2. Графики зависимости высоты оси вращения двигателя от его параметров

Предварительно, по рис.1.2, определяется высота оси вращения двигателя h для заданной мощности P_n в зависимости от числа полюсов $2P_1$ [2]. Из ряда значений высоты оси вращения по табл.1.2 выбирается ближайшее к предварительно найденному меньшее стандартное значение h .

Наружный диаметр статора D_a принимается из табл.1.2 в соответствии с выбранной высотой оси вращения h .

Зная наружный диаметр, можно определить приближенно внутренний диаметр D по выражению

$$D = K_D \cdot D_a . \quad (1.4)$$

Высота оси вращения электрических машин (ГОСТ 13267-73) и соответствующие им наружные диаметры статоров асинхронных двигателей серии 4А

h , мм	56	63	71	80	90	100	112	132
D_a , м	0.089	0.1	0.116	0.131	0.149	0.168	0.191	0.225
h , мм	160	180	200	225	250	280	315	355
D_a , м	0.272	0.313	0.349	0.392	0.437	0.530	0.590	0.660

Значения коэффициентов K_D в зависимости от $2P_1$ приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Коэффициент K_D для числа пар полюсов статора асинхронных двигателей серии 4А

$2P_1$	2	4	6	8
K_D	0.52 ÷ 0.579	0.64 ÷ 0.68	0.70 ÷ 0.72	0.74 ÷ 0.77

Полюсное деление статора определяется из выражения

$$\tau = \frac{\pi D}{2p_1}. \quad (1.5)$$

Далее из формулы (1.1) определяется расчетная длина статора

$$L_6 = \frac{2S_1 \cdot 10^3}{\pi D^2 \omega_1 \alpha_6 K_B K_{ob1} A B_6}. \quad (1.6)$$

Коэффициенты полюсного перекрытия α_6 и формы поля K_B принимаются из расчета синусоидального поля в воздушном зазоре; поэтому $\alpha_6 = 2/\pi \approx 0,64$; $K_B = \pi/20 \approx 1,11$.

Значение обмоточного коэффициента предварительно принимается

- для однослойных обмоток $K_{ob1} = 0,95 \div 0,96$;
- для двухслойных обмоток $K_{ob1} = 0,91 \div 0,92$.

Параметры A и B_6 определяются по графикам, представленным на рис. 1.3. Если расчетная длина сердечника превышает $0,25 \div 0,3$ м, то сердечник необходимо “разбить” на отдельные пакеты, разделенные между собой радиальными вентиляционными каналами шириной 10 мм [1, с.414; 2, с.108–109]. Если $L_6 < 0,25 \div 0,30$ м, то конструктивная длина статора $L_1 = L_{cm1} = L_6$ и ротора $L_2 = L_{cm2} = L_6$.

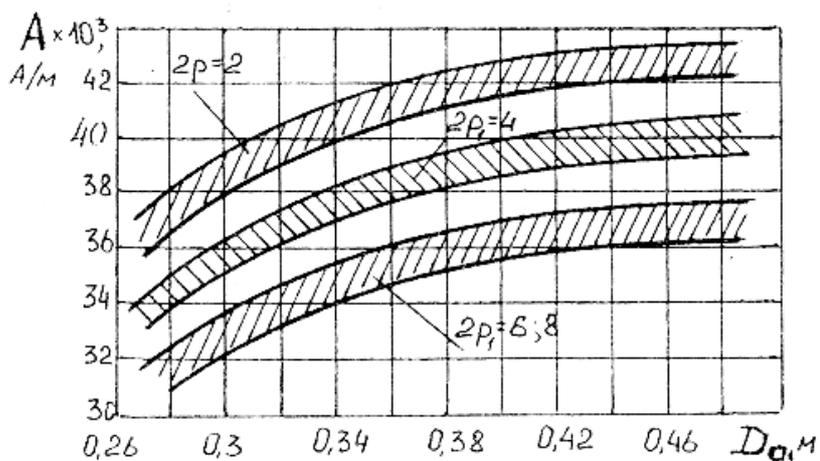
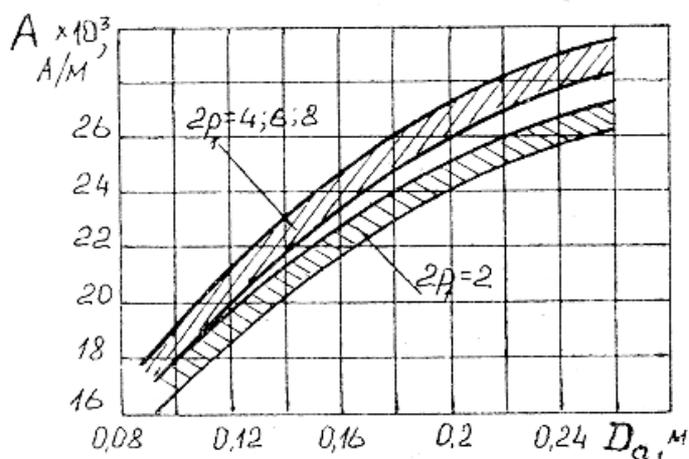
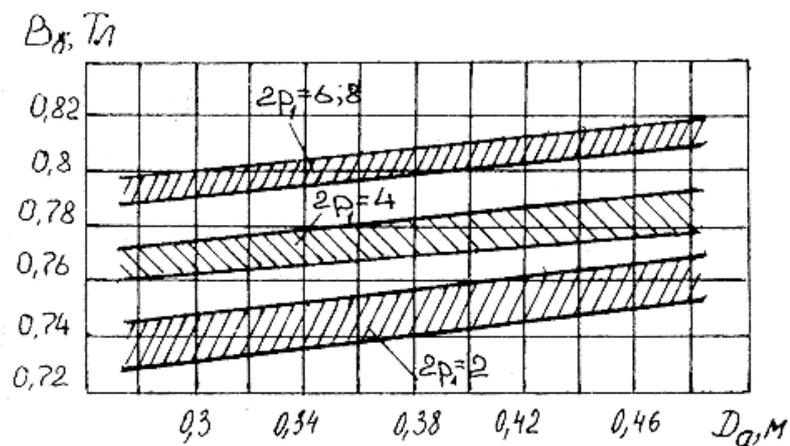
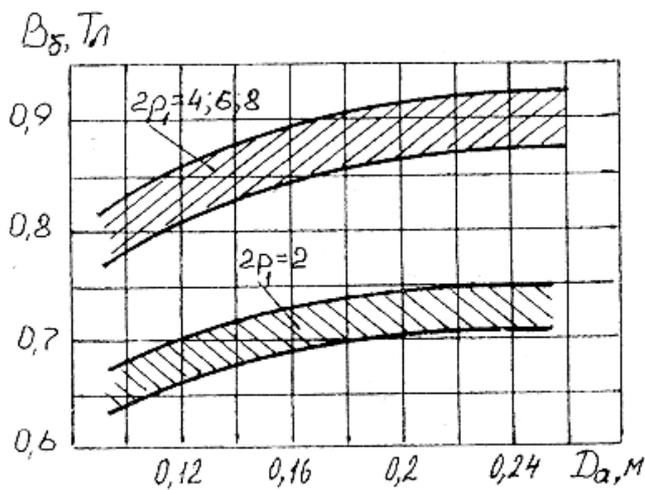


Рис.1.3. Зависимости магнитной индукции и линейной нагрузки от внешнего диаметра статора

1.3. Обмотка, пазы и ярмо статора

Число пазов статора. Предварительный выбор зубцового деления t_1 осуществляется по рис.1.4, где зона 1 определяет возможные значения t_1 для двигателей с высотой оси вращения $h < 90$ мм; зона 2 – $90 < h < 250$ мм и зона 3 для многополюсных двигателей, $h > 280$ мм. Из рисунка следует выбирать не одно значение зубцового деления, а пределы значений $t_{1\min} \div t_{1\max}$.

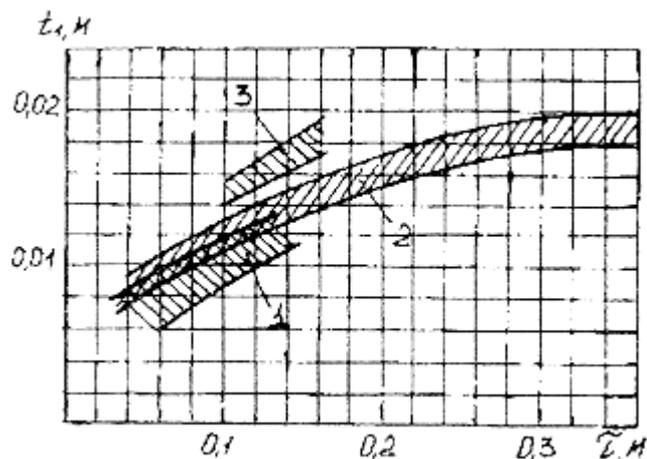


Рис.1.4. Зависимости величины зубцового шага от значения полюсного деления статора со всыпной обмоткой

Тогда возможные числа пазов статора

$$z_{1\min} \div z_{1\max} = \frac{\pi D}{t_{1\max}} \div \frac{\pi D}{t_{1\min}}. \quad (1.7)$$

Окончательно число пазов статора Z_1 принимается из полученных пределов с учетом, что число пазов, приходящееся на фазу и полюс, должно быть целым:

$$q_1 = \frac{z_1}{2p_1 m_1}. \quad (1.8)$$

Тогда зубцовый шаг статора

$$t_1 = \frac{\pi D}{2p m_1 q_1} \quad (1.9)$$

должен быть не менее 6 ÷ 7 мм для двигателей с высотой оси вращения $h > 56$ мм.

Число проводников в пазу. Количество эффективных проводников u_{n1} вначале определяется при условии, что число параллельных ветвей в обмотке равно единице ($a_1 = 1$), а номинальный ток обмотки статора $I_{1H} = S \cdot 10^3 / m_1 U_{\phi 1}$, А:

$$u_{n1} = \frac{A t_1 a_1}{I_{1H}}, \quad (1.10)$$

где **A** – принятое ранее значение линейной нагрузки.

Число u_{n1} округляем до целого. Величина a_1 зависит от типа обмотки и числа полюсов.

Число витков в фазе обмотки

$$W_1 = \frac{u_{n1} z_1}{2 a_1 m_1}. \quad (1.11)$$

Окончательное значение линейной нагрузки

$$A = \frac{2I_{1H} W_1 m_1}{\pi D} \quad (1.12)$$

Оно должно незначительно отличаться от принятого ранее; в противном случае надо изменить число эффективных проводников в пазу.

Сечение эффективных проводников определяют, исходя из допустимой плотности тока $j_{\text{доп}}$, которая для мягких секций принимается в пределах $j_{\text{доп}} = 5,0 \div 6,5 \text{ A/мм}^2$ для машин мощностью $1 \div 100 \text{ кВт}$ (большая плотность для машин меньшей мощности).

При определении сечения обмоточных проводников следует учитывать, что для всыпных мягких обмоток, закладываемых в полузакрытые пазы, могут быть использованы провода круглого сечения диаметром не более 1,8 мм (в сечении этому диаметру соответствует площадь около $S'_{\text{с1}} \approx 2,5 \text{ мм}^2$, чтобы проводники легко проходили в паз через его щель. При невыполнении этого условия эффективный проводник разделяют на несколько элементарных

$$S'_{\text{с1}} = \frac{I_{1H}}{a n_{\text{эл1}} j_{\text{доп}}} < 2,5 \text{ мм}^2, \quad (1.13)$$

где $n_{\text{эл1}}$ – число элементарных проводников в одном эффективном.

Далее по табл. 1.4 выбираются стандартное сечение проводника $S_{\text{с1}}$, ближайшее к S' ; марка провода; диаметры и сечения “голого” и изолированного проводов d , $d_{\text{из}}$, $S_{\text{с}}$, $S_{\text{из}}$.

При расчете прямоугольного провода и укладке его в открытых или полуоткрытых пазах следует обратиться к литературе [1,2].

Уточняется плотность тока, A/мм^2 , по формуле

$$j = \frac{I_{1H}}{n_{\text{эл1}} a S_{\text{с}}}. \quad (1.14)$$

Она должна находиться в рекомендуемых пределах [1,2,3].

Таблица 1.4

Диаметры и площади поперечного сечения круглых медных эмалированных проводов марок ПЭТВ и ПЭТ-155

Номин. диаметр	Среднее значение	Площадь поперечного	Номинальный диаметр	Среднее значение	Площадь поперечного
----------------	------------------	---------------------	---------------------	------------------	---------------------

неизоли- рованного провода d, мм	диаметра изолированного провода, d _{из} мм	сечения неизоли- рованного провода S _с , мм ²	неизоли- рованного провода d, мм	диаметра изорли- рованного провода d _{из} , мм	сечения неизоли- рованного провода, S _с , мм ²
1	2	3	4	5	6
0.08	0.10	0.00502	0.50	0.545	0.1963
0.09	0.11	0.00636	(0.53)	0.585	0.221
0.10	0.122	0.00785	0.56	0.615	0.246
0.112	0.143	0.00985	0.60	0.655	0.283
0.125	0.147	0.01227	0.63	0.69	0.312
(0.132)	0.154	0.01368	(0.67)	0.73	0.353
0.14	0.162	0.01539	0.71	0.77	0.396
0.15	0.18	0.01757	0.75	0.815	0.442
0.16	0.19	0.0201	0.80	0.865	0.503
0.17	0.20	0.0227	0.85	0.915	0.567
0.18	0.21	0.0225	0.90	0.965	0.636
(0.19)	0.22	0.0284	0.95	1.015	0.709
0.20	0.23	0.0314	1.00	1.08	0.785
(0.212)	0.242	0.0353	1.06	1.14	0.883
0.224	0.259	0.0394	1.12	1.20	0.985
(0.236)	0.271	0.0437	1.18	1.26	1.094
0.25	0.285	0.0491	1.25	1.33	1.227
0.265	0.300	0.0552	1.32	1.405	1.368
0.28	0.315	0.0616	1.40	1.485	1.539
(0.30)	0.335	0.0707	1.50	1.585	1.767
0.315	0.360	0.0779	1.60	1.685	2.011
0.335	0.370	0.0881	1.70	1.785	2.27

Примечания: 1. Провода, размеры которых указаны в скобках, следует применять только в отдельных случаях при обосновании технико-экономической целесообразности; 2. Среднее значение изолированного провода вычислено с учетом расчетной средней двусторонней толщины эмаливой изоляции, принимаемой, как округленное среднее арифметическое из минимальной и максимальной толщины.

Размеры паза, зубца и пазовая изоляция.

Общее число проводников в пазу

$$n_{п1} = u_{п1} \cdot n_{эл1} . \quad (1.15)$$

“Площадь”, занимаемая проводниками, мм²

$$S_{пр1} = n_{п1} \cdot d_{из}^2 . \quad (1.16)$$

Свободная площадь паза

$$S'_{п1} = \frac{S_{пр1}}{K_3} , \quad (1.17)$$

где K_3 – коэффициент заполнения свободной площади паза изолированными проводниками. Для обмоток в машинах мощностью 0,6–100 кВт рекомендуется принимать $K_3 = 0,68 \div 0,74$ [1].

В современных машинах, как правило, при насыпных обмотках используются трапецевидальные пазы, так как в этом случае активная зона машины оказывается использованной наилучшим образом. Размеры пазов должны быть такими, чтобы зубцы имели параллельные стенки (рис.1.5).

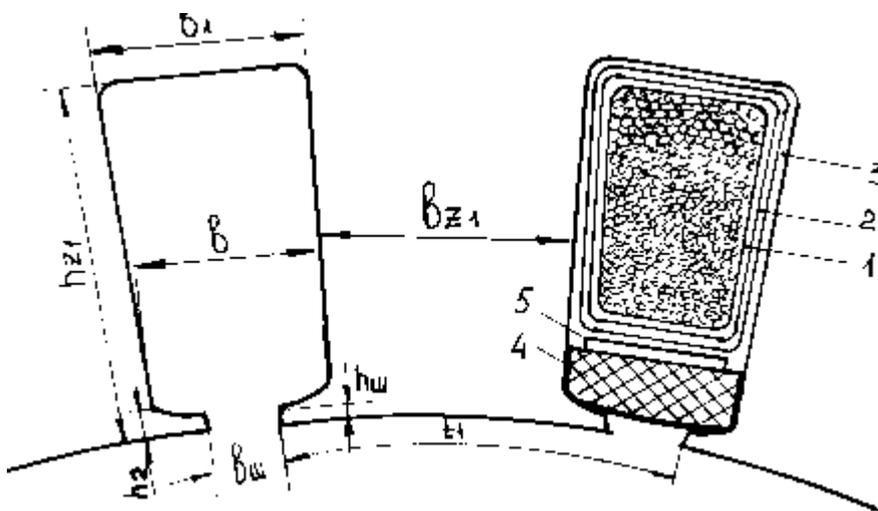


Рис.1.5. Эскиз трапецевидального паза и зубца с параллельными стенками

При выборе пазов другой конфигурации следует обратиться к [1,2]. Эскиз паза рекомендуется выполнять на миллиметровой бумаге в следующем порядке:

– выбрать масштаб увеличения;

– провести из общей точки две дуги радиусами, соответствующими внутреннему $D/2$ и внешнему $D_a/2$ диаметрам статора;

- рассчитать угол между осями соседних пазов ($360^\circ / Z_1$), под этим углом из центра окружностей в пределах сердечника статора провести оси середин пазов, между ними посередине также нанести оси зубцов;

– провести параллельно осям зубцов линии стенок зубцов с расстоянием между ними $b_{z1} = 6 \div 8$ мм или $b_z = 0,5 t$;

– выбрать высоту паза $h_{п1}$ или зубца h_{z1} такой, чтобы произведение полусуммы нижнего и верхнего оснований трапеции на высоту h_1 равнялось свободной площади паза $S'_{п1}$.

Остальные размеры см. в [1, с.73 и 75].

Рекомендуется на эскизе показать два паза. На одном поставить все размеры паза и зубца, на другом показать заполнение проводниками и изоляцией, что должно найти отражение в спецификации паза (в табл. 1.5 для паза, изображенного на рис.1.6).

Таблица 1.5

Спецификация паза

Часть обмотки	Позиция на рис.1.5, 1.6	Класс изоляции F, нормальное исполнение					
		Наименование материала	Толщина, мм	Кол-во слоев		Толщина, мм	
				по ширине	по высоте	по ширине	по высоте
Пазовая	1	Стекломикафолий	0,2	2	2	0,4	0,4
	2	Стеклолакоткань	0,2	2	2	0,4	0,4
	3	Стеклотекстолит	0,5	-	1	-	0,5
	4	Клин (стеклотекстолит)	Не менее	-	1	-	-
	5	Электрокартон	2,5	-	-	-	-
				0,5			
		Толщина на паз без клина	-	-	-	0,8	1,3
Пазовая		Класс изоляции E, нормальное исполнение					
		Пленкоэлектрокартон	0,27	2	2	0,54	0,54

	1	-	-	-	-	-	
	2	Пленкоэлектротекстолит	0,27	-	1	2	
	3	Клин текстолитовый	Не менее	-	1	-	
	4	Электротекстолит	2,5	-	-	-	
	5		0,5				
		Толщина на паз без клина	0,5	-	-	0,9	
Пазовая	1	Класс изоляции В, Н и G, все исполнения					
	2						
	3	Стеклолакоткань	0,15	2	2	0,3	0,3
	4	Гибкий стекломиканит	0,3	2	2	0,6	0,6
	5	Стеклотекстолит	0,5	1	1	2	0,5
		Стеклотекстолит	Не менее	-	1	-	-
		Электротекстолит	2,5	-	-	-	-
		0,5					
		Толщина на паз без клина	-	-	-	0,9	1,4

После того, как определена глубина паза $h_{п1}$ или высота зубца h_{z1} , необходимо определить высоту ярма статора, м

$$h_c = 0,5 (D_a - D - 2 h_{z1}). \quad (1.18)$$

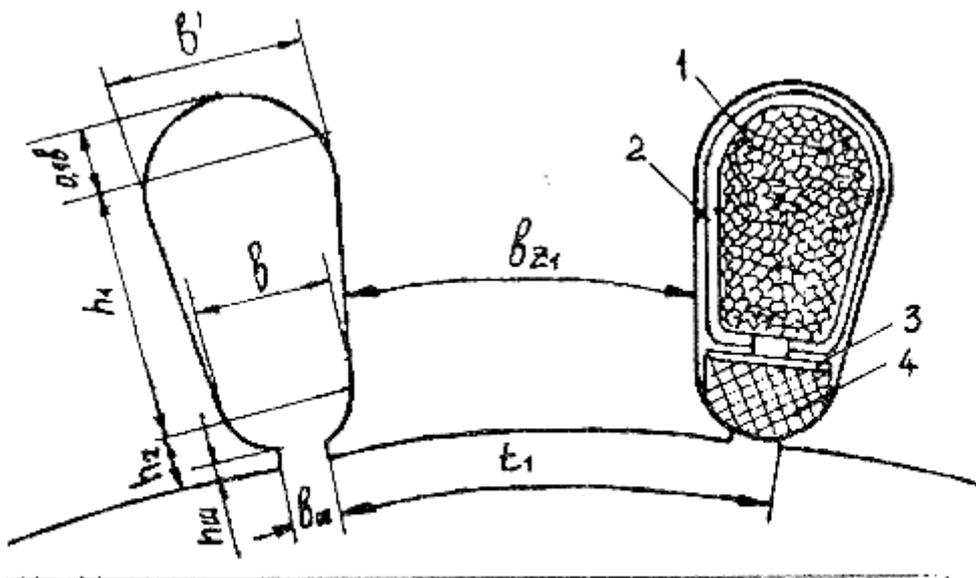


Рис. 1.6. Эскиз грушевидного паза и зубца с параллельными стенками

Следует проверить индукцию в зубце B_z и в яреме B_c по формулам (2.3) и (2.4).

Воздушный зазор δ принимается в пределах $0,3 \div 0,5$ мм при размерах внутренних диаметров от 50 до 200 мм.

1.4. Расчет фазного ротора

Для нормальной работы асинхронного двигателя необходимо, чтобы фазная обмотка ротора имела столько же фаз и полюсов, сколько и обмотка статора, т.е. $m_2 = m_1$ и $p_2 = p_1$.

Число пазов на полюс и фазу ротора q_2 , а также число пазов ротора Z_2 определяется по формуле

$$q_2 = q_1 \pm 1; Z_2 = 2p_2 \cdot m_2 \cdot q_2 . \quad (1.19)$$

Для определения числа витков

$$W_2' = \frac{E_2}{U_{1H}} W_1 \quad (1.20)$$

в фазе роторов с катушечной обмоткой (когда $q_2 \geq 1$) устанавливается значение ЭДС фазы E_2 :

– при соединении в звезду $E_2 = U_{2k} / \sqrt{3}$;

– при соединении в треугольник $E_2 = U_{2k}$.

Здесь U_{2k} – напряжение на контактных кольцах в момент пуска двигателя, которое должно находиться в пределах $150 \div 200$ В.

Число эффективных проводников в пазу

$$u_{n2}' = \frac{2W_2' m_2}{Z_2} = \frac{W_2'}{p_2 q_2} \quad (1.21)$$

должно быть четным, поэтому полученное значение округляется до u_{n2} , уточняется число витков в фазе $W_2 = U_{n2} p_2 q_2$ и проверяется

$$U_{2k} = \sqrt{3} U_{1H} \frac{W_2}{W_1} \leq 200 \text{ В.}$$

Фазный ток ротора

$$I_2 = K_i I_{1H} K_{пр} , \quad (1.22)$$

где K_i – коэффициент, учитывающий влияние тока намагничивания и сопротивления обмоток на отношение I_1 / I_2 , принимается по рис.1.7; $K_{пр}$ – коэффициент для приведения параметров неподвижного ротора к параметрам статора,

$$K_{пр} = \frac{m_1 W_1 K_{об1}}{m_2 W_2 K_{об2}} , \quad (1.23)$$

где $K_{об1}, K_{об2}$ – обмоточные коэффициенты статора и ротора.

Значения коэффициентов $K_{об}$ для диаметральных обмоток приведены в табл. 1.6.

Внешний диаметр ротора, м, определяется по формуле

$$D' = D - 2\delta . \quad (1.24)$$

Зубцовое деление (зубцовый шаг) ротора, м,

$$t_2 = \frac{\pi D'}{Z_2} . \quad (1.25)$$

Заменив индекс 1 на индекс 2 в формулах (1.10), (1.13), (1.15), (1.16), (1.17), определить число эффективных, элементарных и полное число проводников в пазу; определить свободную площадь паза ротора, изобразить эскиз паза ротора и определить высоту паза $h_{п2}$ или зубца h_{z2} . Заполнение паза проводниками и изоляцией производить не надо.

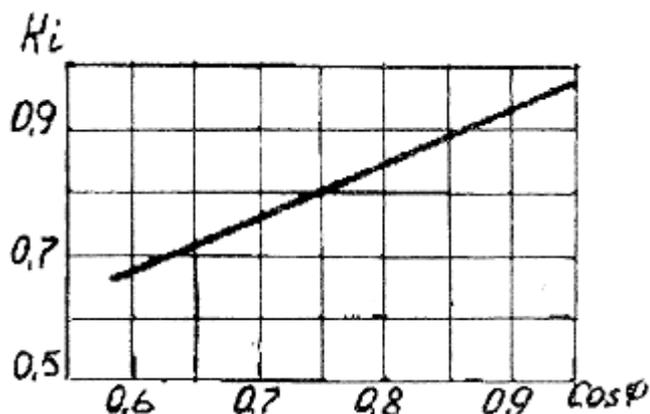


Рис.1.7. Зависимость коэффициента K_i от коэффициента мощности

Таблица 1.6

Значения коэффициентов $K_{об}$

q_2	1	2	3	4	5 и более
$K_{об}$	1	0,965	0,96	0,955	0,95

1.5. Параметры двигателя

Параметрами асинхронного двигателя называют активное и индуктивное сопротивление обмоток статора R_1, X_1 , ротора R_2, X_2 , сопротивление взаимной индуктивности X_{12} и расчетное сопротивление R_{12} (R_{μ}), введением которого учитывают потери мощности в стали статора.

Для расчета активного сопротивления необходимо определить среднюю длину витка обмотки, м, состоящую из суммы прямолинейных пазов и изогнутых лобовых частей катушки

$$l_{cp} = 2(l_n + l_l) = 2(l_1 + l_l). \quad (1.26)$$

Точный расчет длины лобовой части обмотки трудоемок, поэтому необходимо использовать эмпирические формулы. Ниже приводятся формулы для расчета лобовой части выпных обмоток

$$l_l = K_l b_{кт} + 2B, \quad (1.27)$$

где K_l – коэффициент, принимаемый по табл. 1.7; $b_{кт}$ – средняя ширина катушки, м, определяется по дуге окружности, проходящей по серединам высоты пазов:

в статоре

$$b_{кт1} = \frac{\pi(D + h_{n1})}{2p_1} \beta; \quad (1.28)$$

в роторе

$$b_{кт2} = \frac{\pi(D' + h_{n2})}{2p_2} \beta; \quad (1.29)$$

B – длина вылета прямолинейной части катушек из паза от торца сердечника до начала отгиба лобовой части, м, можно принять $B = 0,015$ м; β – относительное укорочение шага обмотки, для диаметральных обмоток $\beta = 1$.

Таблица 1.7

Значения коэффициентов K_l для изолированных лобовых частей

$2p$	2	4	6	8
K_l	1.45	1.55	1.75	1.9

Для расчета других типов обмотки можно обратиться к [1,2]. Общая длина проводников фазы обмотки, м,

$$L = l_{cp} W. \quad (1.30)$$

Активное сопротивление фазы обмотки

$$R = \rho \frac{L}{S_c n_{\text{эл}} a}, \quad (1.31)$$

где ρ – удельное сопротивление медного материала обмотки; при расчетной температуре 75°C с изоляцией класса А, В, Е $\rho_{75} = 1/46$; при расчетной температуре 115°C с изоляцией F, H $\rho_{115} = 1/41$.

Используя выражения (1.26), (1.27), (1.28), (1.30), (1.31) определяют активное сопротивление фазы обмотки статора; а выражения (1.26), (1.27), (1.29), (1.30), (1.31) – неподвижного ротора с контактными кольцами.

Приведенное сопротивление ротора определяется по формуле

$$R_2' = \frac{m_1 (W_1 \cdot K_{\text{об1}})^2}{m_2 (W_2 \cdot K_{\text{об2}})^2} \cdot R_2. \quad (1.32)$$

2. ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

Магнитный поток, Вб, в воздушном зазоре определяется из выражения

$$\Phi = \frac{K_E U_{1H}}{4K_B W_1 K_{\text{об1}} f_1}, \quad (2.1)$$

где K_E определяется по рис.1.1; K_B определяется по формуле (1.6); $K_{\text{об1}}$ по табл. 1.6;

Магнитная индукция, Тл, в воздушном зазоре должна незначительно отличаться от предварительно принятой

$$B_{\text{б}} = \frac{p_1 \Phi}{DL_{\text{б}}}. \quad (2.2)$$

Магнитная индукция, Тл, в зубце статора при постоянном сечении определяется по формуле

$$B_{Z1} = \frac{B_{\text{б}} t_1 L_{\text{б}}}{b_{Z1} l_{\text{СТ1}} K_c} \leq 1,7 \div 1,9 \text{Тл}, \quad (2.3)$$

где $K_c = 0,97$ – коэффициент заполнения стали.

Магнитная индукция в ярме статора рассчитывается по формуле

$$B_c = \frac{\Phi}{2h_c l_{\text{СТ}} K_c}. \quad (2.4)$$

Значение B_c должно составлять не более $1,4 \div 1,6$ Тл для $2p = 4 \div 6$ и $1,15 \div 1,35$ Тл для $2p = 8$.

Намагничивающий ток определяется после расчета магнитной цепи, т.е. после определения суммы магнитных напряжений на участках прохождения магнитного потока. При выполнении курсовой работы намагничивающий ток принять $I_\mu = 0,2 \div 0,5$ соответственно для двигателей мощностью $50 \div 2$ кВт.

Если в задании на курсовой проект требуется рассчитать рабочие характеристики двигателя, то следует определить индуктивные сопротивления обмоток двигателя по коэффициентам магнитной проводимости обмоток [1,2].

3. СХЕМА РАЗВЕРТКИ ОБМОТКИ СТАТОРА

Обмотки машин переменного тока разделяются на насыпные из мягких катушек, полужесткие и жесткие. Рассматриваемые обмотки, состоящие из катушек, также называют секциями, так как они имеют два вывода.

В крупных машинах используют стержневые обмотки статоров и роторов. В этом разделе будут рассмотрены только насыпные обмотки.

Насыпная обмотка укладывается в полузакрытые пазы, имеющие узкий шлиц, через который поочередно каждый из проводников катушки опускают (“всыпают”) в пазы [2]. Наибольший диаметр провода, применяемого для насыпных обмоток, не превышает 1,8 мм, так как провода большого диаметра имеют слишком большую жесткость и плохо уплотняются в пазах во время укладки. Если в пазу помещается только одна катушечная сторона, то получается однослойная обмотка (как это показано на рис.3.1, 3.2 и 3.3); если две катушечных стороны, то – двухслойная (рис. 3.4).

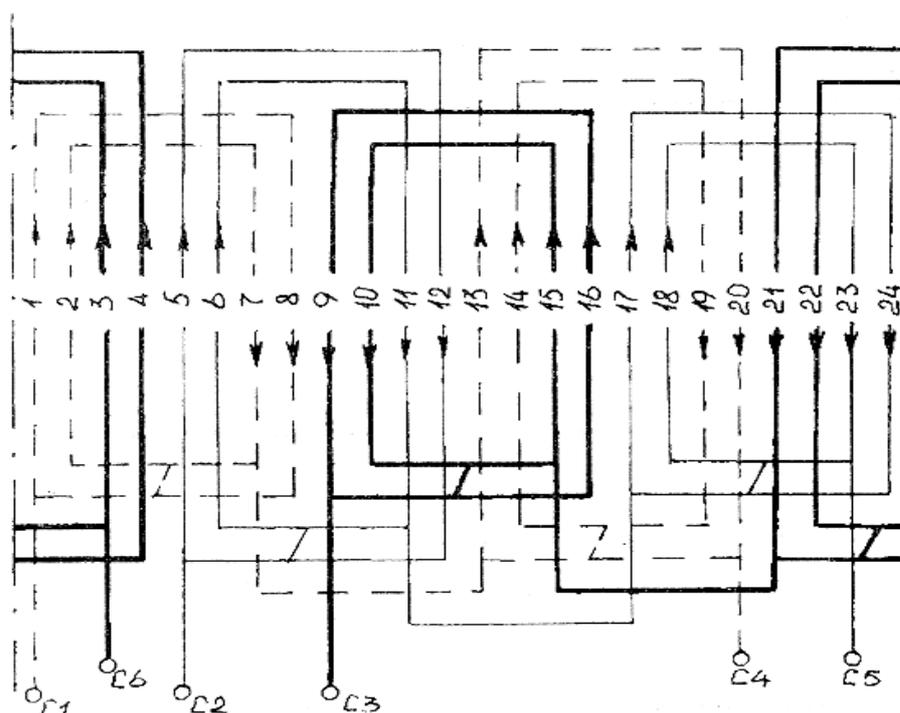


Рис.3.1. Схема однослойной концентрической двухплоскостной обмотки

Однослойные обмотки различаются выполнением катушек, катушечных групп, размещением лобовых частей. Если катушки имеют различную ширину, то получаются концентрические обмотки. Их так называют потому, что катушки, составляющие катушечную группу, охватывают одна другую. Эти обмотки имеют лобовые части, расположенные в двух или в трех плоскостях, поэтому различают двухплоскостные (p_1 – четное число, см. рис. 3.1) и трехплоскостные обмотки (p_1 – нечетное число).

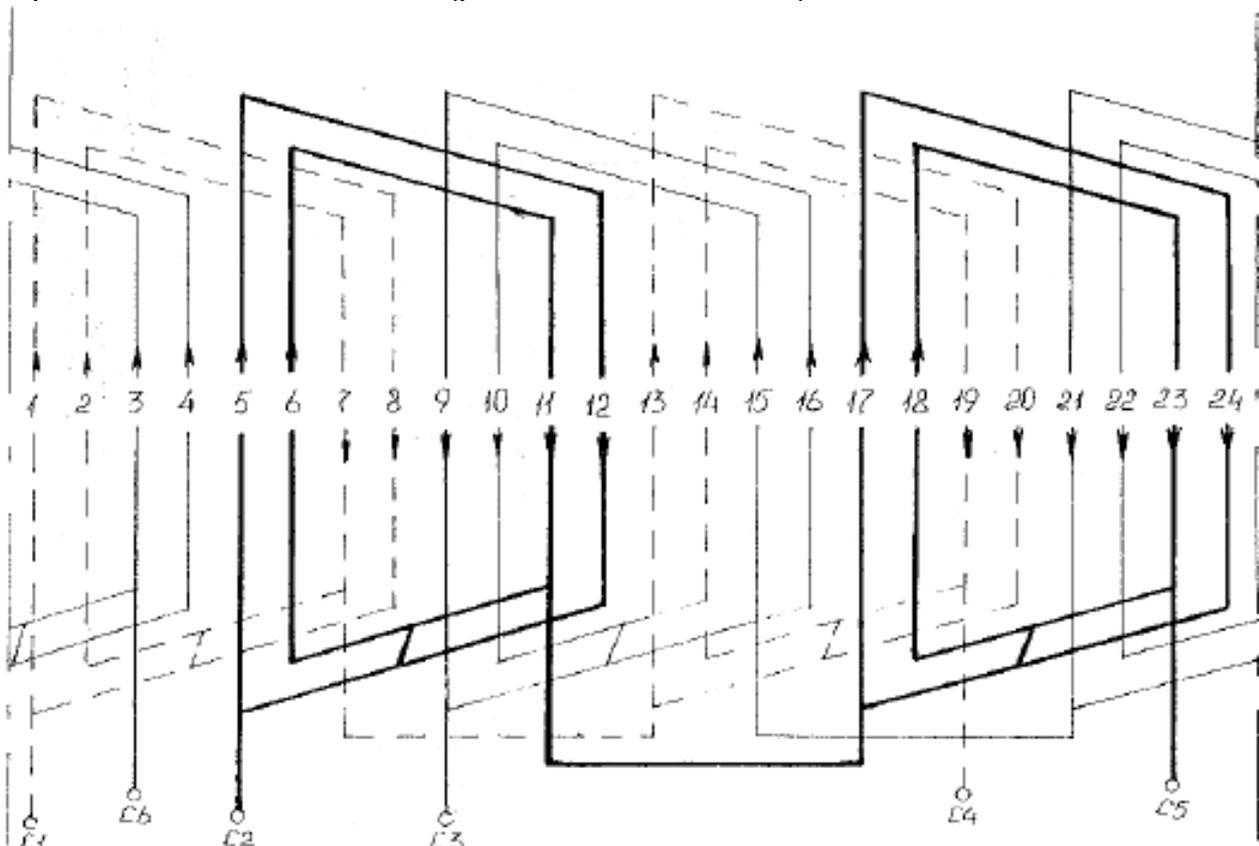


Рис. 3.2. Схема однослойной шаблонной обмотки

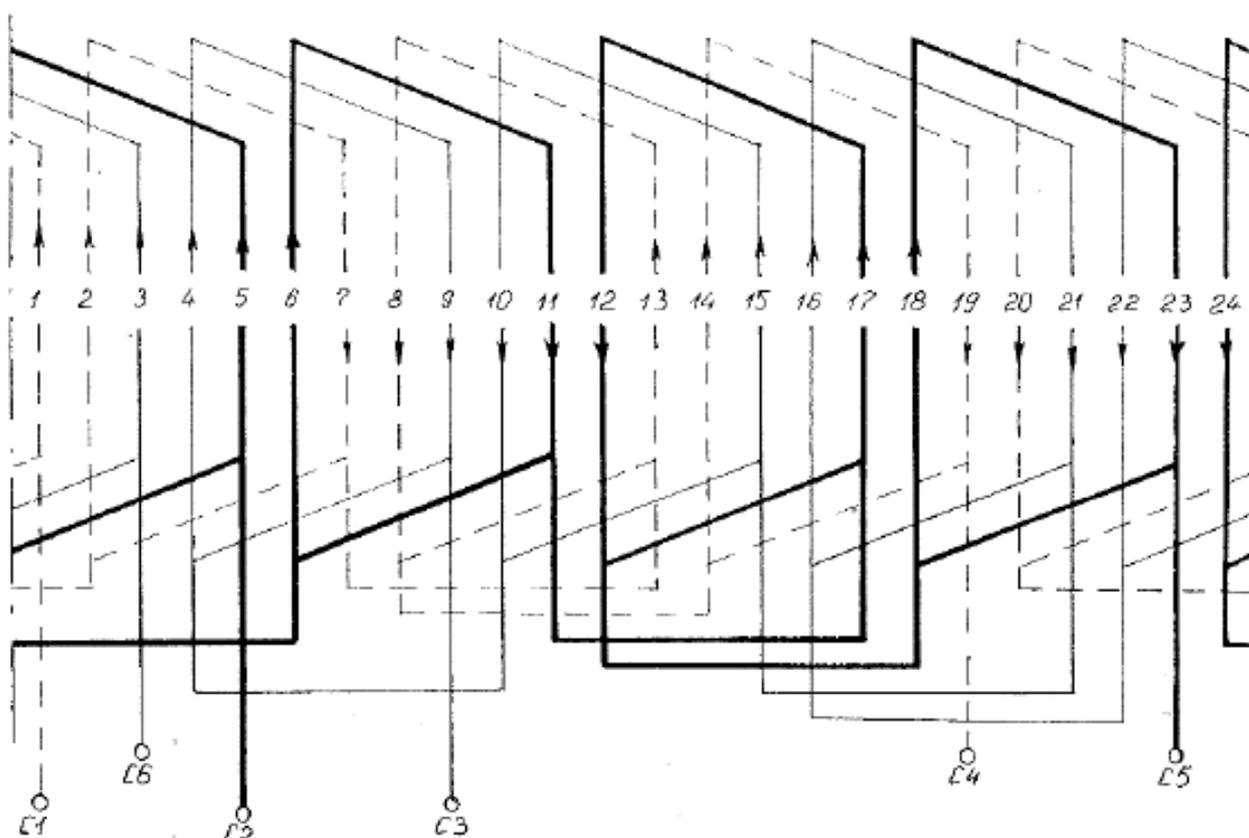


Рис. 3.3. Схема однослойной цепной обмотки

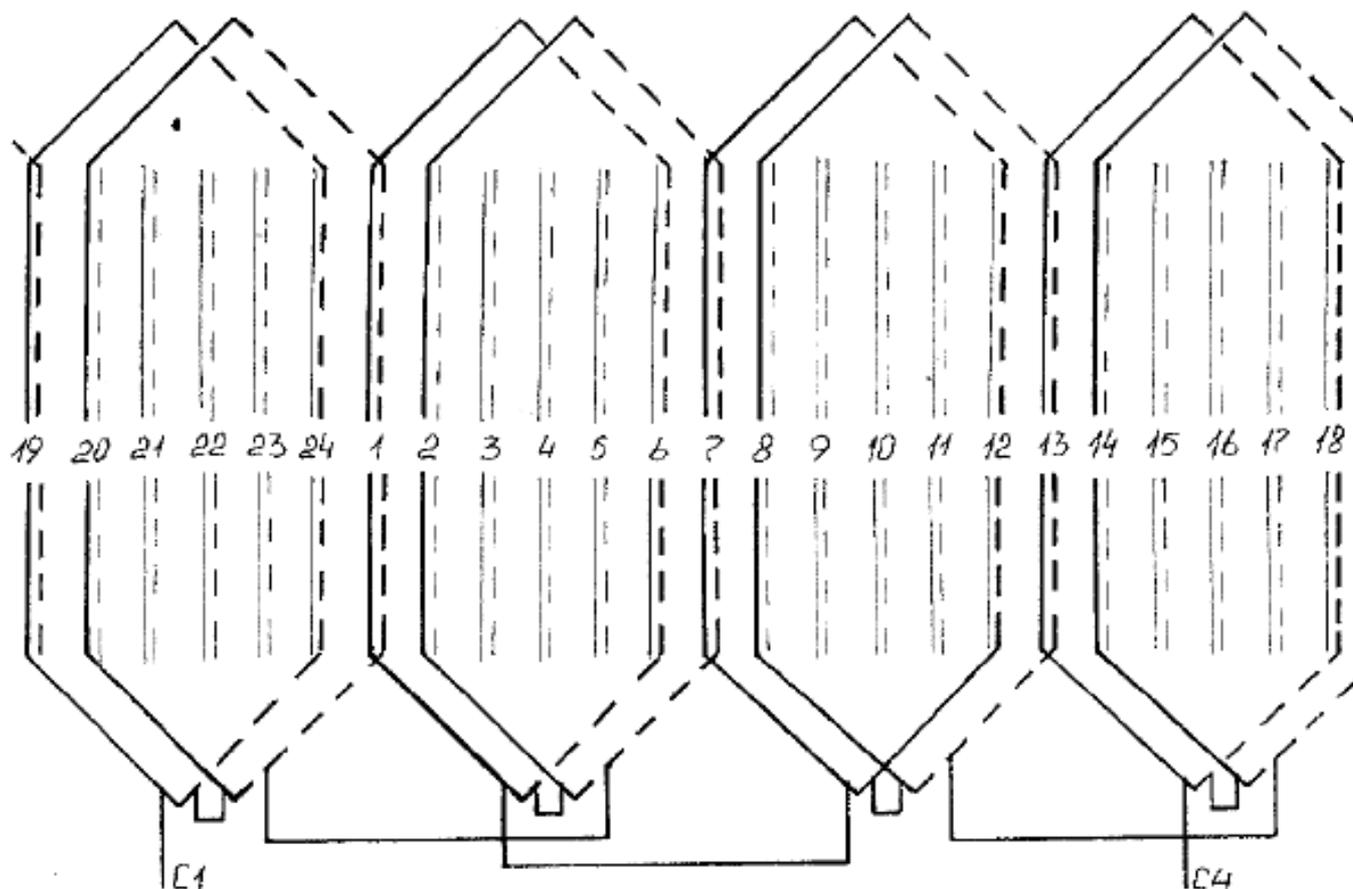


Рис. 3.4. Схема двухслойной обмотки одной фазы с укороченным шагом

В последнем случае при нечетном числе пар полюсов каждая фаза содержит нечетное число катушечных групп. Чтобы такая обмотка в машине имела две лобовые плоскости, одну из катушечных групп делают “кривой”, т.е. одну ее сторону выполняют по размеру большой катушечной группы, а другую – по размеру малой.

Если катушки имеют одинаковую ширину и форму, то можно получить однослойную шаблонную (см. рис. 3.2) или цепную обмотку (см. рис.3.3).

Для изучения принципа выполнения однослойных обмоток рассмотрим пример предварительного построения простейшей трехфазной обмотки с числом пазов $Z_1 = 24$, числом полюсов $2p_1 = 4$, числом параллельных ветвей $a = 1$.

$$Q = \frac{Z_1}{2p_1} = \frac{24}{4} = 6$$

Полюсное деление в пазах пазов (3.1)

На рис. 3.5 показаны 24 линии пазов, разделенные на четыре полюсных деления.

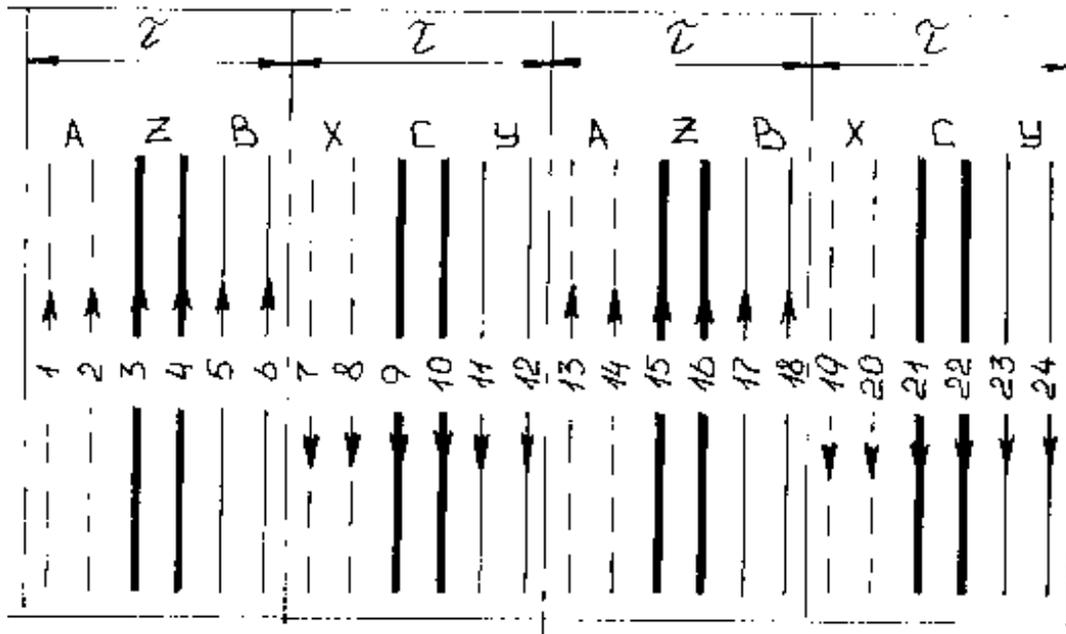


Рис. 3.5. Предварительные построения для однослойных обмоток ($Z_1 = 24; 2p_1 = 4; a = 1; q_1 = 2$).

$$q_1 = \frac{z_1}{2p_1 m_1} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2.$$

Число пазов на полюс и фазу

На каждом полюсном делении отмечены пазы, в которых должны располагаться стороны катушек, принадлежащих разным фазам. Мгновенное направление токов показано стрелками, в пределах одного полюсного деления оно будет одинаковым. Лобовые соединения должны быть выполнены так, чтобы направление токов в пазовых частях соответствовало показанному на рис. 3.5. Их можно выполнить в нескольких вариантах, получив при этом тот или иной тип однослойной обмотки (см. рис.3.1, 3.2, 3.3).

Двухслойные обмотки применяются практически во всех машинах переменного тока, начиная с машин мощностью 15–16 кВт и выше [2].

Двухслойные обмотки машин переменного тока аналогичны двухслойным обмоткам машин постоянного тока. То есть, одна активная сторона каждой секции располагается в верхней части паза (верхний слой), а другая – в нижней части другого паза (нижний слой).

Принцип построения и соединения простейшей двухслойной обмотки (без укороченного шага) рассмотрим на примере, когда $Z_1 = 24; 2p_1 = 4; a_1 = 1$; при этом полюсное деление в пазах $Q_1 = 6$, а число пазов на полюс и фазу $q_1 = 2$. Двадцать четыре пары линий (сплошные и пунктирные), обозначающие верхние и нижние стороны катушек, расположенные в пазах и разделенные на четыре полюсных деления изображены на рис. 3.5. Стрелками на сплошных линиях, соответствующих верхним слоям, показано мгновенное направление токов в катушках,

одинаковое во всех фазах в пределах одного полюсного деления. В нашем случае на полюсном делении на каждую фазу приходится по два паза.

Предварительные действия для построения схемы обмотки такие же как и в предыдущем примере (см. рис. 3.5). При диаметральном шаге ($y_1 = \tau$) лобовые части соединяют стороны катушек, лежащие на расстоянии полюсного деления. На рис. 3.6 показаны катушки, принадлежащие одной фазе.

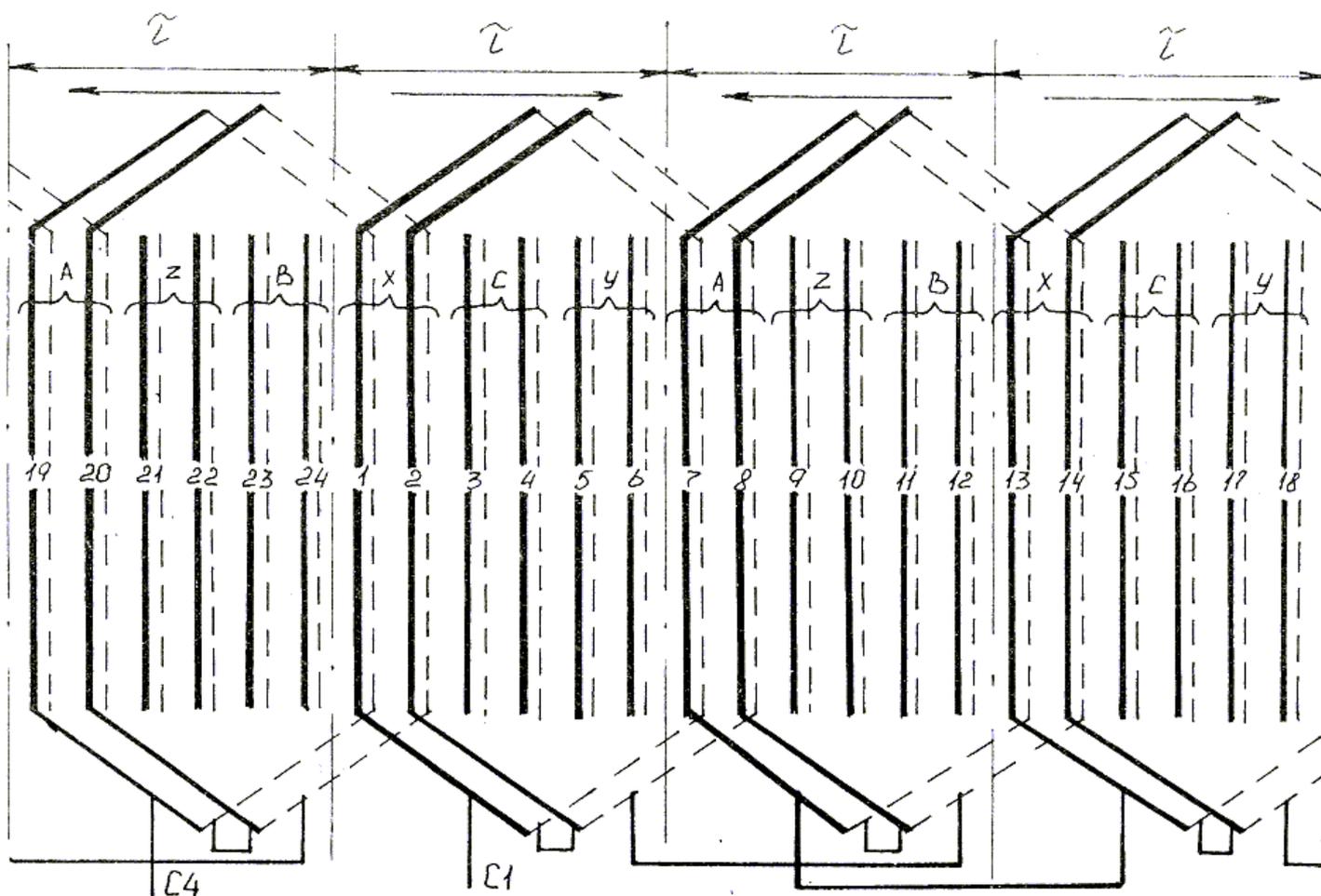


Рис. 3.6. Схема двухслойной обмотки с полным шагом

Обмотка остальных фаз строится аналогично. Начала фаз C_2 и C_3 взяты последовательно через $2q_1$ пазовых делений по отношению к началу фазы C_1 , т.е. через число пазов, соответствующих 120° .

Как видно из рис. 3.5, в четырехполюсной двухслойной обмотке катушки каждой фазы образуют четыре катушечные группы, а не две как в однослойной. Они соединены между собой встречно так, что направление обтекаемой ток каждой из групп при переходе от одной группы к другой меняется.

Основным достоинством двухслойных обмоток является возможность использовать укорочение шага для подавления высших гармоник в кривой ЭДС.

Шаг обмотки обычно выбирается равным точно или приблизительно 5/6 полюсного деления (см. рис. 3.4), так как в этом случае амплитуды 5-й и 7-й гармоник в кривых поля и ЭДС значительно снижаются.

При укорочении шага принцип построения схемы не меняется, изменяется только ширина катушек. Все соединения, как межкатушечные, так и межгрупповые остаются такими же.

4. МЕХАНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Механической характеристикой двигателя называется зависимость его угловой частоты вращения от развиваемого момента $\omega = f(M)$. В технической литературе часто механическую характеристику представляют в виде зависимости числа оборотов в минуту от момента $n = f(M)$. Так как ω и n связаны постоянным соотношением $n = (30/\pi) \omega$, то очертания обеих характеристик подобны.

Для трехфазного асинхронного двигателя зависимость частоты вращения ротора от электромагнитного момента выражается громоздкой функцией, неудобной для анализа. Поэтому широкое применение получила зависимость момента от скольжения $M = f(S)$, причем частота вращения ротора и скольжения связаны простым соотношением $n = n_1(1-S)$.

Характеристики делятся на естественные и искусственные.

Естественная характеристика двигателя соответствует основной (паспортной) схеме его включения и номинальным параметрам питающего напряжения [7]. Искусственные характеристики получаются, если включены какие-либо дополнительные элементы: резисторы, реакторы, конденсаторы. При питании двигателя не номинальным напряжением характеристики также отличаются от естественной характеристики.

Искусственные характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором и способы их получения рассмотрены в разд. 5.

4.1. Расчет и построение механической характеристики

Для расчета характеристики $M = f(S)$ и механической характеристики $\omega = f(M)$ воспользуемся известной упрощенной формулой Клосса

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{S}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S}}, \quad (4.1)$$

где M – развиваемый двигательный момент, Нм, при соответствующем скольжении S ; $S_{\text{кр}}$ – критическое скольжение, соответствующее максимальному моменту M_{\max} на механической характеристике.

Для номинального режима работы выражение (4.1) примет вид

$$M_H = \frac{2M_{\max}}{S_H / S_{\text{кр}} + S_{\text{кр}} / S_H}; \quad (4.2)$$

где S_H – скольжение в номинальном режиме двигателя (дается в задании). Или, используя известные параметры, получим

$$M_H = \frac{P_H 10^3}{\omega_H}. \quad (4.3)$$

Угловая частота вращения ротора ω с угловой синхронной частотой магнитного поля ω_1 связана соотношением

$$S = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega}. \quad (4.4)$$

Тогда в номинальном режиме $\omega_H = \omega_1 (1 - S_H)$. (4.5)

Максимальный момент определяется из соотношения M_{\max} / M_H , приведенного в задании.

Таким образом, в выражении (4.2) неизвестным остается критическое скольжение $S_{\text{кр}}$, которое необходимо выразить из формулы (4.2) и рассчитать, учитывая, что $0 < S_{\text{кр}} < 1$ и $S_{\text{кр}} > S_H$.

Далее, подставляя в выражение (4.1) значения скольжения S от 1 до 0, получают значения M для этих скольжений. И для них же определяют угловую частоту ротора ω . В расчетно-пояснительной записке привести расчет M для одного значения скольжения. Для других значений скольжения расчет выполнить в табличной форме (табл. 4.1)

Таблица 4.1

Данные расчета механической характеристики

S, о.е.	0	0.01	0.02	S_H	$S_{\text{кр}}$	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
M, Нм											
ω , 1/с											

По результатам расчета выполнить 2 рисунка: на одном изобразить зависимость $M = f(S)$, на другом – механическую характеристику $\omega = f(M)$.

4.2. Программа расчета механической характеристики на ЭВМ

Для построения механической характеристики требуется выполнение большого объема расчетов. Чтобы сократить объем вычислений и повысить точность расчетов, целесообразно использовать современные высокопроизводительные электронно-вычислительные машины (ЭВМ) – персональные компьютеры.

Ниже прилагается программа для расчета и построения механической характеристики, написанная на языке BASIC и приемлемая для всех ЭВМ, имеющих интерпретатор данного языка.

Соответствие расчетных величин идентификатору программы устанавливается по табл. 4.2.

Таблица 4.2

Идентификаторы, соответствующие расчетным величинам

Идентификатор	Расчетная величина	Примечание	Единица измерения
P	P_H	Номинальная мощность	Вт
N	n_1	Синхронная частота вращения	об/мин
S	S_H	Номинальное скольжение	%
K	M_{max}/M_H	Отношение (заданная величина)	-
W	ω_1	Угловая синхронная частота вращения	c^{-1}
L	ω_H	Угловая частота при номинальном режиме	c^{-1}
O	M_H	Номинальный момент	Н · м
M	M_{max}	Максимальный момент	Н · м
R	$S_{кр}$	Критическое скольжение	Относ.ед.
T	M	Текущая ордината момента	Н · м
B	ω	Угловая частота ротора	c^{-1}

Построчная работа программы представлена в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Построчная работа программы

№ строк	Выполняемые операции на строках
5	Очистка экрана, выбор графического режима
10–25	Ввод данных с клавиатуры
30–37	Вывод на экран пунктов меню
50	Ввод с клавиатуры выбранного пункта меню и очистка экрана
55–70	Переход на выбранный режим расчета
75	Возврат в меню при некорректном вводе
80–105	Расчет параметров S_H , ω_1 , M_H , M_{max} , $S_{кр}$
110	Очистка экрана
115–120	Вывод полученных значений S_H , M_H , M_{max} , $S_{кр}$ на экран
125	Построение на экране координатных осей
130–145	Построение на экране зависимости $M=f(S)$
150	Построение на экране координатных осей
155–170	Построение на экране зависимости $\omega_0=f(M)$
175–195	Вывод на экран числовых значений S , M , ω в форме таблицы
200	Ввод нового значения $S_{кр}$
205	Подпрограмма вычисления значения момента
210–220	Подпрограмма построения координатных осей
225	Конец работы программы

Далее приводится схема программы (рис. 4.1) и текст программы построения механической характеристики.

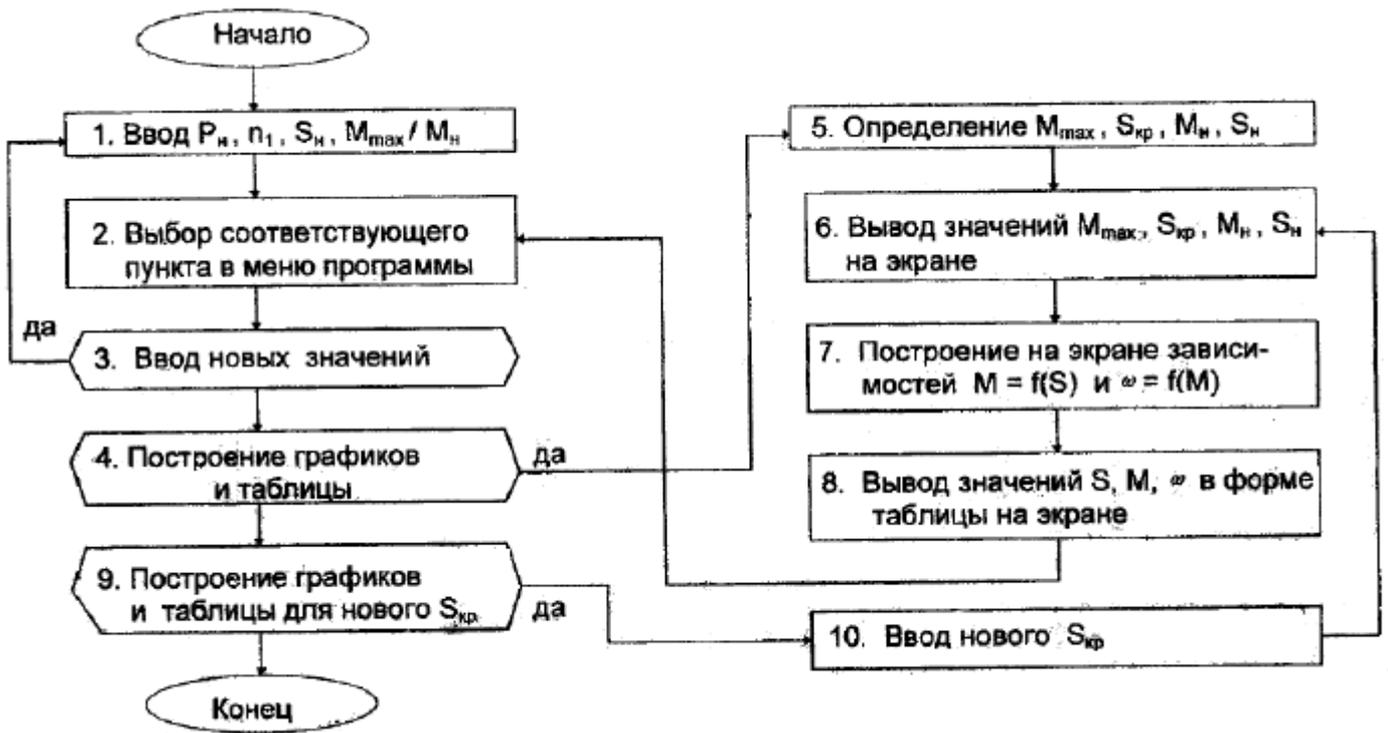


Рис. 4.1. Схема программы для расчета механической характеристики

2 REM Построение механической характеристики

5 CLS: SKREEN 2,0,0

10 INPUT "P_n (Вт)=";P

15 INPUT "частота вращения n1=";N

20 INPUT "скольжение S_n (%)"=;S

25 INPUT "M_{max} / M_n="; K: CLS

30 PRINT "1. Ввести новые значения"

35 PRINT "2. Построение графиков и таблицы"

40 PRINT "3. Графики и таблица для нового S_{кр}"

45 PRINT "4. Выход"

47 PRINT "Укажите новую для вас цифру"

50 INPUT A:CLS

55 IF A=1 GOTO 10

60 IF A=2 GOTO 80

65 IF A=3 GOTO 200

70 IF A=4 GOTO 225

75 CLS : GOTO 30

80 S=S/100

85 W=2*3.1416*N/60

95 O=P/(W*(1-S))

100 M=K*O

105 R=M*S/O+SQR((M*S/O)^2-S^2)

110 CLS

115 PRINT "M_{max} =",M,"S_{кр} =",R

120 PRINT "M_n =",0,"S_n =",S

125 GOSUB 210

130 FOR C=1/650 TO 1-1/650 STEP 1/650

135 GOSUB 205

```
140 PSET (C*650,180-T)
145 NEXT C:INPUT Z: CLS
150 GJSUB 210
155 FOR C=1/650 NJ 1-1/650 STEP 1/650
160 GOSUB 205
165 PSET (T*2,150*C+30)
170 NEXT C :INPUT Z: CLS
175 PRINT " S "," M "," W "
180 FOR C=.05 TO 1.05 STEP .05
185 GOSUB 205: B=W*(1-C)
190 PRINT INT(C*100)/100,INT(T*100)/100,INT(B*100)/100
195 NEXT C:INPUT Z :CLS :GOTO 30
200 INPUT "S кр.=";R:GOTO 110
205 T=2*M/(C/R+R/C):RETURN
210 FOR X=0 TO 650 : PSET (X,180) : NEXT X
215 FOR Y=25 TO 180 : PSET (0,Y) : NEXT Y
220 RETURN
225 END
```

5. ЭЛЕКТРОПРИВОД С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

5.1. Понятие об электроприводе

Любое машинное устройство состоит из машины-двигателя, передаточного механизма и рабочего механизма.

Двигатель и передаточный механизм называют приводом, так как они служат для передачи мощности и движения рабочему механизму (машине) с нужной угловой частотой вращения.

В настоящее время в качестве двигателей используются простые в управлении, экономичные, надежные в эксплуатации электрические двигатели, поэтому привод современных производственных механизмов получил название электропривода. Функциональная схема электропривода изображена на рис. 5.1.

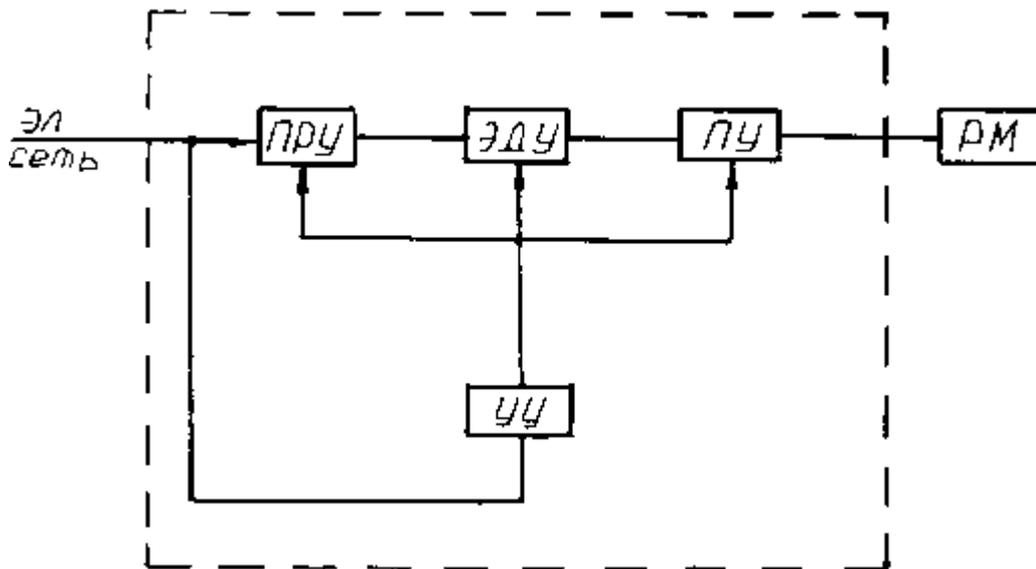


Рис. 5.1. Функциональная схема электропривода: ПРУ – преобразующее устройство; ЭДУ – электродвигательное устройство; ПУ – передающее устройство; УУ – управляющее устройство

В современном автоматизированном электроприводе существенную роль играют преобразовательные (ПРУ) установки (выпрямительные устройства, регуляторы напряжения, частоты и др.) и аппаратура управления (УУ), совместная работа которых обеспечивает надлежащий ход технологического процесса.

Электродвигатель, приводя во вращение рабочий механизм, развивает вращающий момент M . Вал двигателя передает вращение валу рабочего механизма, преодолевая сопротивление со стороны последнего. Величину этого сопротивления оценивают с помощью момента статического сопротивления M_c . Если вращающий момент, развиваемый двигателем, уравнивается моментом сопротивления, т.е. когда $M = M_c$, то вращение происходит с неизменной установившейся частотой вращения $n_{уст.}$, которая может быть определена по точке пересечения совмещенных механических характеристик двигателя и рабочего механизма, построенных в одном масштабе (рис. 5.2).

Нарушение равновесия моментов M и M_c приводит к изменению скорости вращения привода.

При условии $M > M_c$ привод получит ускорение, а при $M_c > M$ – замедление. Увеличение или уменьшение частоты вращения происходит под действием динамического момента $M_{дин.}$. Реализация динамического момента связана с изменением кинетической энергии, запасенной в движущихся частях машинного устройства.

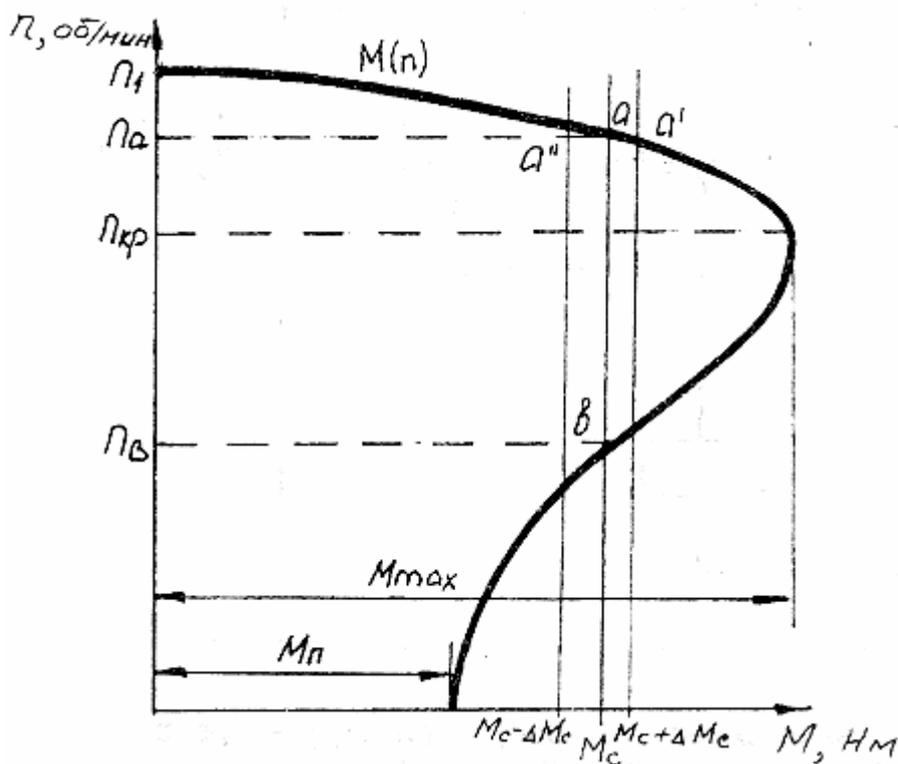


Рис. 5.2. Совмещенные

механические характеристики асинхронного двигателя и рабочего механизма

Равновесие вращающего и противодействующего моментов для устойчивого вращения ротора является условием необходимым, но недостаточным. На рис. 5.2 приведены совмещенные механические характеристики асинхронного электродвигателя и рабочего механизма. Согласно рис. 5.2 равновесие моментов наблюдается при частотах вращения n_a и n_b , но устойчивое вращение ротора возможно только в точке **a**.

Например, при незначительном увеличении момента сопротивления до величины $(M_c + \Delta M_c) > M$ будет происходить замедление вращения привода, но исходя из конфигурации кривой механической характеристики двигателя, момент вращения при этом будет расти и когда он уравнивает момент сопротивления, процесс торможения закончится и ротор вновь будет равномерно вращаться (точка **a'** на рис. 5.2).

Случайное уменьшение момента сопротивления $(M_c - \Delta M_c) < M$ вызывает ускорение вращения ротора, а вращающий момент асинхронного двигателя при этом начнет убывать до нового динамического равновесия $(M_c - \Delta M_c) = M$ (точка **a''** на рис. 5.2).

Таким образом, на участке механической характеристики от $n_{кр}$ до n_1 будет наблюдаться устойчивая работа электропривода, чего нельзя отметить на участке от $n = 0$ до $n_{кр}$.

Действительно, если двигатель вращается с постоянной частотой вращения n_b и по какой-либо причине момент сопротивления M_c уменьшается $M > (M_c - \Delta M_c)$, вращение ротора начинается с ускорением, так как частота вращения и вращающий момент в этом случае будут увеличиваться по кривой

механической характеристики от точки **в** вверх до нового динамического равновесия в точке **а''**.

В противоположном случае: при $M < (M_c + \Delta M_c)$, двигатель перейдет в движение с замедлением, вращающий момент и частота вращения его будут уменьшаться от точки **в** по кривой механической характеристики вниз до полной остановки электропривода (см. рис. 5.2).

Проведя аналогичные рассуждения, можно сделать вывод, что невозможен разгон электропривода, если при пуске $n = 0$, момент вращения двигателя меньше тормозного момента рабочего механизма $M_n < M_c$ (см. рис. 5.2).

В асинхронном двигателе с фазным ротором имеется возможность увеличения момента в период пуска за счет искусственного увеличения активного сопротивления в фазах обмотки ротора (рис. 5.3).

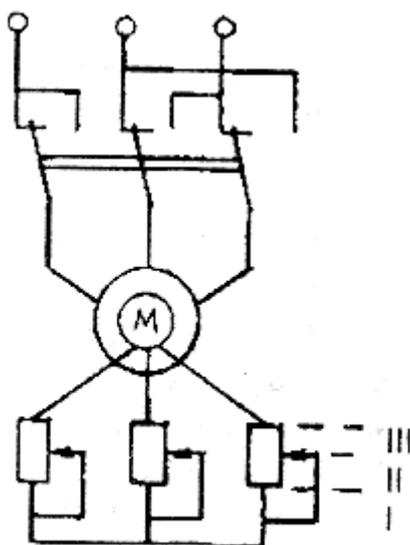


Рис.5.3. Схема включения реверсивного трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором

5.2. Регулирование частоты вращения ротора асинхронного двигателя

Возможность регулирования частоты вращения электропривода в широких пределах простыми, экономически выгодными способами является важным его достоинством. К сожалению асинхронные машины к такому классу двигателей не относятся.

Частота вращения ротора n у асинхронного двигателя (АД) может быть выражена через частоту вращения магнитного поля статора n_1 и скольжение S

$$n = n_1(1 - S) = \frac{60f_1}{p_1}(1 - S), \quad (5.1)$$

где f_1 – частота переменного тока питающей трехфазной цепи;
 p – число пар полюсов двигателя.

Из выражения (5.1) следует, что частоту вращения двигателя можно регулировать:

- изменением частоты напряжения питающей сети;
- переключением обмоток статора на разное число пар полюсов (ступенчатое регулирование);
- искусственным изменением скольжения при данной нагрузке.

Первые два способа, их преимущества и недостатки, описаны в [4,5,6].

Последний способ, несмотря на неэкономичность, но благодаря своей простоте, нашел широкое применение для привода подъемно-транспортных механизмов.

Регулирование частоты вращения двигателя изменением скольжения осуществляется при введении в цепь фазного ротора регулировочных сопротивлений (см. рис. 5.3). С увеличением сопротивления в цепи обмотки ротора характеристики становятся более мягкими.

Максимальный момент смещается в сторону низких частот вращения. При определенном значении сопротивления в цепи ротора (положение I ползунков реостата на рис. 5.3) можно добиться условия $M_{п1} = M_{max}$ (рис. 5.4, кривая I).

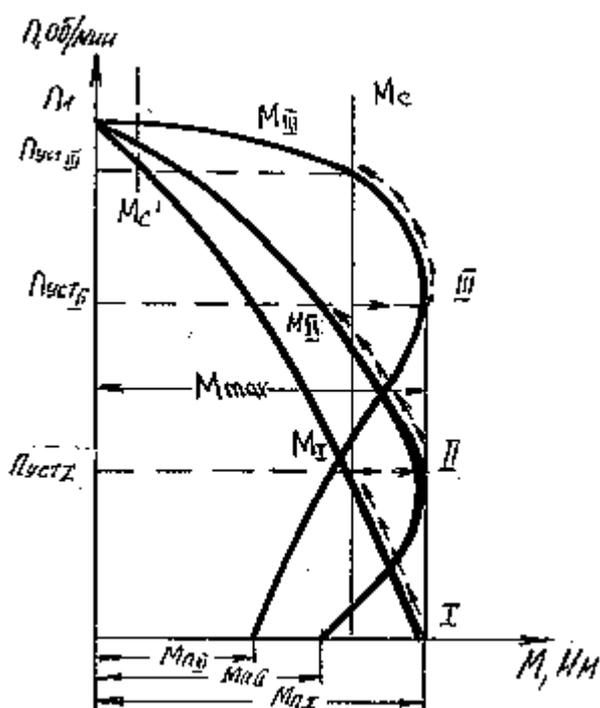
При полном введении сопротивления двигатель, работая на характеристике кривой I, разгоняется до первой установившейся частоты вращения $n_{уст.I}$, когда $M_1 = M_c$.

В дальнейшем из цепи ротора выводится часть сопротивления (см. рис. 5.3, положение II реостата). Двигатель переходит на работу по характеристике II (см. рис. 5.4.), и пока сохраняется условие

$M_{II} > M_c$ будет происходить разгон до второй установившейся частоты

вращения $n_{уст.II}$, где $M_{II} = M_c$. В третьем положении реостата регулировочные сопротивления полностью выводятся из фаз обмотки ротора, и двигатель работает на естественной характеристике III, разгоняясь до третьей установившейся частоты вращения $n_{уст.III}$.

Таким образом, установившиеся частоты вращения при этом способе регулирования зависят как от вида механических характеристик двигателя, так и от величины момента статического сопротивления рабочего механизма. И если момент сопротивления невелик, например M_c' на рис. 5.4, то частота вращения практически не



регулируется, так как она в этом случае близка к синхронной.

Рис. 5.4. Регулирование частоты вращения введением сопротивлений в цепь фазного ротора

5.3. Расчет пусковых характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором

Включение добавочных резисторов в цепь обмоток ротора применяется с целью регулирования как момента, так и частоты вращения ротора. Ниже рассматривается расчет сопротивлений для получения необходимого пускового момента, установившихся частот вращения и числа ступеней пусковой диаграммы.

Расчет искусственных механических характеристик. Искусственные механические характеристики для асинхронного двигателя с фазным ротором (см рис. 5.4, кривая I или II) можно получить, если в цепь обмоток ротора вводить добавочные сопротивления R_g . Причем скольжение увеличится, а частота вращения ротора уменьшится согласно следующим соотношениям [6,7] при неизменной нагрузке:

$$\frac{S_e}{S_{и}} = \frac{R_2}{R_2 + R_g}; \quad (5.2)$$

$$n_e = n_1 (1 - S_e); \quad n_{и} = n_1 (1 - S_{и}), \quad (5.3)$$

где S_e и $S_{и}$ – соответственно скольжения на естественной и искусственной характеристиках; n_e и $n_{и}$ – соответствующие им частоты вращения ротора; R_2 – сопротивление фазы ротора, рассчитывается по формуле (1.31).

Аналогично можно записать соотношение критических скольжений естественной и искусственной механических характеристик:

$$\frac{S_{ке}}{S_{ки}} = \frac{R_2}{R_2 + R_g}; \quad (5.4)$$

$$\text{откуда } R_g = R_2 \left(\frac{S_{ки}}{S_{ке}} - 1 \right) \quad (5.5)$$

Если, например, необходимо рассчитать резистор, который должен обеспечить искусственную характеристику с критическим скольжением равным единице (см. рис. 5.4, кривая I), то необходимо в выражение (5.5) подставить значение $S_{ки} = 1$, тогда

$$R_{g1} = R_2 \left(\frac{1}{S_{ке}} - 1 \right) \quad (5.6)$$

Для построения самой характеристики $M_1 = f(S)$ следует воспользоваться формулой (4.1), которая принимает вид

$$M_1 = \frac{2M_{\max}}{s/1 + 1/s} = \frac{2M_{\max}}{s + 1/s} \quad (5.7)$$

Принимая значения скольжения, рассчитываются величины моментов по формуле (5.7).

Таким же образом рассчитываются и другие искусственные характеристики согласно заданию к курсовой работе, а затем определяются установившиеся частоты вращения при условии $M_c = M_n$.

Пусковая диаграмма асинхронного двигателя. Расчет резисторов в цепи ротора, обеспечивающих заданную пусковую диаграмму двигателя, для асинхронного электропривода с фазным ротором является наиболее часто встречающейся задачей.

Под пусковой диаграммой двигателя понимают совокупность двух или более искусственных механических характеристик, которые используются при пуске АД в пределах от M_1 до M_2 (рис. 5.5). Пусковая диаграмма строится в предположении, что рабочий участок механических характеристик близок к линейному.

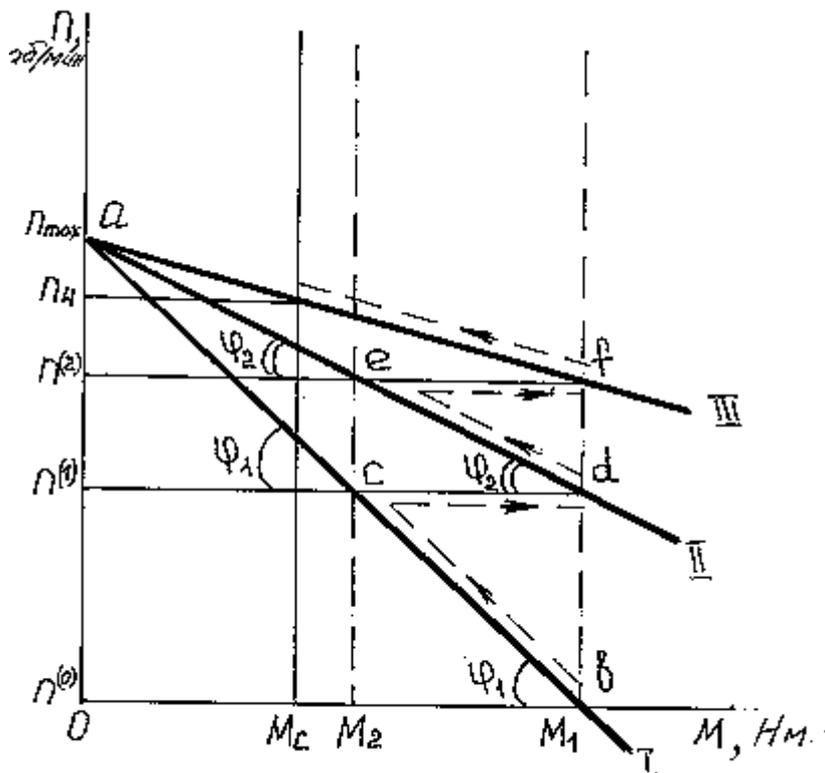


Рис. 5.5. Пусковая диаграмма при $m=2$

При построении пусковой диаграммы предельный момент M_1 не может быть больше критического и обычно принимается $(0,8 \div 0,9) M_{max}$, а момент переключения M_2 должен составлять $(1,1 \div 1,25) M_c$.

Число ступеней пусковой диаграммы m (оно равно числу искусственных характеристик) и значения моментов M_4 и M_2 связаны между собой соотношением

$$m = \lg \left(\frac{1}{S_H \cdot M_{10}} \right) / \lg \left(\frac{M_1}{M_2} \right), \quad (5.8)$$

где $M_1 = M_1 / M_H$ – значение момента в относительных единицах.

Если при выбранных значениях M_1 и M_2 число ступеней m не получается целым, то его следует округлить в сторону ближайшего целого числа m' и пересчитать момент переключения M_2'

$$\begin{aligned} M_2' &= M_1 \cdot \sqrt[m']{\frac{M_1}{M_H} S_H} = \\ &= M_1 \cdot \sqrt[m']{M_{10} \cdot S_H}. \quad (5.9) \end{aligned}$$

После этого определяется отношение $\lambda = M_1 / M_2'$ и величины сопротивлений по ступеням (рис. 5.6)

$$R_{gm} = R_2(\lambda - 1);$$

$$R_{g(m-1)} = R_{gm} \cdot \lambda; \quad (5.10)$$

$$R_{g(m-2)} = R_{g(m-1)} \cdot \lambda;$$

$$R_{g(m-3)} = R_{g(m-2)} \cdot \lambda;$$

Порядок построения пусковой диаграммы для $m = 2$. Порядок построения можно проследить по рис. 5.5 и 5.7.

1. На графике зависимости $n = f(M)$ наносится прямолинейный участок естественной механической характеристики (см. рис. 5.5, кривая III).

2. Проводятся вертикальные линии, соответствующие абсциссам M_1 и M_2 .

3. Через точки **a** и **в** с координатами $(0, n_{\max})$ и $(M_1, 0)$ проводится линия искусственной характеристики (рис. 5.5, кривая I), соответствующая включению в цепь фазы ротора обеих ступеней пускового резистора R_{g1} и R_{g2} (см. рис. 5.7).

4. Через точку **с** пересечения линии искусственной характеристики прямой линией M_2 проводится горизонтальная линия до пересечения с линией M_1 (см. рис. 5.5, точка **d**).

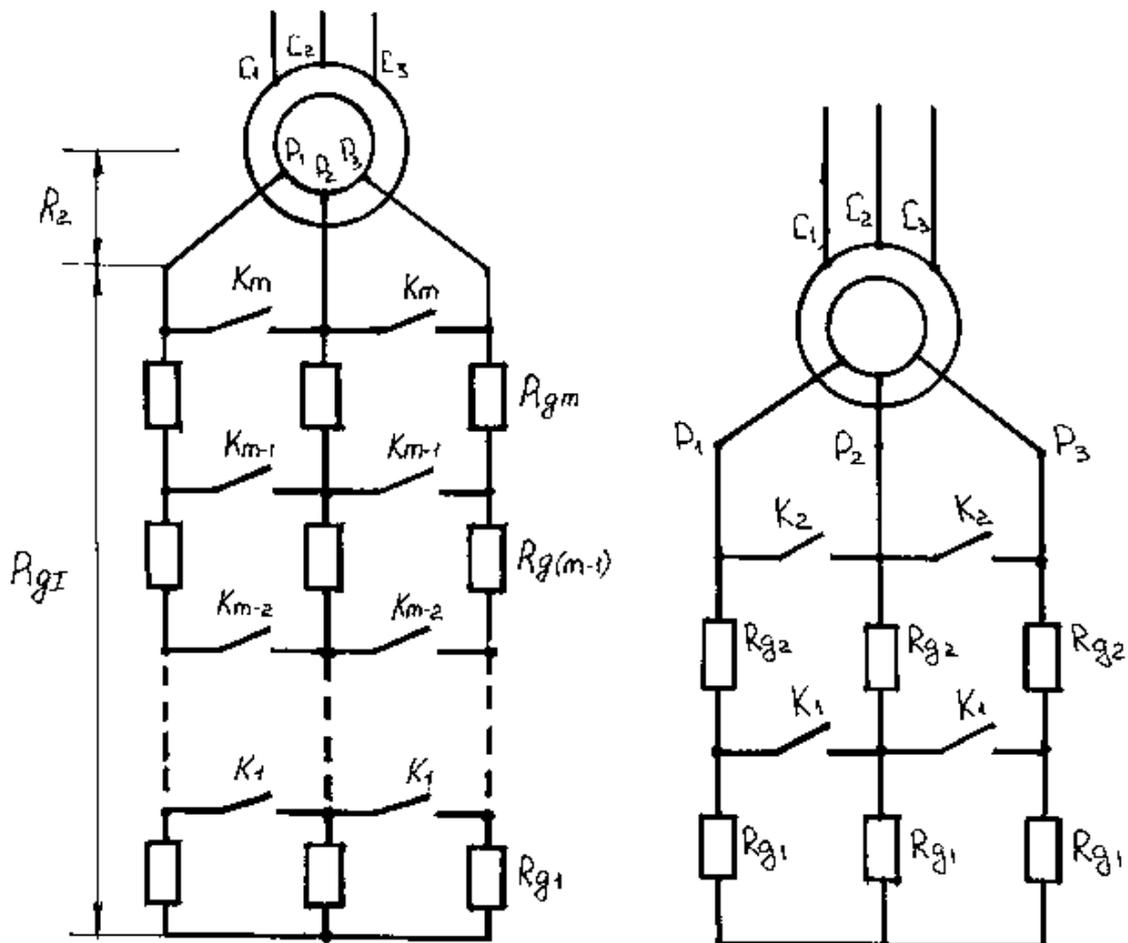


Рис. 5.6. К определению величины сопротивлений по ступеням пусковой диаграммы

Рис. 5.7. Схема включения в цепи фазного ротора к пусковой при $m = 2$

5. Через точки **a** и **d** проводится линия искусственной характеристики – кривая II, а через точку **e** еще одна горизонталь до пересечения ее в точке **f** с естественной характеристикой (кривая III).

Процесс разгона и переключений показан стрелками на рис. 5.5.

Двигатель запускается по характеристике I, по мере разгона до частоты вращения $n^{(1)}$ момент вращения двигателя уменьшится до M_2 . Ключами K_1 закорачиваются сопротивления R_{g1} и двигатель переходит на характеристику II, по которой продолжает разбег до $n^{(2)}$; после чего ключами K_2 закорачиваются сопротивления R_{g2} и двигатель выходит на естественную характеристику и разгоняется до номинальной частоты вращения n_n .

5.4. Программа расчета пусковой диаграммы на ЭВМ

Для составления программы расчета пусковой диаграммы на ЭВМ необходимо произвести некоторые математические преобразования.

Предельный момент M_1 и момент переключения M_2 удобней выразить через коэффициенты:

$$M_1 = K_1 M_{\max}, \text{ где } K_1 = (0.8 \div 0.9); \quad (5.11)$$

$$M_2 = K_2 M_c, \text{ где } K_2 = (1.1 \div 1.25). \quad (5.12)$$

Исходя из условия задания, что $M_c = M_n$, с учетом формул (5.11) и (5.12) выражение (5.8) примет вид:

$$m = \lg \left(\frac{1}{S_n \cdot K_1 M_{\max}} \right) / \lg \left(\frac{K_1 M_{\max}}{K_2 M_n} \right). \quad (5.13)$$

Из формулы (5.13) после некоторых преобразований можно получить выражение для коэффициента K_1

$$K_1 = K_2^{\frac{m}{m-1}} \cdot \left(\frac{1}{S_n} \right)^{\frac{m}{m-1}} \cdot \frac{M_n}{M_{\max}}. \quad (5.14)$$

Задавая некоторые значения коэффициента K_2 , например нижний его предел, и подставляя в формулу (5.13) верхний и нижний пределы коэффициента K_1 , можно получить интервал значений числа ступеней $[m'; m'']$. Для целых значений этого интервала по формуле (5.14) вычисляется значение K_1 . Если в интервале $[m'; m'']$ нет целых значений m , то расчет повторяется для другого

значения коэффициента K_2 , что и предусматривается в приведенной ниже программе расчета пусковой диаграммы на ЭВМ.

По принятому целому значению m производится расчет характерных точек на пусковой диаграмме – это например точки c и e на рис. 5.5, т.е. при известном значении M_1 необходимо определить частоты вращения, соответствующие этим точкам.

Расчет значений ординат в соответствии с рис. 5.5 можно выполнить по следующим формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{n_{\max}}{M_1} = \frac{n_{\max} - n^{(1)}}{M_2} \quad (5.15)$$

Отсюда для первого значения частоты вращения

$$n^{(1)} = \left(1 - \frac{M_2}{M_1} \right) n_{\max} \quad (5.16)$$

При условии $n^{(0)} = 0$ выражение (5.16) примет вид:

$$n^{(1)} = n_{\max} - (n_{\max} - n^{(0)}) \cdot \frac{M_2}{M_1} \quad (5.17)$$

Для второго значения частоты вращения

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{n_{\max} - n^{(1)}}{M_1} = \frac{n_{\max} - n^{(2)}}{M_2} \quad (5.18)$$

Из выражения (5.18) следует, что

$$n^{(2)} = n_{\max} - (n_{\max} - n^{(1)}) \cdot \frac{M_2}{M_1} \quad (5.19)$$

Применяя такой подход к большому числу ступеней разгона и сравнивая выражения (5.17) и (5.19), можно получить обобщенную математическую зависимость соотношений частот вращения, при которых происходят переключения сопротивлений в цепи ротора,

$$n^{(i)} = n_{\max} - (n_{\max} - n^{(i-1)}) \cdot \frac{M_2}{M_1} \quad (5.20)$$

или

$$n^{(i)} = n_{\max} - \left(1 - \frac{M_2}{M_1}\right) + n^{(i-1)} \frac{M_2}{M_1}, \quad (5.21)$$

где $i = 1, 2, 3 \dots m$; $n_{\max} = n_1$ – синхронная частота вращения.

Выражение (5.21) заложено в программу расчета пусковой диаграммы.

Программа расчета написана на языке BASIC и приемлема для всех ЭВМ, имеющих интерпретатор данного языка.

Соответствие расчетных величин идентификаторам программы приведено в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Идентификаторы, соответствующие расчетным величинам

Идентификатор	Расчетная величина	Примечание	Единица изменения
1	2	3	4
M	M_{\max}	Максимальный момент	Н · м
N	M_H	Номинальный момент	Н · м
S	S_H	Номинальное скольжение	–
W	n_{\max}	Синхронная частота вращения	об/мин
K	K_2	Коэффициент	–
A	K''_1	Нижний предел коэффициента K_1	–
B	K'_1	Верхний предел коэффициента K_1	–
I	m'	Минимальное расчетное нецелое m	–
J	m''	Максимальное расчетное нецелое m	–
Q	m_{\min}	Минимальное целое m	–
P	m_{\max}	Максимальное целое m	–
X	M	Выбранное m из интервала [Q;P]	–
E	K_1	Коэффициент K_1	–
A	M_1	Момент, соответствующий M_1	Н · м
B	M_2	Момент, соответствующий M_2	Н · м

Y	$n^{(i)}$	Частота вращения переключения	об/мин
Z,H		Дополнительные переменные, необходимые для организации цикла по расчету n^i	
L		Переменная для дополнительного выбора m из предела	

Далее приводится текст программы расчета пусковой диаграммы.

```

3 REM* Программа для расчета пусковых характеристик
5 CLS
10 INPUT "Введите M max =";M
20 INPUT "Введите M ном =";N
30 INPUT "Введите S ном =";S
40 INPUT "Введите n1 = ";W
50 INPUT "Введите K2 = ";K
60 INPUT "Введите параметр K1 от a =";A
70 INPUT "Введите параметр K2 от b =";B
80 GOTO 110
90 PRINT "для данного K2 m - целое отсутствует !"
100 K=K+.005:PRINT "k2 =";K
110 I = (LOG(N/(S*B*M)))/LOG(B*M/(K*N))
120 J = (LOG(N/(S*A*M)))/LOG(A*M/(K*N))
130 Q = INT(I+1)
140 P=INT(J)
150 IF (P-Q)<0 GOTO 90
160 PRINT "m min.=";Q:PRINT "m max.=";P
170 INPUT "Удобное для Вас из этого интервала m=";X
180 IF X<Q GOTO 160
190 IF X>P GOTO 160
200 E=N/M*(K^(X/(X+1)))*(1/S^(1/(X+1)))
210 PRINT "для m=";X,"k1=";E
220 A=E*M:B=K*N
230 PRINT "m1=";A,"m2=";B
240 Y=0
250 FOR Z=1 TO X
260 H=W*(1-B/A)-Y*B/A
270 Y=Y+N
280 PRINT "n";Z;"="Y
290 NEXT Z
300 "нужны ли данные для еще одного m ?"
310 PRINT "если да, то нажмите "1", если нет - "2""
320 INPUT L: IF L=1 GOTO 160
330 END

```

```

1 REM *Программа для построения искусственных
2 REM *механических характеристик
10 INPUT "Введите сопротивление R2=";R2
15 PRINT "Введите критическое скольжение естественной характеристики"
20 INPUT "SKE=";SKE
25 PRINT "Введите номинальное скольжение естественной характеристики"
30 INPUT "SNE=";SNE
35 PRINT "Введите число искусственных характеристик"
40 INPUT "X=";X
45 Y=0
50 Y=Y+1
55 PRINT "Введите"; Y;"-е критическое скольжение искусственной
характеристики"
60 INPUT "SKIY=";SKIY
65 PRINT "Введите"; Y;"-е номинальное скольжение искусственной
характеристики"
70 INPUT "SNIY=";SNIY
75 RGKY=((SKIY/SKE)-1)*R2
80 RGN Y=((SNIY/SNE)-1)*R2
85 PRINT "RGKY=";RGKY
90 PRINT "RGN Y=";RGN Y
95 IF Y<X THEN 50
99 END

```

6. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

6.1. Понятие об управлении электроприводами

Под процессом управления электроприводами понимают осуществление пуска, реверсирования, торможения, регулирования частоты вращения или поддержания ее такой, как того требует технологический процесс.

Управление подразделяют на ручное, дистанционное и автоматическое.

При ручном управлении переключения в силовых цепях электродвигателя производятся за счет мускульных усилий оператора, который непосредственно воздействует на рукоятки аппаратов управления, поддерживая необходимый технологический процесс.

Оператор принимает решения и находит пути и способы выполнения этих решений. К аппаратам ручного управления относятся рубильники, пакетные выключатели, пусковые и регулировочные резисторы, контроллеры. Применение этих аппаратов требует значительного времени на управление, поэтому оно снижает производительность механизма.

Дистанционное управление – это управление на расстоянии. Оператор подает электрический сигнал с помощью кнопки в цепи электромагнитов, тяга которых воздействует на контакты в силовых цепях электродвигателей. Мускульные усилия оператора при этом незначительны, но он не

освобождается от наблюдения за технологическим процессом, от регулирования и согласования работы механизмов или их звеньев.

Скорость работы на многих производственных участках так велика, что оператор не в состоянии уследить за ходом процесса и заметить его нарушения. В этом случае целесообразно использовать автоматическое управление. При нем все переключения с определенной последовательностью и ритмом осуществляются электромагнитными устройствами, включенными в электрические цепи привода, такими как контакторы, различного рода реле, путевые включатели и другие релейно-контакторные аппараты.

В автоматизированных технологических процессах могут также применяться усилители, преобразовательные устройства, датчики (электромашинные, электромагнитные, полупроводниковые), бесконтактные логические элементы, различные элементы цифровой и аналоговой вычислительной техники, микропроцессоры и микроЭВМ. Роль оператора сводится к первоначальному включению системы и наблюдению за ее работой.

Электроприводы подъемно-транспортного оборудования относятся к приводам, работающим с невысоким быстродействием и на которые возлагают относительно несложные функции. В задачу управления такими электроприводами входит организация пуска, торможения, перехода с одной ступени частоты вращения на другую, реверса и осуществление этих операций в определенной последовательности по команде оператора. Системы управления такими электроприводами обычно строятся на релейно-контакторной аппаратуре.

6.2. Аппараты управления в электроприводах подъемно-транспортного оборудования

В электроприводах подъемно-транспортного оборудования применяются аппараты всех трех видов управления. В настоящем разделе рассматриваются назначение, принцип действия, конструктивное исполнение, в основном, релейно-контакторных аппаратов, а также некоторых полупроводниковых и аппаратов ручного управления.

Контроллеры служат для управления работой электродвигателя: осуществляют его пуск, регулирование частоты вращения, остановку и реверсирование.

Контроллеры по принципу работы подразделяются на два вида:

– силовые, непосредственно замыкающие или размыкающие силовые цепи двигателя с помощью контактных устройств (обычно с ручным приводом);

– командоконтроллеры или магнитные контроллеры (аппараты дистанционного управления), замыкающие или размыкающие цепи управления электромагнитных катушек контакторов, контакты последних замыкают или размыкают силовые цепи двигателя.

По конструктивному исполнению существуют контроллеры:

- кулачковые с накатными контактами;
- барабанные со скользящими контактами;
- контакторные.

Кулачковые контроллеры, в свою очередь, подразделяются на однорядные и двухрядные в зависимости от того, каким количеством контактных элементов управляет кулачковая шайба. Устройство двухрядного кулачкового контроллера приведено на рис. 6.1.

Контактный элемент состоит из основания 1, подвижного рычага 2 с контактом и роликом, приводной пружины 3. Плоские кулачковые шайбы разного профиля 4 одеваются на вал 5 прямоугольной формы. Вал с кулачковыми шайбами вращается рукояткой в подшипниках, закрепленных в корпусе 6 контроллера. Каждая кулачковая шайба воздействует на свои контактные элементы.

Пока ролик рычага 2 контактного элемента находится во впадине кулачковой шайбы 4, контакты замкнуты под действием пружины 3. Если при повороте вала ролик займет положение на гребне кулачка, рычаг 2 повернется и контакты разомкнутся. Применяя шайбы нужного профиля, получают необходимую последовательность замыкания и размыкания контактов по мере поворота вала.

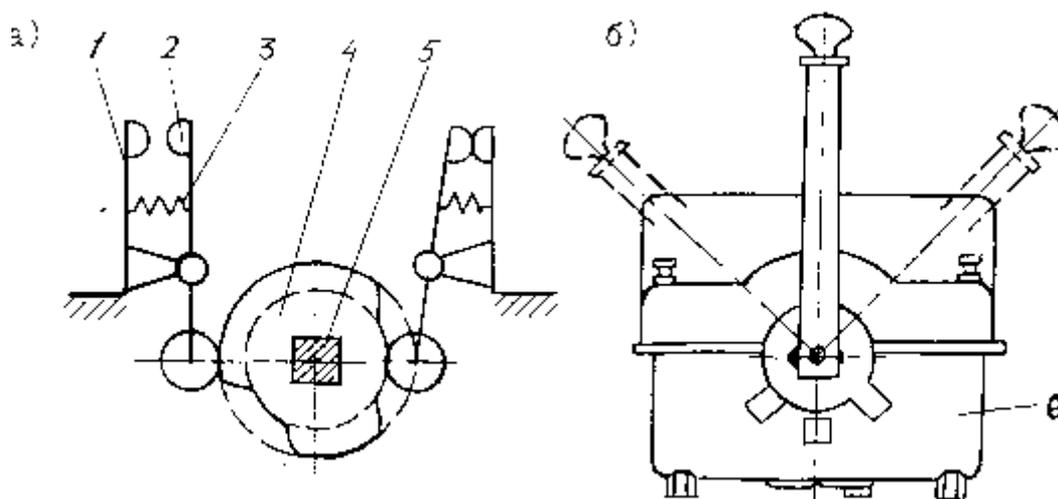


Рис. 6.1. Кулачковый контроллер ККТ-61: а) контактная система; б) общий вид

Контроллеры имеют фиксирующий механизм, благодаря которому остановка вала происходит в положении, соответствующем полному замыканию или полному размыканию контактов.

Командоконтроллер и силовой контроллер, имеют одинаковый принцип работы, но габариты командоконтроллера значительно меньше, так как его контакты рассчитаны на слабый ток в цепях управления.

Устройство наиболее простого барабанного контроллера и схема пуска двигателя постоянного тока схематично представлены на рис. 6.2.

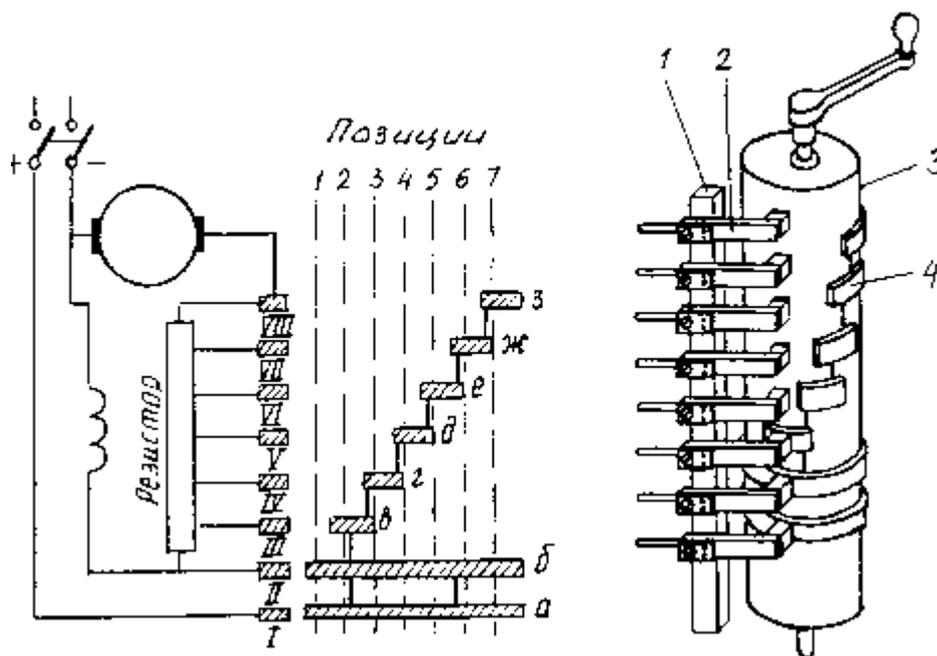


Рис. 6.2. Устройство барабанного контроллера и схема пуска двигателя

На цилиндрической поверхности барабана 3 расположены кольцевые сегменты 4 необходимых размеров. Все эти сегменты являются подвижными контактами и соединены между собой проводниками по требуемой схеме. Рядом с барабаном на стойке 1 укреплены неподвижные контакты 2, изолированные от стойки и друг друга. При вращении барабана контроллера неподвижные контакты будут занимать различные положения относительно его сегментов, производя комбинации переключений в электрической цепи.

Контакты – это аппараты дистанционного управления. Они предназначены для замыканий и размыканий электрических цепей.

Контакты в контакторах замыкаются силой электромагнитного поля при пропуске тока через втягивающую катушку. Напряжение на втягивающую катушку подается замыканием цепи кнопкой, контактами командоконтроллера или контактами реле.

В зависимости от рода тока различают контакторы постоянного и переменного тока. По числу одновременно переключаемых цепей контакторы постоянного тока разделяют на одно- и двухполюсные, а переменного тока – на двух-, трех- и четырехполюсные.

Контакторы различаются по конструкции. Однако характерной особенностью всех контакторов является их способность многократно включаться и выключаться. При этом время включения и выключения составляет доли секунд. Современные контакторы допускают до 20–50 млн включений, разрывая ток в 100–600 А без повреждения контактов.

Трёхполюсный контактор переменного тока показан на рис. 6.3. Он состоит из магнитной системы (1,2,3), системы главных (9,10) и гибких (5) контактов и блок-контактов (6,7). Магнитная система включает в себя неподвижную часть (сердечник) 1, катушку 2 и подвижную часть 3 (якорь). Якорь и сердечник собраны из тонких пластин электротехнической стали для уменьшения потерь мощности и нагрева от вихревых токов.

Система главных контактов состоит из неподвижных 9 и подвижных 10 контактов, к которым подсоединены провода переключаемой цепи. Подвижные контакты 10 и якорь 3 укреплены на одном валу 4.

Блок-контакты 6 и 7 служат для необходимых переключений в электрической цепи управления втягивающей катушки 2.

Главные контакты выполняют массивными, рассчитанными на большой (силовой) ток, а блок-контакты – небольшими, рассчитанными на ток управления, не превышающий 5–10 А.

У однополюсного контактора главный подвижной контакт сразу связан с якорем через изоляционную прокладку.

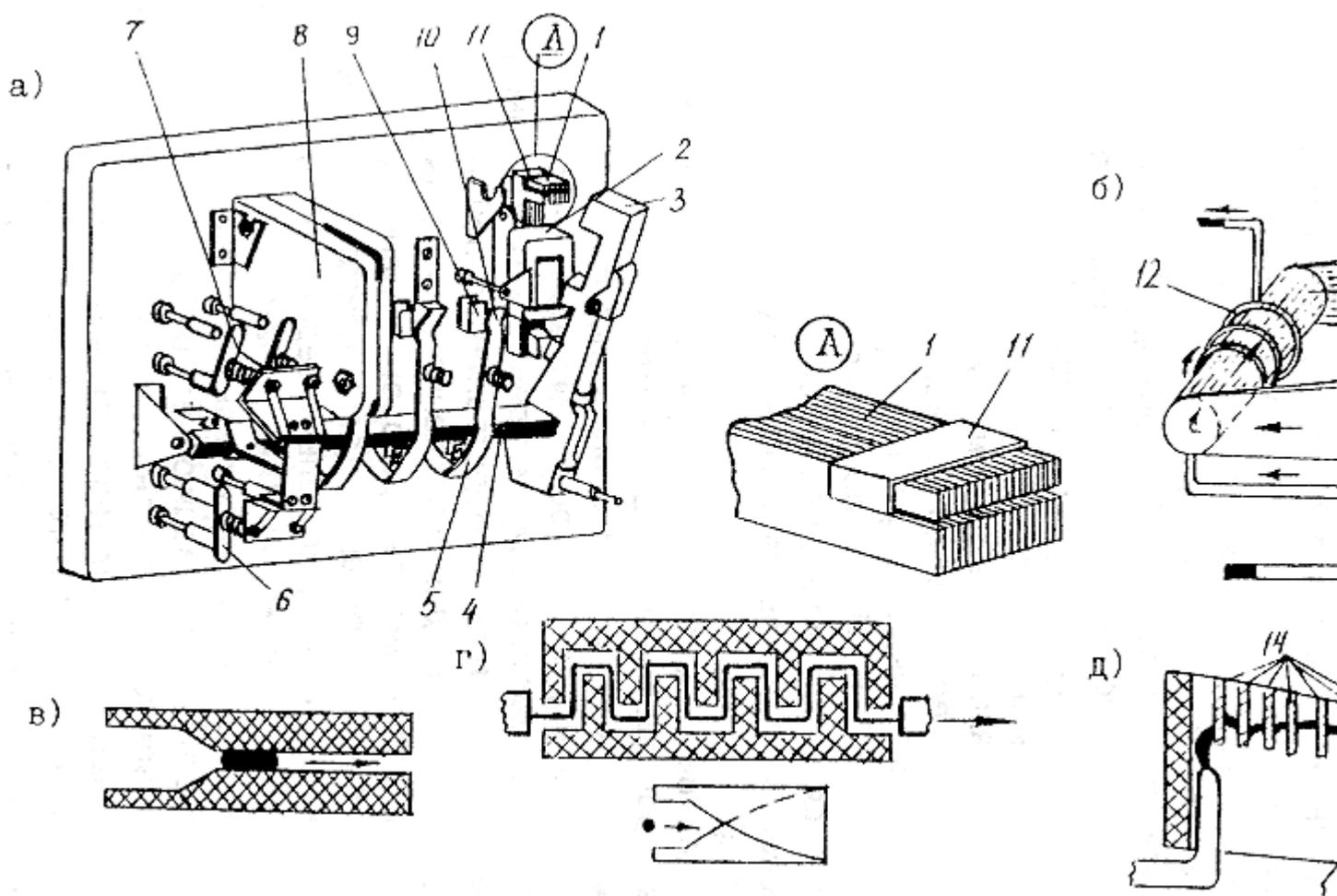


Рис. 6.3. Трёхполюсный контактор: а) общий вид; б) схема магнитного дутья электрической дуги; в, г, д) элементы дугогасительной камеры

При подаче достаточного напряжения на втягивающую катушку 2 якорь 3 под действие магнитного поля сердечника 1 притягивается к нему, поворачивает вал 4 и подвижные контакты 10 замыкаются с неподвижными 9. Отключение контактора производится снятием напряжения с катушки 2. С исчезновением магнитного тяжения подвижная система контактора под действием силы тяжести или возвратной пружины разрывает главные контакты. Возникшая при размыкании главных контактов дуга гасится в дугогасительных камерах 8, изготовляемых из жаростойкого материала для изоляции (на крайней левой паре силовых контактов (рис. 6.3, а) дугогасительная камера установлена, а с остальных они сняты). Гашение дуги осуществляется магнитным дутьем. С обеих внутренних сторон камеры имеются стальные полюса, между которыми создается магнитное поле 13 дугогасительной катушкой 12 (рис. 6.3, б). Ток цепи проходит последовательно через эту катушку и разрываемые контакты 9 и 10, последние находятся в зоне магнитного поля. Под действием этого поля электрическая дуга, возникающая между контактами, выдувается вверх либо через узкую щель (рис. 6.3, в), либо через лабиринтную (рис. 6.3, г). Ионизированные газы дуги охлаждаются и деионируются. В контакторах переменного тока с небольшой частотой включения применяются камеры с дугогасительной решеткой 14 (рис. 6.3, д).

На сердечнике 1 устанавливаются короткозамкнутый виток 11 (для контакторов переменного тока). Поток через поверхность этого витка сдвинут по фазе относительно основного и отличен от нуля при прохождении через нуль основного магнитного потока. Такое устройство уменьшает вибрацию и гудение магнитопровода.

Магнитный пускатель представляет собой комплексный аппарат, предназначенный для управления трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. В одном корпусе устанавливаются: трехфазный контактор (если двигатель нереверсивный) или два контактора (если двигатель реверсивный); кнопки управления; тепловое реле защиты; сигнальные лампы. Кроме подключения АД к сети и его отключения, пускатель обеспечивает защиту АД от токовой перегрузки и сигнализацию о его работе.

Реле. В подъемно-транспортных механизмах применяют реле управления и защиты. К реле управления относятся реле времени, промежуточные и минимального тока, к реле защиты – максимального тока и тепловые. Реле времени, промежуточные, минимального и максимального токов являются электромагнитными реле (рис. 6.4). Их принцип действия аналогичен принципу действия электромагнитного контактора.

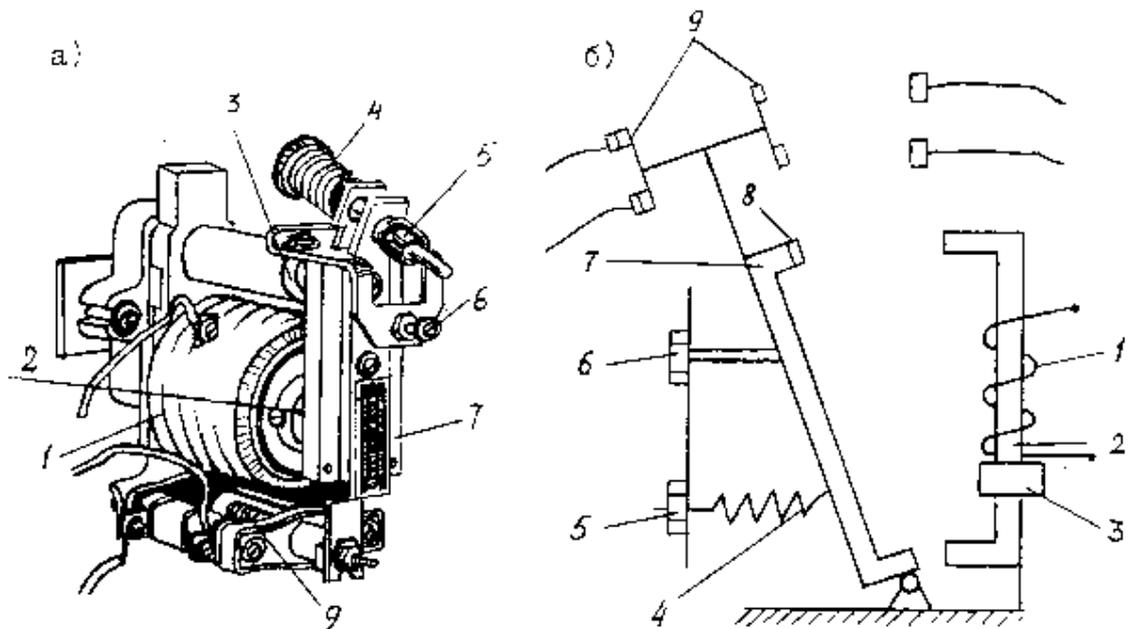


Рис. 6.4. Электромагнитное реле времени постоянного тока: а) общий вид; б) электрическая схема

Электромагнитное реле работает следующим образом. На сердечнике 2 магнитной системы находится катушка 1, на которую подается электрический сигнал. Когда ток (напряжение) в цепи катушки превысит некоторое значение, называемое током (напряжением) срабатывания реле, создаваемая им электромагнитная сила станет больше противодействующей силы возвратной пружины 4. Якорь 7 реле притянется к сердечнику 2, перемещая подвижную контактную систему 9.

Если отключить ток (напряжение) в катушке, то якорь под действием пружины 4 перейдет в исходное первоначальное положение до упора 6. Ток (напряжение), при котором якорь реле возвращается в исходное положение, носит название тока (напряжения) возврата или отпускания.

Параметры срабатывания реле могут регулироваться в определенных пределах изменением натяжения пружины 4 с помощью гайки 5, а также за счет зазора между якорем 7 и сердечником 2. При затяжке пружины 4 или увеличении зазора ток (напряжение) срабатывания возрастает.

Особенность конструкции реле времени заключается в наличии на магнитопроводе 2 массивной медной гильзы 3 (см. рис. 6.4), которая и обеспечивает выдержку времени реле при отключении его катушки. Включение реле времени происходит как у обычного электромагнитного реле без выдержки времени. При снятии с катушки напряжения спадающий магнитный поток создает в гильзе вихревые токи, которые своим магнитным потоком поддерживают основной поток. То есть, наличие гильзы замедляет спадание магнитного потока, а соответственно – перемещение якоря и контактной системы в исходное положение.

Время, в течение которого якорь реле остается притянутым после отключения катушки, называется временем выдержки реле. Реле

обеспечивает выдержку при размыкании замыкающего контакта и замыкании размыкающего контакта.

Выдержка времени может регулироваться путем установки немагнитной прокладки 8 определенной толщины, закрепляемой на якоре 7.

Уменьшение толщины прокладки вызывает увеличение выдержки реле (и наоборот).

Промежуточное реле (рис. 6.5) применяют в качестве вспомогательного аппарата, когда основной аппарат не обладает достаточным количеством контактов, необходимых для работы схем. Такое реле имеет от 3 до 6 контактов. Подвижные контакты 7 реле мостикового типа укреплены на стержне 9, соединенном с якорем 4. Когда на катушку 2 подается напряжение, якорь 4 притягивается к сердечнику 1, и мостиковые контакты 7 замыкают или размыкают неподвижные контакты 8, производя необходимые переключения в схеме.

Реле минимального тока (рис. 6.6) применяется, например, в схеме привода грузовой лебедки башенного крана с тормозной машиной для контроля величины тока возбуждения тормозной машины. Катушка 3 включается последовательно с обмоткой возбуждения. Пока в цепи обмотки реле 3 протекает ток достаточной величины, якорь 7 под действием магнитного поля, возникающего в сердечнике 2, находится в притянутом к сердечнику 2 положении и замыкает контакты 4 и 5. В случае понижения тока ниже минимально допустимого магнитный поток ослабевает и под действием пружины 11 якорь, поворачиваясь на оси 8, отпадает, размыкая эти контакты, тем самым производя соответствующее отключение в электросхеме. Навинчивая гайку 9 на тягу 10, можно осуществлять регулировку тока срабатывания реле.

Реле максимального тока применяется для защиты электродвигателей от большой перегрузки или коротких замыканий.

Действие реле максимального тока проследим по рис. 6.7.

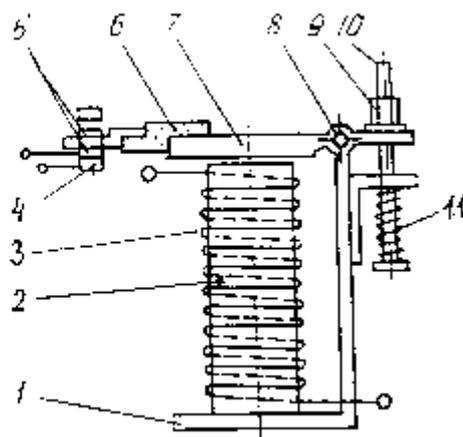
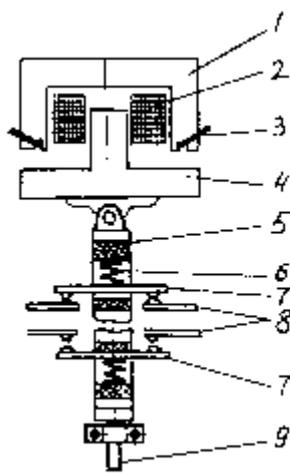


Рис. 6.5. Схема промежуточного реле минимального переменного тока: 1 - сердечник; магнитопровода; 2 - катушка; 3 - короткозамкнутый виток; реле; 4 - якорь; 5 - изоляционная рейка; изолирующая планка; 6 - контактная пружина; гайка; 10 - тяга; 7 - контактный мостик; 8 - неподвижные контакты; 9 - стержень.

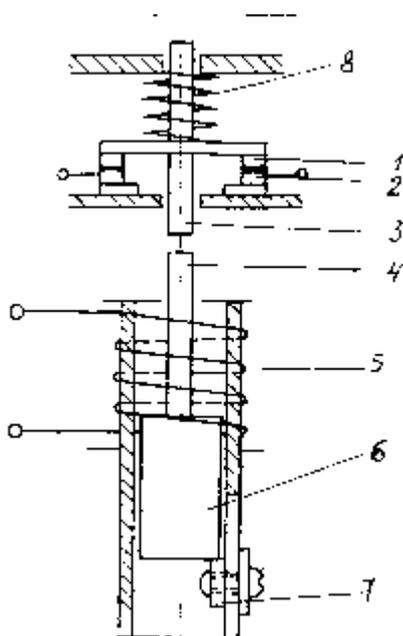


Рис. 6.5. Схема реле переменного тока: 1-ядро 2 - сердечник; 3 - обмотка 4, 5 - контакты; 6 - 7 - якорь; 8 - ось; 9 - 11 - пружина.

Рис. 6.7. Схема реле максимального тока

Пока ток, протекающий по обмотке реле 5, не выходит за пределы допустимого, подвижной сердечник 6 находится в своем нижнем положении, упираясь в регулировочную планку 7. В случае увеличения тока в электродвигателе, а следовательно, и в обмотке 5, выше допустимого, магнитное поле поднимает сердечник 6, и он своим шпинделем 4 ударяет в толкатель 3. В результате чего контакты 1 и 2 размыкаются, производя отключение электродвигателя.

Но после срабатывания реле и исчезновения тока обмотки, сердечник под действием собственного веса опускается до упора в планку 7, а контакты 1 и 2 под действием пружины 8 снова замыкаются. И если в защищаемом объекте происходит короткое замыкание, то реле снова срабатывает, разрывает контакты 1 и 2 и вновь их замыкает. Создается так называемая “звонковая работа” реле. Чтобы избежать этого процесса, реле максимального тока снабжают механической защелкой, которая не позволяет сердечнику после первого срабатывания опуститься вниз и вновь замкнуть контакты 1 и 2. Обслуживающему персоналу необходимо выяснить причину срабатывания реле, устранить ее и после этого поставить защелку в первоначальное положение.

Регулировка реле на определенный ток производится положением регулировочной планки 7. И чем ниже опущен сердечник, тем больший ток необходим для срабатывания реле.

Тепловое реле служит для защиты двигателя от небольших, но длительных перегрузок. Ток двигателя при этом превышает на 30 % и более номинальный ток.

Одна из разновидностей теплового реле показана на рис. 6.8. Рабочий ток проходит через нагревательный элемент 2, включенный в защищаемую силовую цепь. Элемент 2 нагревает биметаллическую (состоящую из двух слоев металлов, различных по коэффициенту линейного расширения) пластину 1, укрепленную консольно в основании 10.

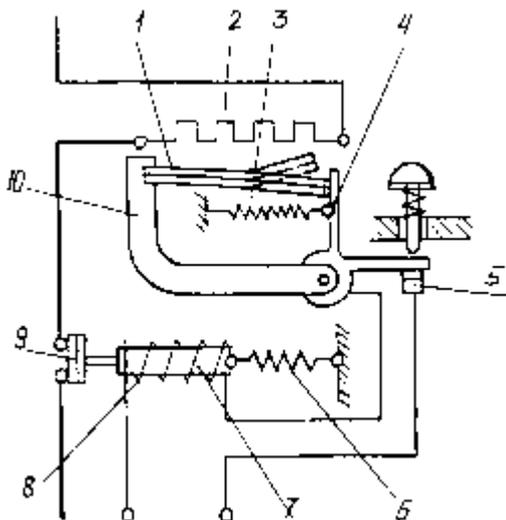


Рис. 6.8. Схема устройства теплового реле защиты

Свободный конец пластины упирается в рычажок 4, вследствие чего контакты 5 цепи управления замкнуты и ток управления проходит через катушку 8. Подвижной сердечник 7, втянутый катушкой 8, замыкает контакты 9 в защищаемой силовой цепи. В случае длительного увеличения тока в силовой цепи пластина 1 нагревается и изгибается кверху. Рычажок 4 под действием пружины 3 поворачивается и размыкает контакты 5 цепи управления. Катушка 8 обесточивается, сердечник 7 пружиной 6 выводится из катушки и разрывает контакты 9 силовой цепи, защищая двигатель от перегрузки.

В некоторых конструкциях тепловых реле отсутствуют элементы 6, 7, 8, 9; а контакты 5 разрывают цепь управления катушки электромагнитного контактора в магнитном пускателе, через который двигатель подключается к источнику питания.

К аппаратам защиты можно отнести и *плавкие предохранители*. Они предназначены для защиты цепей от токов коротких замыканий и недопустимых перегрузок. Быстродействующие предохранители применяются для защиты электрических агрегатов с полупроводниковыми приборами. Предохранители многих типов заполнены кварцевым песком, установка допускается как в вертикальном, так и в горизонтальном положении.

Выключатели и переключатели. *Выключатели автоматические воздушные* предназначены для нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей постоянного и переменного тока, а также для защиты электрических установок при перегрузках и коротких замыканиях, выпускаются с тепловыми, электромагнитными и комбинированными (электромагнитным и тепловым) расцепителями.

Однополюсной автоматический выключатель максимального тока с электромагнитным расцепителем изображен на рис. 6.9.

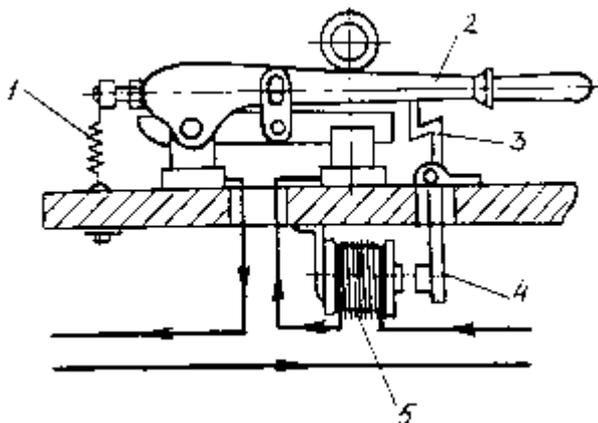


Рис. 6.9. Схема однополюсного автоматического выключателя максимального тока

Конструктивно он похож на обычный рубильник. Катушка электромагнита 5 включена последовательно с контактом выключателя. Пока ток в цепи не достигнет величины тока срабатывания, якорь 4 находится в свободном состоянии и удерживает защелку 3, которая в свою очередь удерживает рукоятку и контакт 2 во включенном состоянии. Как только ток в цепи достигнет своего максимального значения, якорь 4 притянется к сердечнику катушки 5 и освободит защелку 3. Подвижной контакт под действием пружины отпадет и разорвет электрическую цепь защищаемого объекта. Ввод в действие отключенного автомата осуществляется вручную, воздействием на рукоятку 2, выполненную из изоляционного материала и механически связанную с подвижным контактом.

Иногда необходимо управлять механизмами в зависимости от их местоположения, т.е. иметь управляющие сигналы функции пути. В этом случае используются путевые выключатели. Существуют механические, индукционные путевые выключатели и фотовыключатели.

Принцип действия механических путевых выключателей аналогичен действию кнопок “Пуск” и “Стоп”. На кнопку воздействует человек, а на рычаг путевого выключателя - выступ, укрепленный на элементе механизма.

Схема индукционного выключателя изображена на рис. 6.10.

Параллельный контур, состоящий из индуктивной катушки L на неподвижном сердечнике 1 и емкости C , настроен на резонанс токов, когда магнитная цепь сердечника 1 замкнута якорем 2, а контур включен в сеть переменного тока через катушку промежуточного реле РП. Якорь 2 связан с перемещающимся

механизмом. При резонансе токов величина тока, протекающего через катушку реле РП, минимальная, настолько мала, что якорь реле РП не притянут.

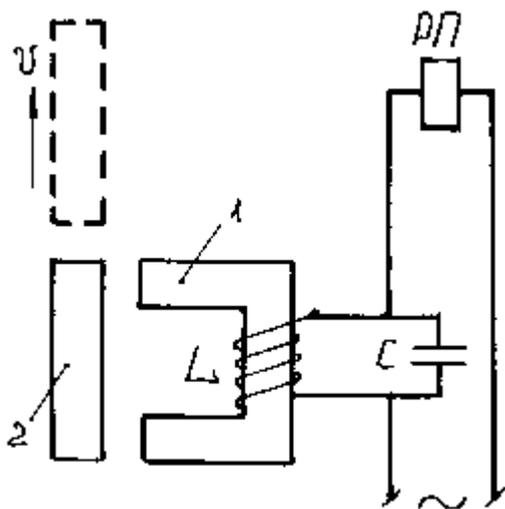


Рис. 6.10. Индукционный путевой

выключатель

Когда же подвижный якорь 2, займет положение, указанное пунктиром, магнитная цепь сердечника 1 окажется разомкнутой, и индуктивность катушки резко уменьшится. Резонанс в цепи нарушится, ток в катушке реле резко возрастет, его якорь притянется, замыкая или размыкая контакты в цепи управления перемещающего механизма. Таким образом, электрический импульс в катушке реле возникнет в том случае, когда один элемент механизма займет определенное положение относительно другого.

Выключатели и переключатели пакетные применяются в качестве коммутационных аппаратов с ручным приводом цепей управления электроустановок, для распределения электрической энергии и ручного управления асинхронными двигателями, предназначены для работы в цепях переменного тока напряжением до 440 В и постоянного тока напряжением до 240 В. Подразделяются по числу коммутируемых цепей, степени защиты и способу установки и крепления.

Универсальные переключатели предназначены для коммутации электрических цепей управления и автоматики, ручного управления аппаратами, магнитными станциями и многоскоростными асинхронными двигателями. Изготавливаются с различным числом коммутационных цепей и на различное число коммутационных положений рукоятки.

Полупроводниковые аппараты управления. Основу полупроводниковых аппаратов составляют транзисторы, полупроводниковые диоды и тиристоры. Самое широкое применение полупроводниковые приборы получили в схемах выпрямления переменного тока: в схемах нерегулируемого входного напряжения – диоды, а в схемах регулируемого – тиристоры.

Тиристоры используются также для бесконтактной коммутации цепей переменного тока (бесконтактные ключи и переключатели, пускатели);

преобразования постоянного тока в переменный (инверторы и преобразователи частоты).

Схемы выпрямления и статические переключатели на базе тиристоров описаны в [9].

Выпрямленное напряжение в подъемно-транспортных механизмах применяется для питания обмоток возбуждения тормозных машин и тормозных электромагнитов, цепей управления катушек контакторов и магнитных усилителей, для динамического торможения асинхронных двигателей и др.

Применение транзисторов весьма разнообразно, например, на рис. 6.11 показано использование двух транзисторов VT1 и VT2 в электронном реле времени.

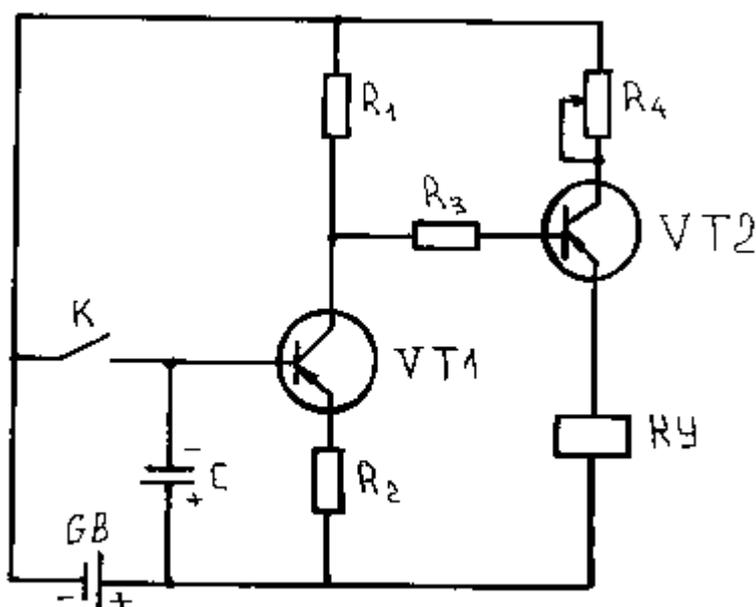


Рис. 6.11. Схема электронного

реле времени

В исходном положении внешний управляющий контакт К замкнут и на базу транзистора VT1 подан отрицательный потенциал источника питания GB. Транзистор открыт, при этом потенциал базы транзистора VT2 будет положительным по отношению к его эмиттеру и транзистор будет закрыт. В результате выходное реле КУ будет отключено. В исходном положении конденсатор С будет заряжен с указанной на рисунке полярностью своих обкладок.

Команда на начало отсчета времени подается при размыкании внешнего управляющего контакта К; начинается разряд конденсатора С через резистор R₂ и переход эмиттер – база транзистора VT1. В конце разряда транзистор VT1 закроется, что приведет к появлению на базе транзистора VT2 отрицательного потенциала. Он откроется, по обмотке реле КУ начнет протекать ток, реле сработает и переключит свои контакты. Отсчет времени закончится.

Выдержка времени реле определится временем разряда конденсатора C , которое зависит от величины его емкости и сопротивления резистора R_2 . Регулируя эти величины, можно устанавливать требуемые выдержки времени реле. Выпускаемые электронные реле времени серии ВЛ обеспечивают выдержку времени от 0,1 с до 10 мин.

6.3. Графические и буквенные обозначения в электрических системах

Электрической схемой называется чертеж, на котором показаны соединения электрических цепей и по которому можно проследить порядок взаимодействия аппаратов, составляющих схему, и путь протекания токов.

Электрические схемы разделяют на структурные, функциональные, принципиальные и монтажные.

На *структурных схемах* изображают основные функциональные части устройства обычно в виде прямоугольников, объединенных линиями взаимосвязей, на которых стрелками показывают направление хода процессов, происходящих в устройстве. Схема дает самое общее представление об электроустановке.

Функциональная схема показывает процессы, протекающие в функциональных цепях установки. Функциональные части на схеме изображают в виде прямоугольников или условных графических обозначений, одновременно с линиями взаимосвязей в этих схемах могут изображаться конкретные соединения между элементами и устройствами.

На схеме показаны общие принципы работы установки.

Принципиальная электрическая схема содержит полный состав элементов (машин, аппаратов и т.п.), дает понятие об электрических соединениях этих элементов и их узлов. Электрические машины, аппараты, приборы и связи между ними на принципиальной схеме показывают только в виде графических обозначений. Элементы одного аппарата могут быть разнесены по схеме. Схема дает детальное представление о принципе работы устройства.

Монтажная схема дает понятие о монтажных соединениях узлов и аппаратов. На ней электрические аппараты и машины показаны так, как они будут расположены на установке. Их элементы на схеме не разделяются. Каждому зажиму и проводу присваивается свой номер. На схеме показывают тип, сечение, длину провода или кабеля, число жил кабеля и способ прокладки кабеля или провода.

В настоящем пособии приводятся примеры только принципиальных электрических схем.

Электрическая схема в отличие от машиностроительного чертежа не имеет масштаба, но при составлении электрических схем пользуются условными графическими обозначениями (прил. 1) в соответствии с единой системой конструкторской документации (ЕСКД).

Контакты аппаратов на схемах изображают в положении, которое соответствует обесточенному состоянию обмоток.

Условные буквенные обозначения электрооборудования приведены в прил. 2.

6.4. Типовые схемы управления электроприводами с асинхронными двигателями

Управление пуском, реверсом и торможением асинхронных двигателей в большинстве случаев осуществляется в функции времени, скорости, тока или пути. Ниже приводится ряд типовых схем управления электроприводами с АД.

Схема управления нереверсивным короткозамкнутым асинхронным двигателем. Пуск двигателей малой и средней мощности обычно осуществляется прямым подключением обмоток статора к сети без ограничения токов. Для этой цели используются магнитные пускатели, которые составляют основу схемы управления.

Нереверсивный магнитный пускатель (рис. 6.12) включает в себя электромагнитный контактор КМ с двумя встроенными в него тепловыми реле защиты КК, кнопки управления SB1 (Пуск) и SB2 (останов, стоп АД).

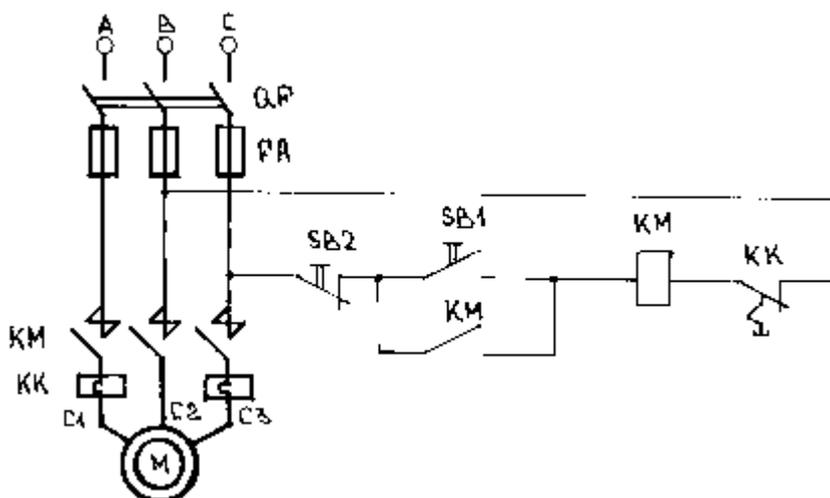


Рис. 6.12. Схема управления нереверсивным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

Схема обеспечивает прямой (без ограничения тока и момента) пуск АД, отключение его от сети, а также защиту от коротких замыканий (предохранители FA).

Для пуска АД замыкают выключатель QF и нажимают кнопку пуска SB1.

Электрический ток потечет от фазы С через нормально замкнутую кнопку останова SB2, кнопку SB1, катушку контактора КМ, нормально замкнутые контакторы тепловых реле КК к фазе В.

Катушка контактора КМ, получив питание, притянет якорь магнитной системы и замкнет главные контакты в силовой цепи обмоток статора и вспомогательный контакт, который зашунтирует кнопку пуска SB1 и ее не нужно держать во включенном положении. Произойдет разгон АД по его естественной механической характеристике.

Для отключения АД нажимается кнопка остановки SB2, она разрывает цепь питания катушки контактора КМ. Под действием пружины якорь контактора отпадает и разрывает все замкнутые до этого контакты. Двигатель теряет питание сети и начинается процесс торможения АД выбегом под действием статического момента сопротивления на валу.

Также произойдет остановка двигателя в случае срабатывания одного из тепловых реле. В этом случае разорвется цепь питания катушки контактора КМ контактами тепловых реле КК.

Тепловое реле, установленное только в одну фазу, может не осуществить своих защитных функций. Например, если во время работы АД обесточится обмотка статора именно этой фазы, то двигатель будет работать с перегрузкой обмоток двух других фаз, в которых не предусмотрена установка тепловых реле. Поэтому тепловые реле необходимо устанавливать минимум в двух фазах.

Схема управления реверсивным короткозамкнутым асинхронным двигателем. Основным элементом этой схемы является реверсивный магнитный пускатель, который включает в себя два электромагнитных контактора КМ1 и КМ2, два тепловых реле защиты КК (рис. 6.13) и кнопки управления SB.

Схема обеспечивает прямой пуск и реверс АД, а также торможение противовключением при ручном управлении.

Пуск двигателя в условном направлении “Вперед” осуществляется нажатием кнопки SB1 при включенном автоматическом выключателе QF. Катушка контактора КМ1 получит питание через размыкающую кнопку остановки SB3, замыкающую кнопку SB1, размыкающие контакты КМ2 (они будут замкнуты при обесточенном состоянии катушки КМ2), размыкающие контакты тепловых реле КК.

Контактор КМ1 своими силовыми контактами подключит обмотки статора к сети в следующем порядке: фазу А к выводу С1, фазу В к С2, фазу С к С3.

Торможение осуществляется кнопкой остановки SB3. Контактор КМ1 теряет питание, обесточивает обмотки статора, для осуществления реверса нажимают кнопку SB2. Это приводит к включению контактора КМ2 и подаче на обмотки статора АД напряжения источника питания с другим порядком

чередования фаз: фаза А к выводу С3, фаза В к выводу С2, фаза С к выводу С1. Магнитное поле АД изменит свое направление вращения и начнется процесс реверса, который может состоять из двух этапов: торможения противовключением (если ротор вращается по инерции в направлении “Вперед”) и разбега в противоположную сторону.

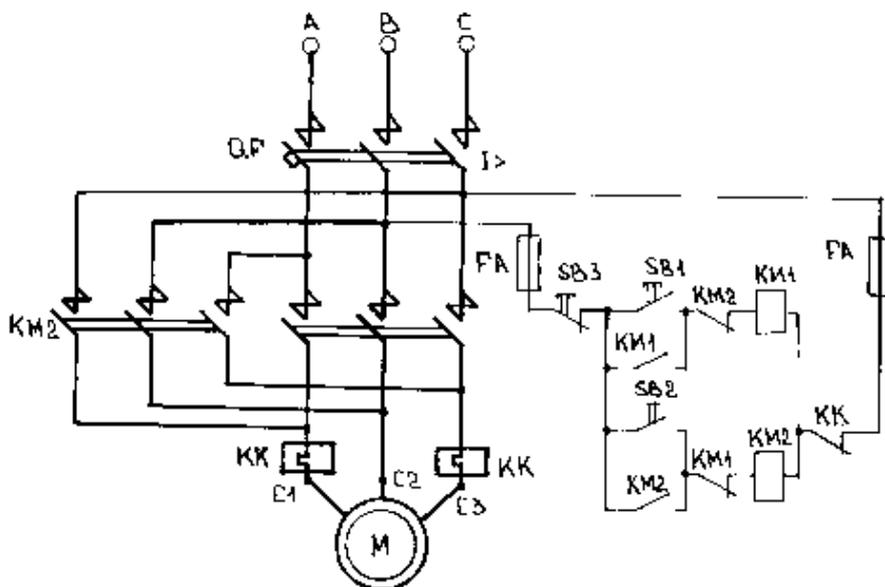


Рис. 6.13. Схема

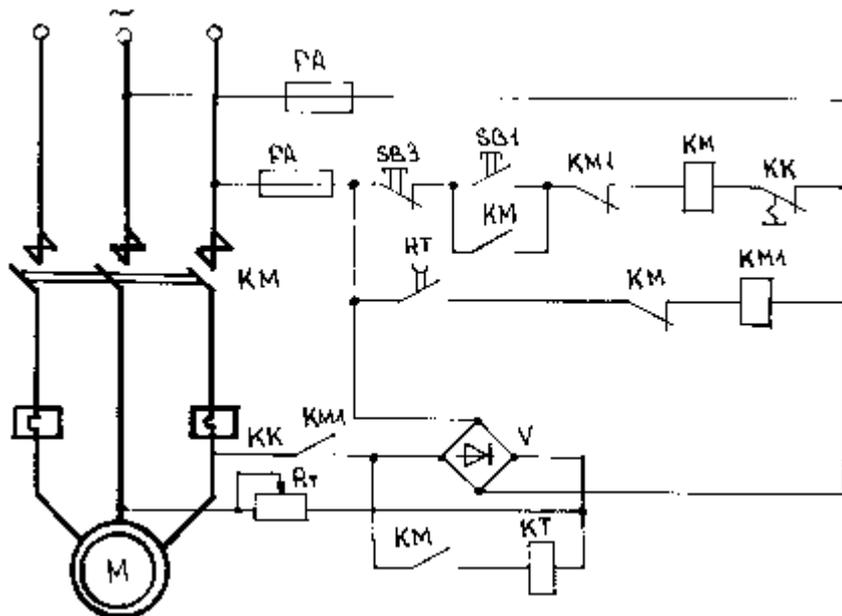
управления реверсивным короткозамкнутым асинхронным двигателем

Если предположить, что при одновременном нажатии кнопок SB1 и SB2 замкнутся силовые контакты KM1 и KM2, то произойдет короткое замыкание токоподводящими проводами. Во избежание этого в схеме используется типовая электрическая блокировка. Она предусматривает перекрестное включение размыкающих контактов аппарата KM1 в цепь катушки аппарата KM2 и наоборот.

Кроме электрической блокировки может быть использована специальная механическая блокировка. Она представляет собой рычажную систему, которая предотвращает втягивание одного контактора, если включен другой.

Защиту от коротких замыканий обеспечивает автоматический выключатель QF. Его наличие исключает также возможность работы привода при обрыве одной фазы.

Схема управления пуском и динамическим торможением асинхронных двигателей. Эта схема предусматривает прямой пуск и динамическое торможение в функции времени. Динамическое торможение является одним из вариантов генераторного режима АД независимо от сети переменного тока. Для его осуществления обмотки статора АД отключают от сети переменного трехфазного тока и подключают к источнику постоянного тока (рис. 6.14). Цепь фазного ротора при этом может быть замкнута накоротко или на добавочные



резисторы. Рис. 6.14.
 Схема управления пуском и динамическим торможением асинхронного двигателя

Постоянный ток протекает по всем обмоткам статора или по части их, создает постоянное во времени магнитное поле. В обмотках вращающегося по инерции ротора будет наводиться ЭДС и потечет ток, который создаст свое неподвижное в пространстве магнитное поле. Взаимодействие тока ротора с результирующим магнитным полем АД приведет к появлению тормозного момента и остановке ротора.

Преобразуемая при этом механическая энергия движущихся частей в электрическую рассеивается в виде тепла.

Пуск двигателя осуществляется нажатием кнопки SB1 (см. рис. 6.14).

После чего срабатывает линейный контактор KM, подключающий обмотки статора к трехфазному источнику питания. Замыкающий блок-контакт KM в цепи реле времени KT вызовет его срабатывание. В результате чего контакты этого реле замкнутся в цепи контактора торможения KM1, но этот контактор не работает, так как перед этим произойдет размыкание блок-контакта KM.

Нажатием кнопки SB3 производится остановка АД. Катушка линейного контактора теряет питание и контакты KM в цепи обмоток статора размыкаются, отключая двигатель от сети переменного тока.

Одновременно с этим замыкается размыкающий блок-контакт KM в цепи катушки контактора торможения KM1; последний включается и подает в обмотки статора постоянный ток от выпрямителя V через резистор R_T и замыкающий блок контакт KM1. АД переходит в режим динамического торможения.

С потерей питания катушки KM, также размыкается замыкающий блок-контакт KM в цепи реле времени KT. Это реле, потеряв питание, начинает отсчет выдержки времени. Через промежуток времени, соответствующий останову двигателя, реле KT размыкает свои контакты в цепи катушки контактора KM1.

Обмотка статора отключается от источника постоянного тока и схема переходит в свое первоначальное состояние.

Задержкой срабатывания реле КТ и величиной регулируемого резистора R_T устанавливают время динамического торможения.

Схема управления реверсивным асинхронным двигателем с фазным ротором. Частоту вращения ротора асинхронного электродвигателя с фазным ротором можно регулировать, изменяя величину сопротивления в роторной цепи (см. подразд. 5.2).

Управлять такими электродвигателями возможно с помощью силовых и магнитных контроллеров (рис. 6.15). В настоящее время в подъемно-транспортных механизмах используются магнитные контроллеры, относящиеся к аппаратам дистанционного управления.

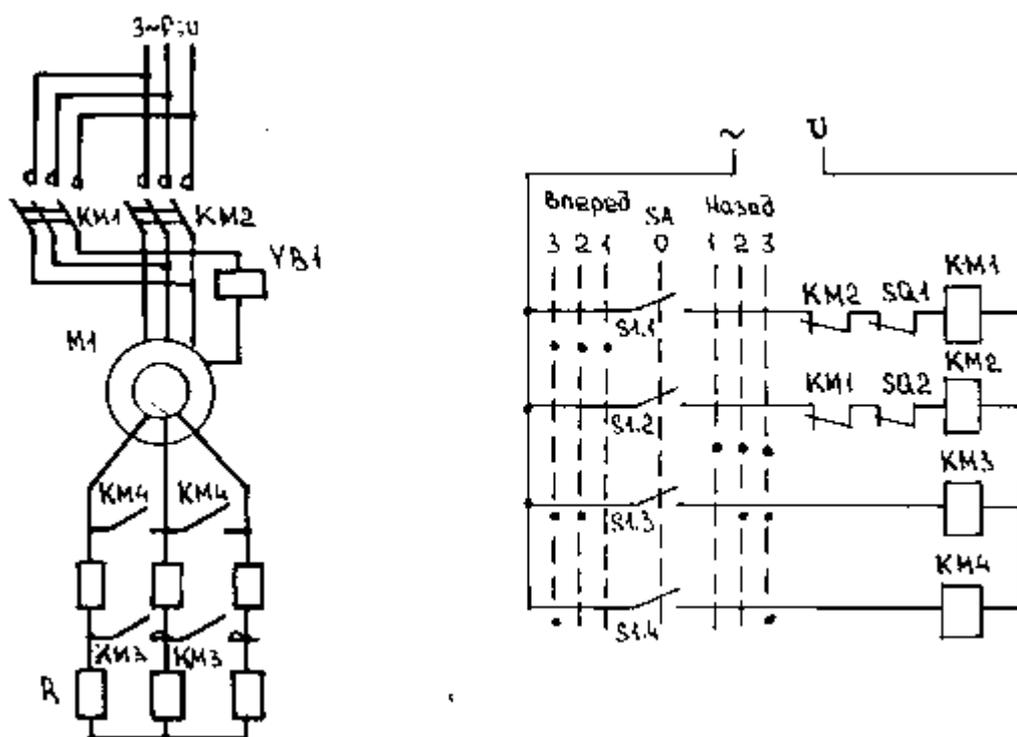


Рис. 6. 15. Схема управления трехфазным асинхронным двигателем с фазным ротором: а) силовая схема; б) схема управления

В первом положении командоконтроллера “Вперед” замыкается контакт S1.1, подавая питание на катушку. Контакт КМ1 подключает обмотки статора двигателя и тормозной электромагнит YB1 к сети. В цепь ротора электродвигателя при этом включено полное сопротивление пускорегулирующего реостата, и двигатель разгоняется по характеристике I (см. рис. 5.4) до установившейся частоты вращения $n_{уст.1}$ при заданном моменте сопротивления M_c .

Во втором положении замыкается контакт S1.3 командоконтроллера и включается контактор КМ3, который закорачивает часть сопротивлений

реостата. Двигатель переходит на работу по характеристике II, разгоняется до частоты вращения $n_{уст.II}$.

В третьем положении контроллера включается контактор КМ4, который закорачивает выводы обмотки ротора, и двигатель работает на естественной характеристике III с частотой вращения $n_{уст.III}$.

Для выключения двигателя необходимо контроллер перевести в нулевое положение. Вращение “Назад” осуществляется постановкой рукоятки магнитного контроллера на позицию 1 “Назад”, при этом включается контактор КМ2. Происходит смена чередования фаз в обмотках статора и начинается обратное вращение ротора при полном включенном пускорегулирующем резисторе роторной цепи. Дальнейший процесс управления аналогичен описанному выше.

Особенностью работы двигателей подъемно-грузовых лебедок является спуск груза. В этом случае груз не только преодолевает силы трения, но и стремится ускорить вращение двигателя в направлении спуска. Скорость двигателя очень быстро достигает синхронной, после чего двигатель начинает работать как генератор под действием силы тяжести груза, т.е., тормозя механизм. Если сопротивление в цепи ротора двигателя полностью закороченно, то скорость опускания груза на 5–10 % больше синхронной частоты вращения. Увеличение роторного сопротивления приводит к увеличению скорости спуска (а не к уменьшению, как это бывает при подъеме).

Схема автоматического пуска и торможения противовключением асинхронного двигателя с фазным ротором. Пуск двигателя совершается нажатием кнопки SB1 (вперед) или SB2 (назад), тем самым подается питание на катушку контактора КМ1 (или КМ2). Рассмотрим работу схемы при срабатывании контактора КМ1 (рис. 6.16).

Обмотки статора подключаются к сети, включается блокировочное реле РБ. Катушка РП не притягивает свой якорь из-за малой ЭДС ротора и размыкающий контакт РП замкнут. Затем замыкающим контактом РБ собирается цепь катушки контактора КП, шунтирующего своими контактами ступень сопротивлений R_n в цепи ротора.

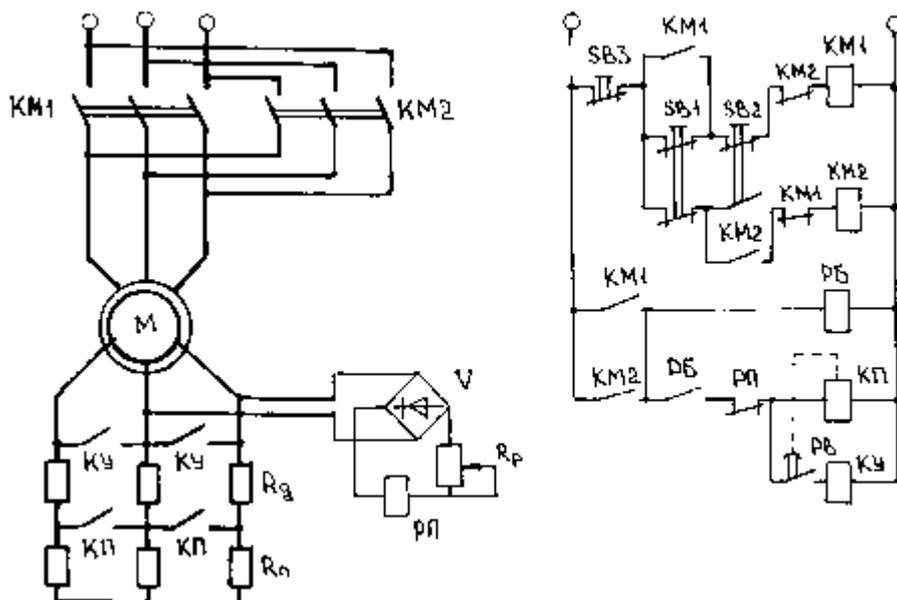


Рис. 6.16.

Схема торможения противовключением асинхронного двигателя с фазным ротором: а) силовая схема; б) схема управления

С помощью механического маятникового реле времени РВ, пристраиваемого к контактору КР, осуществляется выдержка времени, необходимая для некоторого разгона двигателя, после чего включается контактор КУ, шунтирующий сопротивления R_g в цепи ротора, и двигатель выводится на естественную характеристику.

Таким образом, пуск двигателя совершается в одну ступень с резистором в роторе R_g . Ступень резистора R_n служит для ограничения тока при торможении.

Если требуется реверсирование двигателя, то необходимо нажать на кнопку противоположного направления вращения (в нашем примере на кнопку SB2), не воздействуя на кнопку SB3 (стоп). При этом отключаются контакторы KM1 и КР. Последний – из-за размыкания контакторов KM1 и РБ. Как только замкнется размыкающий контакт KM1 в цепи катушки контактора KM2, он включится, и двигатель переведется в режим торможения противовключением.

В приведенной на рис. 6.16 схеме реализуется управление торможением в функции угловой скорости (по величине ЭДС ротора, которая пропорциональна скольжению). Реле напряжения РП через выпрямитель V подключается к выводам обмотки ротора. Реле настраивается с помощью резистора R_p так, что при начале торможения, когда направления вращений магнитного поля статора и ротора противоположны ($S=2$), оно срабатывает, а при угловой скорости, близкой к нулю ($S=1$), когда напряжение на его катушке снижается почти вдвое, реле отпускает свой якорь. При пуске в обратную сторону реле РП не срабатывает, так как ЭДС ротора становится еще меньше, достигая нулевого значения при $S=0$.

После включения контактора KM2, когда произойдет реверсирование магнитного поля статора, срабатывает реле РП и своим размыкающим

контактором разорвет цепь катушки контактора КП, что обеспечит на период торможения введение всех резисторов в цепь ротора (R_g и R_n).
 Блокировочное реле РБ служит для создания временного разрыва в цепи катушки контактора КП, оно отключается одновременно с контактором КМ1, а включается только после замыкания контактов контактора КМ2. Когда контакты РБ сомкнутся, уже успеет сработать реле РП.

По окончании процесса торможения контакт РП закроется и контактор КП зашунтирует ступень сопротивления R_n . Затем произойдет изменение направления вращения ротора, то есть пуск в противоположном направлении (назад).

Если остановку двигателя производить кнопкой SB3, то обмотки статора отключатся от сети, но электрического торможения не произойдет, двигатель остановится под действием статического момента сопротивления на валу.

Схема пуска асинхронного двигателя с фазным ротором в функции времени. Упрощенная принципиальная схема пуска асинхронного двигателя с фазным ротором в функции времени [8] представлена на рис. 6.17. Пуск двигателя по этой схеме осуществляется в две пусковые ступени, при этом для большей надежности цепи управления подключены к сети постоянного тока.

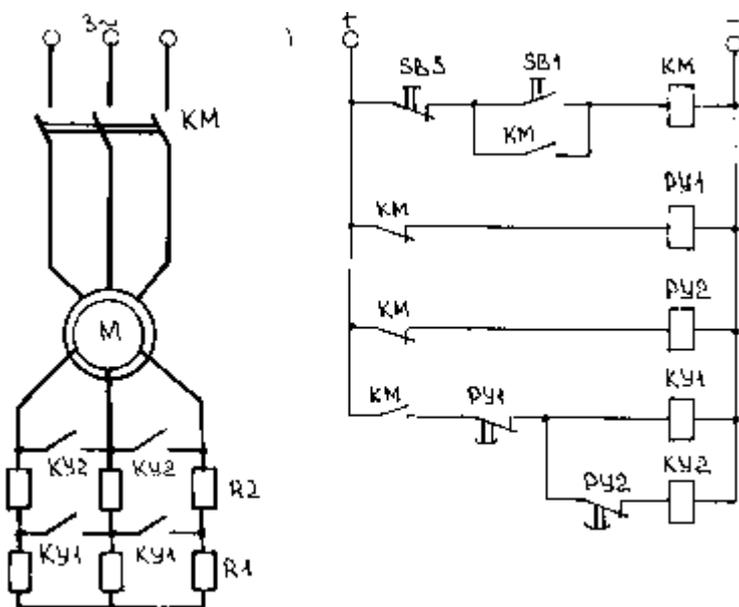


Рис. 6.17. Упрощенная

принципиальная схема пуска асинхронного двигателя с фазным ротором в функции времени: а) силовая схема; б) схема управления

При подключении цепей управления к источнику напряжения сразу включаются реле РY1 и РY2 через размыкающие блок-контакты КМ и КУ1. Реле без выдержки времени отключают катушки контакторов КУ1 и КУ2 от источника питания. Затем после нажатия кнопки SB1 и включения контактора КМ статор двигателя подключается к сети, а роторная цепь его замкнута на полностью включенные резисторы R1 и R2, так как силовые контакты контакторов КУ1 и КУ2 разомкнуты; начинается пуск АД.

Размыкающий контакт КМ в цепи катушки реле времени РУ размыкается, оно обесточивается, начинает отсчитывать выдержку времени при пуске на первой пусковой ступени. После выдержки времени реле РУ1 своим контактом замыкает цепь питания катушки контактора КУ1. Этот контактор зашунтирует пусковой резистор R1 своими силовыми контактами и снимает питание с реле времени РУ2 вспомогательным контактом КУ1. Реле РУ2 начинает отсчитывать выдержку времени, по окончании которой размыкающий контакт РУ2 замыкается, подключая к источнику питания катушку КУ2, в результате чего зашунтируется вторая ступень пускового сопротивления R2 и АД будет выведен на естественную характеристику.

Схема пуска асинхронного двигателя с фазным ротором в функции тока. Схема, приведенная на рис. 6.18, обеспечивает пуск асинхронного двигателя с фазным ротором в одну ступень в функции тока и динамическое торможение в функции скорости и включает оборудование:

- электромагнитные контакторы КМ1, КМ2, КМ3;
- реле тока КА;
- реле контроля скорости SR;
- реле напряжения KV;
- понижающий трансформатор Т;
- выпрямитель VD;
- предохранители FA1, FA2;
- тепловые реле КК1, КК2.

Реле контроля скорости SR размыкает свои контакты в цепи катушки электромагнитного тормоза КМ3, когда частота вращения уменьшается до значения, близкого к нулю, а замыкает, когда начнется разгон АД.

После включения автоматического выключателя нажимается кнопка пуска SB1. По известной схеме включается контактор КМ1, через силовые контакты которого статор АД подключается к сети. Бросок тока в цепи ротора, когда еще не замкнуты контакты КМ2, вызовет включение реле тока КА, последнее разорвет свои контакты в цепи катушки КМ2. Таким образом, разбег начинается с пусковым сопротивлением R_{2g} в цепи ротора.

Схема панели управления асинхронным двигателем типа ПДУ 6220.

Панель типа ПДУ 6220 входит в состав нормализованной серии панелей управления АД с фазным и короткозамкнутым роторами и обеспечивает пуск в две ступени и динамическое торможение в функции времени (рис. 6.19).

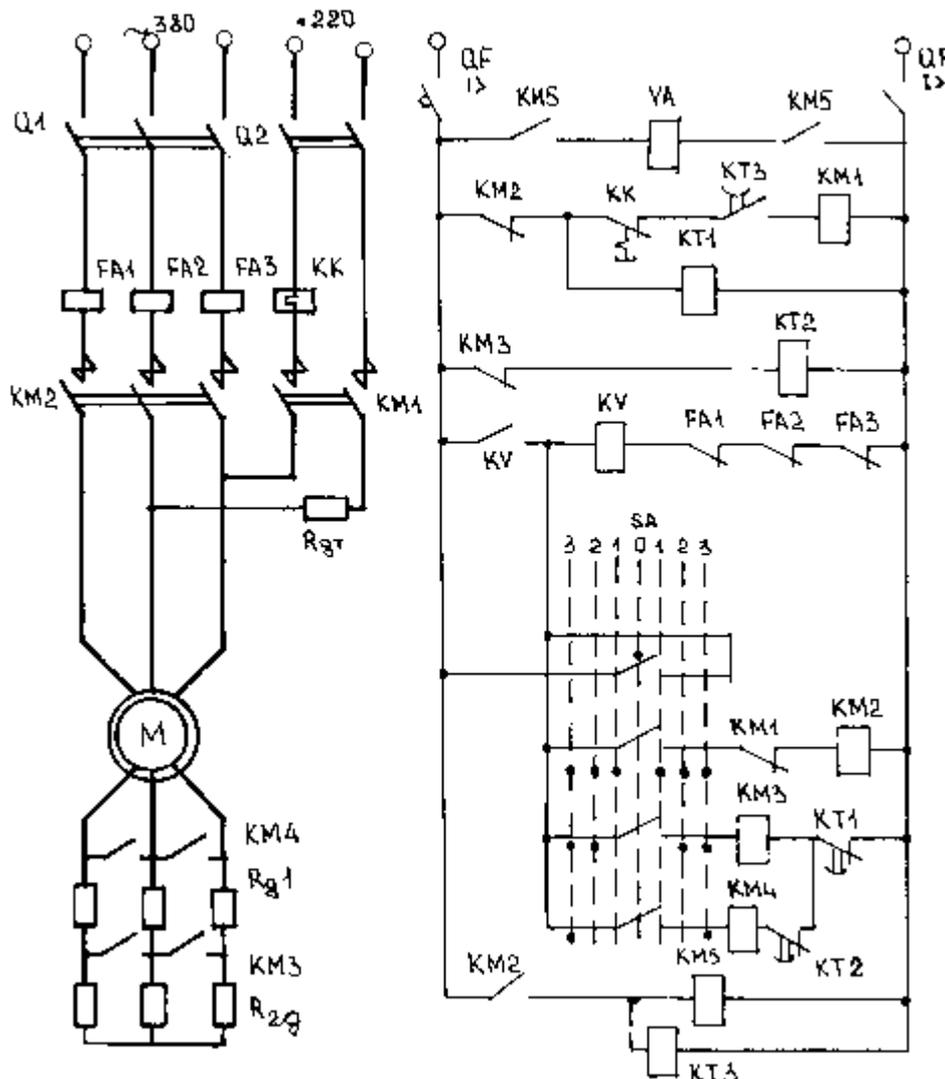


Рис. 6.19. Схема панели

управления асинхронного двигателя типа ПДУ 6220

При подаче на схему напряжений постоянного тока 220 В и переменного 380 В тока (замыкание рубильников Q1, Q2 и автомата QF) происходит включение реле времени KT1, чем двигатель подготавливается к пуску с полным пусковым резистором в цепи ротора.

Одновременно с этим, если рукоятка командоконтроллера находится в нулевой (средней) позиции и максимально-токовые реле FA1–FA3 не включены, включается реле защиты KV от понижения питающего напряжения и готовит схему к работе замыканием своего блок-контактора KV.

Пуск двигателя осуществляется по любой из двух искусственных характеристик или по естественной характеристике, для чего рукоятка SA должна устанавливаться соответственно в положение 1,2 или 3. При переводе рукоятки в любое из указанных положений SA включается линейный контактор KM2, подключающий АД к сети, контактор управления тормозом KM5, подключающий к сети катушку YA электромагнитного тормоза,

который при этом растормаживает двигатель, и реле времени КТЗ, управляющее процессором динамического торможения.

Перевод контроллера SA в положение 2 или 3 позволяет включить контакторы ускорения КМ3 и КМ4, скорость двигателя увеличивается.

Торможение АД происходит за счет перевода рукоятки SA в нулевое положение. Тогда отключаются контакторы КМ2 и КМ5, а включается контактор динамического торможения КМ1, который подключает АД к источнику постоянного тока. В результате этого будет идти интенсивный процесс комбинированного (механического и динамического) торможения АД, который закончится после отсчета реле своей выдержки времени, соответствующей времени торможения.

Схема управления тиристорным приводом переменного тока. Схема управления тиристорным приводом переменного трехфазного тока содержит тиристорный преобразователь, который включается в цепь статорных обмоток двигателя и осуществляет фазовое регулирование подводимого к двигателю напряжения (рис. 6.20).

Последовательно со статорными обмотками двигателя встречно-параллельно через быстродействующие предохранители FU включены три пары тиристоров преобразователя U. Регулированием угла открывания тиристоров с помощью системы управления СУ изменяется напряжение, подводимое к двигателю, а следовательно, и его момент.

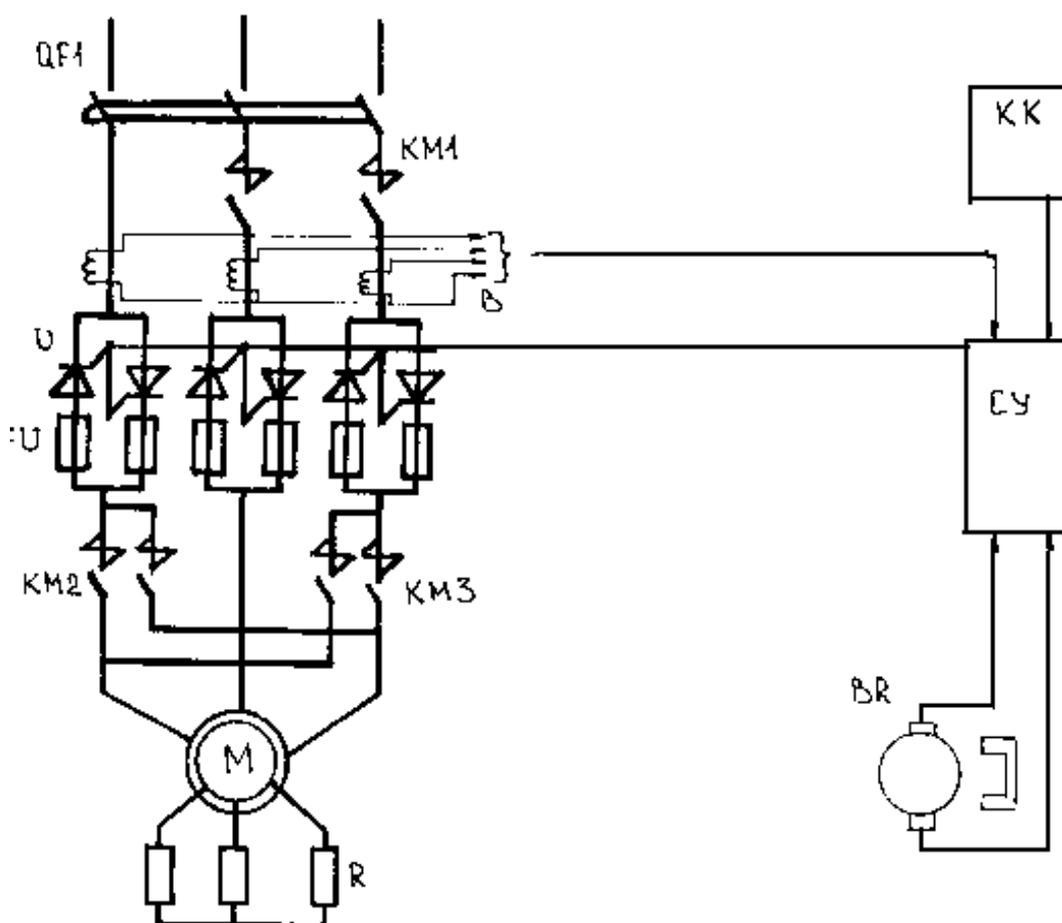


Рис. 6.20. Схема управления асинхронного двигателя с тиристорным преобразователем: QF – автоматический выключатель; В – датчик тока; U – тиристорный преобразователь; FU – предохранитель; КК – командоконтроллер; СУ- система управления тиристорным преобразователем; BR – тахогенератор; КМ – электромагнитные контакторы

В результате получается ряд мягких механических характеристик, обеспечивающих плавный пуск и разгон механизма. При использовании обратной связи по частоте вращения, осуществляемой с помощью тахогенератора BR, жесткость механических характеристик увеличивается, что позволяет получить устойчивые промежуточные и низкую посадочную скорости.

Схемой предусмотрен контактный реверс двигателя контакторами КМ2 и КМ3. Переключение контакторов происходит при отсутствии тока в главной цепи под контролем датчика тока В. Бестоковая коммутация значительно повышает износостойкость аппаратуры.

С помощью тиристорного преобразователя может быть получено и регулируемое динамическое торможение, а также торможение противовключением. Управление углом открывания тиристорных преобразователей может осуществляться ступенчато командоконтроллером КК, или плавно другим аппаратом, например, сельсином.

6.5. Крановые защитные панели

Крановые защитные панели применяют при контроллерном управлении двигателями крана. Конструкция защитной панели представляет собой металлический шкаф с установленной в нем аппаратурой. Шкаф закрыт дверью с замком. Второй замок заблокирован с главным рубильником, то есть дверь панели не откроется, пока не будет выключен рубильник, обесточивающий электрооборудование. Размещаются защитные панели обычно в кабине крана. На защитной панели установлена электроаппаратура, осуществляющая следующую защиту:

- максимальную от токов короткого замыкания и значительных (свыше 250 %) перегрузок крановых электродвигателей;
- нулевую, исключающую самозапуск двигателей после перерыва в электроснабжении;
- концевую, обеспечивающую автоматическое отключение электроприводов при переходе механизмами крана предельно допустимых положений.

Панели допускают подключение от трех до шести двигателей (рис. 6.21). В зависимости от числа защищаемых двигателей и соотношения их мощностей панели комплектуются соответствующим количеством блок-реле максимального тока, которые при срабатывании воздействуют на один, общий для группы из двух-четырех реле, контакт. Этим уменьшается число

контактов в схеме управления [9]. На рис. 6.21 показана принципиальная электрическая схема защитной панели.

Максимальная защита двигателей выполняется с помощью реле максимального тока. Размыкающие контакты реле включаются последовательно с катушкой линейного контактора, а катушки реле – в силовые цепи электродвигателей. В приведенном на схеме примере защита выполнена с помощью реле РЭО-401, сгруппированных в два блока. Размыкающие контакты KF1 и KF2 блоков включены последовательно с катушкой KM1 линейного контактора. Катушки реле KF4 и KF5, KF6 и KF7, KF8 и KF9 включены в две фазы статорной цепи каждого электродвигателя. В третью фазу включена катушка реле KF3, общая для всех двигателей.

Увеличение тока сверх допустимых значений в цепи двигателя вызывает срабатывание соответствующего реле. При этом размыкается контакт блока KF1 или KF2, в котором это реле установлено, отключается катушка KM1 и разомкнувшиеся силовые контакты линейного контактора отсоединяют электрооборудование крана от внешней сети.

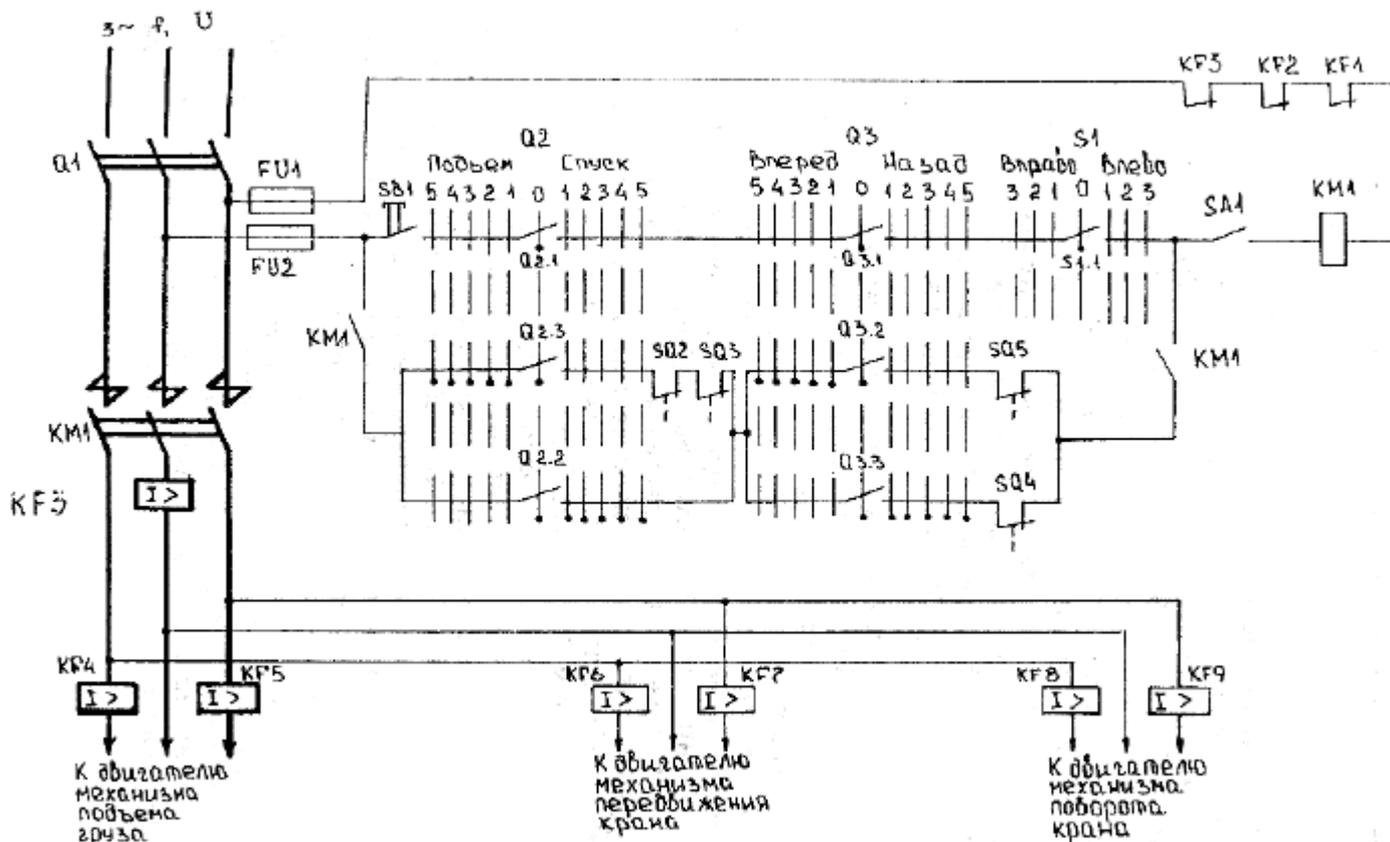


Рис. 6.21. Схема крановой защитной панели

Нулевая защита исключает возможность самопроизвольных пусков двигателей, отключенных вследствие срабатывания защитных устройств или перерыва подачи электроэнергии. После срабатывания любого из аппаратов защиты или конечных выключателей вновь включить схему в работу можно

лишь после возврата всех контроллеров в нулевое положение. Т.е. защита выполняется с помощью контактов силовых контроллеров и командоконтроллеров, замкнутых только в нулевом положении рукояток управлений. Эти контакты Q2.1, Q3.1 и S1.1 включаются в цепь катушки KM1 последовательно с кнопкой включения панели SB1. Поэтому катушка линейного контактора KM1 может быть включена только при условии, что рукоятки управления всех контроллеров и командоконтроллера находятся в нулевом положении. После включения контактора рукоятки управления могут быть переведены в любое положение, так как замкнутся блок контакты KM1, и участок цепи с кнопкой SB1 и нулевыми контактами Q2.1, Q3.1 и S1.1 будет заблокирован другой параллельной цепью.

Концевая защита включает в себя конечные выключатели. Приводы отключаются размыкающими контактами этих выключателей ограничителей крайних положений.

Если цепь статора двигателя замыкается контактами силового контроллера, то контакты конечных выключателей включаются в цепь катушки линейного контактора последовательно с контактами силового контроллера. В рассматриваемой схеме конечный выключатель SQ5, ограничивающий движение “Вперед”, соединен последовательно с контактом Q3.2 силового контроллера, а конечный выключатель SQ4, ограничивающий движение “Назад”, – последовательно с контактом Q3.3 контроллера.

Если ограничитель передвижения “Вперед” срабатывает, контакт размыкается, обесточив катушку KM1, и линейный контактор отключает электрооборудование крана от сети. Чтобы повторно включить линейный контактор KM1, необходимо установить рукоятку контроллера Q3 в нулевое положение и нажать кнопку SB1, но механизм передвижения может быть включен только в обратном направлении. Схема защиты работает аналогично при включении механизма передвижения в направлении “Назад”.

По такому же принципу выполнена защита двигателя грузовой лебедки. Для грузовой лебедки ограничиваются высота подъема и грузоподъемность, поэтому последовательно с контактором Q2.3 силового контроллера включен конечный выключатель SQ2 ограничения высоты подъема и конечный выключатель SQ3 ограничения массы груза.

Если статор двигателя замыкается контактами магнитного пускателя, то контакты конечного выключателя в цепи управления включаются последовательно с катушкой этого аппарата (см. рис. 6.15). Выключение конечного выключателя при таком варианте схемы приведет к отключению только одного механизма. Выключатель SA1 предназначен для аварийного отключения панели.

Цепь защиты в электрических схемах различных кранов отличается от приведенного примера только количеством аппаратов и последовательностью включения их в цепь.

При автоматическом управлении требуется применение технических средств, обеспечивающих эффективную и точную работу электроприводных комплексов и установок. Для этой цели все в большей степени применяется вычислительная техника, которая обеспечивает качественное выполнение заданной программы технического процесса.

К такой вычислительной технике можно отнести аналоговые вычислительные машины (АВМ) и цифровые вычислительные машины (ЦВМ).

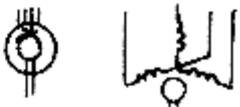
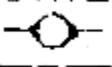
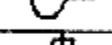
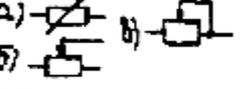
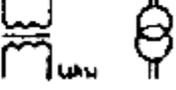
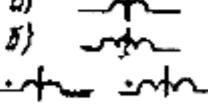
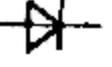
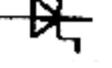
Для решения задач управления наиболее приемлем второй тип вычислительной техники – ЦВМ. В этом случае составляется алгоритм (описание процесса управления), по алгоритму составляется программа на одном из машинных языков, который вводится в ЦВМ.

Примером эффективного применения ЦВМ для управления являются приводы мощных экскаваторов, прокатных станков, где технологические процессы повторяющиеся и многократны.

Приложение 1

УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

Наименование	Обозначение
Переменный ток. Переменное напряжение.	
Постоянный ток. Постоянное напряжение.	
Полярность: а) отрицательная; б) положительная	а) - б) +
Переменный ток с числом фаз m , частотой f и напряжением U (ток переменный, трехфазная цепь частотой 50 Гц и напряжением 380 В)	$m \sim f, U$ 3~50 Гц, 380
Заземление (соединение провода с землей)	
Корпус (машины, аппарата, прибора)	
Неэлектрическое соединение (линия механической связи частей машин, аппаратов или приборов): а) основное; б) при небольшом расстоянии между элементами и их составными частями	а) - - - - б)
Линии электрической связи (провода, кабели, шины), пересекающиеся, электрически не соединенные	
Линии электрической связи (провода, кабели, шины), пересекающиеся, электрически соединенные	
Ответвление проводов, кабелей, шин	
Асинхронный трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором	
Асинхронный трехфазный электродвигатель с шестью выведенными концами фаз обмотки статора и с короткозамкнутым ротором	
Асинхронный трехфазный электродвигатель с фазным ротором	
Трехфазная обмотка, соединенная в звезду	
Трехфазная обмотка, соединенная в звезду с выведенной нейтральной (средней) точкой	
Трехфазная обмотка, соединенная в треугольник	
Асинхронный трехфазный электродвигатель с фазным ротором; обмотка статора соединена в звезду с выведенной нейтральной точкой	

Синхронный трехфазный генератор с обмоткой возбуждения на роторе; обмотка статора соединена в звезду с выведенной нейтральной точкой	
Обмотка независимого и параллельного возбуждения машины постоянного тока	
Обмотка последовательного возбуждения машины постоянного тока	
Обмотка добавочных полюсов, компенсационная обмотка машины постоянного тока	
Якорь с обмоткой, коллектором и щетками	
Машина постоянного тока с независимым возбуждением	
Электроизмерительный прибор (например, вольтметр)	
Плавкий предохранитель	
Нерегулируемый резистор	
Нерегулируемый резистор с отводами	
Регулируемый резистор (реостат): а) общее обозначение; б) с разрывом цепи; в) без разрыва цепи	
Конденсатор нерегулируемый (общее обозначение)	
Обмотка трансформатора, магнитного усилителя	
Ферромагнитный сердечник (магнитопровод) трансформатора, магнитного усилителя	
Однофазный трансформатор с ферромагнитным сердечником	
Трехфазный трансформатор с ферромагнитным сердечником. Соединение обмоток: звезда-звезда	
Обмотки магнитного усилителя, изображенного разнесенным способом: а) рабочая (силовая) обмотка; б) управляющая обмотка. Примечание: начало обмотки обозначают с помощью точки	
Штепсельное разъемное соединение: а) гнездо; б) штепсель; в) разъем штепсельный двухполюсный	
Полупроводниковый диод. Полупроводниковый выпрямитель (столб полупроводниковый). Примечание: вершина треугольника указывает направление наибольшей проводимости	
Управляемый диод (тиристор) с управляющим выводом в области р	

УСЛОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

Вид элемента	Обозначение	Пример обозначения
Устройство (общее обозначение)	A	Тиристорное преобразовательное устройство AT
Преобразователь неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов)	B	Сельсин-датчик BC , микрофон BM Сельсин-приемник BE Тахогенератор BR
Конденсатор	C	C
Разные элементы	E	Нагревательный элемент EK Осветительная лампа EL
Защитное устройство	F	Плавкий предохранитель FU
Источники питания	G	Генератор G , батарея GB
Устройства индикационное и сигнальное	H	Сирена, звонок HA Световое табло HL
Контакторы, пускатели, реле	K	Контактор магнитный, пускатель KM Реле токовое KA Реле электротепловое KK Реле напряжения KV Реле времени KT
Электродвигатели	M	Электродвигатель M
Измерительные приборы	P	Амперметр PA , вольтметр PV
Выключатели и разъединители в силовых цепях	Q	Рубильник Q Автоматический выключатель QF
Резисторы	R	Реостат R , потенциометр RP
Выключатели и переключатели в цепях управления и сигнализации	S	Выключатель, переключатель SA Выключатель кнопочный SB Автомат в цепях управления SF Конечный выключатель SQ
Трансформаторы и автотрансформаторы	T	Трансформатор тока TA Трансформатор напряжения TV
Полупроводниковые приборы	V	Диод VD , транзистор VT Тиристор VS
Соединения контактные	X	Токосъёмник, скользящий контакт XA Штырь XP , гнездо XS
Устройства механические с электромагнитным приводом	Y	Электромагнит YA , тормоз с электромагнитным приводом YB

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Таблица 1

Технические характеристики плавких предохранителей

Изготовление	Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	
			предохранителя	вставки плавкой
С наполнителем	НПН2-60	~500 (50, 60 Гц)	63	6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 63
С наполнителем	ПН2-100	~380 (50, 60 Гц) -220	100	31,5,40,50,63,80,100
	ПН2-250		250	80,100,125,160,200,250
	ПН2-400		400	200,250,315,355,400
	ПН2-600		630	315, 400, 500, 630
	ПП17-3900	~380 (50, 60 Гц) -220	1000	500, 630, 800, 1000
Резьбовые	ПРС-6	-500 (50, 60 Гц) -440	6	1, 2, 4, 6
	ПРС-25		25	4, 6, 10, 16, 20, 25
	ПРС-63		63	20, 25, 40, 63
	ПРС-100		100	40, 63, 80, 100
Без наполнителя	ПР-2-15	~500 (50, 60 Гц) - 440	15	6, 10, 15,
	ПР-2-60		60	15, 20, 25, 35, 45, 60
	ПР-2-100		200	60, 80, 100, 200
	ПР-2-200		350	100, 125, 160, 200
	ПР-2-350		100	200, 225, 260,300,350
	ПР-2-600		600	350, 439, 500, 600,
ПР-2-1000	1000	600, 700, 850, 1000		
Быстродействующие с наполнителем	ПП57-3100	~220,380, 660.. 2000 (50, 60 Гц) -160..1000	100	25, 40, 63, 100
	ПП57-3400		250 D	160, 250
Быстродействующие	ПН65-80/100	~380 (50, 60 Гц)	100 250	40, 63, 100,
	-ПН65-80/250		400 630	160, 250
	ПН65-80/400			315, 400
	ПН65-80/630			500, 630
	ПН65-60/100	~660 (50, 60 Гц)	100 250	63, 100
	ПН65-60/250		400 630	160, 250
	ПН65-60/400			315, 400
	ПН65-60/630			500, 630

Таблица 2

**Технические характеристики
автоматических воздушных выключателей**

Тип	Номиналь- ный ток, А	Номинальное напряжение, В	Число полюсов	Масса, кг
AE1031	25	~380 (50, 60 Гц)	1	0,3
AE2020	16	~380, 660	2, 3	0,44
AE2030	25	(50, 60 Гц)	1, 2, 3	3,0
AE2040	63	-440, -220	1, 2, 3	3,0
AE2050	100		2, 3, 4	3, 35
AK63-1МГ	63	~500 (50, 60 Гц) -440, -220	1	0,65
AK63-1М			2	1,2
AK63-2МГ			3	1,5
AK63-2М				
AK63-3МГ				
AK63-3М				
AK50-2МГ	50	~400 (400 Гц)	2	0,9
AK50-2М		400 (50, 60 Гц)	3	1,2
AK50-3МГ		-320		
AK50-3М				
AP50B2MT	63	~500 (50, 60 Гц)	2	1
AP50B2M		-220		
AP50B3MT	63	~500 (50, 60 Гц) -220	3	1,3
AP50B3M				
AP50B2M3TH				
AP50B2MH				

Таблица 3

Контакты электромагнитные (К. 07.13. 37-78, К. 07.13. 03-83)

Наименование контактора	Тип			Номи- нальный ток глав- ной цепи, А	Номи- нальное напряже- ние сило- вой цепи, В
	2-полюс- ный	3-полюс- ный	4-полюсный		
Постоянного тока	МК1-20	МК1-21	МК1-22	40	220, 440
	МК1-02	—	—	40	
	МК2-20	—	—	63	
	МК2-02	—	—	63	
	МК3-20	—	—	100	
	МК3-11	—	—	100	
	МК4-11			160	

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
Переменного тока с управлением, постоянным током	МК1-20	МК1-30	МК2-22	40	380, 500, 660
	МК2-20	МК2-30Е	—	63	
	МК2-20Е	МК3-30Е	—	100	
	МК3-20Е	МК1-30	—	25	
	МК1-20	МК2-30	—	40	
	МК2-20	МК2-30Ж	—	63	

Таблица 4

Контроллеры кулачковые (К.07.08.02-79, К.07.52.07-84)

Тип	Исполнение управляемого двигателя	Число рабочих положений	Номинальный ток кулачкового механизма	Сила тока, А, при ПВ= 40 %		Масса, кг
				статора якоря	ротора двигателя	
ККТ-61А	Асинхронный с фазным ротором	5-0-5	63	100	100	15
ККТ-61А		5-0-5	63	100	100	15
ККТ-61А		5-0-5	63	100	100	15
ККТ-61А		5-0-5	63	—	150	15
ККТ-61А		5-0-5	63	—	150	15
ККТ-61А	Асинхронный с короткозамкнутым ротором	1-0-1	63	75	—	15
КВ1-01	Двигатель постоянного тока	6-0-6	63	80		45
КВ1-02		5-0-5	63	80		45

Таблица 5

Командоаппараты и командоконтроллеры кулачковые
регулируемые (К.07.10.01-82)

Серия	Тип	Общее число цепей	Номиналь- ный ток, А	Номинальное напряжение, В	Масса, кг
КА4000	КА4044	4	16	~500 (50, 60 Гц) -440	16
	КА4048	4			18
	КА4054	6			19
	КА4058	6			22
КА4100	КА4148	8	16		61
	КА4168	16			98
	КА4188	24			103
КА4200	КА4269	16	16		133
	КА4289	24			156
КА4600	КА4658	5	16		29
КА410А	КА414А	4	16	12	
	КА416А	6		15	
КА420А	КА424А	4	16	14	
	КА426А	6		16	

Таблица 6

Кнопки, кнопочные посты и переключатели управления
(К.077.12.05-82, К.07.12.10-82)

Серия	Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А
1	2	3	4
Кнопки управления			
КМЕ	КМЕ4110 КМЕ4210 КМЕ4510 КМЕ5110 КМЕ5510 КМЕ6210 КМЕ6510	~500 (50, 60 Гц) -220	10
Выключатели кнопочные			
КЕ	КЕ01 КЕ021 КЕ031 КЕ041 КЕ081 КЕ131 КЕ141 КЕ171 КЕ181 КЕ191 КЕ201	~500 (50, 60 Гц) -220	10

1	2	3	4
Посты управления кнопочные			
ПКЕ	ПКЕ112 ПКЕ122 ПКЕ212 ПКЕ222 ПКЕ612 ПКЕ622 ПКЕ712 ПКЕ722	~ 500 (50, 60 Гц) -440	10
ПКУ	ПКУ11-21 ПКУ12-21 ПКУ13-15 ПКУ14-15 ПКУ14-19 ПКУ15-19	~600 (50, 60 Гц) -440	10 2,5 6
КУ	КУ121 КУ122 КУ123	~380 (50 Гц) -440	4 4
Переключатели			
ПЕ	ПЕ011 ПЕ012 ПЕ021 ПЕ022 ПЕ031 ПЕ032 ПЕ041 ПЕ042	~500 (50, 60 Гц)	10

Таблица 7

Выключатели (К. 07. 11. 05-83, К. 07. 11.18-82, К. 07.11-82)

Тип (серия)	Номинальное напряжение, В	Минимальное (рабочее) напряжение, В	Номи- наль- ный ток, А	Усиление срабаты- вания Н	Мас- са, кг
Конечные					
КУ701А	~500	24	10	100	2,7
КУ703А	(50, 60 Гц)			100	9,9
КУ704А	-440			200	2,7
КУ706А				100	3,3
Путевые					
ВП15	~600	24	16	8	0,59
ВП16	(50, 60 Гц)	24	10	50	0,95
ВП19	-440	12	10	1,2	0,410
ВП62		24		15	0,475
ВП17-21	~380 (50,60 Гц)	24	10	10	0,23
ВП61	-220	24	10	15	0,475

Таблица 8

Реле управления
(К.07.22.08-81, К.07.22.09-81, К.07.21.06-81, К. 07. 23. 09-83)

Тип	Число контактов		Пределы регулирования выдержки времени, с, при		Напряжение (ток) втягивания, % номинального
	замыкающих	размыкающих	отключения катушки	закорачивании катушки	
Реле времени постоянного тока					
РЭВ-811	1	1	0,25...1	0,4...1,5	—
РЭВ-812	1	1	0,8...2,5	0,9... 2,8	—
РЭВ-813	1	1	2...3,5	2,2...3,8	—
РЭВ-814	1	1	3...5	3,8...5,5	—
РЭВ-815	2	2	0,25...0,6	0,4...0,9	—
РЭВ-816	2	2	0,5...1,5	0,6...1,7	—
РЭВ-817	2	2	1,2...2,5	2,3...2,7	—
РЭВ-818	2	2	2,0...3,5	2,2...3,8	—
РЭВ-81	—	1	0,15...1	0,25...1,3	—
РЭВ-881	1	1	4,5...8	5...9,0	—
РЭВ-882	1	1	7...12	8...13	—
РЭВ-883	2	2	3...6	4...7	—
РЭВ-884	2	2	5...10	6...1	—
Реле напряжения					
РЭВ-821	1	1	—	—	25...80
РЭВ-825	2	2	—	—	35...80
РЭВ-84	1	—	—	—	30...60
РЭВ-311	1	—	—	—	25...85
Реле минимального тока					
РЭВ-830	1	1	—	—	30...80
РЭВ-86	1	—	—	—	30...80
РЭВ-312	1	—	—	—	30...80
Реле максимального тока					
РЭВ-570	1	1	—	—	70...300
РЭВ-571	1	—	—	—	70...200
Реле промежуточное					
РПУ-0	3	—	—	—	85
РПУ-1	4	4	—	—	85
РПУ-2	2	2	—	—	85
РПУ-3	4	4	—	—	85
ПЭ-21	4	4	—	—	85
РЭВ-822	1	1	—	—	65
РЭВ-826	2	2	—	—	65

Реле электротепловые (К.07.24.02-82, К.07.24.06-84)

Тип	Номинальный ток, А	Номинальный ток теплового элемента, А	Диапазон регулирования тока несрабатывания, А
Токовые			
РТЛ-10	25	0,14...0,21	0,1... 25
РТЛ-20	80	27...71,5	23...80
РТЛ-30	200	90...175	75...20
РТТ-0	10	0,2...10	0,17...10
РТТ-1	25	0,2...25	0,17...25
РТТ-2	63	10...63	8,5...63
РТТ-3	160	50...160	42,5...60
РТТ-4	630	125...630	106...630
Токовые двухполюсные			
ТРН-10А	3,2	0,32 ... 3,2	0,25...4
ТРН-10	10	0,5...10	0,37...10
ТРН-25	25	5...25	3,75...25
ТРН-40	40	12,5...40	9,4...40

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев П.С., Виноградов Н.В., Горяинов Ф.А. Проектирование электрических машин. – М.: Энергия, 1969. – 632 с.
2. Проектирование электрических машин / Под ред. И.П.Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.
3. Домборвский В.В., Хуторецкий Г.М. Основы проектирования машин переменного тока. – Л.: Энергия, 1974. – 247 с.
4. Петров Г.Н. Электрические машины. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 416 с.
5. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
6. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: Высшая школа, 1991. – 430 с.
7. Общая электротехника / Под ред. В.С.Пантюшина. – М.: Высшая школа, 1970. – 568 с.
8. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
9. Зимин Е.Н., Преображенский В.И., Чувашов И.И. Электрооборудование промышленных предприятий и установок. – М.: Энергоиздат, 1981. – 552 с.