

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Ульяновский государственный технический университет

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторным работам

Составители: Фалова С.И.  
Коробко А.В.

Ульяновск 2006

УДК 612.3(076) ББК31.29Ш

Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов: Методические указания к лабораторным работам / Сост. Фалова С.И., Коробко А.В. –Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 64 с.

Данные методические указания написаны в соответствии с учебной программой курса «Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов» для студентов специальности 14060465 «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов».

Изложены общие сведения о подъемно-транспортных машинах, компрессорных станциях и системах программного управления технологическими установками и производственными объектами.

Приведены описания лабораторных установок, программы выполнения лабораторных работ, методики простейших расчетов и некоторые справочные данные.

Рецензент. канд. техн. наук  
Быстрицкий В.Е.

Одобрено секцией методических  
пособий научно-методического  
совета университета

## Содержание

Правила по технике безопасности.....	3
1. Лабораторная работа № 1.....	4
2. Лабораторная работа № 2.....	15
3. Лабораторная работа № 3.....	25
4. Лабораторная работа № 4.....	36
5. Лабораторная работа № 5.....	43
6. Лабораторная работа № 6.....	49
7. Лабораторная работа № 7.....	59

### П РА В И Л А

#### по технике безопасности в лабораториях кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по ТБ и проверку знаний требований ОТ и ТБ.

1. Приступая к работе, студент должен убедиться, что все электрооборудование на лабораторном стенде обесточено.
2. Запрещено выполнять работу одному. В каждой бригаде должно быть 2-3 студента, 4-5 бригад на преподавателя.
3. Собранную схему можно включать в сеть только после проверки преподавателем и его разрешения.
4. Составление, разработка и выполнение каких-либо измерений в схеме производятся только в отключенном состоянии схемы по разрешению преподавателя.
5. Все операции следует производить одной рукой (правой). При этом не рекомендуется прикасаться какой-либо частью тела к окружающим предметам.
6. Перед включением напряжения следует убедиться в том, что регулирующие аппараты находятся в исходном положении.
7. Перед включением напряжения необходимо предупредить всех участников работы о подаче напряжения.
8. Запрещается самостоятельно устранять неисправности, необходимо отключить напряжение и поставить в известность преподавателя.
9. Перед началом работы необходимо заправить одежду, застегнуть рукава, убрать волосы под головной убор во избежание травм от вращающихся частей.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

## ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОДЪЕМНОГО КРАНА НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ. МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ТИПА П

### 1. Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение автоматизированного электропривода постоянного тока, применяемого для механизмов передвижения подъемных кранов.

### 2. Сведения о типовом автоматизированном электроприводе крановых механизмов с симметричной нагрузкой

К крановым механизмам с симметричной нагрузкой относятся механизмы передвижения и поворота. Их момент сопротивления не зависит от направления движения электродвигателя при движении вперед и назад на одинаковых характеристиках. Последнее обеспечивается применением в схемах управления контроллеров и командоконтроллеров с симметричной диаграммой замыкания контактов.

Управление крановыми электроприводами с применением силовых (ручных) контроллеров по существу является ручным управлением. Поэтому управление двигателями механизмов высокопроизводительных кранов с напряженным режимом работы осуществляется при помощи магнитных контроллеров.

*Магнитный контроллер* – система, состоящая из командоконтроллера, контактов и реле. В этой системе командоконтроллер (к.к.) производит переключения в цепях контакторов. Контактторы коммутируют силовые цепи двигателей. Релейная аппаратура осуществляет защиту и контроль автоматического пуска и торможения.

Командоконтроллер расположен в кабине оператора, а релейно-контакторная аппаратура – на панелях шкафов, вынесенных на ферму или платформу крана.

По сравнению с силовыми контроллерами магнитные контроллеры более надежны, так как контакторы допускают большее число включений в час. Автоматизация процессов пуска и торможения с применением магнитного контроллера позволяет полнее использовать двигатель, существенно снизить толчки тока в системе электроснабжения, облегчить работу оператора и уменьшить возможность аварий, так как система реле контролирует в определенной степени действия оператора.

Для управления двигателями постоянного тока применяются магнитные контроллеры типа П и ПС, причем для механизмов с симметричной нагрузкой используют магнитные контроллеры типа П с симметричной последовательностью включения аппаратуры при работе «вперед» и «назад».

*Магнитный контроллер типа П* (рис. 1.1). Его схема предусматривает возможность работы двигателя в двигательном режиме и в режиме противовключения.

В цепь якоря двигателя включена катушка тормозного магнита ЭМТ, растормаживающего двигатель при подаче питания к его якорю. Пуск двигателя осуществляется выведением сопротивления в цепи якоря в функции независимой выдержки времени. Выдержка времени обеспечивается работой реле ускорения РУ1, РУ2, РУ3. Максимальная токовая защита двигателя осуществляется реле РМ, включенным в цепь главного тока. Схема предусматривает автоматический контроль тока якоря при торможении противовключением. Для этого к главной цепи подключены реле противовключения хода вперед РПВ и реле противовключения хода назад РПН. В цепях управления включены контакты конечных выключателей ВКВ и ВКН, размыкающиеся в предельных положениях механизма перемещения.

Первое положение командоконтроллера при ходе вперед или назад служит для осуществления торможения двигателя в режиме противовключения. На первом положении в направлении вперед замыкаются контакты КК3-КК4 и КК7-КК8 командоконтроллера; получают питание катушки контроллеров КЛ и КВ1, КВ2; главные контакты этих контакторов подключают двигатель к сети постоянного тока. При замыкании блок-контакта КВ1 включается реле противовключения хода вперед РПВ, так как к его катушке подается большое напряжение и замыкается контакт РПВ в цепи управления, подготавливая схему к дальнейшей работе. Вследствие прохождения тока через пусковые сопротивления получают питание катушки реле ускорения РУ1÷РУ3, включенные на падение напряжения на ступенях пускового сопротивления. Контакты РУ1÷РУ3 мгновенно размыкаются в цепях контакторов ускорения КУ1÷КУ3.

Механическая характеристика двигателя при полном введенном сопротивлении приведена на рис. 1.2 под индексом П. Разгон двигателя по характеристикам 1–4 для случая медленного перемещения рукоятки командоконтроллера показан в I квадранте, при быстром перемещении – в III квадранте.

Для быстрой остановки механизма передвижения применяется торможение противовключением. При движении механизма в направлении вперед для его остановки необходимо поставить командоконтроллер на любое положение назад. При этом в цепи главного тока размыкаются контакты контакторов КВ1, КВ2 и замыкаются КН1, КН2. Двигатель под действием инерции механизма продолжает вращаться в направлении вперед, работая в режиме противовключения и создавая большой тормозной момент (см. рис. 1.2, квадрант II). Для ограничения тока в цепи якоря двигателя вводится полное сопротивление.

Контакты КП, КУ1, КУ2, КУ3 не получают питание вследствие того, что реле противовключения хода назад РПН не включено, несмотря на замкнутую контактором КН1 цепь питания реле, и контакты РПН в цепи управления разомкнуты.

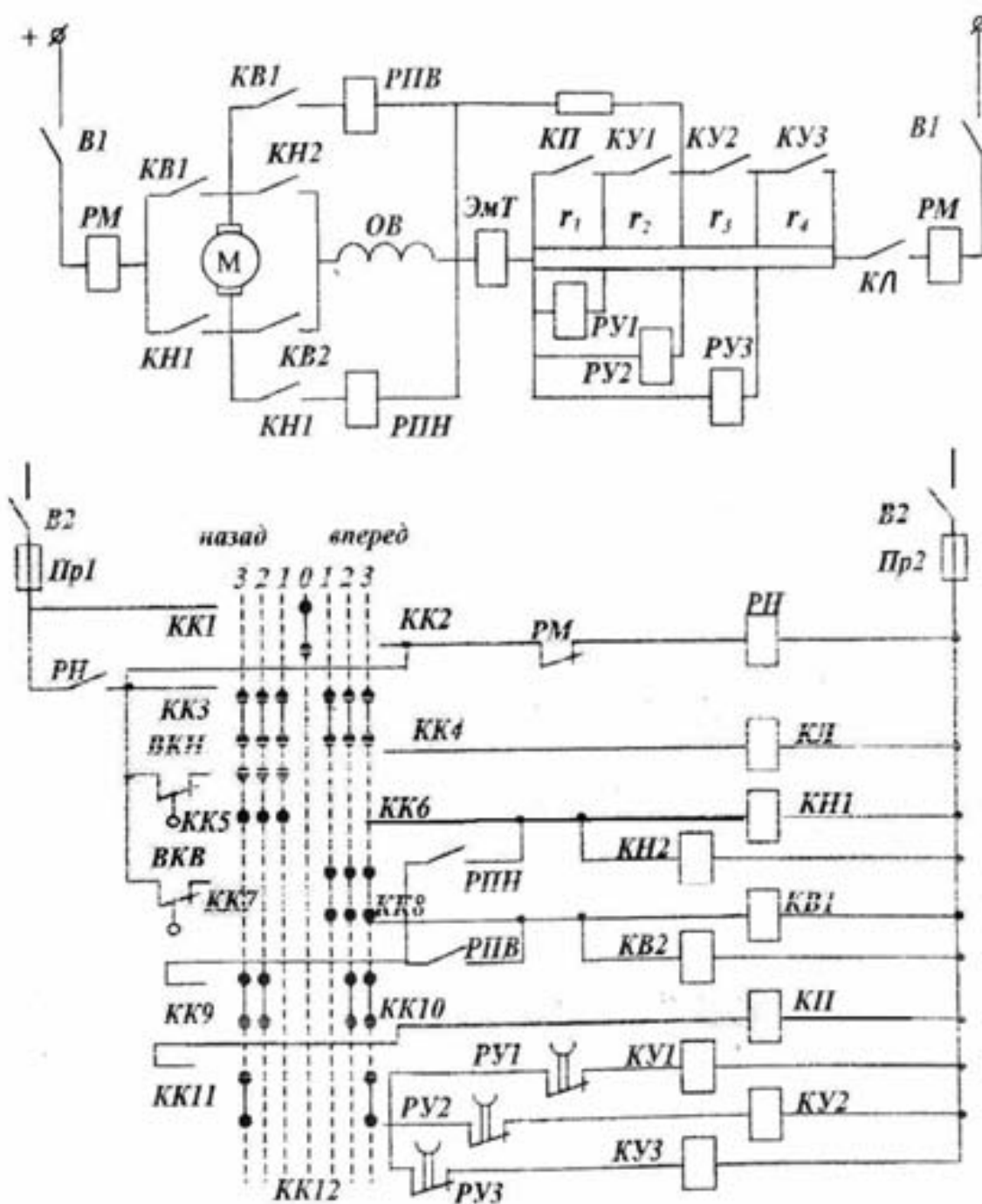


Рис. 1.1. Магнитный контроллер типа П

При достижении скорости двигателя величины близкой к нулю, реле РПН включается, контакты реле замыкают цепь питания контакторов КП, КУ1, КУ2, КУ3, и, если в этот момент не перевести рукоятку командоконтроллера в нулевое положение, будет осуществляться автоматический пуск в направлении назад.

Для повышения эффективности торможения, а также в целях безопасной эксплуатации механизмов, схема снабжена электромеханическим тормозным устройством. Катушка электромагнита тормоза включена последовательно с якорем электродвигателя.

С учетом режима работы механизмов различного назначения тормозной момент, развиваемый тормозом, должен быть равен

$$M_T = k_3 \cdot M_{TP}, \quad (1.1)$$

где  $k_3$ , – коэффициент заноса, величина, зависящая от режима работы механизма;  $M_{TP}$  – расчетный тормозной момент, определяемый по выражениям:

а) для механизма подъема

$$M_{TP} = \frac{(G_{zp} + G_{z3})}{\omega_{nm}} \cdot \eta; \quad (1.2)$$

б) для механизмов передвижения:

$$M_{TP} = J \frac{\omega}{t_T} + \frac{F_H V}{\omega} \cdot \eta; \quad (1.3)$$

$$\text{или } M_{TP} = \frac{GD^2 n_{HT} V_H}{765 \cdot S} + \frac{9,75 \cdot G \cdot V_H^2}{n_{nm} \cdot t_T} \quad (1.4)$$

Здесь  $G_{zp}, G_{z3}$  – вес соответственно груза, грузозахвата [Н·м];  $F_H, G$  – усилие тяги и вес перемещаемого механизма [Н·м];  $\omega, n$  – угловая скорость и частота вращения тормозного шкива [1/с] и [об/мин];  $J, GD$  – момент инерции и маховые массы, приведенные к валу тормоза [кг·м], [кг·м<sup>2</sup>];  $V_H$  – начальная, в большинстве случаев, номинальная скорость подъема груза или перемещения механизма;  $S$  – тормозной путь механизма.

Магнитный контроллер типа П в тропическом исполнении имеет следующие особенности. На нулевом положении командоконтроллера предусмотрен свободный выбег, что позволяет при торможении уменьшить толчки и раскачку грузов. В схеме применено независимое питание тормозного электромагнита с форсировкой включения. Для получения пониженных скоростей и более плавного торможения используется схема с шунтированием якоря. Несколько изменен также и узел реле противовключения, обеспечивающий более надежный контроль и стабильность торможения.

В лабораторной работе принят за основу обычный вариант магнитного контроллера типа П.

### 3. Сведения о лабораторной установке

Электрооборудование лабораторной установки состоит из магнитного контроллера типа П обычного исполнения, управляемого электродвигателя,

пускорегулирующего сопротивления, контрольно-измерительной аппаратуры и ламп сигнализации.

Аппараты магнитного контроллера, контрольно-измерительные приборы и сигнальные лампы расположены на основной и дополнительной (слева) панелях. Электродвигатель и пускорегулирующее сопротивление установлены за панелями.

**Лабораторная установка имеет следующие особенности:**

1. В качестве управляемого электродвигателя применен электродвигатель независимого возбуждения. Вместе с тем в типовых схемах наиболее типичным является применение для привода крановых механизмов двигателей последовательного возбуждения. Применение электродвигателя независимого возбуждения вызвано соображениями техники безопасности, так как электродвигатель при выполнении лабораторной работы практически работает без нагрузки.

Техническая характеристика электродвигателя:

Тип-П32

$P_n = 2,2$  кВт

$U_n = 220$  В

$I_n = 12,1$  А

$\omega_n = 157$  1/с (1500об/мин)

Возб. независ.

Однако в отличие от технической характеристики для питания главных цепей электродвигателя (цепей якоря и обмотки возбуждения) **используется напряжение 110 В**. Применение этого напряжения вызвано соображениями увеличения тока якоря для удобства отсчета, безопасности и наличия имеющейся аппаратуры.

Для цепей же управления применяется напряжение 220 вольт. Наличие напряжений 110 В и 220 В на панелях контролируется загоранием сигнальных ламп.

2. Применение электродвигателя независимого возбуждения вызвало необходимость применения реле наличия тока в обмотке возбуждения РНТ. Оно расположено на дополнительной панели.

3. При переводе командоконтроллера в третью позицию происходит автоматический разгон электродвигателя в две ступени ускорения, а не в три, как в типовой схеме магнитного контроллера.

4. В качестве конечных выключателей применены кнопочные элементы.

5. В главных цепях используется выключатель В1 с самовозвратом (автоматический выключатель).

6. В качестве командоконтроллера используется щеточный переключатель типа ПШ.

7. Контакты командоконтроллера выведены на плату, расположенную на дополнительной панели.



В каждом горизонтальном ряду платы: средние зажимы – выводы контакта командоконтроллера; крайние зажимы – выводы цепей, коммутируемых контактом командоконтроллера.

Выводы контакта с выводами цепей соединены на лицевой стороне платы перемычками. Схема платы выводов для контактов командоконтроллера представлена на рис. 1.3.

8. Тормоз с электромагнитным приводом отсутствует.

9. Лабораторная установка не требует сборки схемы.

#### **4. Программа работы**

1. Изучить электрическую принципиальную схему типового магнитного контроллера типа П.

2. Изучить электрооборудование лабораторной установки, сопоставляя его с электрической принципиальной схемой типового магнитного контроллера типа П.

3. Составить электрическую принципиальную схему магнитного контроллера типа П лабораторной установки.

4. Практически проанализировать работу магнитного контроллера. Произвести регулировочные работы.

5. Построить пусковую диаграмму электродвигателя на основе показаний приборов.

6. Построить типовые механические характеристики электродвигателя независимого возбуждения, управляемого магнитным контроллером типа П.

7. Произвести маркировку контактов командоконтроллера в соответствии с принципиальной схемой.

8. Произвести расчет тормозного момента и выбрать тормоз для механизма, указанного преподавателем, в соответствии с данными таблиц 1.1 и 1.2.

#### **5. Методические указания по выполнению лабораторией работы**

1. Изучая электрическую принципиальную схему типового магнитного контроллера типа П, проанализировать ее работу на всех позициях командоконтроллера, начиная с нулевой, при медленном и быстром перемещении рукоятки в одном направлении, а также в режиме противовключения. Электрическая принципиальная схема магнитного контроллера приведена на панели и в руководстве к лабораторной работе. В руководстве дано и ее краткое описание.

2. Сопоставляя электрооборудование лабораторной установки с электрической принципиальной схемой магнитного контроллера типа П, обратить внимание на элементы несоответствия. Элементы несоответствия отмечены в разделе «Сведения о лабораторной установке» данного руководства.

3. Принципиальная схема магнитного контроллера типа П лабораторной установки составляется с учетом особенностей установки. Эти особенности отмечены в разделе «Сведения о лабораторной установке». Следует иметь в виду, что схема контроллера лабораторной установки имеет некоторое отличие от типовой схемы.

4. Практически анализируя работу магнитного контроллера, обратить внимание на последовательность работы аппаратуры в соответствии с принципиальной схемой. При быстром переводе рукоятки командоконтроллера в крайнее положение контактор противовключения и контакторы ускорения должны включаться последовательно, с выдержкой времени. При отсутствии этого произвести регулировку уставок реле ускорения.

5. Для построения пусковой диаграммы электродвигателя достаточно знать номинальные данные электродвигателя, фактическое напряжение питания главных цепей (указаны в разделе «Сведения о лабораторной установке»), а также величину тока якоря и напряжения на якоре при установившейся работе на каждой электромеханической характеристике. Построение диаграммы может быть основано на следующем. Электромеханические характеристики электродвигателя независимого возбуждения – прямые линии. При реостатном регулировании они представляют семейство характеристик, сходящихся в точке идеального холостого хода. Каждая из характеристик может быть построена по двум точкам: первая – точка идеального холостого хода, вторая – точка установившейся работы. Скорость каждой из этих точек может быть найдена по уравнению скорости. Причем коэффициент  $C=K\Phi$  может быть взят при отсутствии насыщения равным половине значения коэффициента, определенного по номинальным данным опять же из уравнения скорости. Сопротивление якоря вычисляется по приближенной формуле, с учетом того, что половина потерь при номинальных условиях приходится на потери в якоре двигателя. Все эти вопросы рассматривались в теории электропривода.

6. Построение типовых механических характеристик электродвигателя независимого возбуждения при управлении магнитным контроллером типа П должно быть осуществлено на основе одноименных характеристик для электродвигателя последовательного возбуждения (см. рис. 1.2). Следует так построить семейство

механических характеристик, чтобы пусковые моменты и скорости при номинальной нагрузке были одинаковыми или близкими с теми, что на рис.1.2. Построение вестей в относительных единицах. В результате построения типовых характеристик становится очевидной невозможность их реализации в лабораторной установке: при столь малой нагрузке скорости на всех характеристиках были бы весьма близкими.

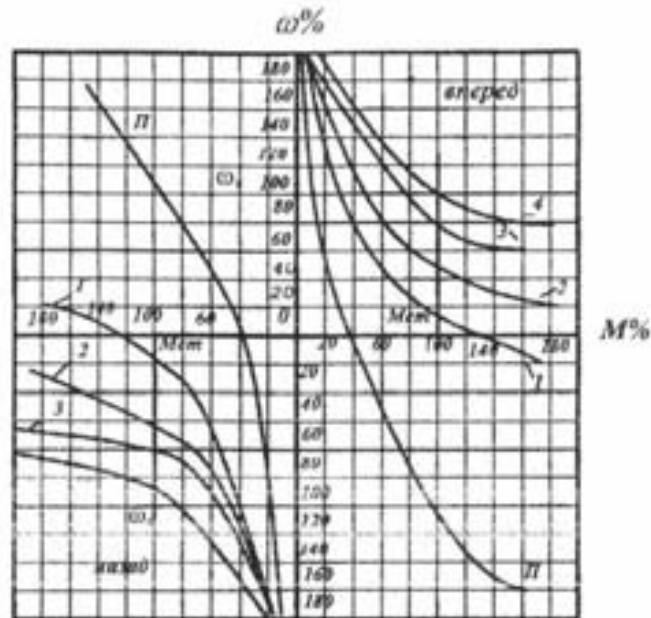


Рис. 1.2.

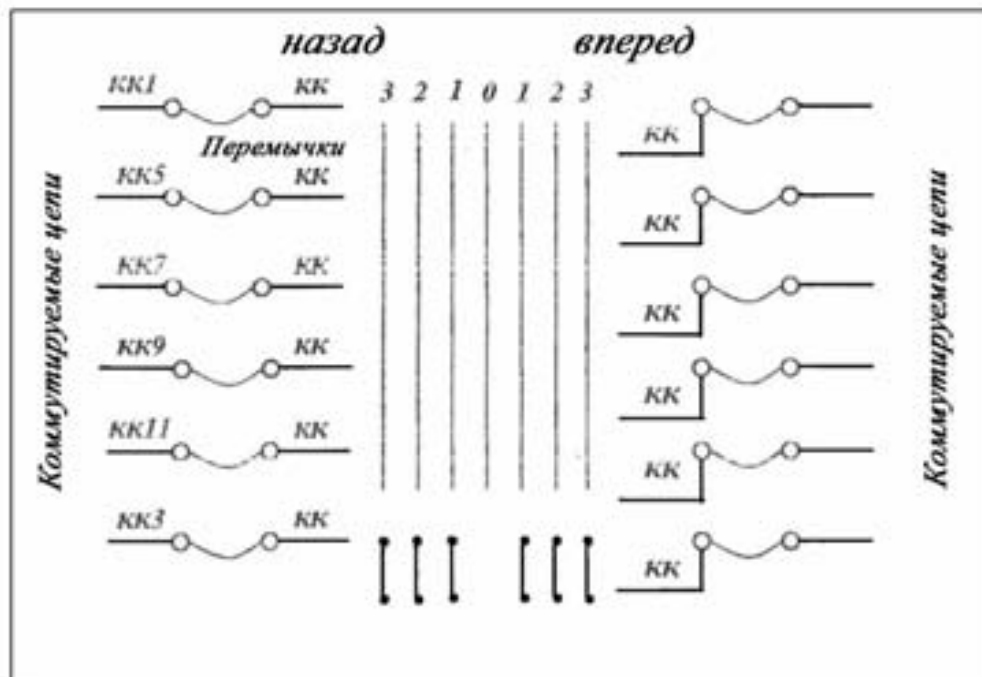


Рис. 1.3. Плата выводов контактов КК.

7. Маркировка контактов командоконтроллера производится в следующем порядке. Изображается плата выводов контактов командоконтроллера. Для каждого из контактов определяется его состояние во всех позициях командоконтроллера (замкнут или разомкнут). Состояние контакта определяется следующим образом. **Выключив выключатель В2**, снять левую (правую) перемычку. Включив выключатель В2, при включенном В1 проанализировать работу аппаратуры в соответствии с принципиальной схемой на всех позициях командоконтроллера. Сделать заключение о маркировке контакта и нанести ее на изображенную плату. Пример нанесения маркировки контакта на плате выводов приведен на рис. 1.3.

Промаркировав контакт, **при включенном В2**, ставят перемычки на место и аналогичным образом приступают к маркировке следующего контакта.

**При снятии и постановке перемычек следует соблюдать особую осторожность: нельзя выполнять эти операции при включенном выключателе В2.**

По проделанной работе необходимо сделать выводы. Основой для выводов должен быть анализ собственной деятельности в ходе выполнения работы, умение анализировать свою деятельность в ходе исследования, замечать малейшие нюансы в работе электрооборудования – необходимое качество для инженера-электрика, как эксплуатационника, так и конструктора.

## 6. Содержание отчета

1. Электрическая принципиальная схема магнитного контроллера типа П лабораторной установки.

2. Электромеханические характеристики электродвигателя, построенные по показаниям приборов. Таблица показаний приборов и вычисленных скоростей для различных позиций командоконтроллера. Формулы вычисления скоростей и внутреннего сопротивления якоря электродвигателя. Техническая характеристика электродвигателя.

3. Типовые механические характеристики электродвигателя независимого возбуждения при управлении магнитным контроллером типа П.

4. Схема платы выводов для контактов командоконтроллера с их маркировкой.

5. Расчет тормозного момента и указание марки выбранного электротормоза.

6. Выводы по проделанной работе.

## Контрольные вопросы

1. Какое положение точки присоединения реле противовключения на

пускорегулирующем сопротивлении является оптимальным? Чему должно быть равно напряжение включения реле противовключения для надежной его работы?

2. Какими соображениями необходимо руководствоваться при выборе реле ускорения по напряжению отключения (отпускания)?

3. Каким образом осуществляется торможение электропривода в схеме с контроллером П?

4. Почему в лабораторной установке тормоз, указанный на принципиальной схеме, отсутствует?

5. Чем объяснить применение в схеме контроллера П электротормоза постоянного, а не переменного тока?

**Таблица 1.1**

	Рабочий механизм	Режим работы кранов	Вес груза или всей конструк.	Скорость подъема, движения	кпд механизма	Частота вращ. тормози, шкива	Маховые массы (приведенные)	Точность остановки
			т	м/с		об/мин	кг·м <sup>2</sup>	м
1.	Подъема	С	1	1	0,8	1000	-	-
2.	Подъема	С	5	1	0,7	1000	-	-
3.	Перемещ. тележки	С	2	1	0,8	1500	2,5	0,1
4.	Перемещ. тележки	С	6	1	0,8	1500	8	0,1
5.	Перемещ. моста	С	10	1	0,8	1500	10	0,1
6.	Перемещ. моста	С	20	1	0,8	1500	25	0,1

Данные приведены для электромагнитов с последовательным возбуждением.

**Таблица 1.2**

Тип тормоза		Тормоз. момент	Диаметр шкива	Расчеты, ход	Тип эл.магн.	Режим работы ПВ	Тяговое усилие при 60%	Тяговое усилие при 40%
		Н·м	мм	мм		%	Н	Н
1.	ТКП-200	160	200	2,0	МП-201	25	900	-
		100				40	600	-
		54				-	-	300
2.	ТКП-200/300	240	300	2,0	МП-201	25	900	-
		145				40	600	-
		80				40	-	300
3.	ТКП-300	500	300	2,5	МП-301	25	2000	-
		340				25	-	1350
		420				40	1650	-
		250				40	-	1050
4.	ТКП-400	1500	400	1,5		25	9600	-
		1200				40	7800	-
		550				40	-	3700
5.	ТКП-500	2500	500	1,7		25	12900	-
		1900				40	9800	-
		1000				40	-	5400
6.	ТКП-600	5000	600	2,0		25	21500	-
		3550				40	15200	-
		2050				40	-	12000
		1550				100	6900	-
7.	ТКП-700	8000	700	2,2		25	29400	-
		5750				40	21100	-
		3250				40	-	12000
		2500				100	10300	-

### Список литературы

1. Дранников В.Г., Звягин И.Е. Автоматизированный электропривод подъемно-транспортных машин. М., 1973.
2. Борисов Ю.М., Соколов М.М. Электрооборудование подъемно-транспортных машин. М., 1971.
3. Капунцов Ю.Д., Елисеев В.А., Ильященко Л.А. Электрооборудование и электропривод промышленных установок. М., 1979.
4. Крановое электрооборудование: Справочник / Ред. Рабинович А.А. М., 1979.

(Продолжительность лабораторного занятия 4 часа. Домашняя работа – 2 часа).

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**  
**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОДЪЕМНОГО КРАНА НА**  
**ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ.**  
**МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ТИПА ТА**

**1. Цель работы**

Целью лабораторной работы является изучение автоматизированного электропривода переменного тока, применяемого для механизмов подъемных кранов.

**2. Сведения о типовом автоматизированном электроприводе крановых механизмов с симметричной нагрузкой**

К крановым механизмам с симметричной нагрузкой относятся механизмы передвижения и поворота. Их момент сопротивления не зависит от направления движения. Приводные электродвигатели работают при движении вперед и назад на одинаковых характеристиках. Последнее обеспечивается применением в схемах управления контроллеров и командоконтроллеров с симметричной диаграммой замыкания контактов.

Управление крановыми электроприводами с применением силовых (ручных) контроллеров по существу является ручным управлением. Поэтому управление двигателями механизмов высокопроизводительных кранов с напряженным режимом работы осуществляется при помощи магнитных контроллеров.

*Магнитная контроллер-система* состоит из командоконтроллера, контактов и реле. В этой системе командоконтроллер (к.к.) производит переключения в цепях контакторов. Контактторы коммутируют силовые цепи двигателей. Релейная аппаратура осуществляет защиту и контроль автоматического пуска и торможения.

Командоконтроллер расположен в кабине оператора, а релейно-контакторная аппаратура – на панелях шкафов, вынесенных на ферму или платформу крана.

По сравнению с силовыми контроллерами магнитные контроллеры более надежны, так как контакторы допускают большее число включений в час. Автоматизация процессов пуска и торможения с применением магнитного контроллера позволяет полнее использовать двигатель, существенно снизить толчки тока в системе электроснабжения, облегчить работу оператора и уменьшить возможность аварий, так как система реле контролирует в определенной степени действия оператора.

Для управления двигателями переменного тока применяются магнитные контроллеры типа Т, К, ТА, ТС, КС, ТСА, причем для механизмов с симметричной нагрузкой используют магнитные контроллеры первых трех типов с симметричной последовательностью включения аппаратуры при работе «вперед» и «назад».

*Магнитный контроллер типа ТА* (рис. 2.1). Механические характеристики электродвигателя при управлении контроллером ТА приведены на рис. 2.2.

Пуск электродвигателя производится перемещением командоконтроллера с нулевого положения. Если момент нагрузки превышает 50% номинального момента, то механизм на первом положении остается неподвижным, так как момент электродвигателя недостаточен для передвижения механизма. Обычно первое положение командоконтроллера служит для торможения электродвигателя противовключением.

При медленном перемещении командоконтроллера, если двигатель достигает установившейся скорости, разгон происходит по характеристикам 2-4 (штриховая линия, см. рис.2.2). После срабатывания последнего контактора КУЗ в цепи ротора остается включенным небольшое сопротивление. Оно смягчает естественную характеристику двигателя и уменьшает броски тока при переключении ступеней. Для увеличения производительности крана оператор быстро переводит рукоятку командоконтроллера с нулевого на крайнее положение. В этом случае контакторы ускорений включаются друг за другом в функции независимой выдержки времени, соответствующей уставкам реле РУ1÷РУ3. Переход двигателя по механическим характеристикам при быстром перемещении командоконтроллера показан сплошными линиями.

Для быстрой остановки механизма в схеме предусмотрено торможение двигателя противовключением. В этом случае оператор при движении механизма, например, «Вперед» устанавливает командоконтроллер в первое положение хода «Назад». При этом положении включается контактор КН, подключается статор двигателя в направлении обратного вращения. В начальный момент противовключения скольжение двигателя значительно больше единицы. При таком скольжении значителен ток в роторе. В результате срабатывает реле РП, размыкающее цепь питания контакторов КП и КУ1÷КУ3, и в цепи ротора включается полное сопротивление.

В момент перехода командоконтроллера через нулевое положение кратковременно отключается реле РБ, шунтирующее добавочное сопротивление в цепи реле РП. Это увеличивает напряжение на реле РП и повышает надежность его срабатывания. Двигатель из точки «а» переходит в точку «б» характеристики противовключения (см. рис.2.2). При полной остановке механизма рукоятка командоконтроллера переводится в нулевое положение.



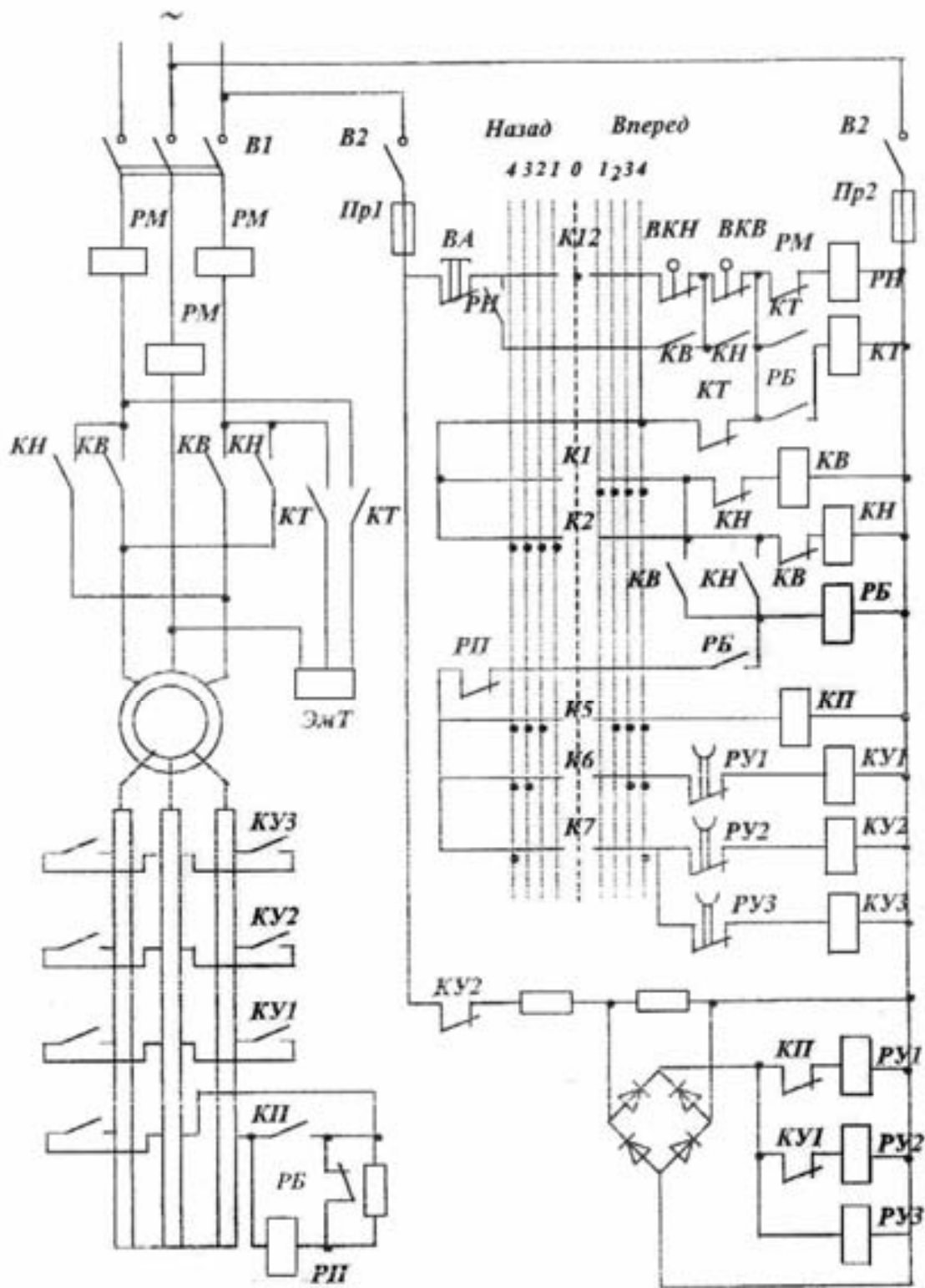


Рис.2.1. Магнитный контроллер ТА

В цепи реле РН находятся контакты конечных выключателей ВКВ и ВКН, размыкающиеся в предельно крайних положениях механизма. Магнитные контроллеры других типов по сравнению с ТА имеют следующие особенности.

Т – нет электромагнитных реле, обеспечивающих дополнительную выдержку времени на пусковых ступенях (пуск не автоматизирован).

К – релейно-контакторная аппаратура выполнена с включающими катушками постоянного тока, допускающими большее число включений.

ТАЗ – модификация типа ТА. В этой модификации аппаратура защиты установлена на панели управления, и защитная панель отсутствует. Для отключения электропривода крана в кабине оператора устанавливаются автоматы.

Предлагаемый для изучения магнитный контроллер по существу является типом ТАЗ.

Одним из важнейших вопросов, возникающих при проектировании крановых электроприводов, является выбор электродвигателей. Одним из основных методов выбора является «метод нагрузочных рядов», который учитывает степень загрузки крана К и предполагает наилучшее использование двигателя при соответствующей продолжительности включения ПВ.

Выбор мощности производится по наибольшей статической мощности нагрузки механизма, по продолжительности включения и степени загрузки в соответствии с таблицей 2.1.

**Таблица 2.1**

Режим работы кранового механизма (ПВ)	Мощность двигателя при $k=1$	Мощность двигателя при $k<1$			
		$k=0,9$	$k=0,8$	$k=0,7$	$k=0,6$
кратковременный	$P_I$	$P_I$	$P_I$	$P_I$	$P_I$
15%	$P_{II}$	$P_{II}$	$P_I$	$P_I$	$P_I$
25%	$P_{III}$	$0,47(P_{II} + P_{III})$	$0,52(P_{II} + P_{III})$	$0,56(P_{II} + P_{III})$	$P_{II}$
40%	$P_{IV}$	$0,47(P_{III} + P_{IV})$	$0,52(P_{III} + P_{IV})$	$0,56(P_{III} + P_{IV})$	$P_{III}$

### 3. Сведения о лабораторной установке

Электрооборудование лабораторной установки состоит из магнитного контроллера типа ТА, управляемого электродвигателя, пускорегулирующего сопротивления, контрольно-измерительной аппаратуры и ламп сигнализации.

Аппараты магнитного контроллера, контрольно-измерительные приборы и сигнальные лампы расположены на основной и дополнительной (справа) панелях. Электродвигатель и пускорегулирующее сопротивление установлены за панелями.

*Лабораторная установка имеет следующие особенности:*

1. В качестве управляемого электродвигателя применен электродвигатель общепромышленной серии. Техническая характеристика электродвигателя:

Тип-АК61-4  
 $P_n - 10 \text{ кВт}$   
 $U_n - 380/220 \text{ В}$   
 $I_n - 21,5/37 \text{ А}$   
 $\omega_n - 148 \text{ 1/с (1400 об/мин)}$   
 $\eta_n - 83,5\%$   
 $\cos \varphi_n - 0,85$   
Ротор:  
 $E_{2H} - 207 \text{ В}$   
 $I_{2H} - 32 \text{ А}$

Обмотка статора электродвигателя соединена по схеме «звезда» при напряжении питания 220 В. В результате снижены пусковой ток и частота вращения холостого хода. Первое позволило использовать меньшие пускорегулирующие сопротивления, второе создало удобство в отсчете частоты вращения холостого хода при работе электродвигателя на различных механических характеристиках.

Электродвигатель в установке работает без нагрузки (вхолостую).

На основной панели расположен указатель скорости, подключенный к тахогенератору на валу электродвигателя.

2. В силовой цепи электродвигателя перед катушками максимальных реле установлены плавкие предохранители, не предусмотренные типовой схемой магнитного контроллера.

3. Наличие напряжений в цепях электродвигателя и управления контролируется сигнальными лампами, включенными на выход выключателей.

4. Ток в цепях статора и ротора контролируется установленными на основной панели амперметрами.

5. В качестве конечных выключателей применены кнопочные элементы. Кнопочный элемент используется и в качестве аварийного выключателя ВА.

6. В качестве командоконтроллера используется контроллер типа НТ-51.

7. При переводе контроллера в четвертую позицию происходит автоматический разгон электродвигателя в одну ступень ускорения, а не в две, как в типовой схеме магнитного контроллера.

8. Тормоз с электромагнитным приводом отсутствует.

9. Лабораторная установка не требует сборки схемы.

10. Выбор мощности производится для группы механизмов, данные для

которых приведены в таблице 2.2. Каталожные данные для электродвигателей серий МТ и Д приведены в таблице 2.3.

**Таблица 2.2**

	Наименование механизма	Наибольшая статическая нагрузка	Коэффициент загрузки	Продолжит. включения, %
	Привод на перем. токе			
1.	Подъема	15	1	40
2.	Перемещения тележки	5	0,8	25
3.	Перемещения моста	7	0,6	25
	Привод на постоянн. токе			
1.	Подъема	10	0,9	25
2.	Перемещения тележки	5	0,7	25
3.	Перемещения моста	5	0,6	15
	Привод на перемен. токе			
1.	Подъема	6	1	25
2.	Перемещения тележки	2,5	0,7	25
3.	Перемещения моста	3	0,8	25
	Привод на постоянн. токе			
1.	Подъема	20	0,7	40
2.	Перемещения тележки	7,5	0,7	25
3.	Перемещения моста	10	0,7	15

#### **4. Программа работы**

1. Изучить электрическую принципиальную схему типового магнитного контроллера типа ТА.
2. Изучить электрооборудование лабораторной установки, сопоставляя его с электрической принципиальной схемой типового магнитного контроллера ТА.
3. Составить электрическую принципиальную схему магнитного контроллера типа ТА лабораторной установки.
4. Практически проанализировать работу магнитного контроллера. Произвести регулировочные работы.
5. Вычислить величины ступеней пускорегулирующего сопротивления для электродвигателя лабораторной установки при управлении типовым магнитным контроллером типа ТА и ПВ% = 25%.
6. Изучить групповое максимальное реле.
7. Изучить силовой контроллер типа ККТ-61. Дать его электрическую схему и диаграмму замыкания контактов. Произвести выбор электродвигателя для привода крана в соответствии с заданием преподавателя.

#### **4. Методические указания по выполнению**

## **лабораторной работы**

1. Изучая электрическую принципиальную схему типового магнитного контроллера ТА, проанализировать ее работу на всех позициях, начиная с нулевой, при медленном и быстром перемещении рукоятки в одном направлении, а также в режиме противовключения. Электрическая принципиальная схема магнитного контроллера приведена на панели и в руководстве к лабораторной работе. В руководстве дано ее краткое описание.

2. Сопоставляя электрооборудование лабораторной установки с электрической принципиальной схемой магнитного контроллера типа ТА, обратить внимание на элементы несоответствия. Элементы несоответствия отмечены в разделе «Сведения о лабораторной установке» данного руководства.

3. Принципиальная схема магнитного контроллера типа ТА лабораторной установки составляется с учетом особенностей установки. Эти особенности отмечены в разделе «Сведения о лабораторной установке». Следует иметь в виду, что схема контроллера лабораторной установки имеет некоторое отличие от типовой схемы.

4. Практически анализируя работу магнитного контроллера, обратить внимание на последовательность работы аппаратуры в соответствии с принципиальной схемой. В частности, торможение противовключением должно проходить при полном сопротивлении в цепи ротора. Следовательно, реле противовключения РП должно отключаться при скорости электродвигателя, близкой к нулю. При отсутствии этого произвести регулировку уставки напряжения реле РП.

Схема магнитного контроллера допускает при нулевом положении рукоятки свободный выбег привода или его механическое торможение. Выбор того или иного режима производится ключом ВЗ. Проанализировать состояние аппаратуры в обоих этих режимах.

5. При вычислении ступеней пускорегулирующего сопротивления необходимые данные по электродвигателю взять из его технической характеристики - см. раздел «Сведения о лабораторной установке». Так как электродвигатель общепромышленной серии, то данные приведены для ПВ%=100%. Типовые механические характеристики электродвигателя при ПВ%=25% с магнитным контроллером ТА приведены на рис. 2.2.

Ступени пускорегулирующего сопротивления определяются графическим методом, применяемым в случае прямолинейных механических характеристик (для асинхронных электродвигателей при  $M_1 < 0,75M_K$ ). В этом случае величина ступеней графически равна соответствующим отрезкам на вертикальной прямой, проведенной через точку номинального момента (см. рис. 2.2).

Для определения масштаба сопротивлений необходимо знать сопротивление ротора электродвигателя. Оно берется либо из каталога, либо приближенно определяется по формуле:

$$R_p = R_{pH} \cdot \frac{S_H \%}{100}, \text{ Ом}; \quad (2.1)$$

где  $R_{pH}$  - номинальное сопротивление ротора двигателя, Ом;  $S_H\%$  – номинальное скольжение двигателя.

$$R_{pH} = \frac{E_{2H}}{\sqrt{3}I_{2H}}; \quad S_H \% = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

После этого масштаб сопротивлений будет

$$\mu_c = \frac{R_p}{S_{H25\%}}; \quad \Omega/\%; \quad 1\% = \Omega \quad (2.3)$$

Здесь  $S_{H25\%}$  - номинальное скольжение двигателя при ПВ%=25%, при определении его учесть: квадраты номинальных скольжений при разных ПВ% обратно пропорциональны этим ПВ%.

Следует учесть, что отрезок «ав» графически равен сумме невыключаемого сопротивления и собственного сопротивления фазы ротора.

Величины ступеней пускорегулирующего сопротивления и его невыключаемой части свести в таблицу.

Данный пункт программы знакомит с методом расчета ступеней сопротивления на основе типовых механических характеристик электродвигателя, который предварительно выбран по мощности. Однако для этого метода предлагаемый пример расчета является нетипичным. Во-первых, весьма нецелесообразно для повторно-кратковременной работы использовать электродвигатели общепромышленной серии, выпускаемые на ПВ=100%. Во-вторых, применяя такой электродвигатель и желая его полнее использовать по нагреву, приходится в значительной мере увеличивать его номинальный момент при новой ПВ%., а это приводит к уменьшению кратности максимального момента и нарушению условия, когда  $M_1=0,75M_k$ . Последнее делает невозможным применение графического метода. Так, в нашем примере номинальный момент электродвигателя при ПВ%=25% возрастает в 2 раза по сравнению с тем же моментом при ПВ=100%. (Квадраты моментов при различных ПВ% обратно пропорциональны этим ПВ%).

Так как типовые механические характеристики задаются для ПВ%=25%, то применение данного метода по расчету ступеней целесообразно для электродвигателей с режимом работы при ПВ%=25% или ближайших стандартных ПВ%.

б. Изучая групповое реле максимального тока, обратить внимание на общую контактную систему для всех катушек. Такое исполнение контактной системы делает применение группового реле более предпочтительным по сравнению с использованием отдельных максимальных реле. В электрических схемах групповое реле максимального тока изображается как многокатушечное реле.

Силовой контроллер типа ККТ-61 имеет двухрядное расположение контактов. Однако на его электрической схеме рекомендуется располагать контактную систему в один ряд. Электрическую схему контроллера и диаграмму замыкания контактов следует выполнить по типу рис.2.3.

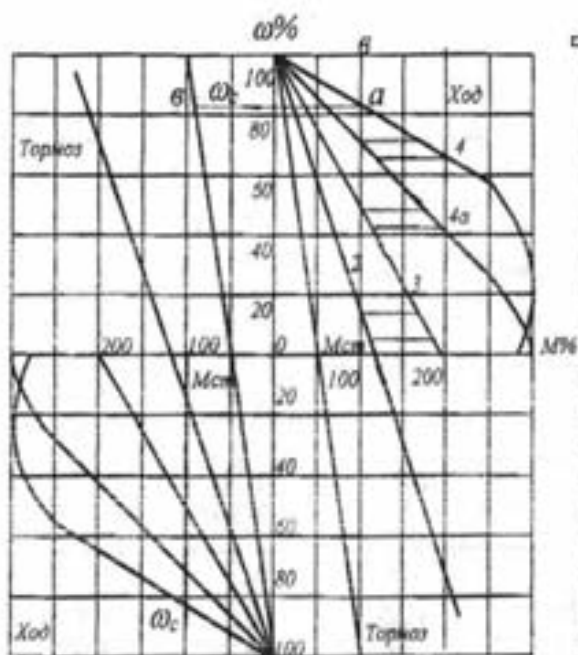


Рис.2.2. Механические характеристики электродвигателя

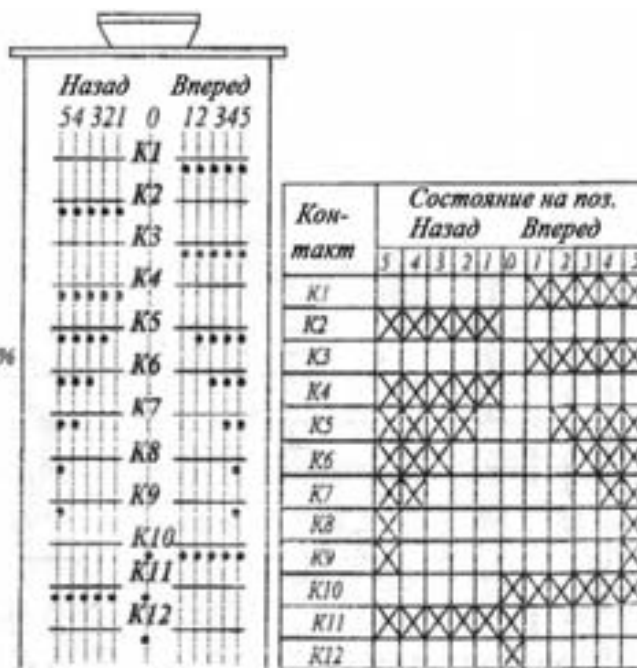


Рис.2.3. Эл. схема и диаграмма замыкания контактов контроллера типа NT-51

## 6. Содержание отчета

1. Электрическая принципиальная схема магнитного контроллера типа ТА лабораторной установки,
2. Типовые механические характеристики электродвигателя трехфазного тока с фазным ротором при управлении магнитным контроллером типа ТА.
3. Вычисление ступеней сопротивления для электродвигателя лабораторной установки при работе с ПВ%=25%. Пояснение расчетных формул. Сводная таблица величин ступеней пускорегулирующего сопротивления.

4. Условное графическое изображение группового реле максимального тока на электрических схемах.

5. Электрическая схема и диаграмма замыкания контактов для силового контроллера типа ККТ-61.

6. Выбор электродвигателя и его проверка.

### Контрольные вопросы

1. Каково назначение реле РБ (назначение всех его контактов)?
2. Каково назначение размыкающих блок-контактов КТ?
3. Какова роль невыключаемой части сопротивления?
4. Обязательно ли при торможении противовключением переводить рукоятку командоконтроллера в первую позицию противоположного движения?
5. Как осуществляется торможение электропривода при отключении напряжения сети?

Таблица 2.3

	Тип двигателя	М max.	Мощность при ПВ%		
			15%	25%	40%
1	Д12 послед. возбужд.	86	3,4	3,0	12,4
2	Д21 —“—	191	5,3	4,5	3,6
3	Д22 —“—	270	7,0	6,0	4,8
4	Д31 —“—	382	10	8,5	6,8
5	Д32 —“—	675	14,5	12,0	9,5
6	Д41 —“—	930	20,0	17,0	13,0
7	Д21 парал. возбужд.	103	5,2	4,5	3,6
8	Д22 —“—	127	7,2	6,0	4,8
9	Д31 —“—	230	10,5	8,5	6,8
10	Д12 —“—	57	3,6	3,0	2,4
11	Д806 послед. возбужд.	1420	26,0	22,0	17,0
12	МТ 012-6	56	3,1	2,7	2,4
13	МТ 111-6	85	4,6	4,1	3,8
14	МТ 112-6	137	6,5	5,8	5,2
15	МТ 211-6	191	10,5	9,0	7,6
16	МТ 311-6	314	14,0	13,0	11,0
17	МТ 011-6	39	2,0	1,7	1,1
18	МТ 311-8	265	10,5	9,0	7,6
19	МТ 312-8	422	15,0	18,0	11,0
20	МТ 411-8	569	22,0	18,0	15,0
21	МТН111-6	83	3,5	3,0	2,5
22	МТН112-6	118	5,3	4,5	3,6

Номинальная скорость вращения электродвигателей серии Д, МТ и МТН – 1000 об/мин.



## Список литературы

1. Дранников В.Г., Звягин И.Е. Автоматизированный электропривод подъемно-транспортных машин. М., 1973.
2. Борисов Ю.М., Соколов М.М. Электрооборудование подъемно-транспортных машин. М., 1971.
3. Капунцов Ю.Д., Елисеев В.А., Ильященко Л.А. Электрооборудование и электропривод промышленных установок. М., 1979.
4. Крановое электрооборудование: Справочник / Ред. Рабинович А.А. М. 1979.

(Продолжительность лабораторного занятия 4 часа. Домашняя работа – 2 часа).

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

#### 1. Цель работы

2. Изучение электрооборудования компрессорной станции, обеспечивающего автоматическое включение и отключение синхронного электродвигателя в зависимости от давления в воздушной магистрали.

3. Изучение схем возбуждения синхронных электродвигателей и способов контроля подсинхронной скорости.

#### 2. Сведения о способах управления синхронными

##### электродвигателями

Из элементов управления синхронным электродвигателем наиболее ответственным является его пуск.

По величине напряжения на статоре в начальный период пуска различают прямой пуск и пуск при пониженном напряжении.

Наиболее предпочтителен прямой пуск, при котором статор включается на полное напряжение сети. Схема проста, надежна, требует минимального количества аппаратов. Однако применение такого пуска ограничено прочностью лобовых частей обмоток статора, мощностью питающей сети и допусковым пределом снижения напряжения.

Питание цепи ротора. Обмотка возбуждения (о.в.) синхронного электродвигателя (СД) при пуске может быть замкнута на якорь возбудителя непосредственно, через добавочное сопротивление или может замыкаться на разрядное сопротивление.

При замыкании обмотки ротора во время пуска на разрядное сопротивление пуск и синхронизация СД проходят наиболее спокойно. Сопротивление выполняет три функции:

- улучшает пусковую характеристику СД;
- ограничивает напряжение на о.в.;
- гасит энергию поля, возникающую при коротком замыкании в цепях статора.

Величина разрядного сопротивления принимается равной десятикратной величине сопротивления о.в.

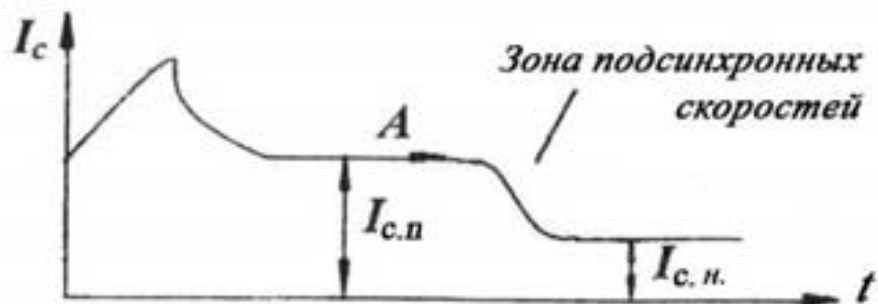
Возбудитель может быть присоединен постоянно (наглухо) к о.в. СД или присоединяться к ней в момент синхронизации. При прямом пуске СД с постоянно подключенным возбудителем схемы управления более надежны, просты и дешевы. Они выполняются как с возбудителем, установленным на валу СД, так и с возбудителем, имеющим отдельный приводной электродвигатель. При схеме пуска с постоянно подключенным возбудителем СД имеет два провала в кривой вращающего момента: один – при скорости, близкой к полусинхронной, второй – в области подсинхронных скоростей. Первый провал практически не сказывается при пуске СД (во всяком случае редко), а второй существенно понижает величину вращающего момента СД. Схему с постоянно подключенным возбудителем рекомендуется применять для приводов с моментом сопротивления в конце пуска не более 40% номинального момента СД. Если применяется схема с постоянно подключенным возбудителем при отдельном приводном электродвигателе, то необходимо выполнение условия: время разгона СД меньше или равно времени разгона возбудительного агрегата.

В случаях, когда момент сопротивления при пуске больше 40% номинального момента СД, применяются более сложные схемы управления, в которых возбудитель подключается до подсинхронной скорости к кольцам ротора СД через добавочное сопротивление. При таком включении провал в кривой момента при подсинхронных скоростях заметно уменьшается. Подобные схемы применяются для возбудителей, как установленных на валу СД, так и имеющих отдельный привод.

Контроль подсинхронной скорости при асинхронном пуске СД может осуществляться косвенным путем: либо через частоту ЭДС и токов в роторе, либо через ток в цепи статора.

Контроль частоты в роторе может вестись или специальным частотным реле, или обычным электромагнитным реле с демпфирующей гильзой. Реле настраиваются так, чтобы их отключение происходило при подсинхронной скорости.

Возможность контроля подсинхронной скорости через ток статора становится очевидной из следующего графика



**Рис.3.1. Ток статора**

Если взять уставку выключения реле по току, равную току статора при подсинхронной скорости, реле будет отключаться при этой скорости. Обычно для этой цепи используется реле тока типа ЭТ-521 с уставкой по току около 1,5-кратного номинального тока статора (уставка может быть и выше).

При пуске через реактор или автотрансформатор возбуждение СД подается или до включения его на полное напряжение (легкий пуск), или после этого (тяжелый пуск).

Форсировка возбуждения приходит в действие автоматически при снижении напряжения на 15-20% номинального.

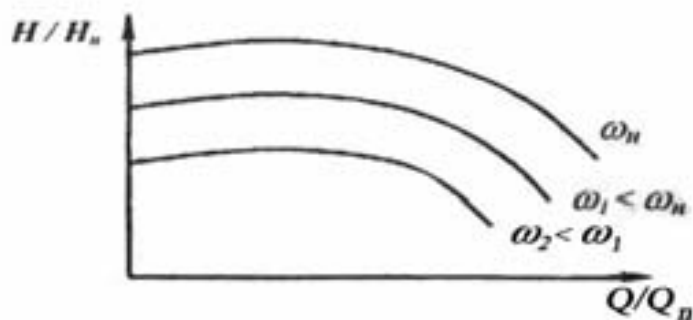
### **3. Схема управления синхронным электродвигателем компрессорной станции**

Компрессор – машина для производства сжатого воздуха или другого газа.

Основной характеристикой компрессоров является зависимость развиваемого номера  $N$  от производительности этих механизмов  $Q$ . Они даются обычно в виде графиков (рис.3.2). Номер и производительность компрессора определяют мощность приводного электродвигателя, причем оба параметра являются функциями частоты вращения двигателя:

$$Q = C_1 \omega; \quad N = C_2 \omega^2, \quad (3.1)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – коэффициенты, зависящие от параметров передаточного устройства газопровода, а также рода газа.



**Рис.3.2. Основные характеристики**

Для привода компрессоров большой мощности предпочтительно применение синхронных высоковольтных электродвигателей. Такой электродвигатель показан в схеме управления на рисунке 3.3. Коммутация цепи статора мощного высоковольтного электродвигателя осуществляется масляным выключателем. Дистанционное управление этим выключателем ведется с помощью включающего и отключающего электромагнитов. Контроль тока и напряжения в цепи статора требует применения измерительных трансформаторов.

Однако в лабораторной работе из понятных соображений использован низковольтный синхронный электродвигатель из комплекта ЖЭС-9. Следовательно, отпала необходимость в применении измерительных трансформаторов. Вместе с тем, стало возможным имитировать выключатель ЭЛ (выключатель линейный) контактором в сочетании с реле РЗ (реле защиты). Причем РЗ выполняет функции отключающего электромагнита масляного выключателя. В остальном использование низковольтного электродвигателя не вносит в схему управления каких-либо принципиальных и функциональных изменений - схема остается такой же, как при мощном высоковольтном СД.

Компрессор в лабораторной установке работает на воздушную магистраль с часто меняющимся расходом, следовательно, с часто меняющимся давлением в магистрали. Визуально контроль давления воздуха в магистрали ведется по шкале электроконтактного манометра. При падении давления до нижнего предельного значения ( $2 \text{ кгс/см}^2$ ) синхронный электродвигатель должен быть включен для поднятия давления в магистрали. При верхнем предельном значении давления он должен быть отключен.

В схеме включать и отключать синхронный электродвигатель в зависимости от давления в магистрали можно вручную и автоматически. Режим управления пуском и остановом электродвигателя (автоматический или ручной) устанавливается переключателем управления ПУ1.

При ручном режиме управления пуск и остановка электродвигателя осуществляются кнопками управления КнП и КнС, а при автоматическом режиме – контактами электроконтактного манометра РДН и РДВ.

РДН – контакт электроконтактного манометра (или реле давления) по контролю нижнего предела давления; замыкается при достижении этого предела.

РДВ – контакт электроконтактного манометра по контролю верхнего предела давления.

**Схема управления синхронным электродвигателем** позволяет реализовать следующие схемы его возбуждения:

1. Схема с замыканием при пуске о.в. СД на разрядное сопротивление; подача возбуждения в функции **частоты** токов в роторе.
2. Схема с замыканием о.в. СД при пуске на разрядное сопротивление; подача возбуждения в функции **тока** статора.
3. Схема с постоянно подключенным к о.в. СД возбудителем; подача возбуждения шунтированием добавочного сопротивления (СП) в функции тока статора.

Выбор схемы возбуждения осуществляется переключателем управления ПУ2. В соответствии со схемой его рукоятка может быть поставлена в позиции «Частота», «Ток», «Постоянно».

Основные элементы, реализующие различные схемы возбуждения синхронного электродвигателя:

В – возбудитель установленный на валу СД.

СР – сопротивление разрядное для схем «Частота» и «Ток».

СП – сопротивление добавочное (пусковое) для схемы «Постоянно».

РУЧ – реле управления подачей возбуждения в функции частоты токов в роторе.

РУТ – реле управления подачей возбуждения в функции тока статора.

М – контактор подачи возбуждения синхронного электродвигателя.

Его назначение в схеме «Постоянно» шунтировать сопротивление СП, а в схемах «Частота» и «Ток» подключать возбудитель к о.в. синхронного электродвигателя и отключать сопротивление СР при подсинхронной скорости.

Особенность контактора М: при включении встает на защелку, и размыкающим контактом защелки МЗ снимается напряжение с его катушки. При отключении контактора подается напряжение на катушку защелки и кратковременно через ее закрытый замыкающий контакт на катушку М. Такое кратковременное включение контактора при его отключении необходимо для подтягивания подвижной части контактора с целью более свободного выхода защелки.

РВ1, РВ2 – реле времени, поочередно срабатывая, исключают преждевременное включение М в начальный момент пуска, когда реле РУЧ или РУТ (в зависимости от схемы) еще не втянулось.

Кроме того, реле РВ1 создает паузу перед включением контактора М после отпадания реле РУЧ или РУТ, а реле РВ2 создает выдержку времени после включения М для надежной постановки этого контактора на защелку.

РФ, КФ – соответственно реле и контактор форсировки возбуждения.

Схема управления синхронным электродвигателем предусматривает несколько видов его защиты. Все они реализуются через реле защиты РЗ контактором ВЛ.

#### **1. Максимальная токовая защита.**

Выполнена на максимальных реле РМ1 и РМ2, установленных в двух фазах электродвигателя.

#### **2. Защита от затяжного пуска.**

Выполняется на реле контроля продолжительности пуска РКП1 и РКП2 в сочетании с реле наличия тока в о.в. синхронного электродвигателя РНТ. Контакты РКП1 и РКП2 с замедлением при возврате создают суммарную выдержку времени после включения контактора ВЛ, необходимую для регистрации тока в о.в., которая фиксируется срабатыванием размыкающего контакта реле РНТ. Если в течение выдержки времени реле РНТ не включается, то есть тока в о.в. СД не будет, включится реле РЗ.

#### **3. Защита от потери возбуждения при работе.**

Контроль наличия тока в о.в. СД осуществляется реле РНТ. Исчезновение тока на время, большее выдержки времени размыкающего контакта с замедлением при возврате реле РНТ, приводит к включению реле РЗ.

#### **4. Защита от асинхронного режима работы СД при выпадении из синхронизма.**

Регистрация асинхронного режима достигается токовым реле защиты РТА. При выпадении СД из синхронизма, например, в случае перегрузки, включается реле РТА, что влечет включение реле времени РВ3. Контакт РВ3 с замедлением при срабатывании включает реле РЗ. Временная уставка реле РВ3 должна быть больше суммы уставок реле РКП1 и РКП2.

Наличие напряжения в цепях схемы и срабатывание защит контролируется сигнальными лампами и блинкерными реле РВ.

### **4. Сведения о лабораторной установке**

Электрооборудование лабораторной установки состоит из синхронного низковольтного электродвигателя, сочлененного с

возбудителем, аппаратов управления, контрольно-измерительных приборов и сигнальных ламп.

Электродвигатель с возбудителем установлены на постаменте в зале лаборатории. Остальная часть электрооборудования смонтирована на двух панелях, причем все сопротивления, трансформатор тока для РТА, вентили и выключатель в цепи статора В1 – на обратной стороне панелей, здесь же выполнен и монтаж схемы.

Напряжение на входе выключателей В1 и В2 – 220В.

На панелях приведена электрическая принципиальная схема управления синхронным высоковольтным электродвигателем компрессорной станции. На этой схеме в цепи статора показан разъединитель (позиционное обозначение В1). В схеме же лабораторной установки вместо него используется выключатель с автоматическим возвратом (автомат).

В лабораторной установке электроконтактный манометр имитирован кулисным механизмом с приводом от микродвигателя. Вместе с кулисой перемещается показывающая стрелка. В одном из крайних положений кулисы замыкается контакт РДН, в другом крайнем положении – контакт РДВ. Микродвигатель подключен к выходу выключателя В2 через тумблер. Включенное состояние тумблера соответствует надписи на панели «Работа на магистраль».

Лабораторная установка не требует сборки схемы.

## **5. Программа работы**

Программу работы следует выполнять в соответствии с методическими указаниями раздела 5.

1. Изучить электрическую принципиальную схему управления синхронным высоковольтным электродвигателем компрессорной установки.

2. Изучить электрооборудование лабораторной установки, сопоставляя его с электрической принципиальной схемой управления синхронным высоковольтным электродвигателем компрессорной установки.

3. Составить электрическую принципиальную схему управления синхронным электродвигателем лабораторной установки.

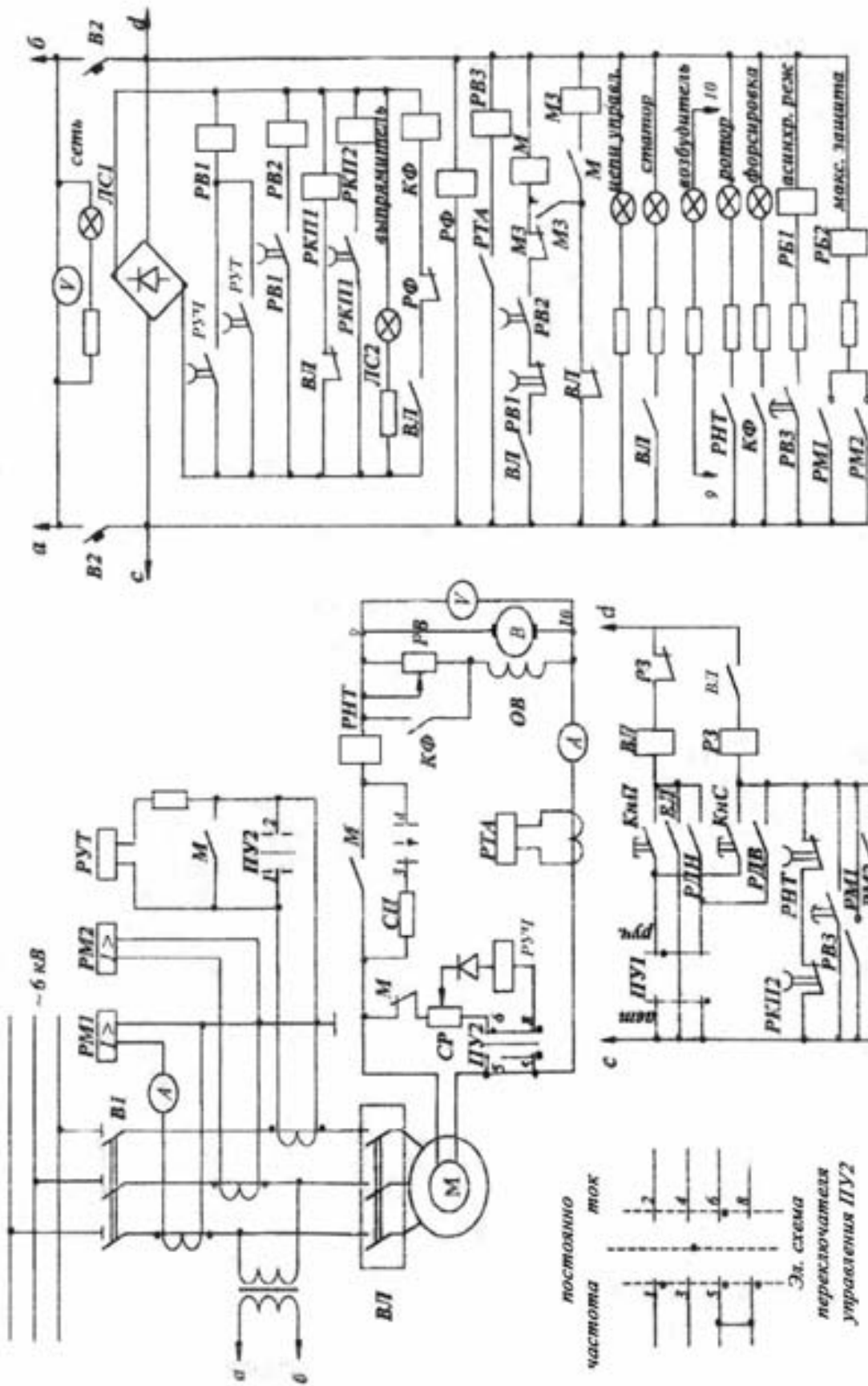


Рис. 3.3. Автоматизация компрессорной установки

4. Практически проанализировать работу схемы автоматизации



компрессорной установки. Произвести регулировочные работы.

5. Построить характеристики  $Q_n$  для компрессора при различных скоростях вращения, если характеристика для  $\omega < \omega_n$  задана.

6. Составление отчета.

## **6. Методические указания по выполнению лабораторной работы**

1. Изучая электрическую принципиальную схему управления СД высокого напряжения компрессорной установки, необходимо:

а) уяснить назначение всех аппаратов, контактов контакторов и реле;

б) четко представлять работу аппаратов при различных режимах управления пуском и остановом синхронного электродвигателя, а также при различных схемах его возбуждения;

в) составить последовательность действий оператора при пуске и останове СД в различных режимах управления – ручном и автоматическом.

Электрическая принципиальная схема управления синхронным высоковольтным электродвигателем компрессорной установки приведена на панели и в руководстве к лабораторной работе. Изучая эту схему, необходимо ознакомиться с разделами: «Сведения о способах управления синхронным электродвигателем» и «Схема управления СД компрессорной установки».

Следует заметить, что применение многих видов защиты синхронного электродвигателя облегчает выявление ненормального режима его работы. Вместе с тем, они усложняют схему. Поэтому иногда идут на упрощение защиты. При этом учитывается тот факт, что при затяжном пуске и при потере возбуждения, и при выпадении из синхронизма ток в статоре либо пиковый, либо подсинхронный (См. график в разделе «Сведения о способах управления синхронным электродвигателем»). Следовательно, можно применить такое реле максимального тока, которое мгновенно срабатывает при к.з. в электродвигателе и с выдержками времени при пиковом и подсинхронном токе статора. Именно такие реле максимального тока РМ1 и РМ2 использованы в схеме лабораторной установки. Однако они настроены на выполнение лишь максимальной токовой защиты, т.е. от тока короткого замыкания и токов, которые значительно больше пикового тока статора.

2. Сопоставляя электрооборудование лабораторной установки с электрической принципиальной схемой управления СД компрессорной установки, учесть элементы несоответствия. Как отмечалось в начале раздела «Схема управления СД компрессорной установки», они связаны с использованием в лабораторной установке низковольтного синхронного электродвигателя.

Кроме того, вместо разъединителя в цепи статора использован выключатель с автоматическим возвратом.

3. Электрическая принципиальная схема управления синхронным электродвигателем компрессорной установки применительно к лабораторной работе составляется по типу принципиальной схемы, приводимой на панели и в руководстве к данной лабораторной работе. Однако учитываются те несоответствия, о которых упоминалось в предыдущем пункте.

4. Практически анализируя работу схемы автоматизации компрессорной установки, обратить внимание на последовательность работы аппаратуры в соответствии с принципиальной схемой. Анализ работы схемы произвести при ручном и автоматическом управлении пуском и остановом с различными схемами возбуждения СД. Осуществляя пуск электродвигателя, придерживаться следующей последовательности:

- а) включить выключатель В1. Включение производится преподавателем или лаборантом. Включенное состояние В1 контролируется сигнальной лампой «Сеть». При исправной установке выключатель остается включенным в течение всего занятия;
- б) переключателем ПУ1 установить ручной режим управления;
- в) переключателем ПУ2 выбрать одну из схем возбуждения электродвигателя;
- г) включить выключатель В2;
- д) включение электродвигателя производить кнопкой «Пуск», а его остановку – кнопкой «Стоп»;
- е) для перевода схемы в автоматический режим управления переключатель ПУ1 перевести в соответствующее положение. Для останова электродвигателя необходимо прежде произвести переключение его управления на ручной режим.

Для работы с другими схемами возбуждения последовательность действий та же.

При необходимости произвести регулировочные работы (по согласованию с преподавателем).

При выполнении работы соблюдать особую осторожность. Схема находится под напряжением даже при неработающем электродвигателе, если горит сигнальная лампа «Сеть». Работа аппаратов сопровождается сильным звуковым эффектом, искрением и даже горением малой дуги в контактных системах. Поэтому держаться следует на некотором удалении от панелей, и не приближать лицо к аппаратам.

Принудительное включение аппаратов недопустимо.

При чередующихся с большой частотой включениях и отключениях контактора ВЛ и реле РЗ («стрельба»), искрении в их контактных системах перевести управление на ручной режим и отключить электродвигатель. Если это не удастся, выключить выключатель В2.

Выключатель В2 следует выключать при продолжительном перерыве в работе.

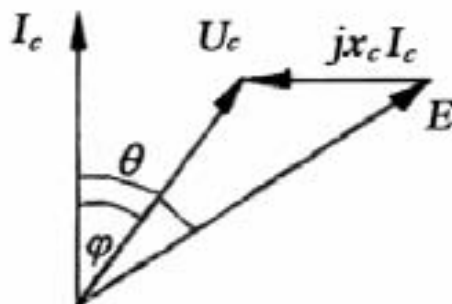
По правилам эксплуатации синхронных двигателей допускается не более трех пусков подряд с перерывом между ними в одну минуту. Поэтому для автоматического режима управления продолжительность работы не должна превышать 6 минут.

## 7.Содержание отчета

- 1.Электрическая принципиальная схема управления синхронным электродвигателем компрессорной установки (применительно к лабораторной установке). Перечень аппаратов с указанием их наименования и назначения в схеме.
- 2.Принципы контроля косвенным путем подсинхронной скорости при асинхронном пуске СД с приведением графиков.
3. Схемы возбуждения синхронных электродвигателей, их сущность.

### Контрольные вопросы

- 1.Как настроить электромагнитное реле с демпфером на отключение при подсинхронной скорости?
- 2.Какова необходимость подключения реле РТА через трансформатор тока?
- 3.Какому режиму работы синхронного двигателя соответствует упрощенная векторная диаграмма?



- 4.Какую частоту имеет ток ротора при входе двигателя в синхронизм?
- 5.На какую продолжительность включения должен быть выбран синхронный двигатель для привода компрессора крупного предприятия?

### Список литературы

1. Капунцов Ю.Д., Елисеев В.А., Ильященко П.А. Электрооборудование и электропривод промышленных установок. М.,1979.

2. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных установок. М., 1975.
3. Сиротин А.А. Автоматическое управление электроприводами. М., 1969.

(Продолжительность лабораторного занятия 4 часа. Домашняя работа – 2 часа).

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ БЫСТРОХОДНОГО ЛИФТА**

#### **1. Цель работы**

Изучение основных принципов построения и функционирования схем электрооборудования грузовых и пассажирских подъемников.

#### **2. Сведения о типовых схемах электрооборудования лифтов**

Подъемники применяются для транспортировки грузов и людей или в вертикальном направлении или в вертикальном и горизонтальном направлениях одновременно. Перемещение осуществляется в специальных кабинах при помощи грузонесущих устройств.

К указанным механизмам относят грузовые и пассажирские лифты, шахтные подъемные машины, фуникулеры и т.п.

Наибольшее распространение получили механизмы вертикального транспорта - пассажирские лифты. Эти установки имеют высокий уровень автоматизации, что объясняется довольно жесткими требованиями к комфортабельности, доступности и безопасности использования.

Основными частями лифта являются кабина, подъемная лебедка, канаты, противовес, электродвигатель, электромеханическое тормозное устройство, аппаратура управления.

Главные требования, которым должен удовлетворять электропривод и электроавтоматика лифта: точная остановка кабины против заданного уровня, обеспечение минимального времени переходных процессов, ограниченные величины ускорений и производной от ускорений и производной от ускорений (рывка).

Система электропривода и схема управления определяются в основном скоростью движения кабины, которая существенным образом влияет на производительность лифта.

Увеличение скорости движения кабины позволяет повысить производительность лифта, однако вместе с этим увеличивается и сложность системы управления лифтом.

Лифты подразделяются по скорости движения на:

- 1) тихоходные (0,5 – 0,65 м/с);
- 2) быстроходные (1,0 – 1,5 м/с);
- 3) скоростные (2,0 – 2,5 м/с);
- 4) высокоскоростные (3,5 – 5,0 м/с).

В соответствии с такой классификацией выпускаются типовые схемы электрооборудования.

При скорости движения от 1 м/с и выше электропривод лифта должен быть регулируемым, обеспечивающим снижение скорости кабины при подходе к адресному этажу с тем, чтобы обеспечить ее остановку на этаже с необходимой точностью. Так, в быстроходных лифтах применяется двухскоростной асинхронный электродвигатель, который при подходе кабины к этажу переводится на пониженную частоту вращения.

В скоростных и высокоскоростных лифтах применяется регулируемый электропривод постоянного тока, построенный по системе Г–Д, или статический вентильный преобразователь-двигатель. Перевод двигателя на пониженную частоту вращения осуществляется соответствующей аппаратурой по сигналу, снимаемому со специального устройства – датчика точной остановки.

Во всех случаях, независимо от скорости кабины, схема должна предотвращать возникновение аварийных ситуаций при обрыве каната, обеспечивать отключение электропривода и наложение механических тормозов при неправильном использовании лифта (открытые двери кабины, шахты, ослабление канатов и т.п.), поэтому лифт оборудуется соответствующей аппаратурой контроля блокировки и защитами.

Все современные системы управления лифтами предназначены для работы в автоматическом режиме (без лифтеров), поэтому схемы содержат элементы, обеспечивающие доставку пассажиров по выбранному адресу (этажные реле, переключатели) после нажатия ими кнопок вызова или адреса.

Кроме того, предусматриваются устройства сигнализации, указатели направления движения и номера этажа, которые проходит кабина.

Все электрооборудование расположено в шахте, кабине и машинных помещениях.

### **3. Основные расчетные соотношения**

Производительность пассажирских лифтов может быть определена по формуле [2]:

$$Q = \frac{3600 \cdot \gamma \cdot E}{\frac{2H}{V} + \sum t_{всн}}, \quad (4.1)$$

где  $E$  – вместимость кабины (чел);  $E = \frac{G}{70}$ ;

$G$  – грузоподъемность кабины (кг);

$\gamma$  – коэффициент загрузки кабины  $\gamma = 0,8 - 1,0$ ;

$H$  – высота подъема кабины (м);

$V$  – скорость движения (м/с);

$t_{всн}$  – время, затрачиваемое на вспомогательные операции (с);

$$\sum t_{всн} = t_1 + t_2 + t_3 + t_{4n} + t_{4c} + t_{5n} + t_{5c} + t_6,$$

где  $t_1$  – время разгона от 0 до  $V$ ;

$t_2$  – время торможения;

$t_3$  – время открывания и закрывания дверей;

$t_{4n}, t_{4c}$  – время входа пассажиров при подъеме и спуске;

$t_{5n}, t_{5c}$  – время выхода при подъеме и спуске;

$t_6$  – время на случайные задержки.

С целью увеличения производительности лифта целесообразно сокращать время разгона и торможения, однако большие ускорения могут оказать неприятные физиологические воздействия на пассажиров, поэтому принят ряд оптимальных значений ускорений в зависимости от скорости движения, обеспечивающих наибольшую производительность при благоприятном самочувствии людей в кабине [2] (табл. XI.3).

В зависимости от загрузки кабины все величины, от которых зависит путь, пройденный кабиной при торможении ее до остановки, изменяются, поэтому и путь  $S$  изменяется тоже. Неточность остановки кабины от заданной отметки определяется следующим выражением [1]

$$\Delta S_{дон} = \Delta S_{max} = V_0 \sum t_0 \left( \frac{\Delta V}{V_0} + \frac{\Delta t}{\sum t_0} \right) + \frac{m_0 V_0^2}{2F_{0\Sigma}} \cdot \left( 2 \frac{\Delta V}{V_0} + \frac{\Delta m}{m_0} + \frac{\Delta F}{F_{0\Sigma}} \right), \quad (4.2)$$

где  $V_0$  – средняя скорость движения перед торможением (м/с);

$\Delta V$  – отклонение скорости кабины от среднего значения;

$\sum t_0, \Delta t$  – суммарное время срабатывания аппаратуры и возможные отклонения при срабатывании;

$F_{0\Sigma}, \Delta F$  – средняя величина усилия тормоза и статическое усилие при торможении, приведенные к скорости кабины;

$m_0, \Delta m$  – среднее значение массы кабины с грузом и возможное ее отклонение.

Задаваясь значениями  $V_0$  и  $\Delta S_{дон}$  и пользуясь уравнением, находят отношение  $\Delta V / V_0$ , а затем и отклонение  $\Delta V$ . Следовательно, становятся известными требования к системе электропривода по обеспечению необходимого диапазона регулирования частоты вращения двигателя ( $D = \Delta V / V_0$ ) и к жесткости механических характеристик.

Задаваясь значениями  $V_0$ , нужно иметь ввиду, что уравнение (4.2) имеет смысл, т.е. справедливо, лишь в пределах:

$$0 < \frac{\Delta V}{V_0} < 0,5 ,$$

т.е. отклонение скорости  $\Delta V$  не должно превышать 50% от скорости движения перед остановкой.

#### 4. Сведения о лабораторной установке

Лабораторная установка – это макет быстроходного лифта, предназначенного для обслуживания четырехэтажного здания гражданского назначения. Она содержит все необходимые элементы конструкции и оборудования лифта: кабину, противовес, систему тросов, подъемную лебедку, электротормоз, необходимые блокировки и защиты. Привод выполнен на базе асинхронного двухскоростного электродвигателя. Управление электроприводом осуществляется при помощи электроаппаратуры, расположенной в машинном помещении, шахте, кабине и этажных площадках.

Вызов кабины на этаж осуществляется при помощи кнопок вызова, расположенных в левой части кнопочной станции (КВ1, КВ2 и т.д.), а задание адреса – кнопками приказа в правой части (КП1, КП2 и т.д.).

Панель с аппаратурой управления подключается к сети через воздушный автомат.

Безопасность эксплуатации лифта обеспечивается блокировками ДШ, ДК, разрешающими работу только при закрытой двери шахты. Датчики ДШ и ДК выполнены в виде микропереключателей, на которые воздействуют ручки запирания дверей соответственно шахты и кабины.

Отличиями лабораторной установки от типовых схем являются:

1. Отсутствие датчиков натяжения канатов и ловителей, обеспечивающих остановку кабины при недопустимой перегрузке лифта и обрыве канатов.

2. Отсутствие датчиков состояния кабины (загружена она или пустая). Типовые схемы оборудуются устройствами подобного рода для исключения возможности вызова кабины на этаж при занятом ее состоянии.

Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис.4.1.

#### 5. Программа работы

1. Изучить электрическую принципиальную схему электрооборудования быстроходного лифта.

2. Изучить расположение электрооборудования лабораторной установки.
3. Включить макет лифта. Проверить его работу во всех режимах (работу на подъем и спуск кабины, движение на большой и малой скоростях).
4. Проанализировать работу электрооборудования и составить описание работы схемы для цикла, указанного преподавателем.
5. Произвести расчет параметров лифта в соответствии с исходными данными и данными таблиц 4.1 и 4.2.

## **6. Методические указания по выполнению**

### **лабораторной работы**

Главной задачей, стоящей перед студентами, является составление описания работы электрооборудования лифта, когда есть принципиальная схема установки и ее действующий макет. Задачи подобного рода очень часто встречаются в производственной деятельности инженера-электроприводчика.

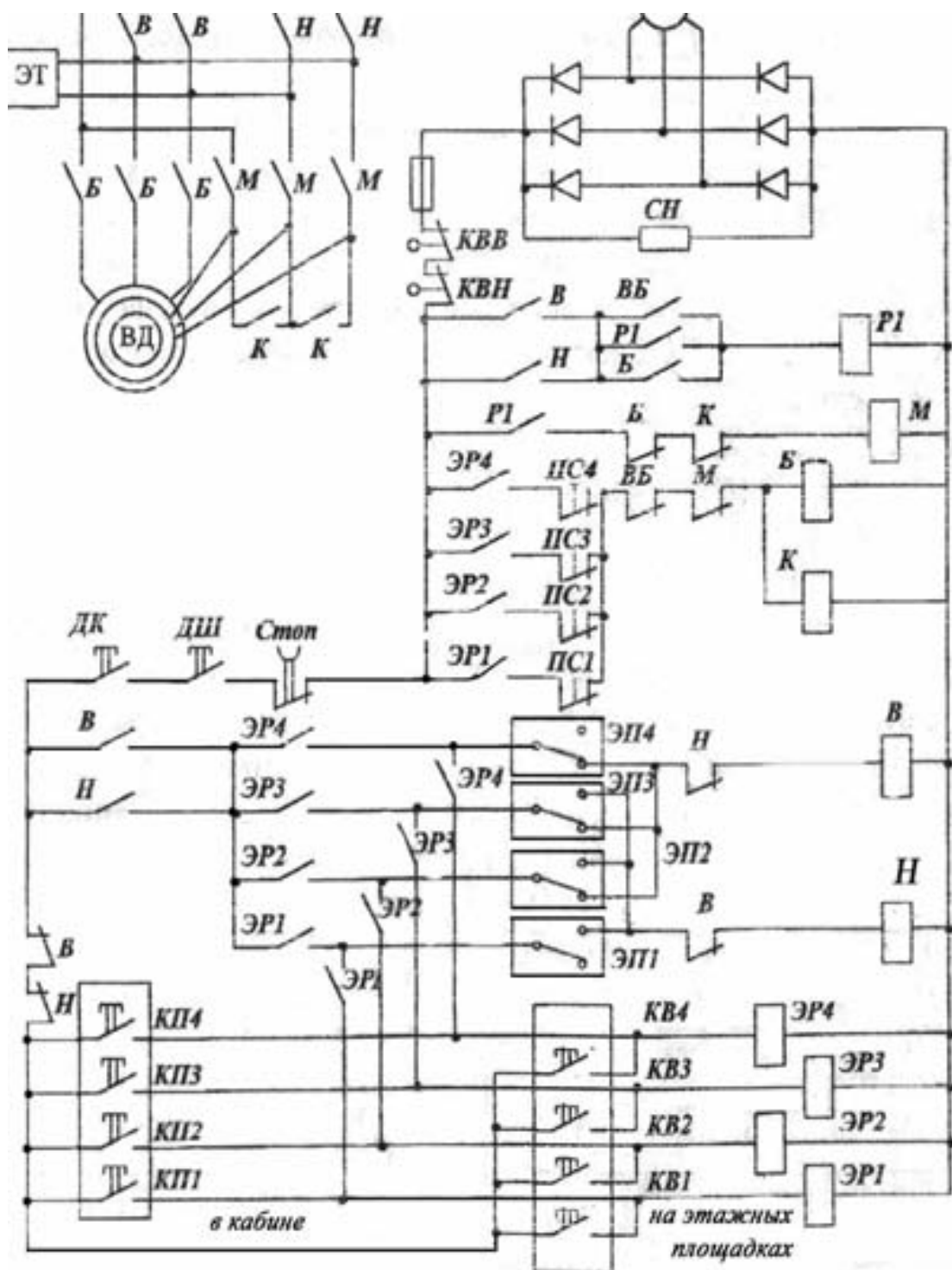
1. Изучение электрической принципиальной схемы целесообразно начинать с вычерчивания этой схемы. При этом станет ясна связь между отдельными цепями и элементами схемы в процессе ее функционирования. Для улучшения условий работы принципиальная схема электрооборудования приведена в руководстве, а также вычерчена и закреплена на дверце шахты.

2. Изучение электрооборудования заключается в определении мест расположения его элементов, в уяснении назначения этих элементов и причин, вызывающих срабатывание. Следует обратить внимание на конструкцию, места расположения и причины срабатывания блокировок и переключателей скорости.

3. Этот пункт программы выполняется при включенной лабораторной установке и переключается с п. 2. При выполнении его надо соблюдать особую осторожность и быть предельно внимательным, так как аппаратура находится под напряжением, и не исключена возможность попадания под напряжение студентов, выполняющих работу.

4. Анализируя работу схемы, надо выяснить последовательность срабатывания аппаратуры и соответствие работы электрооборудования принципиальной схеме. Преподаватель задает цикл работы, например: кабина находится на 4 этаже, вызов поступил с 1-го этажа, после достижения кабиной 1-го этажа она загружается и отправляется на 3 этаж.





ис. 4.1. Схема электрооборудования быстроходного лифта

5. Расчетная часть работы включает в себя определение производительности лифта при заданных параметрах движения и размерах кабины, а также расчет диапазона регулирования частоты вращения электродвигателя, исходя из заданной точности остановки, который влияет на выбор системы электропривода.

### Исходные данные для расчета

Лифт предназначен для эксплуатации в 12-этажном жилом доме. Высота подъема лифта – 40 м. Кинематическая схема лифта содержит противовес, электротормоз с усилием  $F_{тор}$ . Привод может быть выполнен как на переменном, так и на постоянном токе. Диаметр канатоведущего шкива 300 мм, передаточное число редуктора  $i=50$ , время срабатывания аппаратуры управления 0,25 с. Остальные величины берутся из таблиц 4.1 и 4.2 или рассчитываются по формулам [1, 2].

### 6. Содержание отчета

1. Принципиальная электрическая схема электрооборудования лабораторной установки, перечень элементов и их назначение.
2. Описание работы электрооборудования для указанного цикла.
3. Расчеты производительности лифта, диапазона регулирования частоты вращения электродвигателя и необходимой жесткости механических характеристик электропривода.
4. Выводы по проделанной работе.

### 7. Контрольные вопросы

1. Для какой цели в схему включены последовательно соединенные размыкающие контакты В и Н?
2. Поясните цель постановки реле Р1.
3. Какие защиты и блокировки введены в схему управления лифтом?
4. От каких факторов зависит точность остановки кабины лифта?
5. Как рассчитать массу движущихся частей, приведенную к кабине, соответствующее ее отклонение ( $m_0$  и  $\Delta m$ )?

Таблица 4.1

Параметры	Ед. изм.	Переменный ток		Постоянный ток			
		0,5	0,75	1,0	1,5	2,5	3,5
Скорость лифта	м/с	0,5	0,75	1,0	1,5	2,5	3,5
Максимальное ускорение	м/с <sup>2</sup>	1,0	1,00	1,5	1,5	2,0	2,0
Среднее расчетное ускорение	м/с <sup>2</sup>	0,5	0,80	0,8	1,0	1,5	1,5

Таблица 4.2

Скорость лифта $V$		Вес кабины $G_k$	Номин. вес гр. $G_r$	Тормозное усилие	$\Delta t / \Sigma t_0$	КПД редуктора $\eta$	Точность остановки $\Delta S$	Маховый момент двиг. и ред. $GD_{дв}^2 + GD_p^2$
м/с		кг	кг	Н	о.е.	%	мм	кг·м <sup>2</sup>
1	1	600	400	1000	0,15	75	15	10
2	1,5	1000	600	1000	0,15	75	25	15
3	0,75	600	400	1000	0,15	75	10	10
4	2,5	1000	600	1000	0,15	75	15	20
5	3,5	600	400	1000	0,15	75	25	10
6	0,75	1000	600	2000	0,15	75	10	15
7	1,0	1000	600	2000	0,15	75	15	20
8	1,5	600	400	2000	0,15	75	25	20
9	2,5	600	400	2000	0,15	75	10	10
10	3,5	1000	600	2000	0,15	75	15	15

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.

### РАЗРАБОТКА ЗАДАТЧИКА ИНТЕНСИВНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СКОРОСТНОГО ЛИФТА

#### 1. Цель работы

1. Исследование динамических режимов в автоматизированном электроприводе скоростного пассажирского лифта, построенного по принципу подчиненного регулирования.

2. Развитие навыков по конструированию элементов и узлов современных электроприводов.

#### 2. Общие положения

Для увеличения средней скорости движения кабины лифта, определяющей его производительность, необходимо сокращать время пуска и торможения электропривода, т.е. увеличивать производные от скорости движения. Однако большие ускорения и рывок (скорость нарастания ускорения) могут оказать неблагоприятное физиологическое воздействие на пассажира, поэтому эти параметры движения ограничены следующими значениями:

максимальное ускорение  $a_{max}=2\text{м/с}^2$ , максимальный рывок  $p_{max}=20\text{ м/с}^3$ .

В связи с этим принято считать оптимальным график скорости движения кабины, показанный на рис. 5.1. На определенных участках этого графика величины ускорений и рывок в начале и конце движения кабины поддерживаются постоянными, равными предельно допустимым значениям  $[a_{\max}]$ ,  $[p_{\max}]$ .

На графике разгона можно выделить три характерных участка:

- 1) **ОА.** Время разгона от 0 до  $t_1$ . На этом участке постоянным поддерживается рывок, ускорение изменяется по линейному закону, скорость движения кабины – по параболе, т.е.

$$p_1 = p_{\max}; \quad a_1 = p_{\max}t; \quad V_1 = \frac{p_{\max}t^2}{2} \quad (5.1)$$

В конце этого участка движение характеризуется следующими параметрами:

$$p_A = 0; \quad a_A = p_{\max}t; \quad V_A = \frac{p_{\max}t_1^2}{2} = \frac{a_{\max}^2}{2p_{\max}} \quad (5.2)$$

Время движения на 1-м участке от 0 до  $t_1$  составит:

$$T_1 = \frac{a_{\max}}{p_{\max}} \quad (5.3)$$

- 2) **АБ.** Время разгона от  $t_1$  до  $t_2$ . На этом участке движение осуществляется с постоянным ускорением, скорость изменяется по линейному закону, а рывок отсутствует, т.е.

$$p_2 = 0; \quad a_2 = a_{\max}; \quad V_2 = V_A + a_{\max}t \quad (5.4)$$

Время движения на этом участке и скорость в конце этого участка зависят от величины номинальной скорости кабины:

$$V_B = V_A + a_{\max}(t_2 - t_1) = V_H - \frac{a_{\max}}{2p_{\max}} \quad (5.5)$$

Отсюда

$$t_2 - t_1 = T_2 = \frac{V_H - V_A}{a_{\max}} - \frac{a_{\max}}{2p_{\max}} \quad (5.6)$$

- 3) **БВ.** Время разгона от  $t_2$  до  $t_3$ . На этом участке рывок имеет максимальное значение, ускорение снижается по линейному закону до 0, скорость достигает номинального значения, т.е.

$$p_3 = -p_{\max}; \quad a_3 = a_{\max} - p_{\max}t; \quad V_3 = V_B - \int_0^t a_3 dt \quad (5.7)$$

Здесь  $t$  отсчитывается от момента  $t_2$ . В конце участка получаем установившееся движение, т.е.  $p_B = 0$  ;  $a_B = 0$  ;  $V_B = V_H$ .

Процесс пуска на этом закончен. Дальше кабина движется с номинальной скоростью, а при подходе к адресному этажу начинается участок торможения.

Практическая реализация приведенного графика движения кабины возможна путем формирования задающего сигнала, соответствующего этому графику и подаваемого на вход системы стабилизации скорости, построенной по принципу подчиненного регулирования. Устройство формирования задающего сигнала носит название задатчика интенсивности и является по сути аналоговым устройством программного управления скоростью движения.

Структурная схема задатчика интенсивности, обеспечивающего указанный алгоритм формирования задающего сигнала, приведена на рис. 5.2.

Параметры задатчика интенсивности могут быть рассчитаны, исходя из следующих соображений:

а) в точке В графика ускорение отсутствует,  $a = 0$ ; скорость становится номинальной,  $V_B = V_H$ , тогда

$$U_3 - k_{oc} V_3 = 0; \quad k_{oc} = \frac{U_3}{V_3}; \quad (5.8)$$

б) в точке Б графика ускорение имеет максимальное значение,  $a = a_{max}$ ; скорость кабины – значение  $V_B$  а рывок должен изменять знак, тогда уравнение для напряжений на входе задатчика интенсивности:

$$U_3 - k_{oc1} U_{a_{max}} - k_{oc2} V_B = 0; \quad k_{oc1} = \frac{U_3 - k_{oc2} V_B}{U_{a_{max}}} \quad (5.9)$$

$U_3$  – напряжение на входе задатчика интенсивности;

$U_{a_{max}}$  – напряжение, соответствующее максимальному ускорению;

$V_3$  – напряжение на выходе задатчика интенсивности.

Исходные данные для работы приведены в таблице 5.1 и выбираются по указанию преподавателя.

**Таблица 5.1**

Параметр движения	Единица измерения	Вариант							
		1	2	3	4	5	6	7	8
$P$	$м/с^3$	10	10	20	20	15	15	5	5
$A$	$м/с^2$	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5
$V$	$м/с$	3,5	4,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,5	3,5

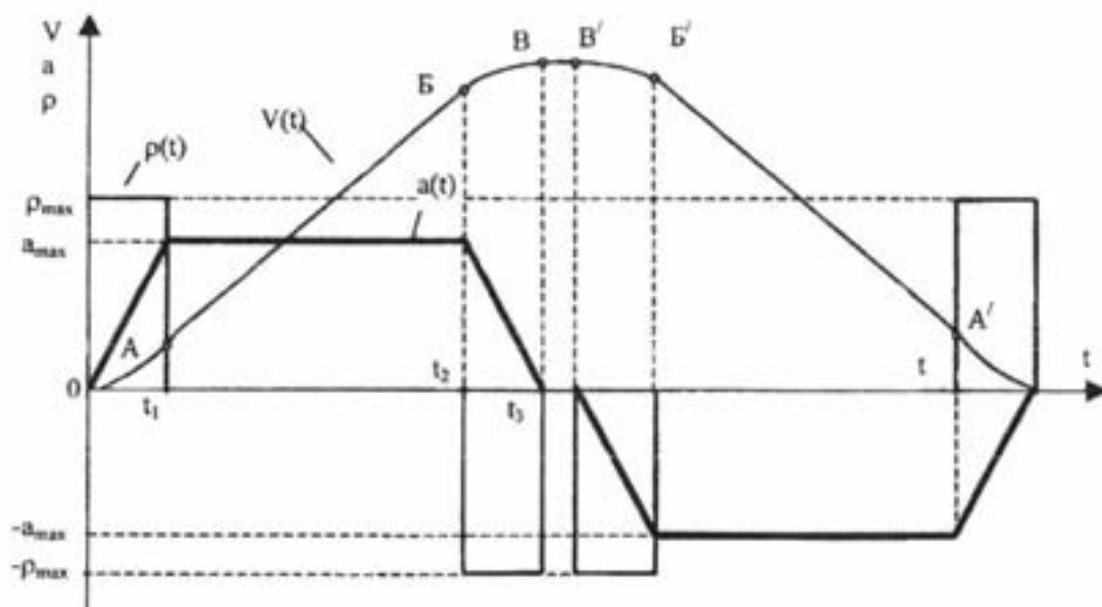


Рис. 5.1. Тахограмма и графики изменения ускорения и рывка

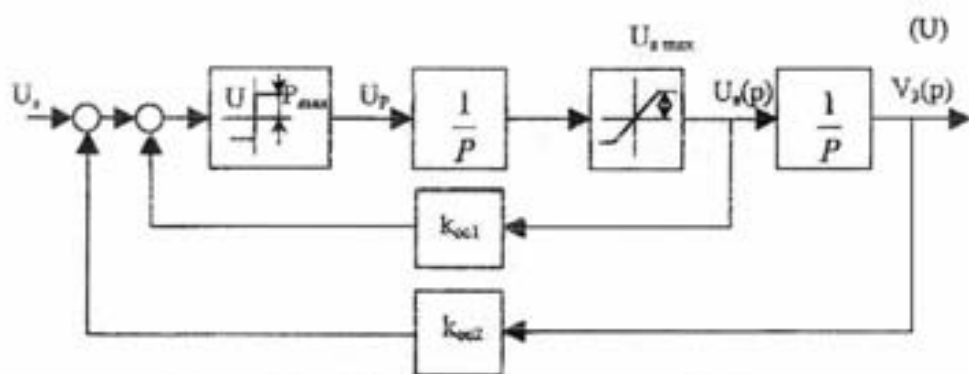


Рис. 5.2. Структурная схема ЗИ

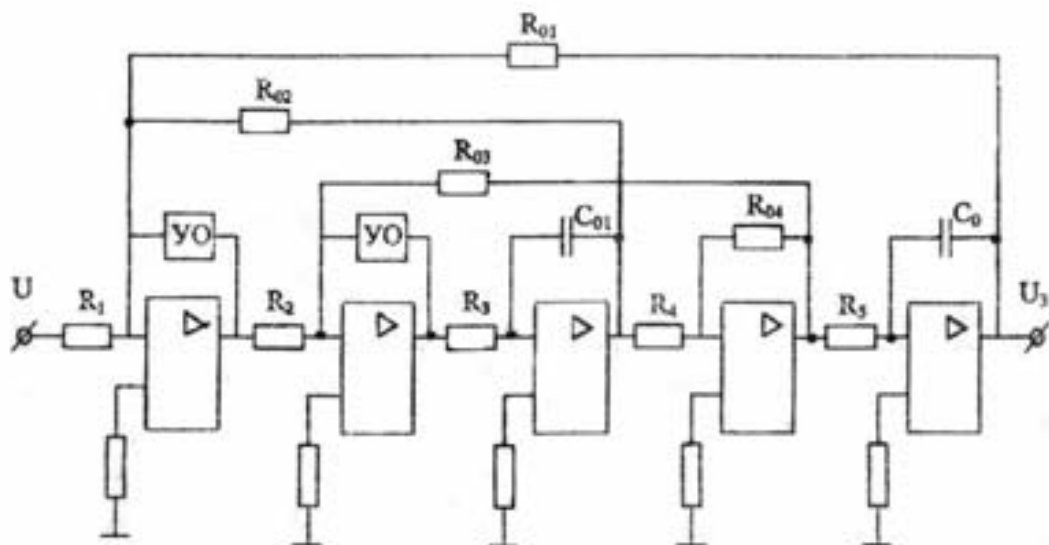


Рис. 5.2. Функциональная схема ЗИ

$U$  – напряжение на входе задатчика интенсивности.  
 $U_3$  – напряжение на выходе задатчика интенсивности (входное напряжение для системы электропривода).  
 $R_i$  – резисторы входных цепей микросхем ЗИ.  
 $C_{0i}, R_{0i}$  – емкости и сопротивления цепей обратных связей.  
 $A_i$  – операционные усилители (в интегральном исполнении).

### 3. Программа работы

1. Рассчитать параметры движения кабины на всех участках тахограммы.
2. По рассчитанным интервалам времени, скорости движения, величинам рывков и ускорений построить эпюры напряжений, соответствующих этим параметрам движения.
3. Выбрать необходимую элементную базу для принципиальной схемы задатчика интенсивности (на основе заданной функциональной схемы).
4. Составить принципиальную схему задатчика.
5. Рассчитать параметры элементов принципиальной схемы.

### 4. Методические указания по выполнению работы

Выполнение работы необходимо начать с расчета тахограммы движения кабины лифта, т.е. определить значение скорости кабины в характерных точках А, Б, В, где имеет место изменение характера движения. Расчеты производить по выражениям (5.1 – 5.7).

Далее от графика изменения скорости кабины переходят к графику изменения входного для системы электропривода напряжения задания частоты вращения двигателя. При этом имеем в виду, что между скоростью движения кабины и частотой вращения двигателя существует прямая зависимость; что между частотой вращения двигателя и напряжением задания на входе системы электропривода также прямая зависимость, т.е.  $V \equiv w$ ;  $w \equiv U_3$ .

Тогда каждой точке тахограммы будет соответствовать точка графика выходного напряжения задатчика интенсивности, подключенного ко входу электропривода, т.е. тахограмма движения кабины в определенном масштабе будет являться графиком изменения напряжения задания для СЭП. Масштаб

можно найти из соотношения: 
$$U_{3H} = \frac{w_H}{k_\xi} = \mu \cdot V_H,$$

где  $U_{3H}$  – напряжение задания для электропривода, соответствующее номинальной частоте вращения двигателя  $w_H$ ;

$k_\xi$  – коэффициент передачи СЭП;

$V_H$  – номинальная скорость движения кабины между этажами.

## **5. Содержание отчета**

1. Структурная схема задатчика интенсивности и полная принципиальная схема сконструированного узла, временные диаграммы изменения напряжения.
2. Исходные данные для расчета тахограммы движения кабины, системы уравнений для задатчика интенсивности и система уравнений для расчета параметров схемы.
3. Расчетные выражения и рассчитанные величины параметров элементов принципиальной схемы.

## **6. Контрольные вопросы**

1. Каков порядок расчета задатчика интенсивности?
2. Что лежит в основе синтеза задатчика интенсивности?
3. Какую схему имеет устройство с ограничением выходного сигнала?
4. Как осуществляется компенсация дрейфа нуля операционных усилителей?
5. Цель постановки задатчика интенсивности.

## **Список литературы**

1. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. М.: Энергия, 1980. – 300 с.
2. Чутчиков П.И. Электрооборудование лифтов массового применения. М.: Машиностроение, 1983. – 168 с.
3. Титце У., Шенк П. Полупроводниковая схемотехника. М.: Мир, 1982. – 512 с.

(Продолжительность лабораторного занятия 8 часов. Домашняя работа – 4 часа)



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

### 1. Цель работы

Целью настоящей работы является изучение принципов действия, способов построения и схемной реализации преобразователей сигналов, применяемых в современных системах программного управления технологическими установками, а также в системах микропроцессорного управления технологическими установками и процессами.

### 2. Сведения о преобразователях сигналов

Управление технологическим оборудованием связано с переработкой информации, которая представляется в различных формах. Информация, поступающая с технологического оборудования, представлена, как правило, в непрерывной (аналоговой) форме. Эта информация может быть в виде механических перемещений, амплитуды и фазы напряжения, частоты и временного интервала и т.д.

Вместе с этим практика свидетельствует о том, что наиболее эффективна обработка информации в цифровом виде при использовании средств вычислительной техники, поэтому возникает необходимость преобразования аналоговой информации в цифровую.

Формирование управляющих сигналов, подаваемых на исполнительные органы технологических установок, осуществляется на основе переработанной цифровой информации и требует обратного преобразования цифрового сигнала в аналоговый.

В замкнутых системах цифрового и числового программного управления с исполнительными электроприводами постоянного и переменного тока возникает необходимость в преобразовании управляющих сигналов, имеющих числовую дискретную форму, в непрерывный сигнал, амплитуда которого была бы пропорциональна этому числу. Обратная задача решается при обработке сигналов обратных связей, когда необходимо аналоговый сигнал привести к виду, удобному для обработки в системе ЧПУ, т.е. преобразовать аналоговый сигнал в цифровой код.

Указанные преобразования выполняются цифро-аналоговыми и аналого-цифровыми преобразователями (ЦАП и АЦП), которые являются одним из функциональных блоков устройств связи системы ЧПУ с объектами управления и, в частности, с электроприводами.

АЦП и ЦАП оказываются в большинстве случаев необходимыми и в любых других системах с цифровыми устройствами управления, в том числе и при управлении от ЭВМ.

## 1. Цифро-аналоговые преобразователи

Принцип работы ЦАП состоит в суммировании аналоговых сигналов, пропорциональных весам разрядов входного цифрового кода, с коэффициентами, равными нулю или единице в зависимости от значения соответствующего разряда кода.

Большинство современных ЦАП преобразуют входной двоичный код в сумму эталонных токов  $I_i$  с весовыми коэффициентами, соответствующими разрядам двоичного кода, и последующим преобразованием суммы токов в напряжение с помощью операционного усилителя (ОУ).

При  $n$  разрядах входного кода максимальное выходное напряжение ОУ  $U_{max}$  будет определяться суммой токов, соответствующих числу, т.е.

$$U_{max} = R_{oc} \cdot I_0 \cdot \sum_{i=0}^n 2^i, \quad (6.1)$$

где  $R_{oc}$  – сопротивление обратной связи ОУ.

Ток, соответствующий  $i$ -му разряду числа, будет равен

$$I_i = I_0 \cdot 2^i = \frac{U_{эз}}{R_0 2^{n-i}}; \quad I_0 = \frac{U_{эз}}{R_0 2^n}, \quad (6.2)$$

где  $R_0$  – сопротивление, обеспечивающее протекание тока, соответствующего старшему разряду числового кода.

Анализ формулы показывает, что точность ЦАП будет в основном определяться разбросом величин сопротивлений, формирующих разрядные токи  $I_i$ . Диапазон требуемых сопротивлений зависит от числа разрядов числового кода и равен  $2^n$ .

Диапазон сопротивлений резко сокращается, если для формирования разрядных токов применить матрицу сопротивлений типа  $R - 2R$ .

На рис.6.1 приведена структура ЦАП, построенного с использованием этой матрицы.

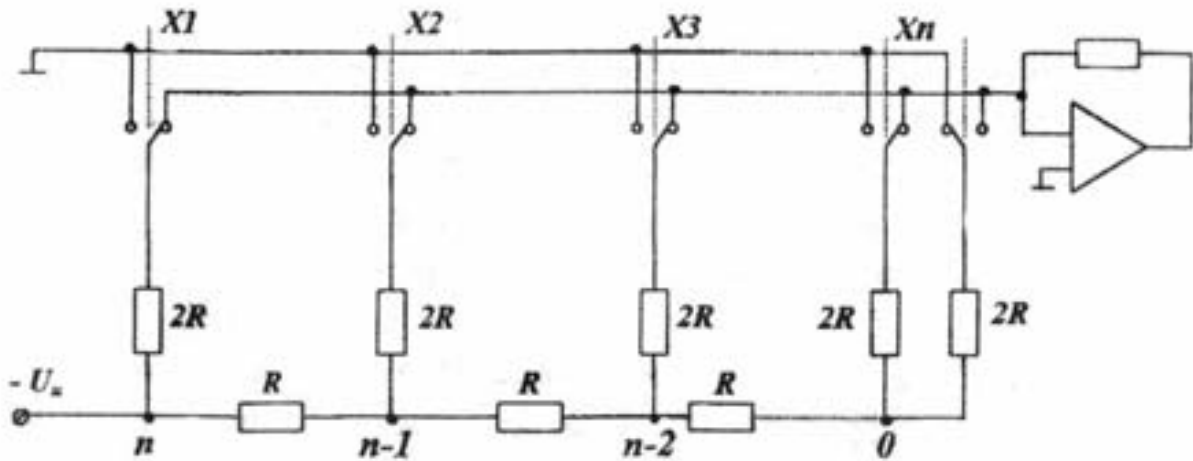


Рис. 6.1. Структурная схема ЦАП

В такой схеме напряжение в узлах  $0 - U$  будет возрастать пропорционально  $2^i$ , поэтому разрядные токи в ветвях  $2R$  равны:

$$I_i = \frac{U_{э2}}{R \cdot 2^{n-i+1}} = \frac{U_{э2}}{2R \cdot 2^{n-i}} \quad (6.3)$$

Обычно величина  $R$  принимается равной  $10 - 20$  кОм и число разрядов не более  $10 - 12$ , при этом время преобразования составляет  $0,5 - 5$  мкс.

Из (6.3) видно, что и в этой схеме высокая точность преобразования будет достигнута только при использовании прецизионных сопротивлений. Существуют ЦАП, в которых разрядные токи получают при помощи высококачественных транзисторных дифференциальных каскадов, выполненных на одном кристалле. В таких ЦАП точные резисторы необходимы лишь в источнике эталонного тока и в обратной связи ОУ.

Различают ЦАП последовательного, параллельного, параллельно-последовательного типов. Они отличаются схемными решениями, сложностью аналоговой части и быстродействием. Наивысшим быстродействием обладают ЦАП параллельного действия, поэтому они получили наибольшее распространение.

Основными параметрами ЦАП являются:

1. Разрешающая способность, определяемая количеством двоичных разрядов входного кода и характеризующаяся количеством уровней аналогового сигнала.
2. Точность, определяемая наибольшим значением отклонения аналогового сигнала от расчетного. Она обычно выражается в виде половины уровня сигнала, соответствующего младшему значащему разряду. Суммарная ошибка, вносимая элементами ЦАП, не должна превышать указанную погрешность.

3. Нелинейность, характеризующаяся максимальным отклонением линейно-нарастающего выходного напряжения от прямой линии, соединяющей точки нуля и максимального выходного сигнала.

4. Время преобразования, определяемое интервалом времени от момента подачи цифрового сигнала до момента достижения выходным сигналом установившегося значения.

## 2. Аналого-цифровые преобразователи

В аналого-цифровых преобразователях входным сигналом является напряжение или ток, выходным – соответствующее ему значение цифрового (обычно двоичного) кода. Существуют различные типы АЦП. Состав АЦП в отличие от ЦАП может изменяться в значительной степени в зависимости от метода преобразования и способа реализации. Наибольшее распространение получили три основных метода преобразования: последовательного счета, поразрядного кодирования и считывания.

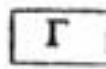
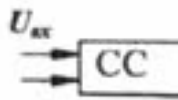
**Метод последовательного счета** основан на уравнивании входной величины суммой одинаковых и минимальных по величине эталонов. Момент уравнивания определяется с помощью одного сравнивающего устройства, а количество эталонов, уравнивающих входную величину, пересчитывается с помощью счетчика.

**Метод поразрядного кодирования** предусматривает наличие нескольких эталонов, обычно пропорциональных по величине степеням числа 2, и сравнение этих эталонов с аналоговой величиной. Сравнение начинается с эталона старшего разряда выходного кода. Если эталон больше входной величины, то в старшем разряде ставится 0 и далее производится уравнивание входной величины следующим по значению эталоном. Если эталон равен или меньше входной величины, то в старшем разряде выходного кода ставится 1 и в дальнейшем производится уравнивание разности между входной величиной и первым эталоном.

**Метод считывания** подразумевает наличие  $2^n - 1$  эталонов при  $n$ -разрядном двоичном, коде. Входная величина одновременно сравнивается со всеми эталонами. В результате преобразования получается параллельный код в виде сигналов на выходах  $2^n - 1$  схем сравнения.

Основные параметры АЦП: разрядность, точность преобразования, зависящая от шага квантования и ошибок, вносимых основными узлами АЦП, а также время преобразования, необходимое для представления мгновенного значения аналогового сигнала в цифровой код.

На рис.6.2 приведена структурная схема АЦП последовательного счета, а на рис. 6.3 – АЦП, построенная по методу считывания.



В приведенных преобразователях показаны следующие блоки:

СС – схема сравнения;  
 С4 – реверсивный счетчик; Г – генератор тактовых импульсов; Ш – шифратор; Т1 – Т5 – триггеры с R – S выходами;

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь и сигналы:

$U_{вх}$  – входной аналоговый сигнал;  $f_m$  – частота тактовых импульсов;  $U_{цан}$  – выходное напряжение

цифро-аналогового преобразователя.

### 3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка по исследованию преобразователей информационных сигналов включает в себя аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи, устройство индикации, выключатели и переключатели, устройства изменения входного аналогового сигнала, блок питания. Для визуального наблюдения за формой с параметрами сигналов на различных элементах установки предусматривается использование электронного осциллографа.

Описание структурной схемы лабораторной установки дается на стенде.

Подача напряжения на стенд осуществляется при помощи пакетного выключателя переводом рукоятки из положения «Откл» в положение «Вкл», при этом должна включаться сигнальная лампа «Сеть».

Включение блока питания производится тумблерами «+15В», «-15В». Контроль напряжения питания осуществляется вольтметром  $V_2$  или переносным прибором, подключаемым к клеммам «Корпус» и 115; -15В; +5В. Подрегулировка величин напряжений, снимаемых с блока питания, может быть произведена при помощи соответствующих переменных резисторов, движки которых выведены на стенд. Выбор частоты тактовых импульсов производится переводом в одно из четырех положений переключателя Ш.

Для определения параметров входного сигнала служит вольтметр  $V_1$  и контрольное гнездо  $K_1$ . Форму и параметры других сигналов наблюдают при помощи осциллографа, подключаемого к контрольным гнездам  $K_2$  (импульсы тактового генератора),  $K_3$  (выходное напряжение с ЦАП), Т<sub>1</sub> – Т<sub>6</sub> (сигналы с соответствующих разрядов реверсивного двоичного счетчика). Тумблер В1 служит для включения и выключения блока задержки, разрешающего или запрещающего при этом подачу тактовых импульсов на вход счетчика. Тумблер В2 предназначен для включения блока индикации разрядов реверсивного счетчика, а тумблер В3 осуществляет разрыв или замыкание цепи подачи напряжения  $U_{цан}$  на вход схемы сравнения (компаратора). Величину входного сигнала  $U_{вх}=U_3$  можно изменять в пределах от 0 до 14 В при помощи потенциометра В3.

#### 4. Программа работы

В ходе выполнения работы необходимо выполнить следующее:

1. Изучить структурную схему лабораторной установки и принципы работы устройств ЦАП и АЦП.
2. Ознакомиться и разобраться с принципиальными схемами основных блоков ЦАП и АЦП.
3. Ознакомиться с методикой выполнения работы.
4. Включить установку, произвести необходимые настройки и измерения параметров входных и выходных сигналов: частоты тактовых импульсов генераторов  $f_z$ , величины входного напряжения  $U_z$ , выходного напряжения  $U_{\text{вн}}$ .
5. Рассчитать основные параметры ЦАП и АЦП; разрешающую способность, точность и время преобразования, коэффициенты преобразования отдельных элементов.

#### 5. Методические указания по выполнению лабораторной работы

Для правильного выполнения работы необходимы осциллограф и вольтметр постоянного тока с пределами измерения 0–1,5 В и 0–15 В.

Осциллографирование сигналов и измерения их параметров, производимые при помощи осциллографа, можно делать только после 5-10-минутного прогрева, причем ручки блоков усиления и синхронизации его должны быть установлены в положения калибровки. Подача измеряемого сигнала должна осуществляться специальным кабелем со штекерами, имеющими специальные обозначения «Корпус» и «Сигнал». Амплитуда и время развертки сигналов должны быть достаточны для их фиксации с минимальной погрешностью измерения.

После подачи напряжения на лабораторный стенд и включения блока питания необходимо проверить величину напряжения питания при помощи вольтметра  $V_I$  (он должен показывать суммарное напряжение  $U_n = 30$  В). Переносным вольтметром надо проверить отсутствие «перекоса» напряжений  $\pm 15$  В и 5В.

Установив (по указанию преподавателя) частоту тактовых импульсов генератора и величину входного напряжения, привести лабораторную установку в исходное состояние для измерения частоты тактовых импульсов и времени преобразования максимального входного сигнала. Для этого тумблеры В1, В2, В3 должны быть переведены во включенное состояние. Кабель осциллографа подключить к контрольному гнезду К2 для измерения частоты  $f_z$ , и к гнезду Т6 – для измерения времени преобразования. При помощи осциллографа замерить период частоты следования тактовых импульсов и

период ступенчатой пилообразной кривой, который приблизительно будет равен времени преобразования максимального входного сигнала.

Для нескольких величин входного аналогового сигнала зафиксировать соответствующие им цифровые значения кода, напряжения на выходе ЦАП. При этом тумблеры В2, В3 должны быть включены, а В1 включается и выключается для фиксации измеряемого напряжения.

Полученные результаты ввести в таблицу 6.1.

**Таблица 6.1**

Амплитуда входного сигнала	
Двоичный код сигнала	
Десятичный код сигнала	
Выходное напряжение ЦАП	
Коэффициент преобразования АЦП	
Коэффициент преобразования ЦАП	
Разрешающая способность ЦАП	
Разрешающая способность АЦП	
Точность преобразования ЦАП/АЦП	

По снятым данным произвести необходимые расчеты.

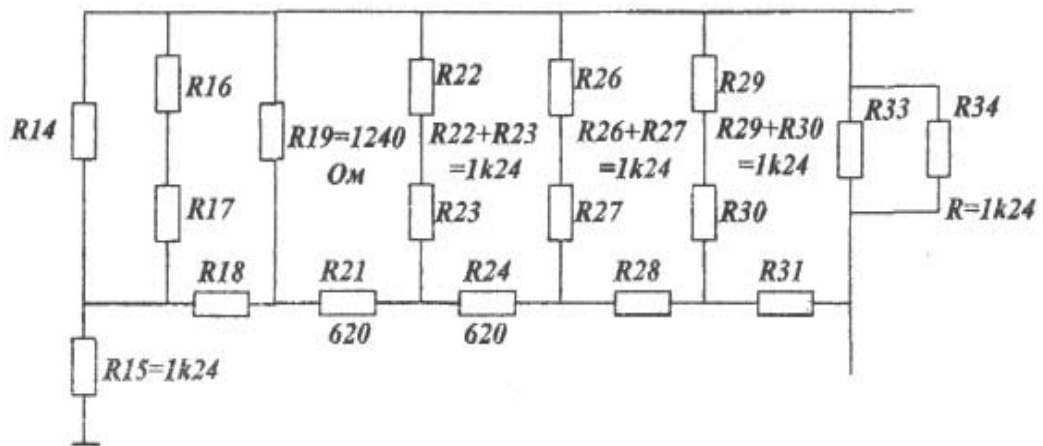


Рис. 6.7. Делитель напряжений

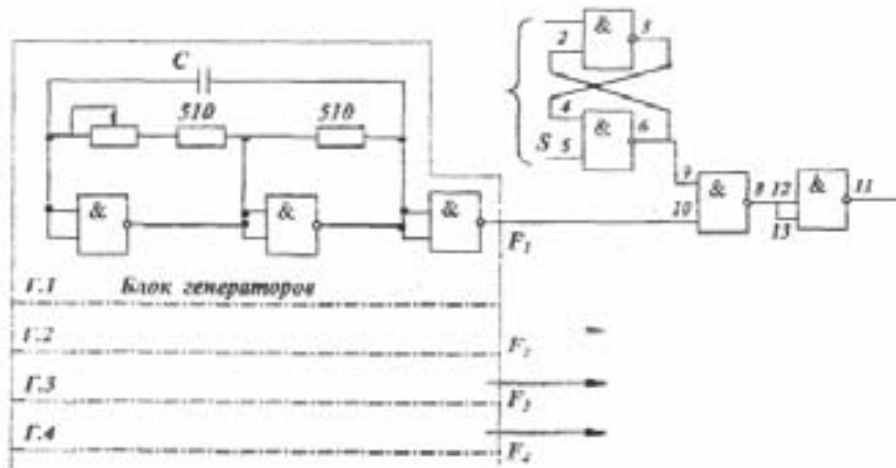


Рис. 6.4. Схема блока генератора

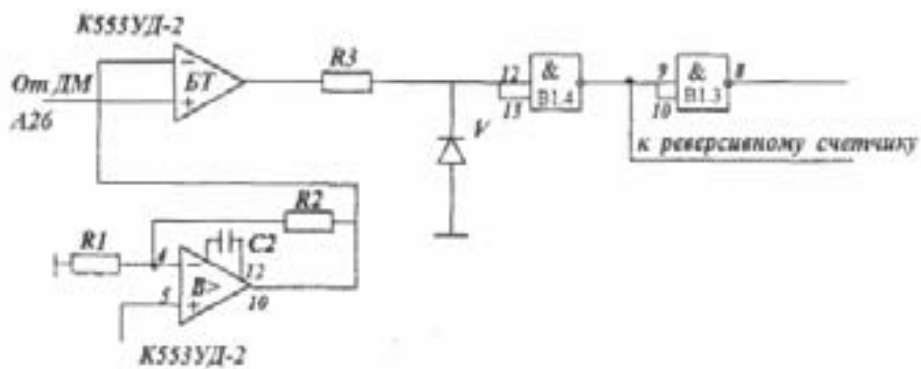


Рис.6.5. Схема компаратора



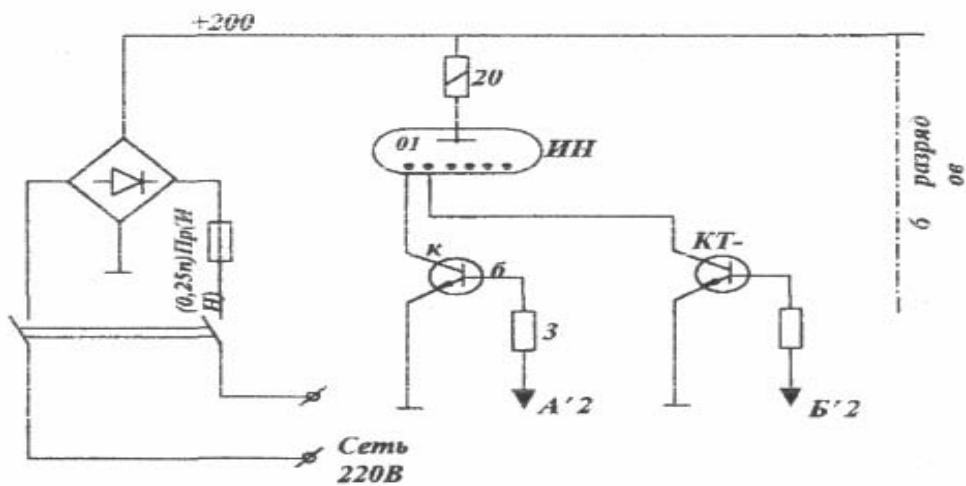
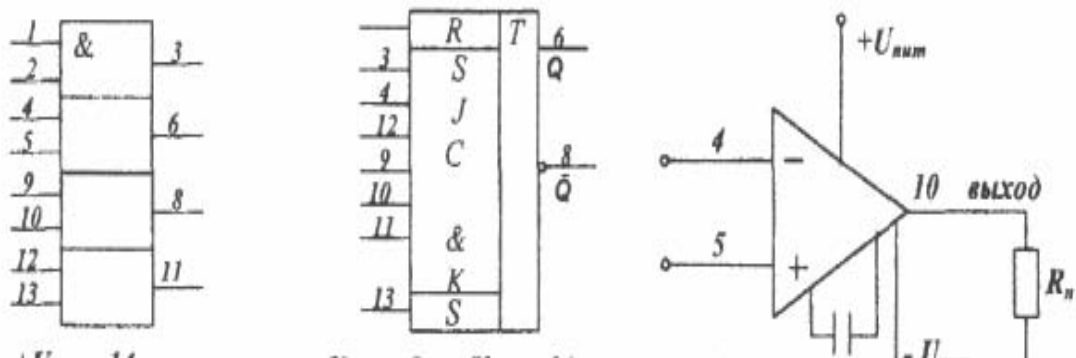


Рис.6.8. Блок индикации

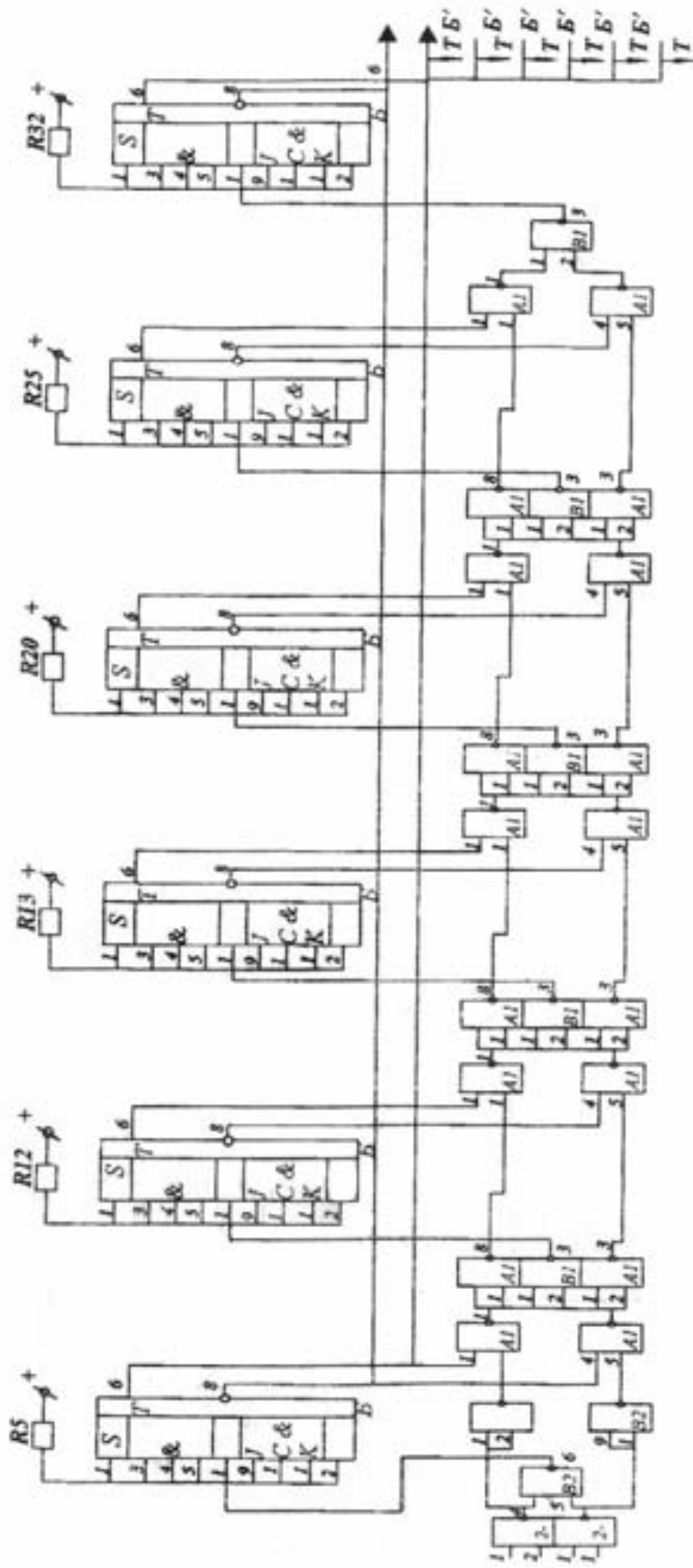


Рис. 6.9. Реверсивный счетчик

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ И ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ

#### 1. Цель работы

Целью работы является изучение принципов действия, особенностей работы бесконтактных логических элементов, способов построения и расчета схем управления производственными объектами, выполненными на логических, аналоговых и цифровых микросхемах.

#### 2. Сведения о логических, аналоговых и цифровых устройствах в интегральном исполнении, принципах их действия и применения

При работе автоматических устройств управления промышленными или какими-либо другими объектами большое количество операций носит характер логического решения. Для формирования такого решения необходима информация (сведения) о работе объекта и о логических связях, которые надо реализовать.

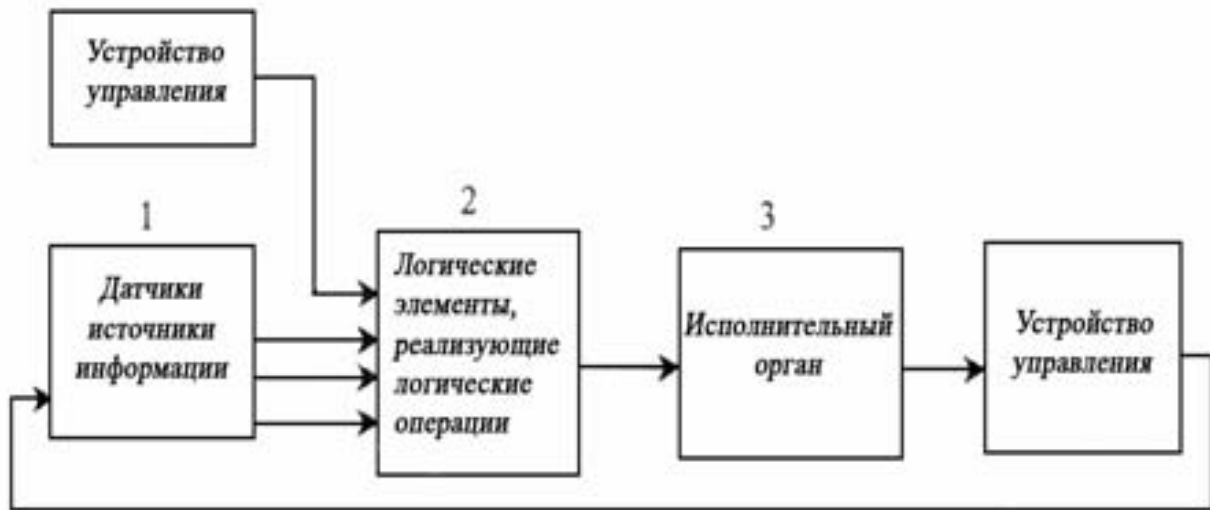
Сведения о работе объекта получают от датчиков. Сведения о логических связях - это по существу логические выводы из анализа условий работы объекта, записанные в виде логических выражений или операций.

Датчики являются устройствами, которые измеряют параметры объекта (технологического процесса), имеющие различную физическую сущность, и преобразуют их в сигналы двух значений: сигнал «есть» – (1), и сигнал «нет» – (0).

Логические операции выполняются логическими элементами, работающими в режиме переключения. Сигналы на их входах и выходах могут принимать также два значения: «1» и «0».

Если логические устройства соединены в схему, на входы которой подаются сигналы от датчиков или устройств управления, то в зависимости от сочетания этих сигналов и заданной программы (условий составления схемы) выдается команда для исполнительного органа управляемого объекта. Основное назначение логических элементов в схеме заключается в том, чтобы выбрать правильную команду в зависимости от сочетания сигналов, поступающих с датчиков.

Указанные операции могут быть осуществлены в устройстве, содержащем узлы: 1 – датчик, формирующий сигналы дискретной формы; 2 – логическая схема, вырабатывающая заданную команду в виде соответствующего сигнала; 3 – исполнительный орган, служащий для управления объектом.



**Рис.7.1. Функциональная схема системы управления**

Проектирование схем управления на бесконтактных элементах осуществляется в три этапа:

- 1) Составление структурных формул, если есть математическое описание схемы, которое предусматривает установление логических связей между входными и выходными переменными.
- 2) Минимизация логических функций, полученных на первом этапе, путем применения известных законов алгебры логики, а также методов минимизации.
- 3) Построение функциональной схемы управления объектом по полученным выражениям минимизированных логических функций и разработка принципиальной схемы устройства на базе имеющихся логических элементов.

Наиболее ответственным является первый этап – это этап составления структурных логических формул, которые должны учитывать все возможные состояния устройств управления, датчиков и исполнительных органов, а также состояния объекта управления.

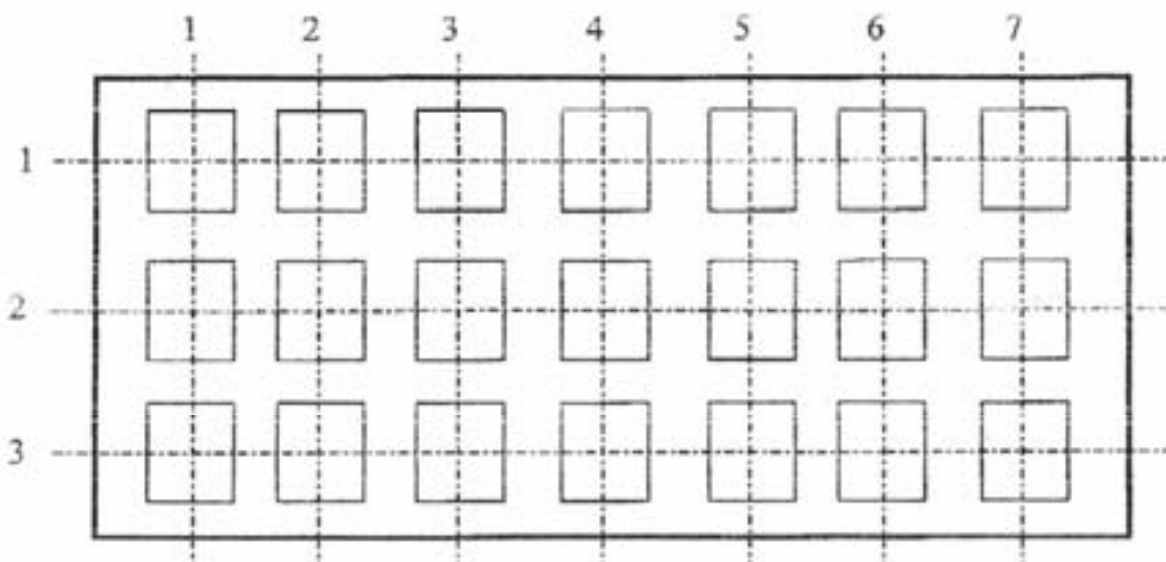
Структурные логические формулы могут быть получены **двумя различными способами:**

1. Составлением структурных формул по релейно-контактному варианту схемы управления. При этом предполагается, что в распоряжении проектировщика имеется ранее разработанная, проверенная и зарекомендовавшая себя работоспособной на практике релейно-контактная схема управления объектом.
2. Составлением структурных формул на основе логического синтеза схемы по заданным условиям технологического процесса. При этом проектировщик должен располагать исчерпывающей информацией о технологическом процессе, логических операциях и их

последовательности. Проектировщик должен определить необходимые задержки в работе отдельных элементов, установить параметры, подлежащие контролю в ходе процесса, выбрать датчики, определить условия появления и исчезновения входных сигналов.

### Программа работы

1) На установке, содержащей логические элементы, выпускаемые отечественной промышленностью, проверить работоспособность имеющихся в наличии элементов. Для этого необходимо подключить стенд к сети с  $U_c \approx 220\text{В}$ , далее путем подачи на входы элементов пробных сигналов («0» и «1») составить таблицы истинности для каждой группы элементов (блока). Входные сигналы подаются с помощью коммутирующих проводников со штекерами с клемм «0-1», переключение состояний которых осуществляется с помощью тумблеров. Зафиксировать результаты проверки в таблице по координатной сетке.

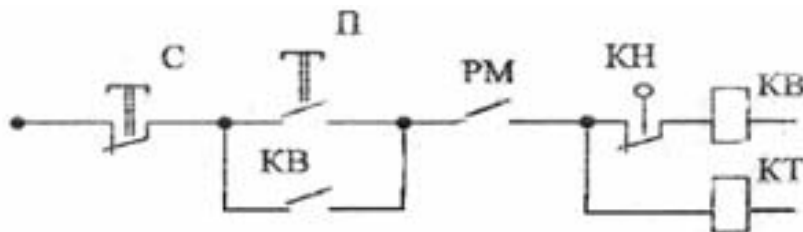


**Рис.7.2. Вид лабораторного стенда**

2) По заданному чертежу релейно-контактной САУ (по заданному преподавателем варианту объекта управления) произвести составление структурных формул. Для этого проанализировать схему, ознакомиться с информацией об особенностях ее работы. Релейно-контактная схема управления содержит контакты, катушки электрических магнитов, контакторов, реле, обмотки электрических машин. На заданной схеме необходимо выделить входные и выходные, а также промежуточные элементы и сигналы. К входным элементам и сигналам

относятся кнопки управления, концевые выключатели, путевые переключатели, датчики, контролирующие технический процесс. К выходным сигналам и элементам относят контакторы, электромагниты, электрические машины и другие исполнительные устройства. К промежуточным сигналам относятся те, которые получаются при срабатывании промежуточных элементов схемы. Это контакты реле различного назначения, которые находятся в цепях включения выходных элементов или других промежуточных элементов. Произвести обозначение входных, выходных и промежуточных элементов. Обычно входные переменные обозначают буквами a, b, c, d, e, f, ..., выходные и промежуточные переменные – X Y, Z, W, ... . Далее в соответствии с релейно-контактной схемой соединений и принятым обозначением составить структурные формулы для каждого из выходных и промежуточных сигналов в виде дизъюнкции, конъюнкции входных элементов. При этом последовательное соединение контактов входных и промежуточных переменных записывается в формулу как конъюнкция этих переменных, а параллельное – как дизъюнкция; если контакт замыкающийся, то в формулу соответствующая ему переменная входит в прямом виде, если контакт размыкающийся, то переменная должна быть взята с инверсией.

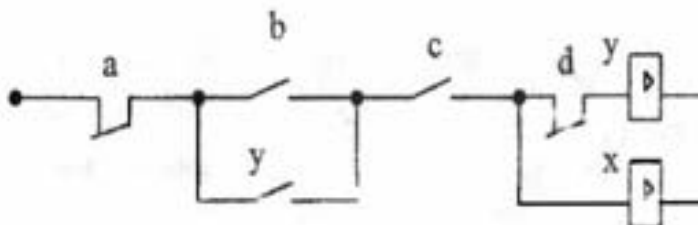
Например:



**Рис.7.3. Релейно-контактная схема**

Входные переменные: a – кнопка С; b – кнопка П; c – реле РМ; d – конечный выключатель КН.

Выходные переменные: X – катушка электромагнитного тормоза КТ; Y – катушка контактора «Вперед».



**Рис. 7.4. Функциональная релейно-контактная схема**

$$f(x) = \bar{a}(b + y)c$$

$$f(y) = \bar{a}(b + y)c\bar{d} = f(x)\bar{d}$$

3) По составленной структурной формуле произвести разработку принципиальной схемы управления. Принципиальная схема собирается по структурной формуле непосредственно, если в распоряжении проектировщика достаточное количество элементов, способных выполнить непосредственно все операции, описываемые структурной формулой. Если в распоряжении проектировщика ограниченное количество элементов, непосредственно реализующих операции, возникает необходимость преобразования структурной логической формулы с целью приведения ее к виду, удобному для реализации. Преобразования осуществляются на основе закона алгебры логики (в частности, закон де Моргана)

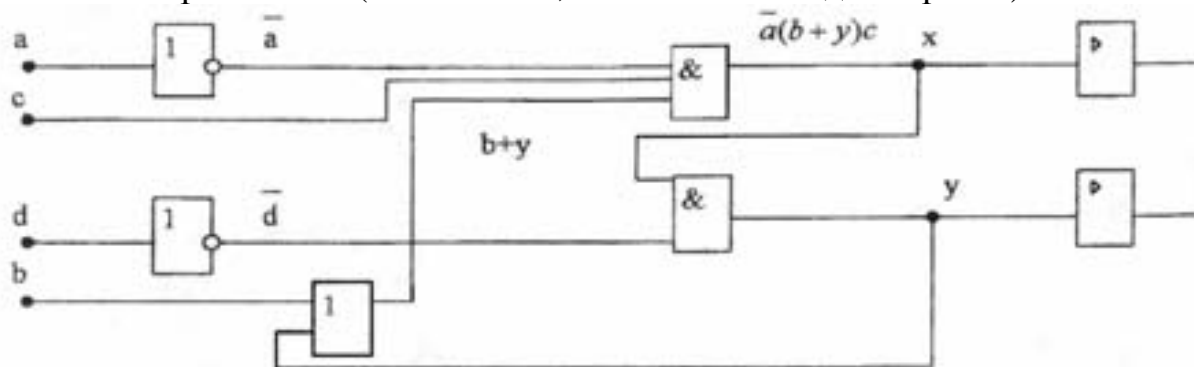


Рис. 7.5. Функциональная схема, 1 вариант

Допустим у проектировщика отсутствуют элементы, реализующие операцию «или». Используя правило де Моргана, осуществляем преобразование структурной формулы.

$$f(x) = \bar{a}(b+y)c = \bar{a}(\overline{\overline{b+y}})c = \bar{a}(\overline{\bar{b} \cdot \bar{y}})c$$

$$f(y) = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot y \cdot c \cdot \bar{d}$$

Функциональная (принципиальная) схема, реализующая новую полученную структурную формулу, приведена на рис. 7.6

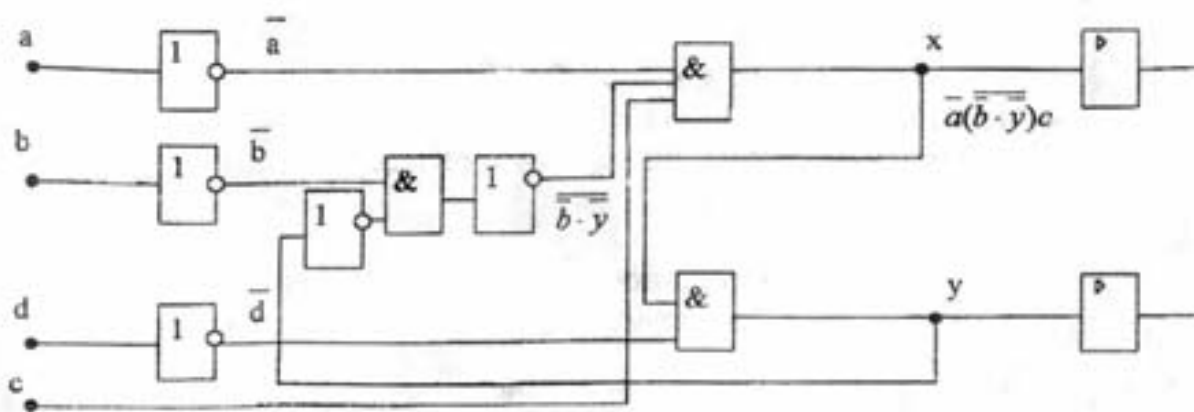


Рис. 7.6. Функциональная схема, 2 вариант

4) На лабораторном стенде, содержащем логические элементы, произвести набор принципиальной схемы, реализующей структурные логические формулы, составленные для релейно-контактной схемы управления. Для набора использовать проводники со специальными штекерами. Проверить работоспособность схемы набора, добиться реализации этой схемой всех состояний, обеспечиваемых исходной релейно-контактной схемой.

### **Содержание отчета**

В отчете по лабораторной работе должна быть указана цель работы, исходная релейно-контактная схема, представлены результаты работы с лабораторной установкой в виде таблиц истинности, приведены входные и выходные переменные, составленные структурные логические формулы, их преобразования, а также функциональные и принципиальные схемы набора разработанной бесконтактной схемы управления.

#### **Контрольные вопросы**

1. Основные операции алгебры логики.
2. Закон де Моргана для конъюнктивной и дизъюнктивной форм записи.
3. Закон склеивания и обобщенного склеивания.
4. Порядок составления структурных логических формул по релейно-контактной схеме управления.
5. Основные типы логических элементов, выпускаемые отечественной промышленностью.

### **Список литературы**

1. Грейнер Г.Р., Ильяшенко В.П. и др. Проектирование бесконтактных логических схем автоматического управления. М.: Энергия, 1975. – 184 с.

(Продолжительность лабораторного занятия 4 часа. Самостоятельная работа – 4 часа.)