

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

*Амурский государственный университет*

А.Н. Рыбалёв

## **ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ.**

**Учебное пособие. Лабораторный практикум**

Благовещенск

Издательство АмГУ

2021

ББК 32.965.3

Р 93

*Рекомендовано  
учебно-методическим советом университета*

*Рецензенты:*

Воякин С.Н., декан Электроэнергетического факультета Дальневосточного государственного аграрного университета, канд. техн. наук, доцент;

Мясоедов Ю.В., декан энергетического факультета АмГУ, канд. техн. наук, профессор

Рыбалев А.Н. Электропривод и автоматизация. Учебное пособие.  
Лабораторный практикум. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2021.

Пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Электро-механика и электромеханотроника», «Средства автоматизации и управления» предназначено для студентов 3-го курса направления подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» и соответствует рабочим программам дисциплин.

© Амурский государственный университет, 2021  
© Рыбалев А.Н., 2021

## **СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ЭДФ .....	6
1.1 Общий вид .....	6
1.2 Двухдвигательный агрегат.....	8
1.3 Приборы защиты и управления .....	8
1.4. Программируемый контроллер ПЛК110 .....	23
2 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ НА СТЭНДЕ ЭДФ.....	26
2.1 Управление нереверсивным асинхронным электроприводом .....	26
2.2 Управление реверсивным асинхронным электроприводом .....	32
2.3 Управление нереверсивным асинхронным электроприводом с динамическим торможением .....	36
2.4 Управление реверсивным асинхронным электроприводом с торможением противовключением .....	41
2.5 Управление асинхронным двигателем с фазным ротором.....	45
3. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ .....	55
3.1 Преобразователь частоты Hitachi SJ-100.....	57
3.2 Преобразователь частоты АВВ ACS 300 .....	61
4 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ	65
4.1 Изучение и настройка преобразователя частоты Hitachi SJ-100 .....	65
4.2 Изучение и настройка преобразователя частоты АВВ ACS 300.....	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	68

## *ВВЕДЕНИЕ*

Асинхронный электропривод является доминирующим типом электропривода промышленных установок. С одной стороны, он часто выступает в роли исполнительной части систем автоматизации и управления технологическим процессом, с другой – сам является объектом автоматизации. В пособии асинхронный электропривод рассматривается как объект автоматизации.

В зависимости от того, предусматривает ли система управления возможность плавного регулирования скорости двигателя, электроприводы разделяют на регулируемые и нерегулируемые. В нерегулируемом приводе автоматизируются процессы пуска, торможения, реверса, ступенчатого изменения скорости, а в регулируемом помимо этого решаются задачи непрерывного регулирования скорости, вращающего момента, угла поворота. Поэтому в нерегулируемом приводе в основном задействована коммутирующая аппаратура, а в регулируемом – преобразовательная техника (для электропривода переменного тока – это преобразователь частоты). Кроме задач управления, указанных выше, любая система решает также и задачи защиты. Объектами защиты являются как элементы самой системы (электродвигатель, силовые цепи и цепи управления), так и человек (от механических воздействий и от поражения электрическим током). В нерегулируемом электроприводе защитой занимаются специальные аппараты (схемные решения, препятствующие автозапуску, автоматические выключатели, тепловые реле и т.д.). В регулируемом электроприводе значительную часть функций защиты берут на себя преобразователи.

По части нерегулируемого привода в пособии рассматриваются простые и повсеместно используемые схемы управления асинхронным двигателем на магнитных пускателях. Подробное описание стенда для проведения лабораторных работ сопровождается необходимыми теоретическими сведениями об аппаратах управления и защиты, в нем задействованных. При выполнении работ предлагается не только сборка простейших схем, но и реализация современных систем управления на базе программируемого логического контроллера (ПЛК). При этом рассматриваются два варианта: в первом варианте управление от ПЛК является дополнительной функцией (дистанционное управление), а во втором управление без ПЛК невозможно вообще, поскольку во всех режимах коммутацией катушек пускателей занимается именно ПЛК через его выходы, а средства ручного управления (в частности, кнопки) подключены к его входам. В обоих вариантах дистанционное управление осуществляется с помощью экранов визуализации персонального компьютера, подключенного к ПЛК. В указаниях по выполнению работ приводятся примерные виды экранов визуализации, а также диаграммы программ управления.

По части регулируемого привода при выполнении лабораторных работ осваиваются приемы конфигурирования преобразователей частоты для решения самых распространенных задач: определения способа пуска и задания час-

тоты, темпа разгона и торможения, выставления фиксированных частот, задания закона частотного управления и т.д. При этом задействуются преобразователи частоты Hitachi SJ100 и ABB ACS300. Несмотря на то, что это не самые современные преобразователи, методика их настройки практически является типовой, в том смысле, что она схожа с методикой настройки большинства преобразователей, выпускаемых ведущими мировыми производителями. Помимо программы работы в пособии приведены необходимые теоретические сведения и ссылки на руководства по эксплуатации (которые, впрочем, имеются в лаборатории в бумажном виде).

# 1 ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ЭДФ

## 1.1 Общий вид

Лабораторный стенд ЭДФ включает в себя:

- электрические двигатели асинхронные с короткозамкнутым и фазным роторами (валы двигателей соединены);
- пусковую и защитную аппаратуру, в том числе магнитные пускатели, тепловые реле, автоматические выключатели, устройство защитного отключения;
- аппаратуру управления, в том числе промежуточные реле, реле времени, кнопочные станции, командоконтроллер;
- программируемый логический контроллер.

Стенд предоставляет возможность собирать и исследовать различные схемы управления асинхронным электроприводом:

- нереверсивного и реверсивного пуска;
- динамического торможения и торможения противовключением;
- ступенчатого регулирования скорости двигателя с фазным ротором и др.

При разработке стенда концептуальной являлась идея о том, что студент, выполняющий лабораторные работы, должен непосредственно иметь дело с реальными устройствами (пускателями, реле и т.д.), он должен их видеть в работе, знать назначение всех выводов, контактов, уметь осуществлять необходимые коммутации. Поэтому на стенде присутствует лишь необходимый минимум надписей и обозначений. Большинство связей выводов аппаратуры управления с коммутационными гнездами должно прослеживаться визуально.

Стенд построен по блочно-модульному принципу: каждый модуль собран и смонтирован независимо от других. Связь между модулями налаживаться непосредственно при выполнении лабораторных работ путем сборки схемы соединений лабораторными проводами.

Общий вид лабораторного стенда показан на рис. 1. На рисунке обозначены:

- 1 – электромагнитный регулятор напряжения;
- 2 – ящик сопротивлений для включения в цепь ротора двигателя с фазным ротором;
- 3 – наборное поле силовых цепей. На нем собирается силовая часть схемы управления. Содержит розетки для подключения двигателей и ящика сопротивлений;
- 4 – модуль динамического торможения. Состоит из понижающего трансформатора 220/24 В и выпрямителя;
- 5 – командоконтроллер для коммутации сопротивлений в цепи ротора двигателя с фазным ротором;
- 6 – модуль магнитных пускателей. Содержит пять магнитных пускателей и гнезда для их подключения.



*Рис. 1. Лабораторный стенд ЭДФ*

Все пускатели оснащены контактными приставками с двумя нормально открытыми и двумя нормально закрытыми контактами. Два пускателя снабжены также тепловым реле для защиты двигателей от перегрузки;

7 – модуль питания, содержащее автоматический выключатель для защиты силовых цепей и устройство защитного отключения для защиты цепей управления;

8 – модуль промежуточных реле. Содержит три промежуточных реле РПУ и гнезда для их подключения;

9 – модуль реле времени, содержащего реле времени;

10 – реле контроля скорости. Применяется в схеме автоматического торможения асинхронного двигателя методом противовключения;

11 – модуль программируемого логического контроллера;

12 – наборное поле цепей управления. Имеет в своем составе две кнопочные станции с выводами всех контактов;

13 – двухдвигательный агрегат, состоящий из асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и асинхронного двигателя с фазным ротором.

## 1.2 Двухдвигательный агрегат

В лабораторном стенде используются два асинхронных двигателя:

1) двигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором АИРМ 112М4 У3, 50 Гц, 1430 об./мин, 5,5 кВт, 380 В, 11 А, IP154, 49 кг, КПД 85,5%,  $\cos \varphi$  0,86, S1, кл. изол. В, ГОСТ 28330-89;

2) двигатель асинхронный с фазным ротором МТФ0116У2, 50 Гц, статор: 380/220 В., 5,2/9,0 А., ротор 118 В., 9 А., 880 об./мин.; ПВ 40%, 54 кг, ГОСТ 185-70;

Двигатели жестко соединены между собой муфтой.

## 1.3 Приборы защиты и управления

*Автоматический выключатель*

Автоматический выключатель, установленный на стенде, показан на рис.

2.



Рис. 2. Автоматический выключатель, внешний вид

Автоматические выключатели предназначены для многократной защиты электрических установок от перегрузок и коротких замыканий. Некоторые модели обеспечивают защиту от других аномальных состояний, например, от недопустимого снижения напряжения. Главным отличием от плавкого предохранителя является возможность многократного использования.

Автоматический выключатель конструктивно выполнен в диэлектрическом корпусе, рис. 3. Автоматический выключатель, рассчитанный на небольшие токи, в настоящее время чаще всего имеет модульную конструкцию с креплением для монтажа на DIN-рейку. Включение-отключение производится рычажком (1 на рисунке), провода подсоединяются к винтовым клеммам (2). Защелка (9) фиксирует корпус выключателя на DIN-рейке и позволяет при необходимости легко его снять.

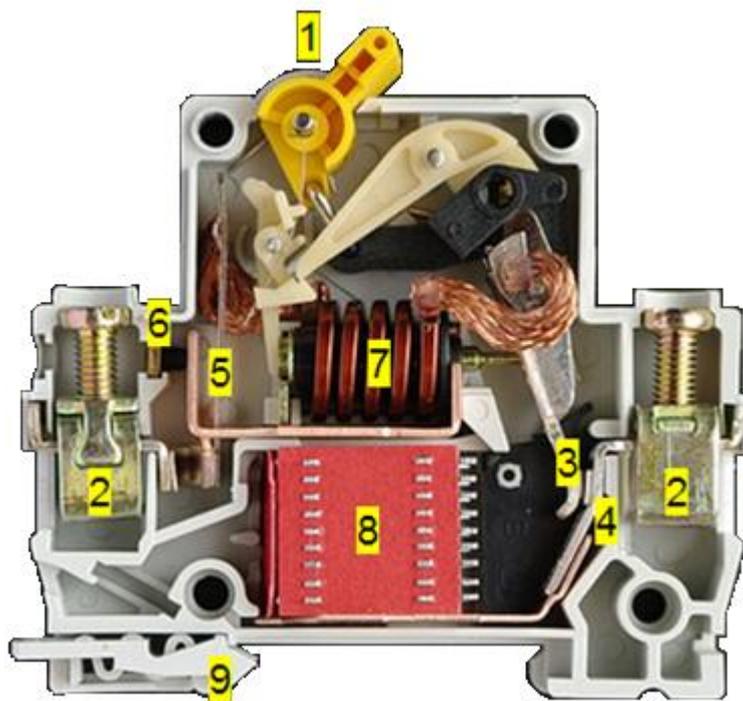


Рис. 3. Автоматический выключатель, устройство

Коммутацию цепи осуществляют подвижный (3) и неподвижный (4) контакты. Подвижный контакт подпружинен, пружина обеспечивает усилие нажатия контактов во включённом состоянии и быстрое их отключение при срыве собачки механизма расцепления посредством одного из двух расцепителей: *теплового* или *электромагнитного*.

Тепловой расцепитель представляет собой биметаллическую пластину (5), нагреваемую протекающим током. При протекании тока выше допустимого значения биметаллическая пластина изгибается и приводит в действие механизм расцепления. Время срабатывания зависит от тока (времятоковая характеристика) и может изменяться от секунд до часа. Минимальный ток, при котором должен срабатывать тепловой расцепитель, составляет 1,45 от тока уставки теплового расцепителя.

Биметаллическая пластина – пластина, изготовленная из биметалла или из механически соединённых кусков двух различных металлов, рис. 4. Как правило, используется как основная часть термомеханического датчика.

Один конец пластины, как правило, неподвижно закреплён в устройстве, а другой – перемещается в зависимости от температуры пластины.

Встречаются устройства, состоящие из двух пластин разнородных металлов, закреплённых одними концами и соединённых (клёпкой, пайкой или сваркой) у других концов. При изменении температуры соединённый конец пластин перемещается.

Работоспособны в очень широком диапазоне температур.

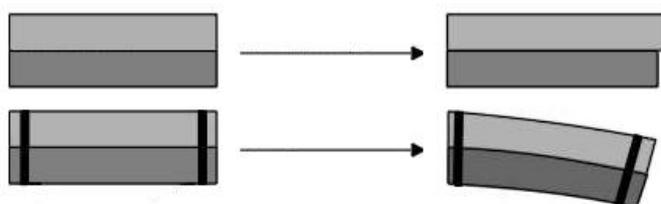


Рис. 4. Биметаллическая пластина

Настройка тока срабатывания производится в процессе изготовления (в данном случае) регулировочным винтом (6). В отличие от плавкого предохранителя, автоматический выключатель готов к следующему использованию после остывания пластины.

Электромагнитный расцепитель (отсечка) – расцепитель мгновенного действия, представляет собой соленоид (7), подвижный сердечник которого также может приводить в действие механизм расцепления. Ток, проходящий через выключатель, течет по обмотке соленоида и вызывает втягивание сердечника при превышении заданного порога тока. Мгновенный расцепитель, в отличие от теплового, срабатывает очень быстро (доли секунды), но при значительно большем превышении тока: в 2–10 раз от номинала, в зависимости от типа (автоматические выключатели делятся на типы (классы) В, С и D в зависимости от чувствительности мгновенного расцепителя).

Во время расцепления контактов может возникнуть электрическая дуга, поэтому контакты имеют особую форму и находятся рядом с дугогасительной решёткой (8).

Дугогасительная камера (дугогасительная решётка) – специальное устройство, применяющиеся в приспособлениях дугогашения в различных электрических коммутационных аппаратах для предотвращения горения и быстрого гашения электрической дуги, рис. 5.

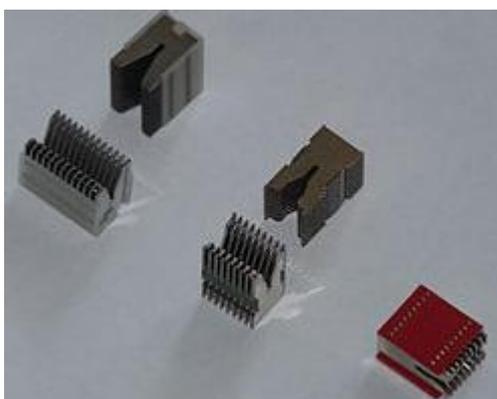


Рис. 5. Дугогасительная камера

Дугогасительная решётка выключателей представляет собой набор металлических (обычно стальных) штампованных прямоугольных пластин с V - образным вырезом, гальванически покрытых медью или хромом для улучшения электрической проводимости и защиты от коррозии, закрепленных параллельно или веерообразно на некотором расстоянии друг от друга между двумя держателями, изготовленными из диэлектрика (обычно электрокартона), причём дугогасительные пластины электрически изолированы друг от друга.

В дугогасительные камеры мощных коммутационных устройств входят постоянные магниты или электромагниты, отталкивающие шнур плазмы электрической дуги от металлических контактов в дугогасительную камеру (так называемое «магнитное дутьё»).

Дугогасительная камера сконструирована таким образом, что электрическая дуга, образуемая при размыкании контактов коммутационных аппаратов, втягивается в дугогасительную решётку, так как такое движение плазмы энергетически выгодно, рис. 6. Втянувшись в промежутки пластин камеры, электрическая дуга удлиняется, разбивается пластинами камеры на несколько более маленьких по длине дуг, при этом быстро деионизируется, охлаждается и гаснет. В дугогасительных камерах с магнитным дутьём, осуществляемым с помощью дополнительного магнитного поля создаваемого с помощью постоянных магнитов или электромагнитов, плазма дуги эффективнее втягивается в дугогасительную камеру воздействием на неё магнитного поля, порождаемого этими магнитами, так как плазма из-за высокой электропроводности стремится вытолкнуться из магнитного поля, сохраняя поток магнитного поля внутри себя неизменным.

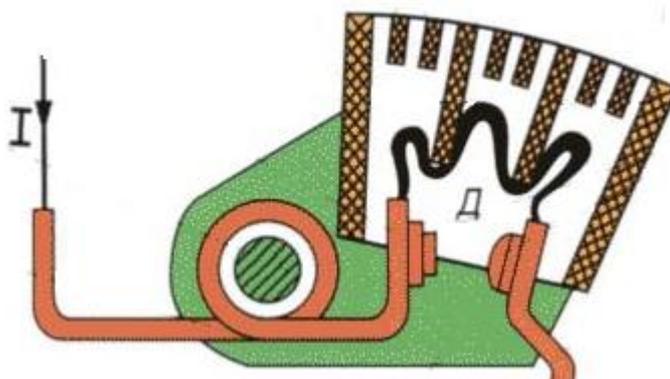


Рис. 6. Принцип действия дугогасительной камеры

Согласно ГОСТ Р 50345-99, п.5.3.5., существует три стандартные характеристики (типа мгновенного расцепления) автоматических выключателей:

В – от  $3 I_n$  до  $5 I_n$ ;

С – от  $5 I_n$  до  $10 I_n$ ;

Д – от  $10 I_n$  до  $20 I_n$  (встречаются от  $10 I_n$  до  $50 I_n$ ).

Автоматы с характеристикой В применяются в основном для защиты потребителей с преимущественно активной нагрузкой, например, электрические печи, электрические обогреватели, цепи освещения. Автоматы с характеристикой С применяются в основном для защиты трансформаторов и двигателей с малыми пусковыми токами. Также их можно использовать для питания цепей освещения. Автоматы с характеристикой Д применяются в основном для защиты электрических двигателей с частыми запусками или значительными пусковыми токами (тяжелый пуск).

У европейских производителей классификация может несколько отличаться. В частности, имеются дополнительные типы: А (свыше  $2 I_n$  до  $3 I_n$ ), К ( $8-14 I_n$ ) и Z ( $2-4 I_n$ ), соответствующие стандарту МЭК 60947-2.

На рис. 7 показана времятоковая характеристика типа В с необходимыми пояснениями. Времятоковые характеристики типов С и Д показаны на рис. 8.

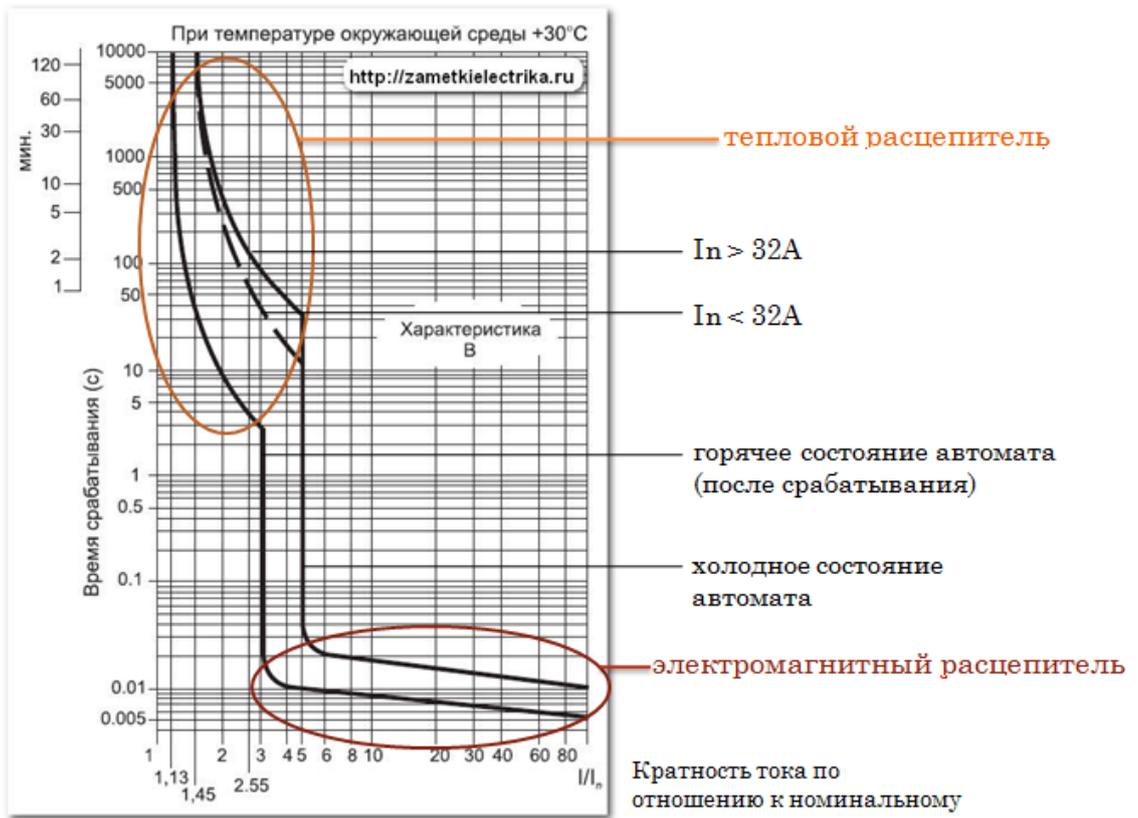


Рис. 7. Времятоковая характеристика типа В

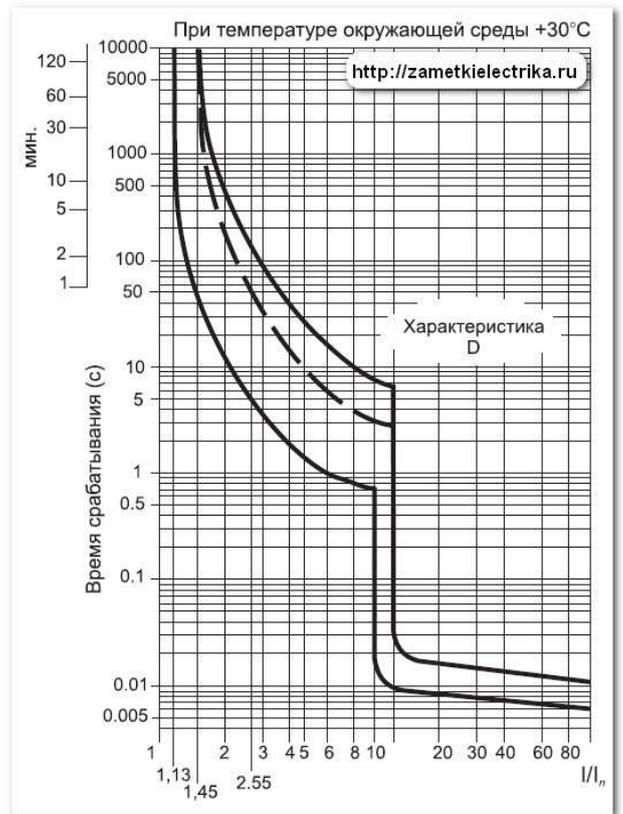
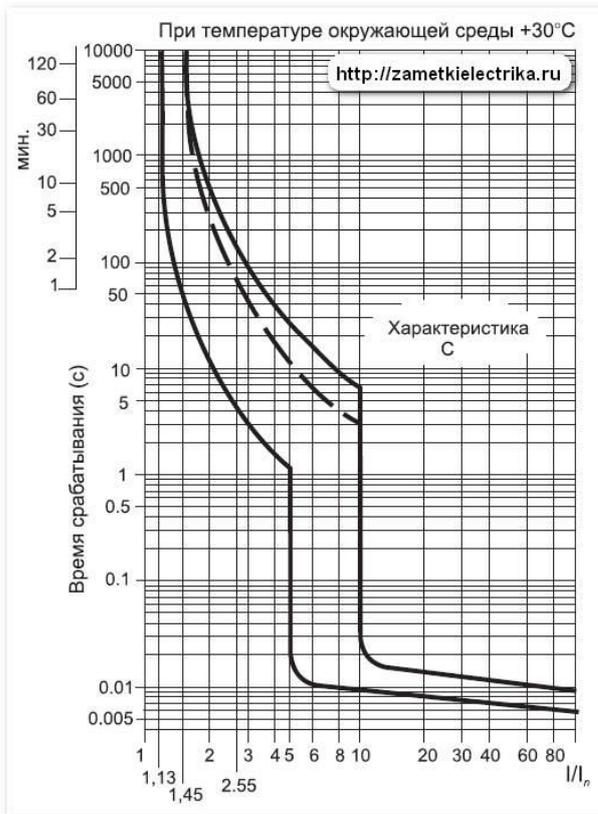


Рис. 8. Времятоковые характеристики типов С и D

Характеристики расцепления автоматов не являются «абсолютными» и подлежат корректировке в зависимости от условий их функционирования. При этом «пересчету» подлежит лишь номинальный ток автомата. Так, для функционирования теплового расцепителя существенным фактором является температура окружающей среды, которая зависит от двух факторов: собственно температуры окружающего воздуха и от того, сколько автоматических выключателей стоит рядом, взаимно нагревая друг друга. Эти факторы учитываются введением двух коэффициентов:

1) температурный коэффициент окружающего воздуха  $K_t$ . Чем ниже температура воздуха, тем больше можно увеличить номинальный ток автомата. График изменения этого коэффициента в зависимости от температуры показан на рис. 9;

2) коэффициент, учитывающий количество рядом установленных автоматов  $K_N$ , рис. 10.

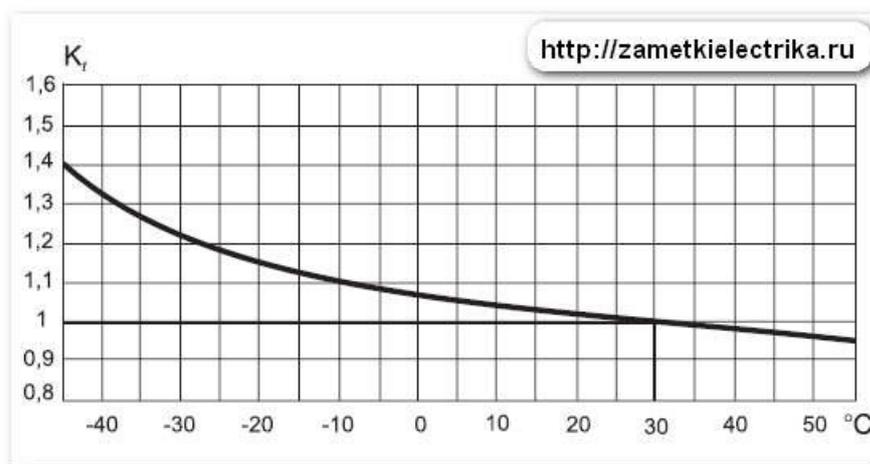


Рис. 9. Температурный коэффициент окружающего воздуха

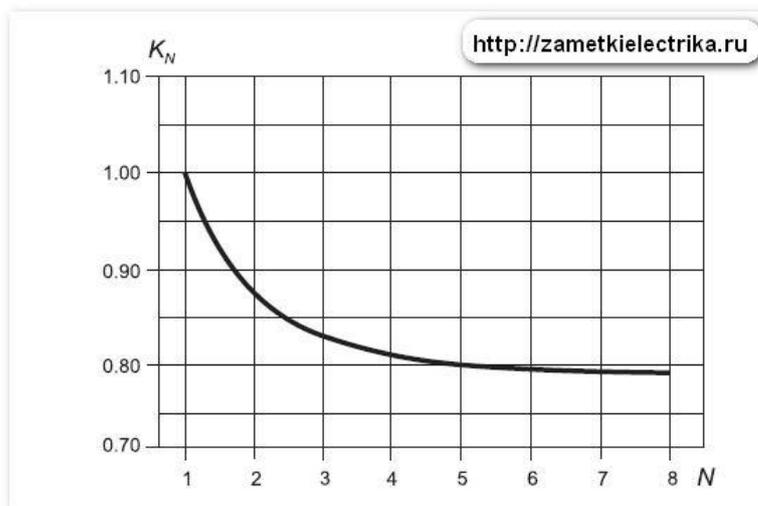


Рис. 10. Коэффициент, учитывающий количество рядом установленных автоматов

Номинальный ток автоматического выключателя, приведенный к условиям окружающего воздуха и монтажа, можно найти по формуле:

$$I_n' = I_n \cdot K_t \cdot K_n.$$

Так, например, если 5 автоматов на 10А установлены рядом и работают при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ , то приведенный номинальный каждого автомата составит:

$$I_n' = 10 \cdot 1,1 \cdot 0,8 = 8,8 \text{ А.}$$

С другой стороны гарантировать, что автоматы постоянно будут работать при данной температуре, невозможно и, кроме того, автоматы на 8,8 А не выпускаются, поэтому все равно придется выбирать автоматические выключатели на 10 А.

Существуют также некоторые «константы»:

– «условный ток неотключения», который всегда равен  $1,13 \cdot I_n$ . При таком токе автомат вообще не отключится;

– «условный ток отключения», равный  $1,45 \cdot I_n$ . При таком токе автомат в холодном состоянии отключится за время около 60 минут (1 час).

#### *Устройство защитного отключения*

Устройство защитного отключения (УЗО) (residual current device (RCD)) предназначено для защиты от поражения электрическим током при случайном прикосновении к токоведущим частям, а так же к токопроводящим частям электрооборудования, оказавшимся под напряжением вследствие повреждения изоляции токоведущих частей; для повышения пожарной безопасности электроустановок путем автоматического отключения участка защищаемой сети при возникновении на этих участках токов утечки, превышающих уставку срабатывания устройства; для осуществления защиты сетей переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц от коротких замыканий и перегрузок; для оперативных включений и отключений электрических цепей.

Следует отметить, что защиту человека от поражения электрическим током обеспечивают только УЗО соответствующей чувствительности (ток отсечки не более 30 мА, то есть УЗО должно сработать до того, как электрический ток, проходящий через организм человека, вызовет фибрилляцию сердца – наиболее частую причину смерти при поражениях электрическим током).

УЗО, установленное на стенде, изображен на рис. 11.



Рис. 11. УЗО 22-40-2

**УЗО** проводит ток при нормальных условиях эксплуатации и размыкает контакты в случае, когда значение дифференциального тока достигает заданной величины в определенных условиях. Принцип действия простейшего УЗО показан на рис. 12.

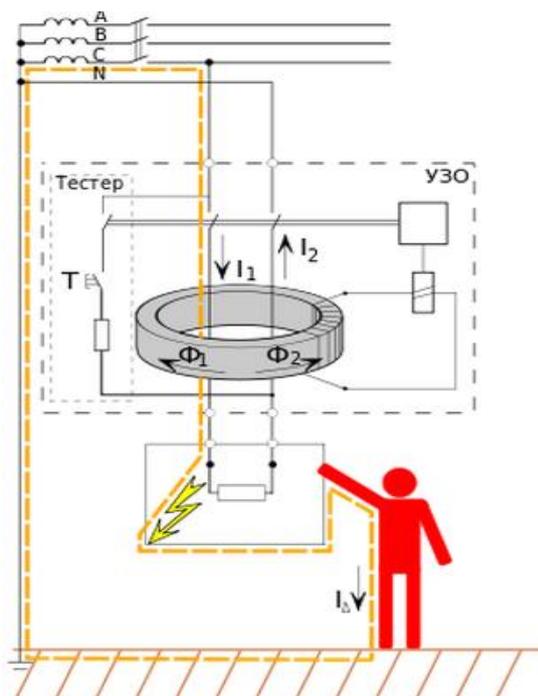


Рис. 12. Принцип действия УЗО

При равенстве токов  $I_1$  и  $I_2$  магнитные потоки, наводимые этими токами в сердечнике катушки, равны по модулю и направлены противоположно. Суммарный магнитный поток равен нулю, соответственно ток в катушке не наводится. При возникновении утечки токи  $I_1$  и  $I_2$  перестают быть равными друг другу, в сердечнике создается магнитный поток, который наводит ток в

катушке. Электромагнит, установленный в цепи катушки, приводит в действие механизм расцепления.

Обнаружение токов утечки при помощи такого УЗО является отдельным видом защиты, а не заменой защиты от сверхтоков при помощи предохранителей и автоматических выключателей, так как УЗО никак не реагирует на неисправности, если они не сопровождаются утечкой тока (например, короткое замыкание между фазным и нулевым проводниками).

По способу действия УЗО разделяются на УЗО без вспомогательного источника питания и УЗО-Д со вспомогательным источником питания (УЗО-Д). Последние могут выполнять автоматическое отключение при отказе вспомогательного источника с выдержкой времени (или без нее) или не выполнять. Если отключение выполняется, то устройство может производить автоматическое повторное включение при восстановлении работы вспомогательного источника, а может и не производить. Если отключение не выполняется, УЗО может быть способно произвести отключение при возникновении опасной ситуации после отказа вспомогательного источника, а может быть и не способно.

Существуют также устройства, выполняющие функции как УЗО, так и автоматического выключателя. Такие устройства называют *дифференциальными автоматами*.

#### *Тепловое реле*

Тепловое реле – это электрический коммутационный аппарат, который предназначен для защиты трехфазных двигателей от токовой перегрузки недопустимой продолжительностью (например, при заклинивании ротора или механической его перегрузки), а также от обрыва любой из фаз питающего напряжения (по функции аналогично реле контроля фаз).

Внешний вид теплового реле, применяемого на стенде, показан на рис. 13. Реле присоединяется непосредственно к магнитному пускателю.



*Рис. 13. Тепловое реле*

Реле оснащено кнопкой-переключателем (синего цвета) режима повторного взвода (включения) реле:

«А» – автоматический взвод (синяя кнопка-переключатель утоплена) При срабатывании теплового реле схему питания двигателя можно беспрепятственно и повторно включить;

«Н» – ручной взвод (синяя кнопка-переключатель поднята). После срабатывания теплового реле необходимо в ручную нажать синюю кнопку-переключатель.

Красная кнопка «Тест» имитирует работу внутренних механизмов реле и его вспомогательных контактов. Имеется индикация срабатывания в виде желтого флажка в окошке. Также по этому флажку можно ориентироваться о текущем состоянии вспомогательных контактов реле.

Красная кнопка «Стоп» выполнена в виде выступающего «грибка» и нужна для принудительного размыкания нормально-замкнутого контакта и остановки двигателя.

Имеется регулятор уставки, с помощью которого регулируется и настраивается уставка срабатывания теплового реле. В нашем случае ток уставки реле находится в пределах от 7 до 10 А.

Внутреннее устройство теплового реле показано на рис. 14.

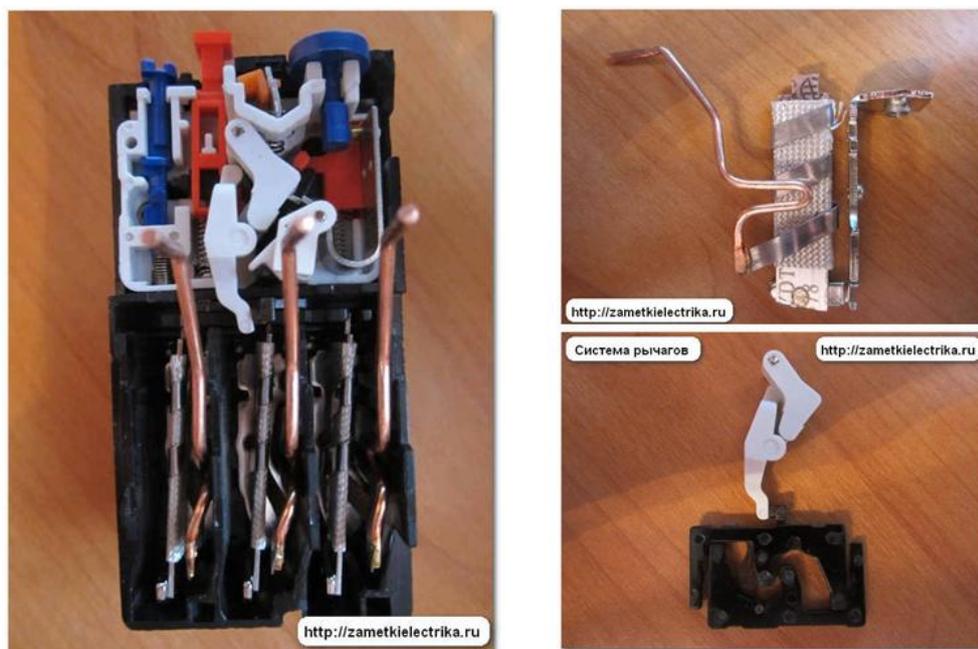


Рис. 14. Устройство теплового реле

Реле содержит три одинаковые биметаллические пластины, нагреваемые токами фаз двигателя, которые проходят через ленточные проводники, намотанные на пластины. Деформируясь при нагреве, пластины через систему рычагов воздействуют на контакты реле.

Реле имеет два контакта: нормально закрытый (NC) и нормально открытый (NO).

Первый обычно используется в цепи катушки магнитного пускателя и отключает катушку от питания при срабатывании защиты. *Важно понимать, что*

тепловое реле само по себе защитное отключение нагрузки не производит, – это делает магнитный пускатель.

Нормально открытый контакт может быть задействован в цепях сигнализации.

Времятоковая характеристика теплового реле подобна времятоковой характеристике автоматического выключателя на участке теплового расцепителя, см. рис. 7.

Для тепловых реле указывают т.н. *класс расцепления*, определяющий согласно ГОСТ 30011.4.1-96 время срабатывания теплового реле при кратности тока уставки реле, равным 7,2, табл. 1.

Таблица 1. Классы расцепления

Класс расцепления	Время расцепления $T_p$ , с
10A	$2 < T_p \leq 10$
10	$4 < T_p \leq 10$
20	$6 < T_p \leq 20$
30	$9 < T_p \leq 30$

### *Магнитные пускатели*

Магнитный пускатель – это коммутационный аппарат, предназначенный для включения/выключения мощной нагрузки постоянного и переменного тока.

Наиболее распространенное применение магнитных пускателей – управление асинхронными двигателями, при помощи пускателя осуществляется пуск, останов и реверс (изменение направления вращения) двигателей, а также, при наличии теплового реле, – защита от токовой перегрузки. Помимо этого пускатели нашли широкое применение и в схемах дистанционного управления освещением, управлении электронагревательными приборами, насосами, компрессорами и т.д.

Магнитный пускатель, установленный на стенде, изображен на рис. 15.



Рис. 15. Магнитный пускатель

Пускатель имеет четыре нормально открытых контакта, три из которых используются для коммутации двигателя, а четвертый – в цепи управления. Катушка пускателя рассчитана на напряжение 220 В переменного тока.

#### *Контакторная приставка*

Контакторная приставка ЕКФ ПКЭ-22 2НО + 2НЗ используется для увеличения количества дополнительных контактов в пускателях КМЭ. Она расширяет возможности контактора, добавляя к нему 2 закрытых и 2 открытых контакта. Изделие крепится к пускателю механическим способом при помощи специальных защелок. В отличие от других устройств стенда, провода от которых выведены на гнезда панелей, провода к контакторной приставке подсоединяются непосредственно, путем их зажима в винтовых разъемах устройства. Для этого применяется отвертка.

Контакторная приставка показана на рис. 16.



*Рис.16.* Контакторная приставка

#### *Промежуточное реле*

Реле промежуточное универсальной серии РПУ-1-362 220В 50Гц служит для замыкания и размыкания различных участков электрических цепей при заданных изменениях электрических или неэлектрических входных величин.

Реле применяется в различных областях приборостроения, радиоэлектронной промышленности и других сферах.

Катушка реле рассчитана на напряжение 220 В переменного тока. Реле снабжено шестью нормально открытыми и двумя нормально закрытыми контактами.

Внешний вид реле показан на рис. 17.

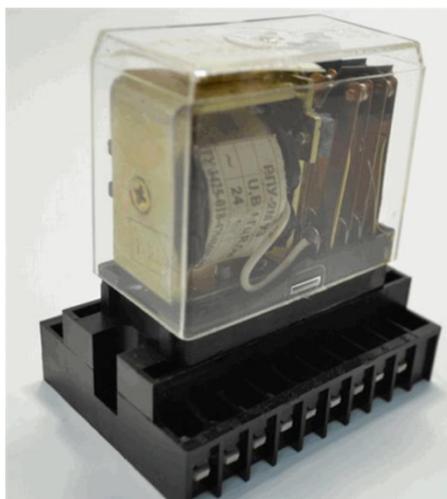


Рис. 17. РПУ-1

### *Реле контроля скорости*

Реле контроля скорости РКС-М предназначено для применения в схемах автоматического торможения трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором методом противовключения мощностью не более 10 кВт.

Реле состоит из основания и корпуса, внутри которых расположены статор 5, постоянный магнит 1 и подвижная контактная система 4, рис. 18.

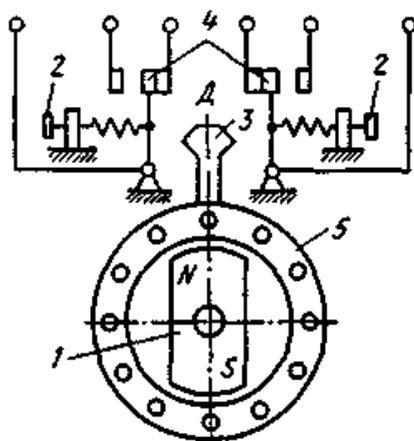


Рис. 18. РКС-М

Статор выполнен в виде короткозамкнутых обмоток типа «беличья клетка». Постоянный магнит расположен на валике, который соединяется с валом электродвигателя при помощи полумуфт соединительной и эластичной. Контактная часть реле расположена на лицевой стороне корпуса.

Поводок 3, переключающий контакты, закреплен на статоре неподвижно. В нерабочем положении реле поводок расположен симметрично относительно двух переключающих контактов.

Реле работает следующим образом. При вращении вала реле постоянный магнит, вращающийся в корпусе реле, наводит ЭДС в обмотках поворотного статора. В результате взаимодействия магнитных потоков вращающегося магнита и статора, последний поворачивается. Укрепленный на статоре поводок осуществляет размыкание и замыкание соответствующих контактов.

При нажатии кнопки «СТОП» выключается контактор прямого направления вращения электродвигателя и одновременно включается контактор противоположного направления вращения, в результате чего происходит торможение противовключением.

Снижение скорости вращения вала уменьшает силу магнитного взаимодействия магнита и статора реле, контактные пружины возвращают поворотный статор в начальное положение и торможение прекращается, после чего реле снова готово к работе.

### *Реле времени*

Внешний вид электромеханического реле времени OMRON STP-NH, установленного на стенде, показан на рис. 19.



*Рис. 19.* Реле времени STP-NH

Назначение клемм и диаграмма работы реле показаны на рис. 20. Питание к условной «катушке» (на самом деле – на двигатель отсчетного устройства) подводится через клеммы 2 и 7. Реле имеет три контакта:

нормально открытый без выдержки времени (1-3);

нормально открытый с выдержкой времени при замыкании (6-8);

нормально закрытый с выдержкой времени при размыкании (5-8).

Все клеммы соединены с гнездами соответствующей панели стенда с сохранением нумерации.

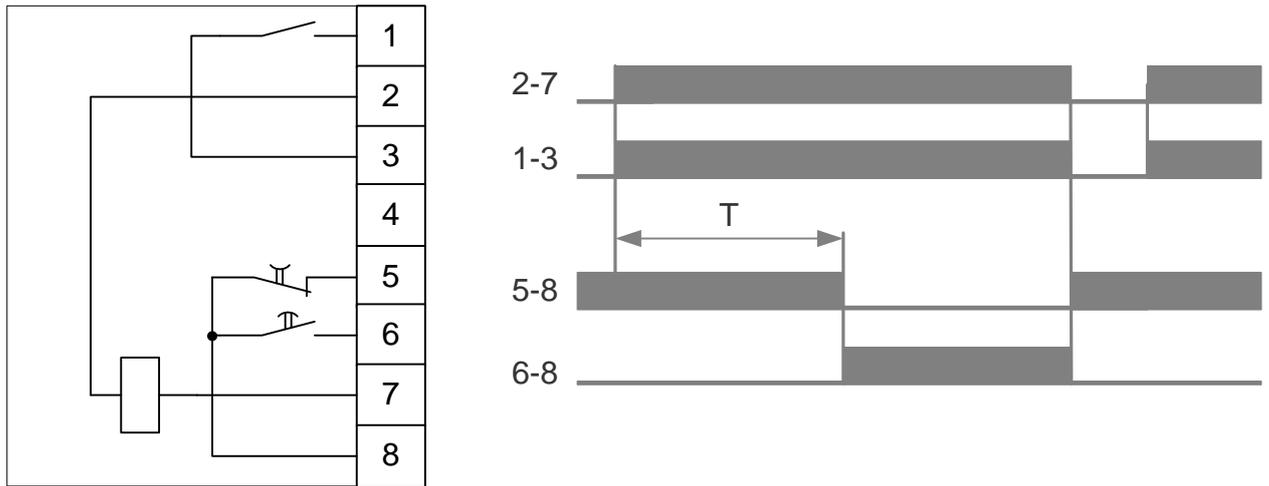


Рис. 20. Назначение клемм и диаграмма работы STP-NH

Для правильной работы реле требуется, чтобы время перезапуска составило не менее 0,5 с.

*Командоконтроллер*

Устройство предназначено для коммутации добавочных сопротивлений в цепи ротора асинхронного двигателя с фазным ротором по схеме, показанной на рис. 21.

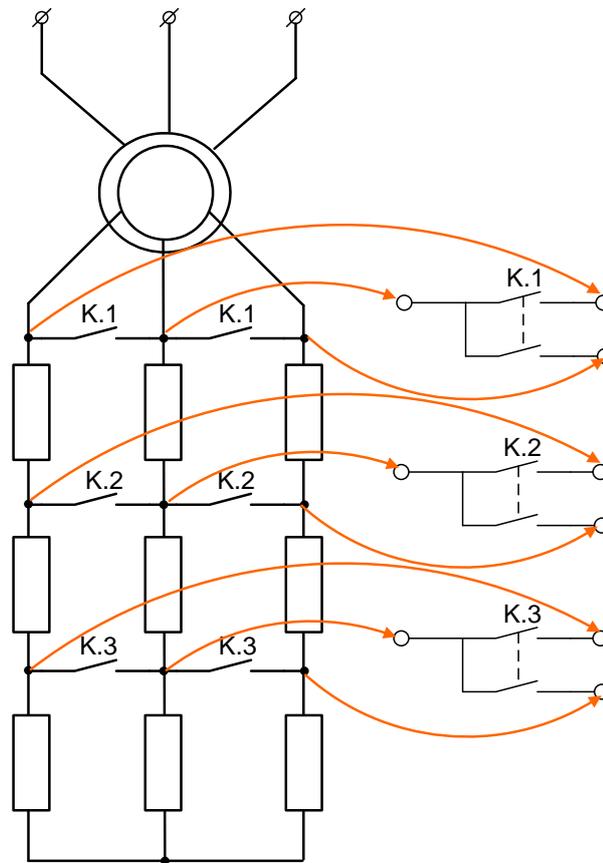


Рис. 21. Подключение командоконтроллера для коммутации фазных сопротивлений

Командоконтроллер содержит набор контактов, сгруппированных парами. Каждая пара замыкается в определенной позиции аппарата при помощи кулачков, установленных на валу, приводимом в движение рукояткой.

Командоконтроллер, установленный на стенде, имеет 8 пар контактов, из которых используется только три, поскольку в ящике сопротивлений имеется только три ступени сопротивлений. Срабатывание контактных групп можно наблюдать визуально, поворачивая ручку от позиции к позиции.

#### **1.4. Программируемый контроллер ПЛК110**

Программируемый логический контроллер используется на стенде, как альтернативное средство реализации логики управления электродвигателями. Внешний вид контроллера представлен на рис. 22.



Рис. 22. ПЛК110

Используемая модификация контроллера: ПЛК110-220-32-Р-Л [1].

Контроллер питается от сети с напряжением переменного тока 220 В и имеет 32 точки ввода-вывода. Все входы – дискретного типа, выходы – релейные. Количество входов – 18. Максимальный ток «логической единицы» – 10 мА (при напряжении питания входной цепи 27 В). Количество выходов – 14. Максимальный ток контактов выходных реле – 3А.

В оперативной памяти контроллера (SDRAM, 8 Мб) располагаются: пользовательская программа (до 1 Мб) и ее данные (до 128 Мб), а также «Неар»-область – в зависимости от использования ресурсов (сокет, конфигурация и др.). В энергонезависимой памяти (DataFlash, 4 Мб) до 3 Мб доступно для хранения файлов и архивов. Помимо этого имеется также Retain-память (MRAM) объемом 16 Кб.

Контроллер оснащен часами реального времени с питанием от батареи.

Контроллер имеет следующие сетевые интерфейсы: RS-485, RS-232, RS-232 Debug и Ethernet и поддерживает обмен данными по протоколам ModBus-RTU, ModBus-ASCII, ModBus-TCP, DCON, ОБЕИ, CoDeSys GateWay, CoDeSys

Network Variables. Помимо этого имеется также интерфейс USB, посредством которого контроллер может быть использован как «обычное» устройство USB (USB-Device, CDC).

Подключение к компьютеру, в частности, для программирование контроллера, производится посредством интерфейсов RS-232 Debug и Ethernet. При использовании Ethernet ПЛК по умолчанию имеет IP-адрес 10.0.6.10, маска IP-адреса 255.255.255.0.

На рис. 23 показана схема расположения и назначения клемм ПЛК.

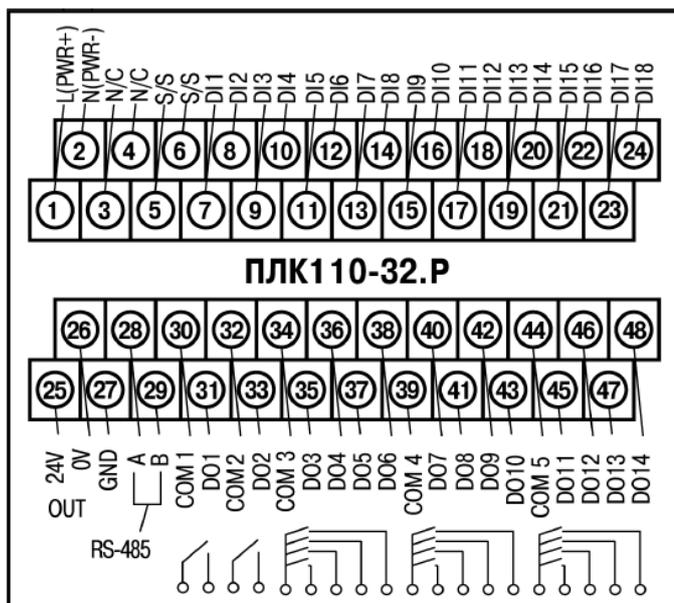


Рис. 23. Схема расположения и назначение клемм

Клеммы соединены с гнездами стендового модуля, показанного на рис. 24.

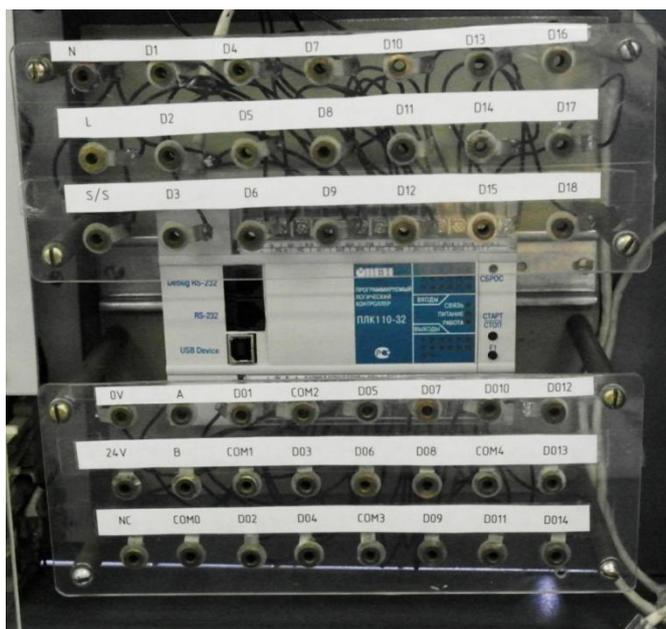


Рис. 24. Модуль ПЛК

Подключение дискретных датчиков типа сухой контакт к ПЛК показано на рис. 25.

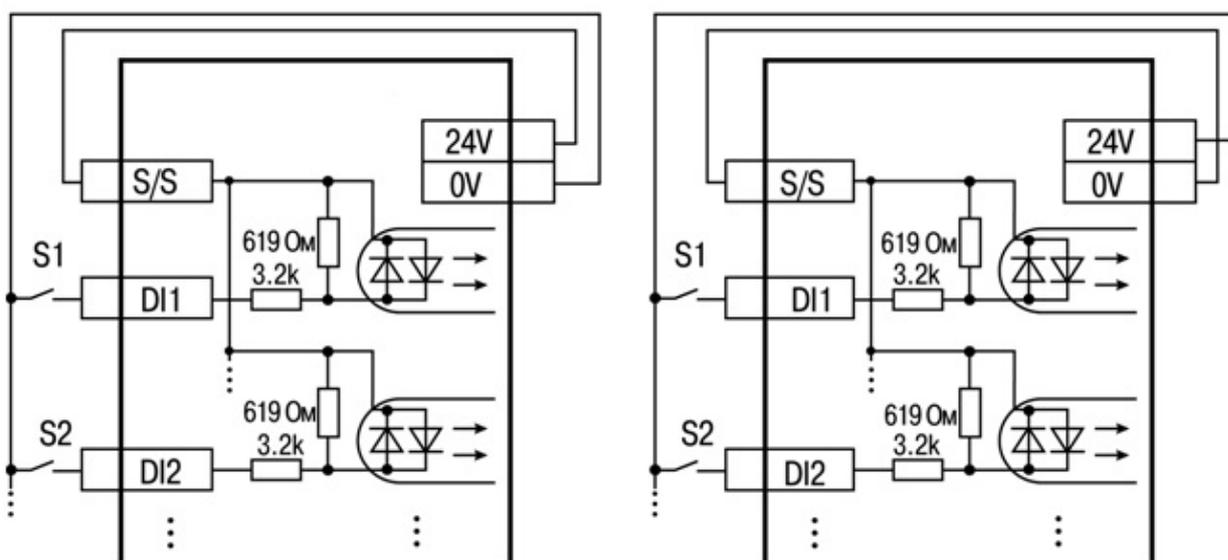


Рис. 25. Подключение датчиков типа сухой контакт

Модули гальванической развязки содержат по два встречно включенных светодиода, что в случае применения датчиков типа сухой контакт дает два варианта их подключения. Если датчик представляет собой электронный ключ, необходимо ориентироваться на тип ключа, рис. 26.

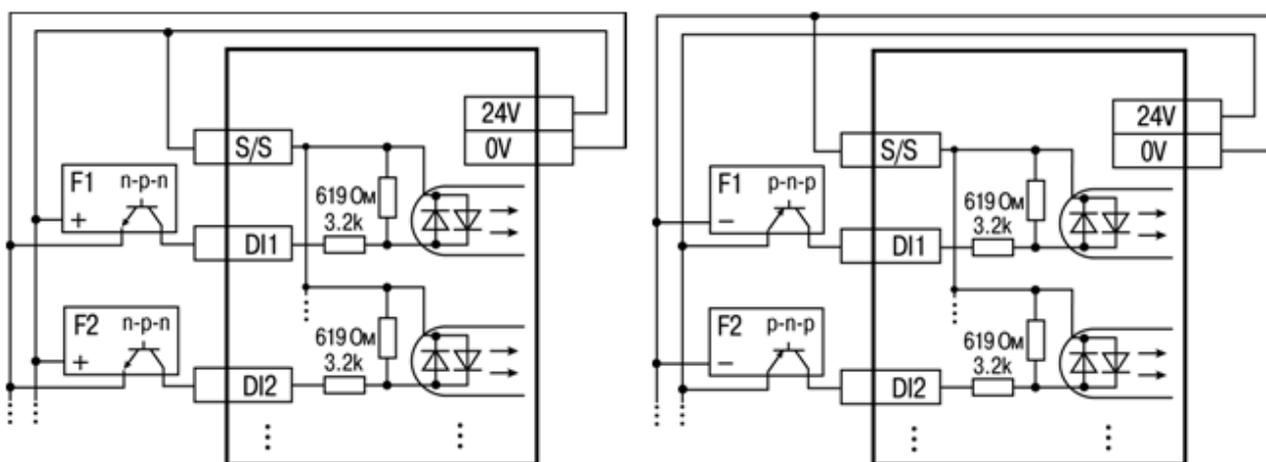


Рис. 26. Подключение транзисторных ключей n-p-n и p-n-p типа

Логика работы ПЛК100 определяется потребителем в процессе программирования контроллера. Программирование осуществляется с помощью системы программирования CoDeSys v2.3.8.1 и старше [2].

## 2 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ НА СТЭНДЕ ЭДФ

### 2.1 Управление нереверсивным асинхронным электроприводом

Цели работы:

- изучение электрической схемы управления нереверсивным асинхронным электроприводом;
- реализация системы управления на базе аппаратных и программных средств.

Схема управления нереверсивным асинхронным электроприводом (пуск, стоп, защита от самозапуска) изображена на рис. 27.

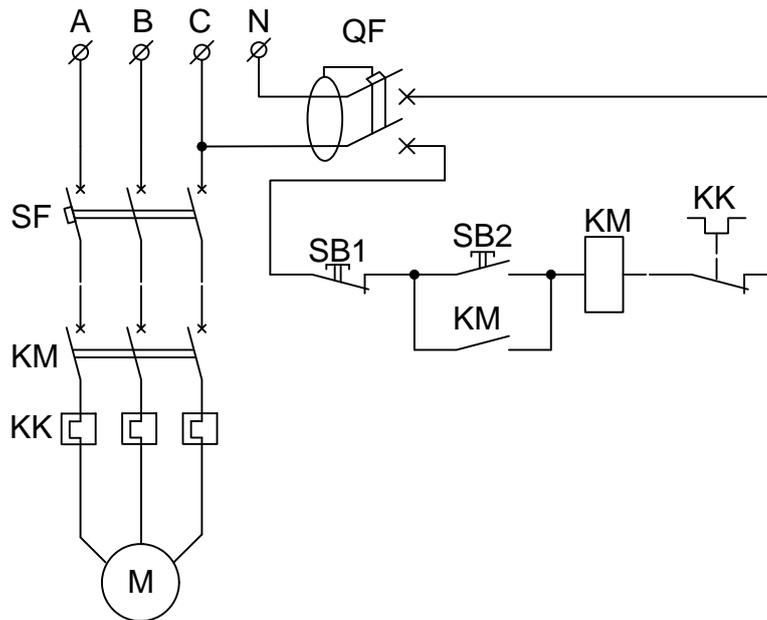


Рис. 27. Электрическая схема

На схеме обозначены:

- SF – автоматический выключатель;
- QF – устройство защитного отключения;
- KM – магнитный пускатель;
- SB1, SB2 – кнопки «Стоп», «Пуск»;
- KK – тепловое реле.

Схема предельно простая и не требует развернутых комментариев. Отметим лишь одно обстоятельство: кнопки «Пуск» и «Стоп» не имеют *фиксации*, т.е. это не *выключатели*, а именно *кнопки*. Такое решение, повсеместно применяемое в приводе, обеспечивает защиту от самозапуска: при исчезновении и последующем после него восстановлении напряжения питания система автоматически не запустит двигатель, а будет ждать нажатия кнопки «Пуск». Это, возможно, спасет жизнь человеку, случайно оказавшемуся в опасной близости от временно неработающего механизма. Контакт KM, шунтирующий кнопку «Пуск» обеспечивает т.н. *«подхват»*: после срабатывания пускателя эту кнопку можно отпустить.

Программа работы:

1. Убедитесь в том, что стенд отключен от сети, автоматический выключатель и устройство защитного отключения находятся в состоянии «выключено».
2. Собрать схему, выполнив все необходимые соединения лабораторными проводами. Показать схему преподавателю, в случае его одобрения перейти к следующему пункту.
3. Подать питание на стенд, включить автоматический выключатель и устройство защитного отключения. Апробировать работу системы. В случае необходимости внести исправления в схему, предварительно ее обесточив.
4. Выключить автоматический выключатель и устройство защитного отключения, отключить стенд от питания.
5. Реализовать *первый вариант* системы на базе ПЛК. В этом варианте собранная ранее схема дополняется цепями, обеспечивающими возможность дистанционного управления двигателем от ПЛК. Переключение между режимами местного и дистанционного управления осуществляется с помощью второй кнопочной станции, контакты которой включены в цепь промежуточного реле К, рис. 28.

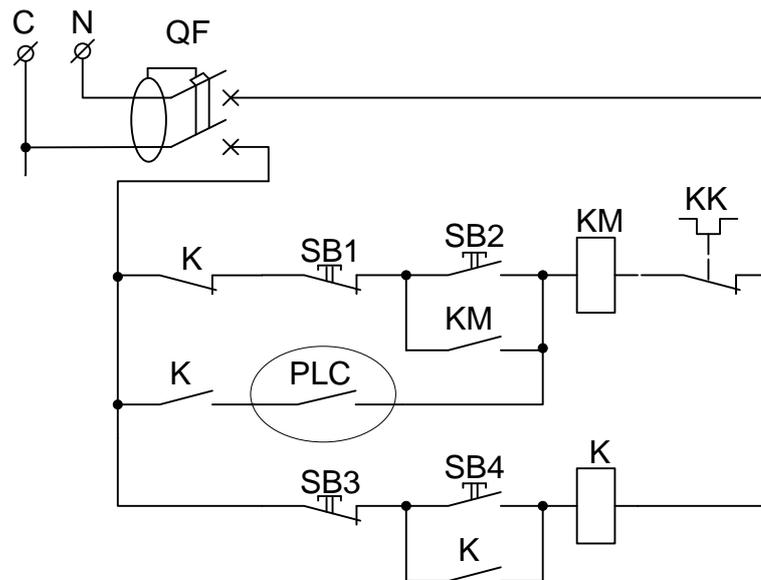


Рис. 28. Доработка схемы управления пускателями

В исходном положении (при обесточенной катушке реле) включение и выключение двигателя осуществляется, как и ранее, нажатием на кнопки SB2 и SB1. Перевод системы в режим дистанционного управления производится нажатием на кнопку SB4. Катушка реле получает питание, отключает цепь ручного управления и включает цепь управления от ПЛК. Теперь включение/выключение пускателя производится контактом дискретного выхода ПЛК.

Поскольку в управлении задействован ПЛК, появляется возможность нарастить функционал системы. Контроллер будет получать информацию о ре-

жиме управления, срабатывании пускателя, вращении двигателя и срабатывании тепловой защиты. Для этого к входам ПЛК должны быть подключены:

- контакт реле переключения режима К (замыкающий, но не тот контакт, что показан на рис. 28, а другой);

- контакт магнитного пускателя (замыкающий);

- контакт реле контроля скорости (замыкающий);

- контакт теплового реле (замыкающий);

К выходу ПЛК подключена катушка магнитного пускателя, как показано на рис. 28.

Кроме того, ПЛК должен быть подключен к питанию «после УЗО» и к персональному компьютеру через Ethernet.

Требуется:

5.1. Составить принципиальную электрическую схему соединений. Собрать схему рекомендуется в следующем порядке:

1) выполнить соединения цепей переменного тока, не подключая питания к контроллеру, и проверить их работоспособность. Дистанционное управление пускателем от ПЛК имитировать с помощью свободной кнопки кнопочной станции. Для этого подключить замыкающий контакт этой кнопки параллельно контакту дискретного выхода ПЛК (на рис. 28 он обозначен как PLC) *или вместо него*. Получив одобрение преподавателя, подать питание, апробировать работу системы, и вновь отключить стенд от питания. Отсоединить кнопку от контакта ПЛК *или подключить контакт ПЛК вместо кнопки*;

2) собрать цепи напряжения постоянного тока 24 В. Эти цепи будут питаться от ПЛК, см. рис. 25. Возможны два варианта подключения: 1) общий провод датчиков соединяется с клеммой 0V, а клемма S/S – с клеммой 24V; 2) общий провод датчиков соединяется с клеммой 24V, а клемма S/S – с клеммой 0V. Какой бы вариант не был выбран, **ЦЕПИ 24В НЕ ДОЛЖНЫ СОПРИКАСАТЬСЯ С ЦЕПЯМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НИ В ОДНОЙ ТОЧКЕ ВО ИЗБЕЖАНИЕ ВЫХОДА ПЛК ИЗ СТРОЯ!** После сборки цепей постоянного тока, подключить ПЛК к выходу УЗО и продемонстрировать схему соединений преподавателю;

3) подключить ПЛК к компьютеру через Ethernet. ПЛК и компьютер могут быть соединены между собой напрямую (не через коммутатор), в этом случае используется специальный кросс-кабель Ethernet. Подать питание на стенд, включить УЗО, убедиться, что ПЛК получает питание. Включить компьютер. В командном окне («Выполнить», «cmd») ввести команду «ping 10.0.6.10» и убедиться в наличии связи с контроллером. Если соединение не устанавливается, возможно, IP-адрес ПЛК был изменен (узнать новый адрес у преподавателя) или IP-адрес компьютера не установлен или установлен неверно. Компьютер должен находиться с контроллером в одной сети, в нашем случае это означает, что его адрес должен отличаться от адреса контроллера только последним числом. Быстро узнать IP-адрес можно с помощью команды «ipconfig». Установить адрес можно в свойствах протокола IP версии 4 сетевого соединения. Помимо

адреса необходимо также задать маску подсети, в нашем случае это 255.255.255.0. Если самостоятельно подключиться к контроллеру не удалось, обратится к преподавателю.

5.2. Запустить на ПК среду CoDeSys, создать проект для контроллера PLC 110.32-L. В параметрах связи (Communication Parameters) при необходимости (если это еще не сделано) создать новое соединение типа TCP/IP (Level 2 Route) и указать в настройках IP-адрес контроллера. Номер порта изменять не надо. Написать программу-заглушку (без программы к контроллеру подключиться невозможно): объявить какую-нибудь переменную и записать в нее какое-нибудь значение. Попытаться подключиться к контроллеру. В случае появления ошибки «несовпадения настроек целевой платформы», выполнить сброс контроллера, нажимая и удерживая некоторое время кнопку СБРОС на его лицевой панели при помощи подходящего для этого предмета, например, стержня от шариковой ручки.

Если подключиться к контроллеру не удалось, обратиться к преподавателю.

5.3. Разработать экран визуализации и программу для ПЛК. Экран и программа должны обеспечивать:

- сигнализацию о режиме работы, срабатывании магнитного пускателя, вращении вала двигателя, срабатывании тепловой защиты на экране визуализации;

- управление двигателем посредством программных кнопок «Пуск» и «Стоп» в режиме дистанционного управления. Программные кнопки (без фиксации) должны быть размещены на экране визуализации.

Экран визуализации и программа управления будут оперировать следующими переменными:

`dist` – сигнал о срабатывании реле К, переход в режим дистанционного управления (вход контроллера, имя переменной назначается в конфигураторе ПЛК);

`mp_work` – сигнал о срабатывании магнитного пускателя (вход контроллера);

`motor_work` – сигнал о срабатывании РКС (вход контроллера);

`tr` – сигнал о срабатывании теплового реле (вход контроллера);

`mp` – сигнал управления магнитным пускателем (выход контроллера, нормально открытый контакт);

`start`, `stop` типа `BOOL` – переменные, управляемые программными кнопками (глобальные переменные).

Примерный вид экрана визуализации с привязками показан на рис. 29, а программа управления – на рис. 30. Программа управления составлена на языке LD.

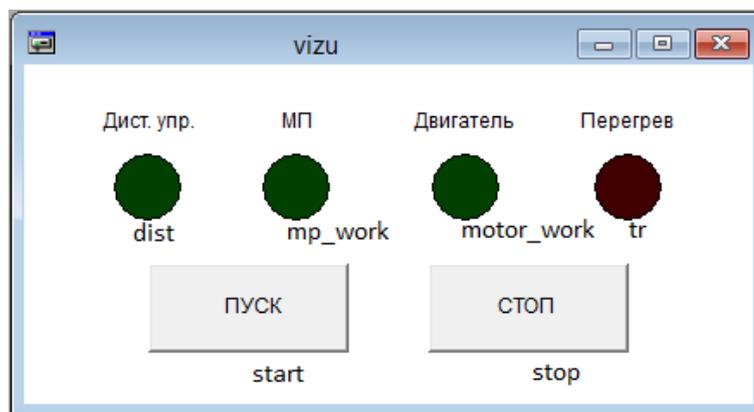


Рис. 29. Экран визуализации с привязками

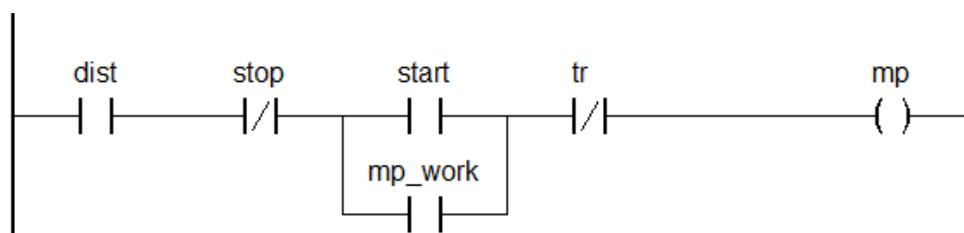


Рис. 30. Программа управления

5.3. Включить автоматический выключатель и УЗО. Загрузить программу в ПЛК и запустить ее на выполнение. Апробировать систему. Срабатывание теплового реле имитировать нажатием на кнопку его панели или отсоединением сигнального провода.

6. Реализовать *второй вариант* системы на базе ПЛК. В этом варианте ПЛК осуществляет управление двигателем в обоих режимах: и в дистанционном и в ручном. Аппаратная схема цепей управления (рис. 28) отсутствует и управление без ПЛК невозможно.

К входам ПЛК должны быть подключены:

- кнопки «Пуск» и «Стоп» (замыкающие контакты);
- контакт магнитного пускателя (замыкающий);
- контакт реле контроля скорости (замыкающий);
- контакт теплового реле (замыкающий);

К выходу ПЛК через размыкающий контакт теплового реле подключена катушка магнитного пускателя.

Требуется:

6.1. Составить принципиальную электрическую схему соединений, предоставить ее для проверки преподавателю. После проверки собрать схему и предоставить ее на проверку.

6.2. Запустить на ПК среду CoDeSys, подключиться к ПЛК. В случае неудачи обратиться к преподавателю. Разработать экран визуализации и программу управления для ПЛК. Экран и программа должны обеспечивать:

– сигнализацию о срабатывании магнитного пускателя, вращении двигателя, срабатывании тепловой защиты на экране визуализации;

– управление двигателем посредством аппаратных и программных кнопок «Пуск» и «Стоп». Программные кнопки (без фиксации) должны быть размещены на экране визуализации. Кроме того, на экране должен присутствовать переключатель режимов управления. В «ручном» режиме управление осуществляется аппаратными кнопками, в «дистанционном» – программными.

Экран визуализации и программа управления будут оперировать следующими переменными:

`start_app` – сигнал о нажатии кнопки «Пуск» (вход контроллера, имя переменной назначается в конфигураторе ПЛК);

`stop_app` – сигнал о нажатии кнопки «Стоп» (вход контроллера);

`tr` – сигнал о срабатывании теплового реле (вход контроллера);

`mp_work` – сигнал о срабатывании магнитного пускателя (вход контроллера);

`motor_work` – сигнал о срабатывании РКС (вход контроллера);

`mp` – сигнал управления магнитным пускателем (выход контроллера, нормально открытый контакт);

`start_prog` – программная кнопка «Пуск» (глобальная переменная);

`stop_prog` – программная кнопка «Стоп» (глобальная переменная);

`manual` – переключатель режима управления / ручное управление (глобальная переменная).

Примерный вид экрана визуализации с привязками показан на рис. 31, а программа управления – на рис. 32. Программа управления составлена на языке LD.

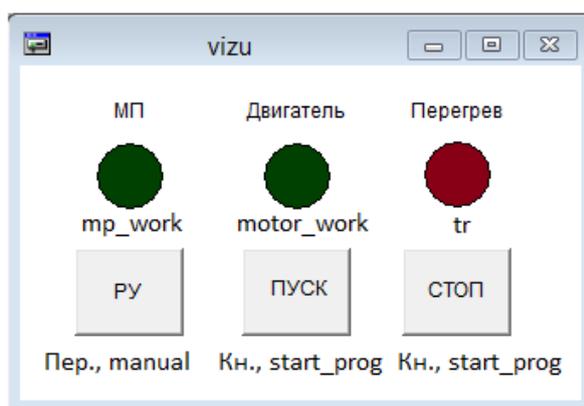


Рис. 31. Экран визуализации с привязками

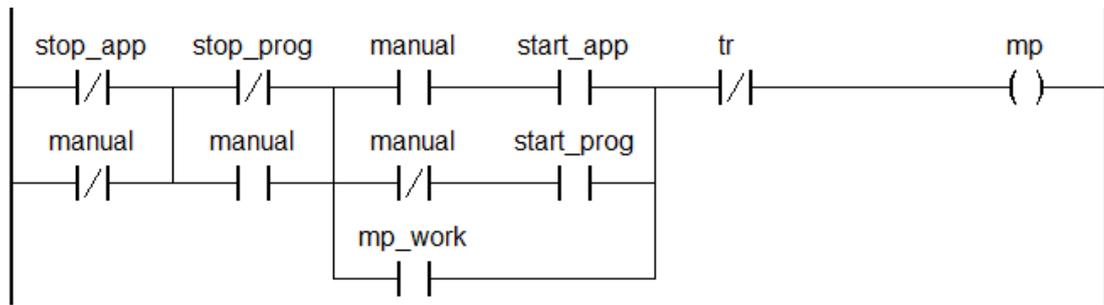


Рис.32. Программа управления

6.3. Включить автоматический выключатель и УЗО. Загрузить программу в ПЛК и запустить ее на выполнение. Апробировать систему. Срабатывание теплового реле имитировать нажатием на кнопку его панели или отсоединением сигнального провода.

## 2.2 Управление реверсивным асинхронным электроприводом

Цели работы:

- изучение электрической схемы управления реверсивным асинхронным электроприводом;
- реализация системы управления на базе аппаратных и программных средств.

На рис. 33 изображена электрическая схема управления реверсивным асинхронным электроприводом (пуск вперед, пуск назад, останов, защита от самозапуска).

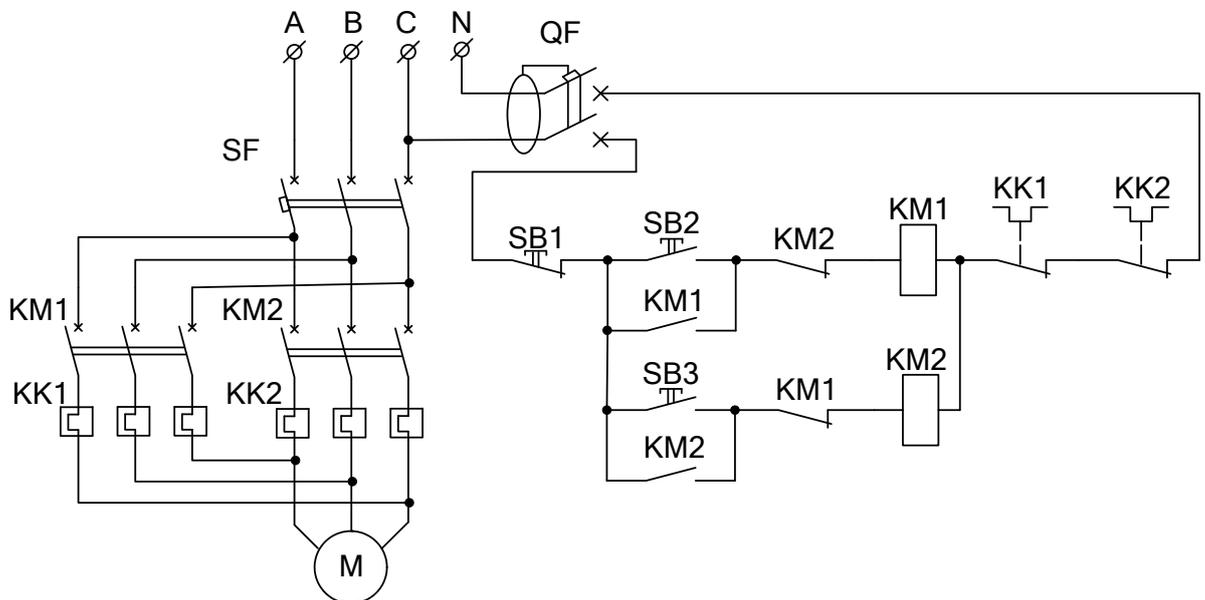


Рис. 33. Электрическая схема

На схеме показаны:

- SF – автоматический выключатель;
- QF – устройство защитного отключения;
- KM1, KM2 – магнитные пускатели;

SB1, SB2, SB3 – кнопки «Стоп», «Пуск вперед», «Пуск назад»;  
КК1, КК2 – тепловые реле.

Для изменения направления вращения вала асинхронного двигателя необходимо изменить *порядок чередования фаз*. Для этого достаточно «поменять местами две фазы»: ту фазу обмотки двигателя, которая ранее питалась, например, от фазы А сети, подключить к фазе С, и, наоборот, фазу, которая питалась от фазы С, подключить к фазе А сети. Именно этот вариант используется в схеме, приведенной на рис. 33. Первый вариант подключения («прямое вращение») обеспечивается срабатыванием пускателя КМ2, а второй («обратное вращение») – срабатыванием пускателя КМ1. Очевидно, что одновременное срабатывание пускателей приведет к межфазному короткому замыканию, поэтому система должна быть защищена от одновременного включения пускателей. С этой целью в цепи катушки пускателя КМ1 установлен нормально закрытый контакт пускателя КМ2 и, наоборот, в цепи катушки КМ2 – нормально закрытый контакт пускателя КМ1 (*электрическая блокировка*). Современные пускатели для защиты от одновременного срабатывания допускают и *механическую блокировку*.

Программа работы:

1. Убедится в том, что стенд отключен от сети, автоматический выключатель и устройство защитного отключения находятся в состоянии «выключено».

2. Собрать схему, выполнив все необходимые соединения лабораторными проводами. Показать схему преподавателю, в случае его одобрения перейти к следующему пункту.

3. Подать питание на стенд, включить автоматический выключатель и устройство защитного отключения. Апробировать работу системы. В случае необходимости внести исправления в схему, предварительно ее обесточив.

4. Выключить автоматический выключатель и устройство защитного отключения, отключить стенд от питания.

5. Реализовать *первый вариант* системы на базе ПЛК. В этом варианте собранная ранее схема дополняется цепями, обеспечивающими возможность дистанционного управления двигателем от ПЛК. Переключение между режимами местного и дистанционного управления осуществляется с помощью второй кнопочной станции, контакты которой включены в цепь промежуточного реле, рис. 34.

Разработать экран визуализации и программу для ПЛК. Экран и программа должны обеспечивать:

– сигнализацию о режиме работы, срабатывании магнитных пускателей, вращении вала двигателя в прямом и обратном направлениях, срабатывании тепловой защиты на экране визуализации. Для фиксации срабатывания тепловой защиты достаточно использовать один вход контроллера, а замыкающие контакты тепловых реле соединить по схеме ИЛИ;

– управление двигателем посредством программных кнопок «Пуск вперед», «Пуск назад» и «Стоп» в режиме дистанционного управления. Программные кнопки (без фиксации) должны быть размещены на экране визуализации.

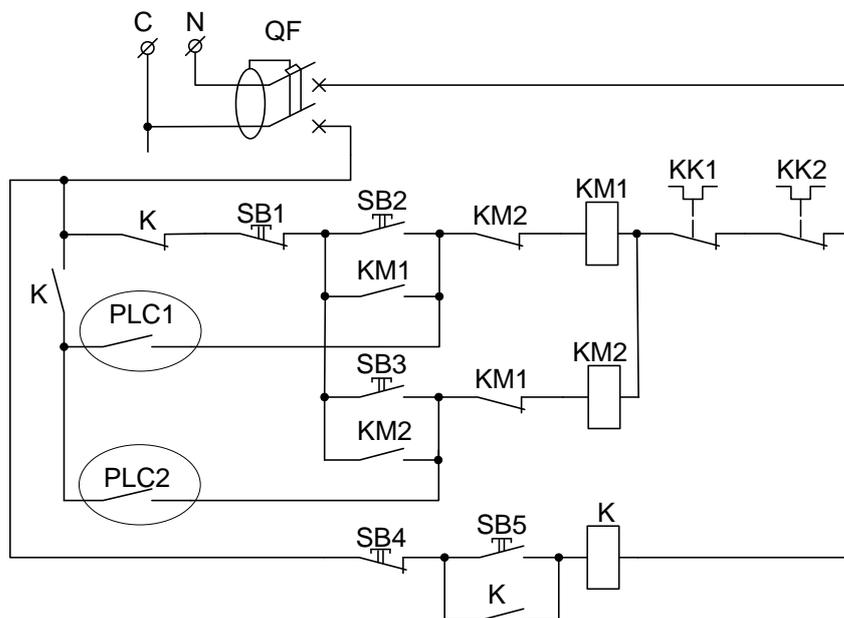


Рис. 34. Доработка схемы управления пускателями

На рис. 35 показан примерный вид экрана визуализации, на рис. 36 – программа управления.

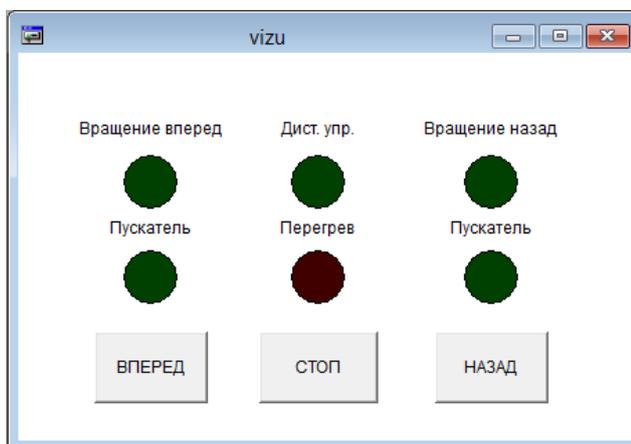


Рис. 35. Экран визуализации

Включить автоматический выключатель и УЗО. Загрузить программу в ПЛК и запустить ее на выполнение. Апробировать систему. Срабатывание тепловых реле имитировать нажатием на кнопки их панелей или соединением сигнальных проводов.

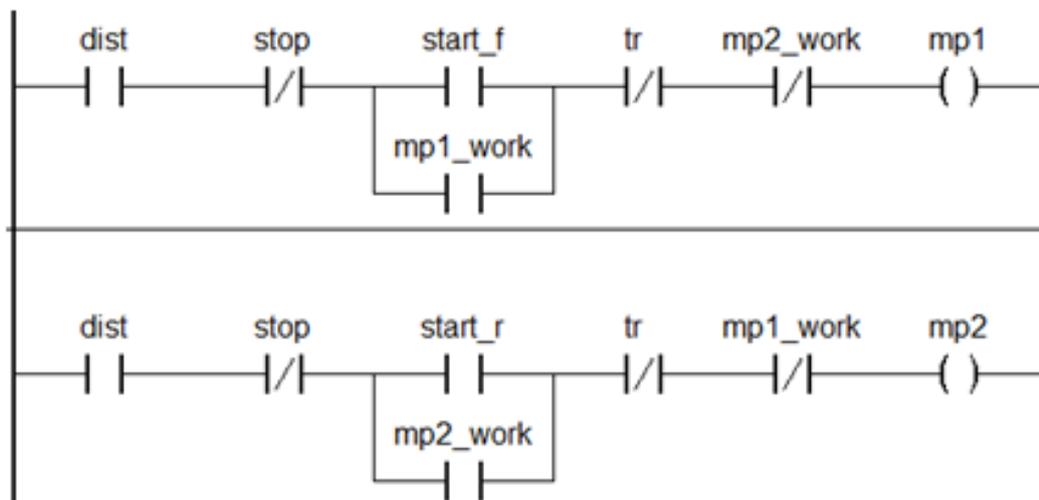


Рис.36. Программа управления

6. Реализовать *второй вариант* системы на базе ПЛК. В этом варианте ПЛК осуществляет управление двигателем в обоих режимах: и в дистанционном и в ручном. Аппаратная схема цепей управления отсутствует и управление без ПЛК невозможно (см. предыдущую работу).

Разработать экран визуализации и программу управления для ПЛК. Экран и программа должны обеспечивать:

- сигнализацию о срабатывании магнитных пускателей, вращении двигателя в прямом и обратном направлениях, срабатывании тепловой защиты на экране визуализации;

- управление двигателем посредством аппаратных и программных кнопок «Пуск вперед», «Пуск назад» и «Стоп». Программные кнопки (без фиксации) должны быть размещены на экране визуализации. Кроме того, на экране должен присутствовать переключатель режимов управления. В «ручном» режиме управление осуществляется аппаратными кнопками, в «дистанционном» – программными.

Примерный вид экрана визуализации показан на рис. 37, программа управления – на рис. 38.

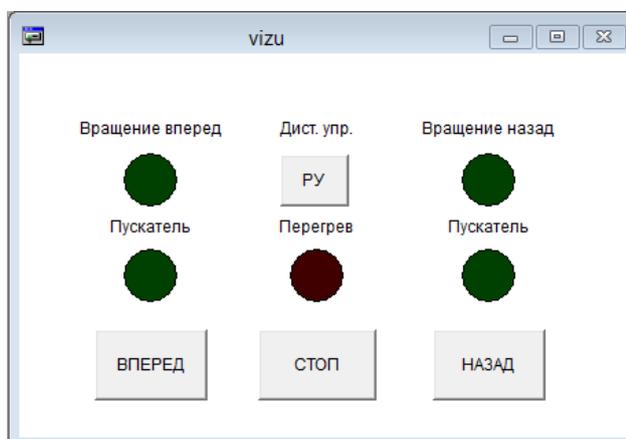


Рис. 37. Экран визуализации

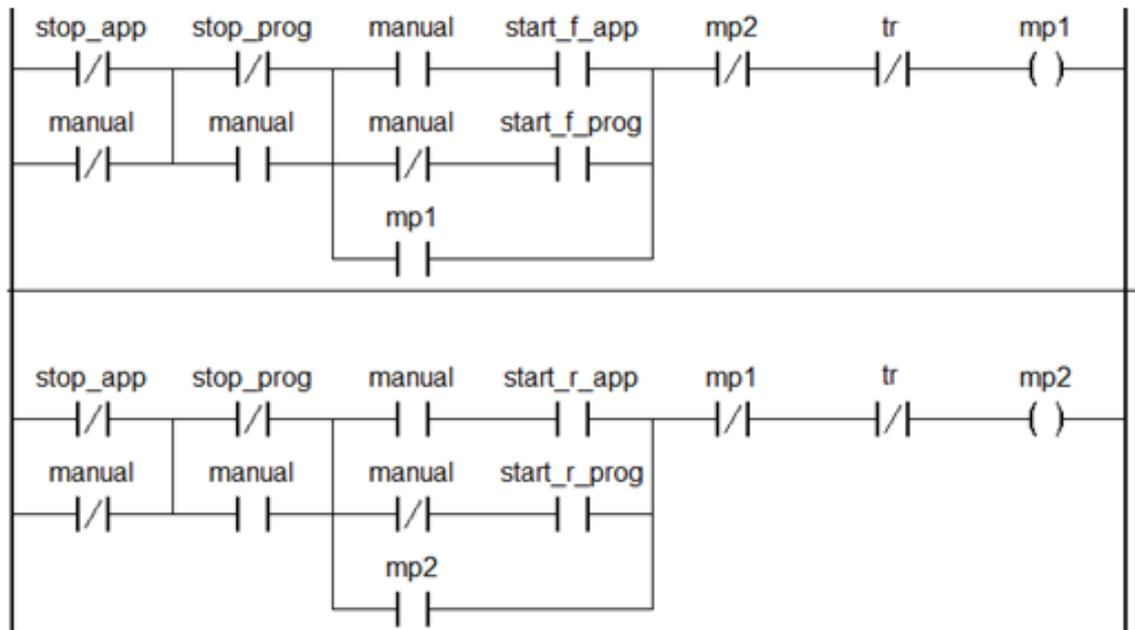


Рис. 38. Программа управления

Включить автоматический выключатель и УЗО. Загрузить программу в ПЛК и запустить ее на выполнение. Апробировать систему. Срабатывание тепловых реле имитировать нажатием на кнопки их панелей или отсоединением сигнальных проводов.

### ***2.3 Управление нереверсивным асинхронным электроприводом с динамическим торможением***

Цели работы:

- изучение электрической схемы управления нереверсивным асинхронным электроприводом с динамическим торможением;
- реализация системы управления на базе аппаратных и программных средств.

Для того чтобы привести во вращение ротор асинхронного (и синхронного) двигателя необходимо создать в нем вращающееся магнитное поле, подключив обмотку статора к трехфазной системе переменного тока. Очевидно, что для того, чтобы быстро остановить вращение, нужно создать неподвижное магнитное поле, подав на обмотку постоянное напряжение. Такой режим называется *динамическим торможением*.

Один из вариантов схемы управления нереверсивным асинхронным электроприводом с динамическим торможением показан на рис. 39.

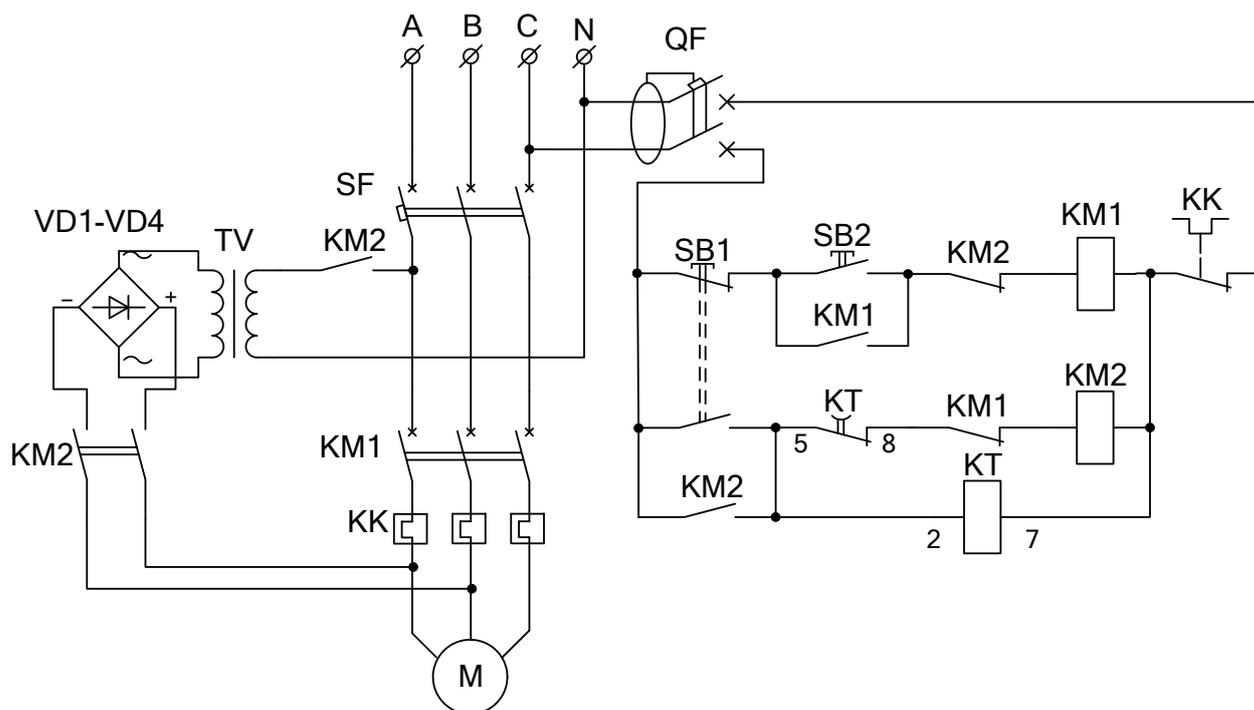


Рис. 39. Схема управления нереверсивным двигателем с динамическим торможением

На схеме показаны:

- SF – автоматический выключатель;
- QF – устройство защитного отключения;
- KM1, KM2 – магнитные пускатели;
- KT – реле времени;
- SB1, SB2 – кнопки «Стоп», «Пуск»;
- KK – тепловое реле;
- TV – понижающий трансформатор;
- VD1-VD4 – выпрямительный мост.

В цепи двигателя установлен узел динамического торможения, состоящий из понижающего трансформатора и выпрямителя. Необходимость в понижении напряжения связана с тем, что на нулевой частоте обмотка двигателя, рассчитанная на переменный ток, «теряет» значительную часть своего сопротивления (реактивное сопротивление, пропорциональное частоте, становится равным нулю, остается лишь активное). Поэтому для ограничения тока необходимо понижать напряжение. На стенде установлен трансформатор 220/24 В. Управляет подачей постоянного напряжения на обмотку двигателя магнитный пускатель KM2. Естественно, что одновременное включение пускателя KM2 с пускателем KM1, подающего на двигатель переменное напряжение, недопустимо. Поэтому в схеме управления предусмотрена электрическая блокировка одновременного включения посредством нормально закрытых контактов пускателей.

Подача постоянного напряжения на двигатель должна быть ограничена во времени (вплоть до полной остановки двигателя, но не более). Эту задачу ре-

шает реле времени КТ. При нажатии на кнопку «Стоп» SB1 оно получает питание и мгновенно замыкает свой нормально открытый контакт в цепи катушки пускателя КМ2. Пускатель, получив питание, своим замыкающим контактом не дает реле времени его потерять при отпускании кнопки. По истечении выдержки времени контакт реле времени вновь размыкается и пускатель КМ2 теряет питание. Схема приходит в первоначальное состояние. Как показывает опыт проведенных на стенде работ, для полной остановки двигателя требуется около 5 с.

Программа работы:

1. Убедится в том, что стенд отключен от сети, автоматический выключатель и устройство защитного отключения находятся в состоянии «выключено».

2. Собрать схему, выполнив все необходимые соединения лабораторными проводами. Показать схему преподавателю, в случае его одобрения перейти к следующему пункту.

3. Подать питание на стенд, включить автоматический выключатель и устройство защитного отключения. Апробировать работу системы. В случае необходимости внести исправления в схему, предварительно ее обесточив.

4. Выключить автоматический выключатель и устройство защитного отключения, отключить стенд от питания.

5. Реализовать *первый вариант* системы на базе ПЛК. В этом варианте собранная ранее схема дополняется цепями, обеспечивающими возможность дистанционного управления двигателем от ПЛК, рис. 40.

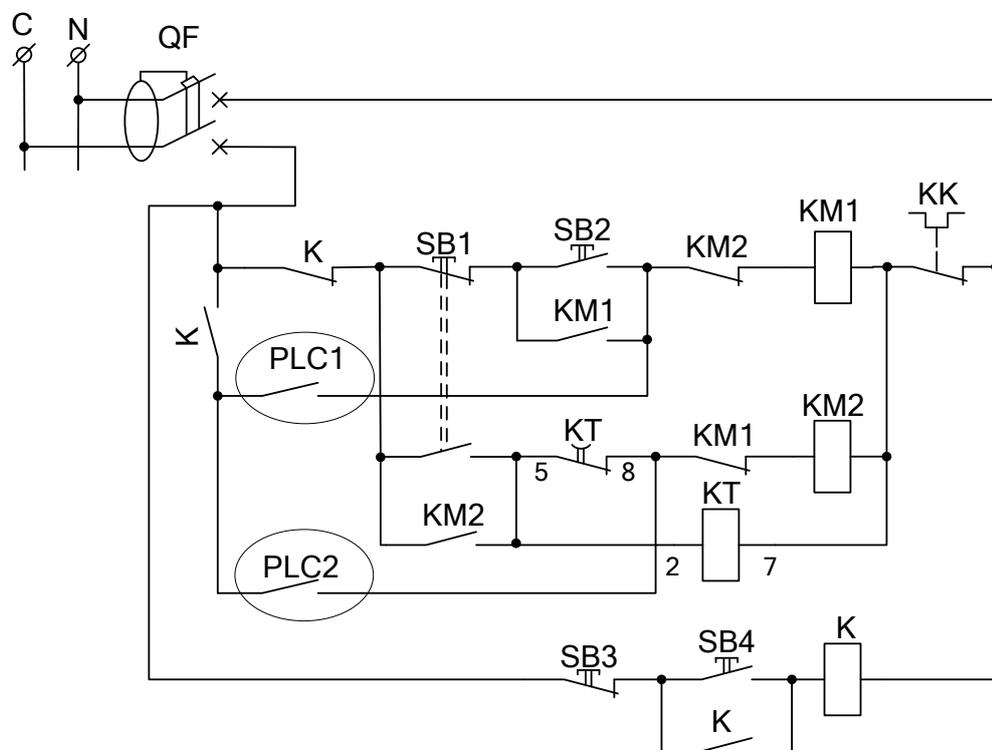


Рис. 40. Схема управления нереверсивным двигателем с динамическим торможением, подключение выходов ПЛК

Переключение между режимами местного и дистанционного управления осуществляется с помощью второй кнопочной станции, контакты которой включены в цепь промежуточного реле К. В режиме дистанционного управления сохраняется аппаратная защита от одновременного включения пускателей и перегрузки двигателя, поскольку размыкающие контакты пускателей и теплового реле находятся после точки подключения альтернативных цепей коммутации (от ПЛК). На программном уровне такая защита тоже будет реализована (много защиты не бывает).

ПЛК будет получать информацию о режиме управления, срабатывании пускателей, вращении двигателя и срабатывании тепловой защиты. Для этого к входам ПЛК должны быть подключены:

- контакт реле переключения режима К (замыкающий);
- контакты магнитных пускателей (замыкающие);
- контакт реле контроля скорости (замыкающий);
- контакт теплового реле (замыкающий);

К выходам ПЛК подключены катушки магнитных пускателей, как показано на рис. 40.

Разработать схему соединений (на бумаге или доске), показать преподавателю, после его одобрения собрать схему на стенде. Продемонстрировать схему преподавателю.

Разработать экран визуализации и программу для ПЛК. Экран и программа должны обеспечивать:

- сигнализацию о режиме работы, срабатывании магнитных пускателей, вращении вала двигателя, срабатывании тепловой защиты на экране визуализации;
- управление двигателем посредством программных кнопок «Пуск» и «Стоп» в режиме дистанционного управления. Программные кнопки (без фиксации) должны быть размещены на экране визуализации.

Примерный вид экрана визуализации и программы управления показаны на рис. 41, 42.

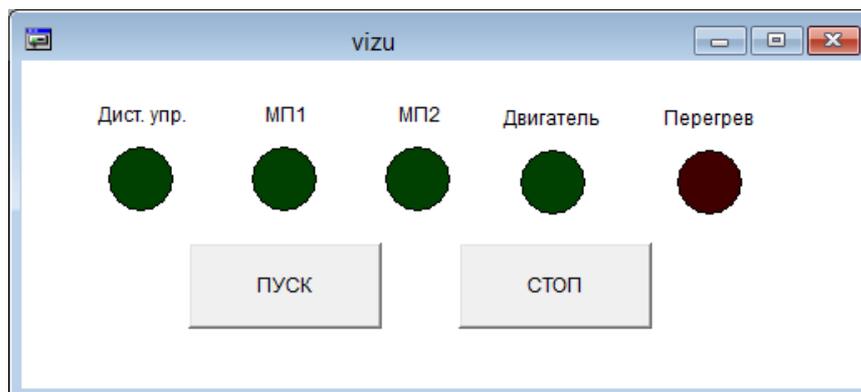


Рис. 41. Экран визуализации

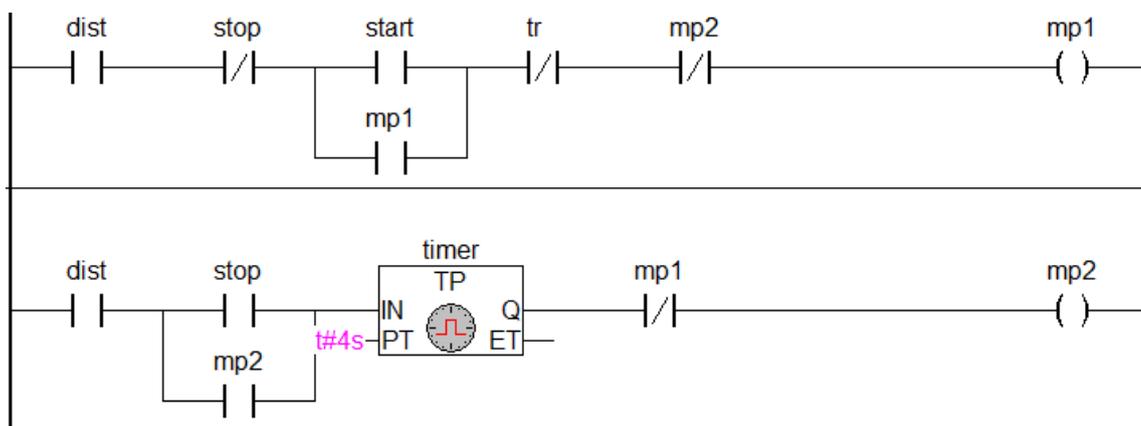


Рис. 42. Программа управления

Для отчета выдержки времени в программе используется экземпляр функционального блока TP (пульс-таймер), который работает аналогично аппаратному реле времени.

Включить автоматический выключатель и УЗО. Загрузить программу в ПЛК и запустить ее на выполнение. Апробировать систему. Срабатывание тепловых реле имитировать нажатием на кнопки их панелей или отсоединением сигнальных проводов.

Проанализировать работу системы. Найти недостаток схемы и устранить его.

6. Реализовать *второй вариант* системы на базе ПЛК. В этом варианте ПЛК осуществляет управление двигателем в обоих режимах: и в дистанционном и в ручном. Аппаратная схема цепей управления отсутствует и управление без ПЛК невозможно (см. предыдущую работу).

Разработать экран визуализации и программу управления для ПЛК. Экран и программа должны обеспечивать:

- сигнализацию о срабатывании магнитных пускателей, вращении двигателя, срабатывании тепловой защиты на экране визуализации;
- управление двигателем посредством аппаратных и программных кнопок «Пуск» и «Стоп». Программные кнопки (без фиксации) должны быть размещены на экране визуализации. Кроме того, на экране должен присутствовать переключатель режимов управления. В «ручном» режиме управление осуществляется аппаратными кнопками, в «дистанционном» – программными.

Примерный вид экрана показан на рис. 43, программа управления – на рис. 44.

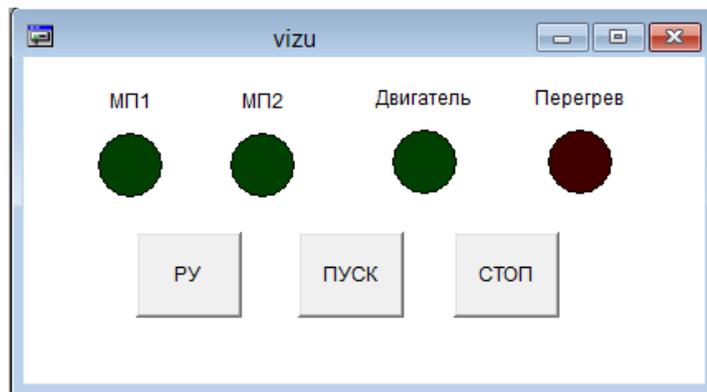


Рис. 43. Экран визуализации

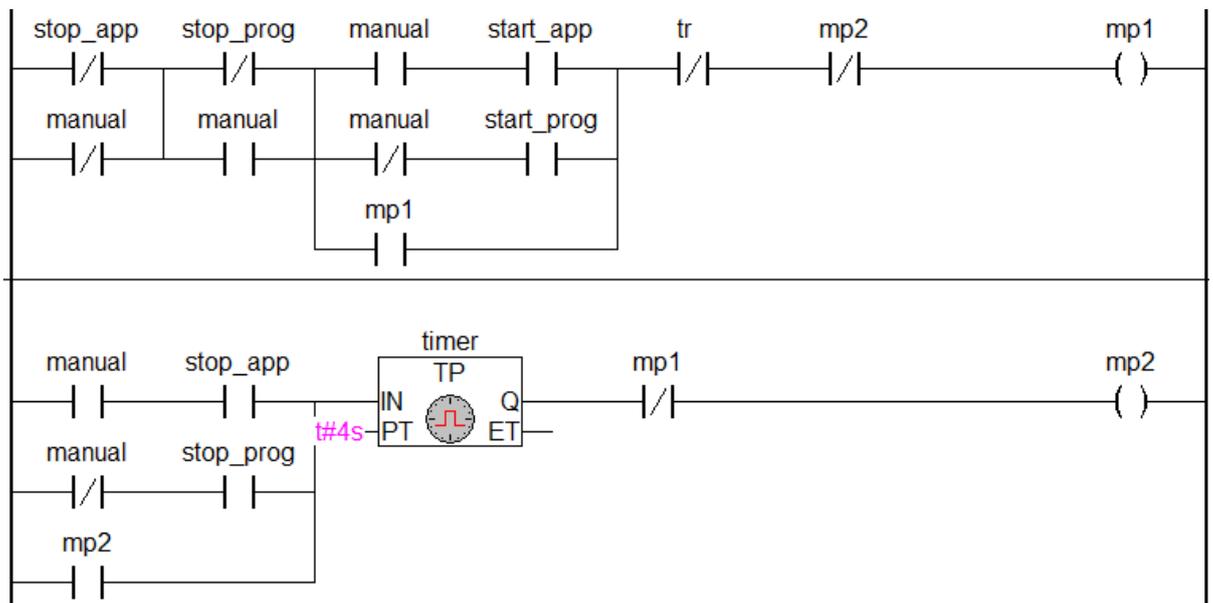


Рис. 44. Программа управления

Включить автоматический выключатель и УЗО. Загрузить программу в ПЛК и запустить ее на выполнение. Апробировать систему. Срабатывание тепловых реле имитировать нажатием на кнопки их панелей или отсоединением сигнальных проводов.

#### **2.4 Управление реверсивным асинхронным электроприводом с торможением противовключением**

Цели работы:

- изучение электрической схемы управления реверсивным асинхронным электроприводом с торможением противовключением;
- реализация системы управления на базе аппаратных и программных средств.

Электрическая схема показана на рис. 45.

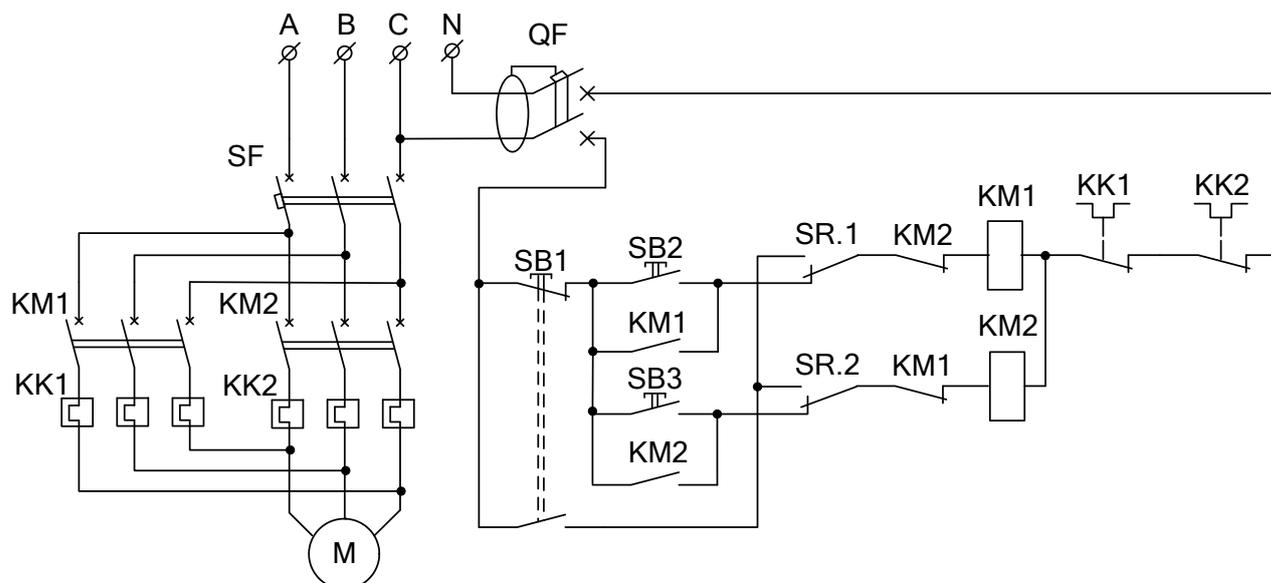


Рис. 45. Схема управления реверсивным двигателем с торможением противовключением

На схеме показаны:

SF – автоматический выключатель;

QF – устройство защитного отключения;

KM1, KM2 – магнитные пускатели;

SB1, SB2, SB3 – кнопки «Стоп», «Пуск вперед», «Пуск назад»;

KK1, KK2 – тепловые реле;

SR – реле контроля скорости.

Схема отличается от приведенной на рис. 33 наличием перекидных контактов реле контроля скорости SR.1 и SR.2. Эти контакты и обеспечивают противовключение двигателя при нажатии на кнопку «Стоп» SB1. Важно отметить, что контакты реле контроля скорости включены «инверсно» катушкам пускателей. Так, в цепи катушки пускателя KM1, обеспечивающего пуск «вперед» стоит контакт, срабатывающий в направлении «назад», и наоборот. Поэтому, например, при запуске двигателя «вперед», автоматически подготавливается к пуску цепь «назад». Однако пускатель KM2 не получит питания до тех пор, пока запитан пускатель KM1 и не нажата кнопка «Стоп». При нажатии на кнопку «Стоп» KM1 обесточивается, а KM2 получает питание по альтернативной цепи. При околонулевой скорости контакт SR.1 возвращается в исходное положение, показанное на рис. 45, и процесс противовключения прекращается. Схема приходит в исходное состояние.

Программа работы:

1. Убедитесь в том, что стенд отключен от сети, автоматический выключатель и устройство защитного отключения находятся в состоянии «выключено».

2. Собрать схему, выполнив все необходимые соединения лабораторными проводами. В режиме противовключения ток двигателя достигает больших значений (больше пускового). В ДАННОЙ РАБОТЕ НУЖНО ЗАДЕЙСТВОВАТЬ ДВИГАТЕЛЬ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ, ПОСКОЛЬКУ ОН МЕНЕЕ МОЩНЫЙ,

ЧЕМ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ. НЕ ЗАПУСКАТЬ ДВИГАТЕЛЬ С ОТКЛЮЧЕННОЙ ОБМОТКОЙ РОТОРА! Для ограничения тока желательно ввести в цепь ротора полный набор дополнительных сопротивлений. Показать схему преподавателю, в случае его одобрения перейти к следующему пункту.

3. Подать питание на стенд, включить автоматический выключатель и устройство защитного отключения. Апробировать работу системы. В случае необходимости внести исправления в схему, предварительно ее обесточив.

4. Выключить автоматический выключатель и устройство защитного отключения, отключить стенд от питания.

5. Реализовать *первый вариант* системы на базе ПЛК. В этом варианте собранная ранее схема дополняется цепями, обеспечивающими возможность дистанционного управления двигателем от ПЛК. Переключение между режимами местного и дистанционного управления осуществляется с помощью второй кнопочной станции, контакты которой включены в цепь промежуточного реле, рис. 46.

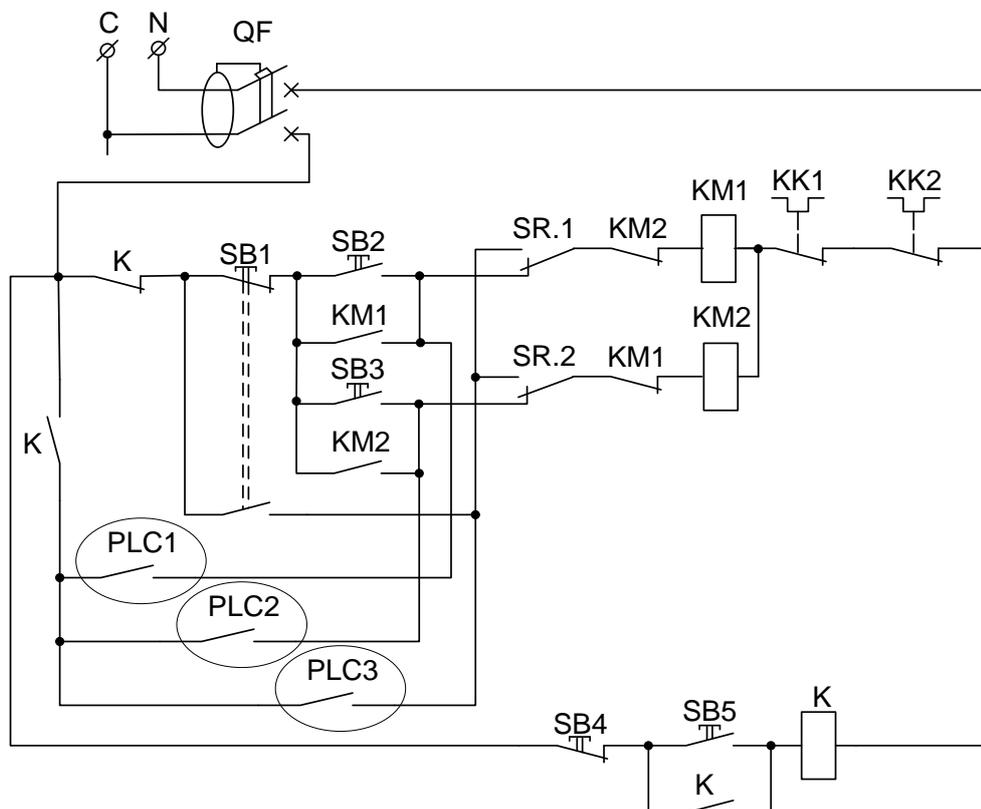


Рис. 46. Схема управления реверсивным двигателем с торможением противовключением, подключение выходов ПЛК

Разработать экран визуализации и программу для ПЛК. Экран и программа должны обеспечивать:

– сигнализацию о режиме работы, срабатывании магнитных пускателей, срабатывании тепловой защиты на экране визуализации (поскольку РКС задействован в схеме управления, и его невозможно непосредственно подключить к

выходам ПЛК, на экране визуализации не будет отображаться информация о вращении ротора двигателя). Для фиксации срабатывания тепловой защиты достаточно использовать один вход контроллера, а замыкающие контакты тепловых реле соединить по схеме ИЛИ;

– управление двигателем посредством программных кнопок «Пуск вперед», «Пуск назад» и «Стоп» в режиме дистанционного управления. Программные кнопки (без фиксации) должны быть размещены на экране визуализации.

Разработка сводится к незначительным изменениям в проекте из второй лабораторной работы. Основное отличие состоит в том, что теперь ПЛК управляет тремя дискретными выходами («пуск вперед», «пуск назад» и «стоп»). При этом программа на LD никаких изменений не требует вообще.

Включить автоматический выключатель и УЗО. Загрузить программу в ПЛК и запустить ее на выполнение. Апробировать систему. Срабатывание тепловых реле имитировать нажатием на кнопки их панелей или соединением сигнальных проводов.

6. Реализовать *второй вариант* системы на базе ПЛК. В этом варианте ПЛК осуществляет управление двигателем в обоих режимах: и в дистанционном и в ручном. Аппаратная схема цепей управления отсутствует и управление без ПЛК невозможно.

Разработать экран визуализации и программу управления для ПЛК. Экран и программа должны обеспечивать:

– сигнализацию о срабатывании магнитных пускателей, вращении двигателя в прямом и обратном направлениях, срабатывании тепловой защиты на экране визуализации;

– управление двигателем посредством аппаратных и программных кнопок «Пуск вперед», «Пуск назад» и «Стоп». Программные кнопки (без фиксации) должны быть размещены на экране визуализации. Кроме того, на экране должен присутствовать переключатель режимов управления. В «ручном» режиме управление осуществляется аппаратными кнопками, в «дистанционном» – программными.

Экран визуализации ничем не отличается от экрана, показанного на рис. 37. Программа управления, приведенная на рис. 38, дополняется цепями, обеспечивающими торможение противовключением, рис. 47.

Включить автоматический выключатель и УЗО. Загрузить программу в ПЛК и запустить ее на выполнение. Апробировать систему. Срабатывание тепловых реле имитировать нажатием на кнопки их панелей или отсоединением сигнальных проводов.

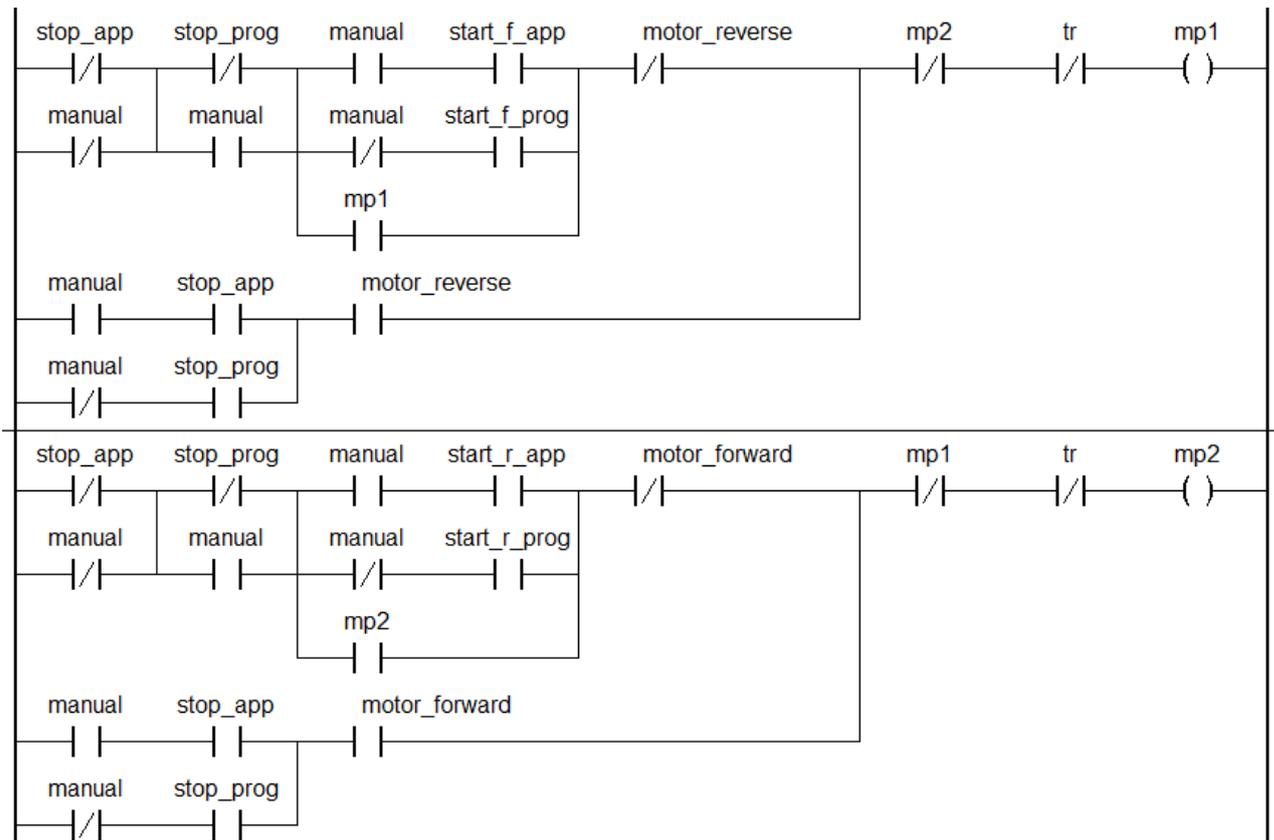


Рис. 47. Программа управления

## 2.5 Управление асинхронным двигателем с фазным ротором

Цели работы:

- изучение электрической схемы управления асинхронным двигателем с фазным ротором;
- реализация системы управления на базе аппаратных и программных средств.

Электрическая схема системы управления на основе командоконтроллера показана на рис. 48.

На схеме обозначены:

SF – автоматический выключатель;

QF – устройство защитного отключения;

KM – магнитный пускатель;

SB1, SB2 – кнопки «Стоп», «Пуск»;

KK – тепловое реле;

R1, R2, R3 – блоки сопротивления в цепи ротора;

SA.1, SA.2, SA.3 – контактные группы командоконтроллера.

Ступенчатое регулирование скорости производится путем коммутации блоков сопротивления контактами командоконтроллера. Переключения производится поворотом рукоятки аппарата, причем замыкание и размыкания контактов наблюдаются визуально.

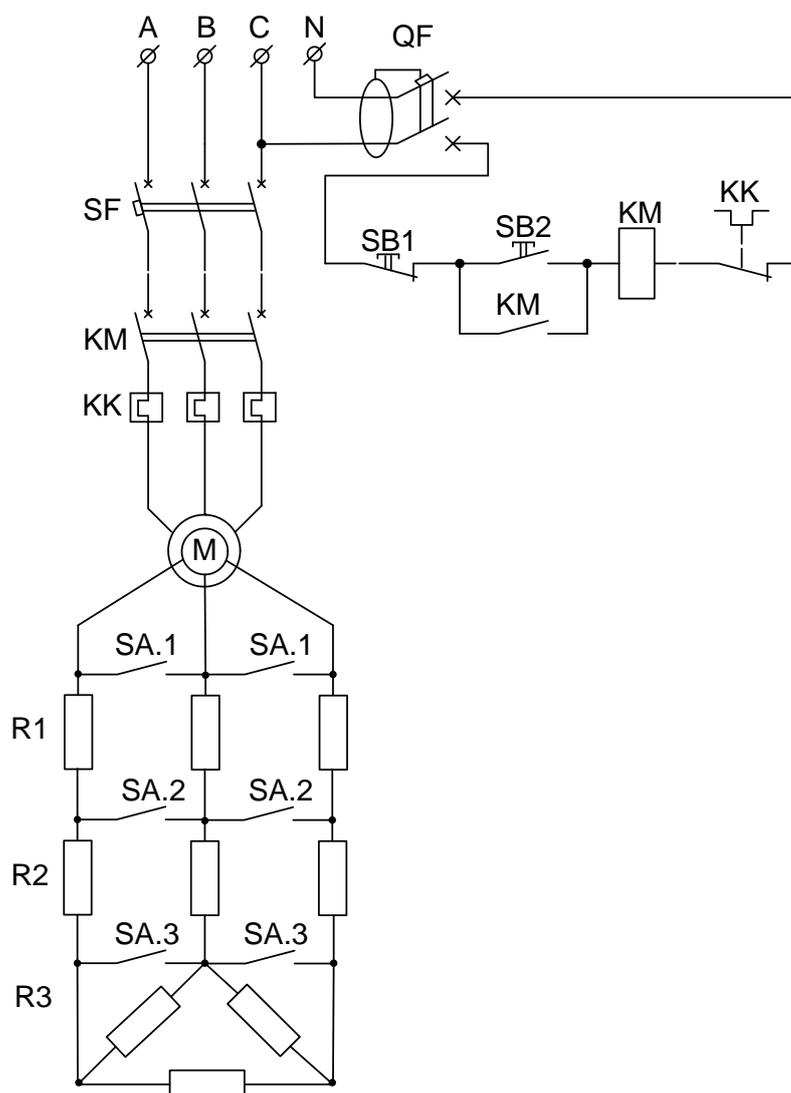


Рис. 48. Электрическая схема

Программа работы:

1. Убедится в том, что стенд отключен от сети, автоматический выключатель и устройство защитного отключения находятся в состоянии «выключено».

2. Собрать схему, выполнив все необходимые соединения лабораторными проводами. Показать схему преподавателю, в случае его одобрения перейти к следующему пункту.

3. Подать питание на стенд, включить автоматический выключатель и устройство защитного отключения. Апробировать работу системы. С помощью командоконтроллера осуществить ступенчатое регулирование скорости двигателя. В случае необходимости внести исправления в схему, предварительно ее обесточив.

4. Выключить автоматический выключатель и устройство защитного отключения, отключить стенд от питания.

5. Реализовать *первый вариант* системы на базе ПЛК. В этом варианте собранная ранее схема дополняется цепями, обеспечивающими возможность дистанционного управления двигателем от ПЛК. Переключение между режи-

мами местного и дистанционного управления осуществляется с помощью второй кнопочной станции, контакты которой включены в цепь промежуточного реле К, рис. 49.

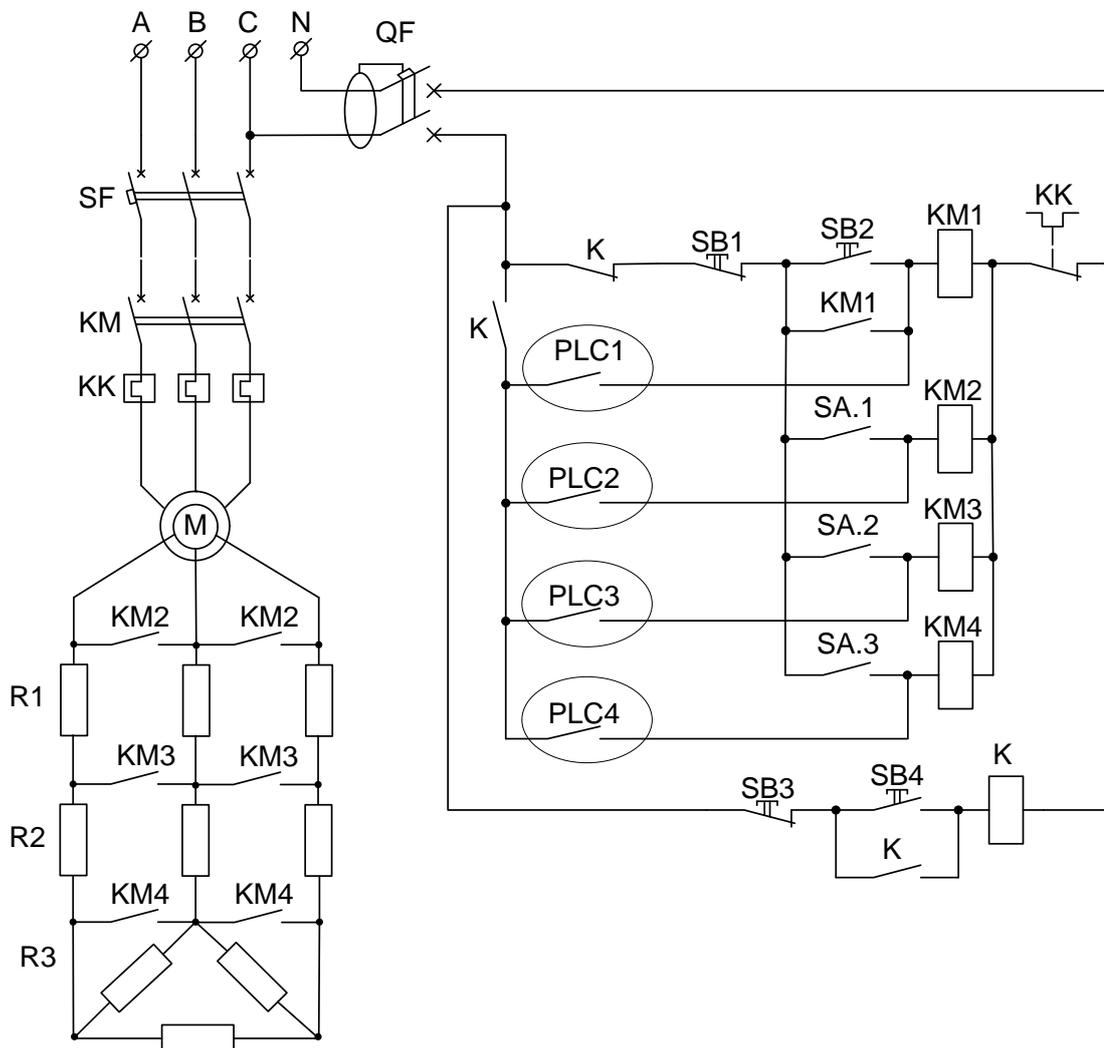


Рис. 49. Доработка схемы управления

В исходном положении (при обесточенной катушке реле) включение и выключение двигателя осуществляется, как и ранее, нажатием кнопок SB2 и SB1, а переключение скоростей – поворотом рукоятки командоконтроллера. Перевод системы в режим дистанционного управления производится нажатием кнопки SB4. Катушка реле получает питание, отключает цепь ручного управления и включает цепи управления от ПЛК. Теперь включение/выключение пускателей производится контактами дискретных выходов ПЛК.

Контроллер будет получать информацию о режиме управления, срабатывании пускателя KM1, вращении двигателя, срабатывании тепловой защиты, скорости вращения двигателя (срабатывании пускателей KM2-KM4). Для этого к входам ПЛК должны быть подключены:

- контакт реле переключения режима К (закрывающий);
- контакт магнитного пускателя KM1 (закрывающий);
- контакт реле контроля скорости (закрывающий);

- контакт теплового реле (замыкающий);
- контакты магнитных пускателей КМ2-КМ4 (замыкающие).

К выходам ПЛК подключены катушки магнитных пускателей КМ1-КМ4, как показано на рис. 49.

Кроме того, ПЛК должен быть подключен к питанию «после УЗО» и к персональному компьютеру через Ethernet.

Требуется:

5.1. Составить принципиальную электрическую схему соединений. Собирая схему рекомендуется в следующем порядке:

1) выполнить соединения цепей переменного тока, не подключая питания к контроллеру, и проверить их работоспособность. Дистанционное управление пускателями от ПЛК имитировать замыканием выходов ПЛК вручную лабораторным проводом;

2) собрать цепи напряжения постоянного тока 24 В. Эти цепи будут питаться от ПЛК, см. рис. 24. **ЦЕПИ 24В НЕ ДОЛЖНЫ СОПРИКАСАТЬСЯ С ЦЕПЯМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НИ В ОДНОЙ ТОЧКЕ ВО ИЗБЕЖАНИЕ ВЫХОДА ПЛК ИЗ СТРОЯ!** После сборки цепей постоянного тока, подключить ПЛК к выходу УЗО и продемонстрировать схему соединений преподавателю;

3) подключить ПЛК к компьютеру через Ethernet.

5.2. Разработать экран визуализации и программу для ПЛК. Экран и программа должны обеспечивать:

- сигнализацию о режиме работы, срабатывании магнитных пускателей, вращении двигателя, срабатывании тепловой защиты на экране визуализации

- управление двигателем посредством программных кнопок «Пуск» и «Стоп», а также кнопок переключения скоростей в режиме дистанционного управления. Программные кнопки (без фиксации) должны быть размещены на экране визуализации.

Экран визуализации и программа управления будут оперировать следующими переменными:

`dist` – сигнал о срабатывании реле К, переход в режим дистанционного управления (вход контроллера, имя переменной назначается в конфигураторе ПЛК);

`mp_work` – сигнал о срабатывании магнитного пускателя (вход контроллера);

`motor_work` – сигнал о срабатывании РКС (вход контроллера);

`tr` – сигнал о срабатывании теплового реле (вход контроллера);

`high_speed` – сигнал о срабатывании КМ2 (вход контроллера);

`medium_speed` – сигнал о срабатывании КМ3 (вход контроллера);

`low_speed` – сигнал о срабатывании КМ4 (вход контроллера);

`mp_start` – сигнал управления магнитным пускателем КМ1 (выход контроллера);

mp\_hs – сигнал управления магнитным пускателем КМ2 (выход контроллера);

mp\_ms – сигнал управления магнитным пускателем КМ3 (выход контроллера);

mp\_ls – сигнал управления магнитным пускателем КМ4 (выход контроллера);

start, stop, ls, ms, hs, minimal\_speed типа BOOL – переменные, управляемые программными кнопками (глобальные переменные).

Примерный вид экрана визуализации с привязками показан на рис. 50, а программы управления – на рис. 51. Программа управления составлена на языке LD.

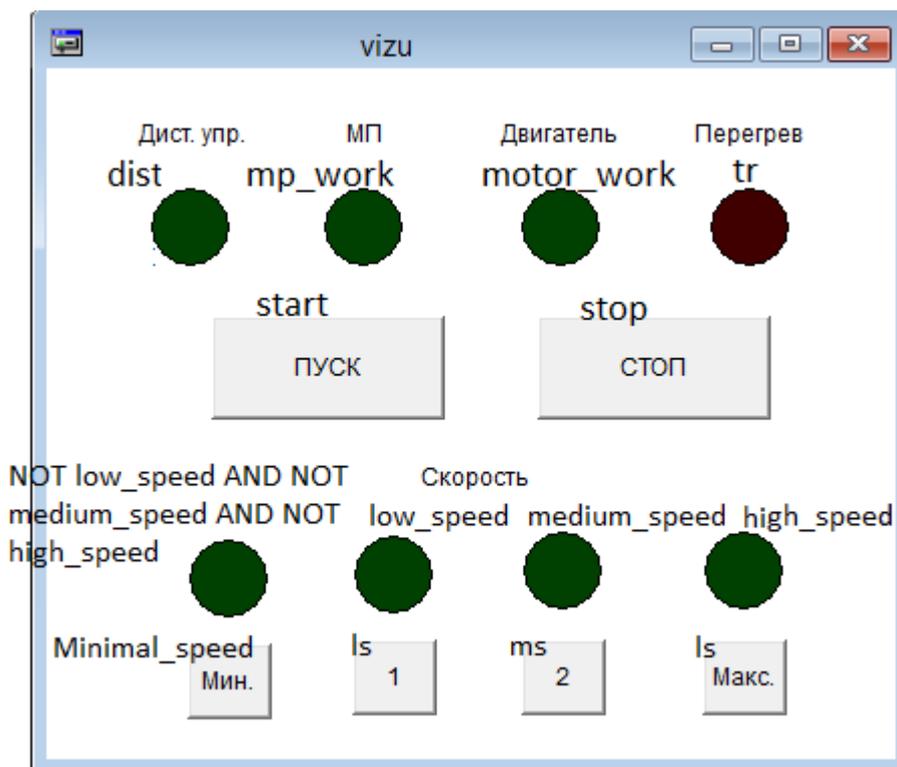


Рис. 50. Экран визуализации с привязками

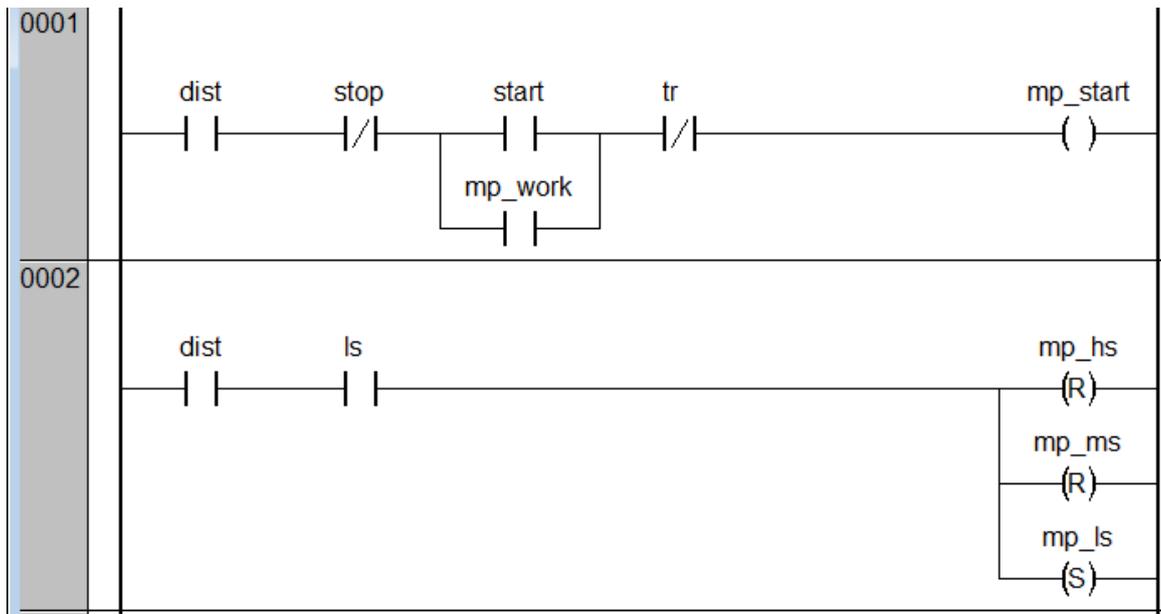


Рис. 51. Программа управления, фрагмент 1

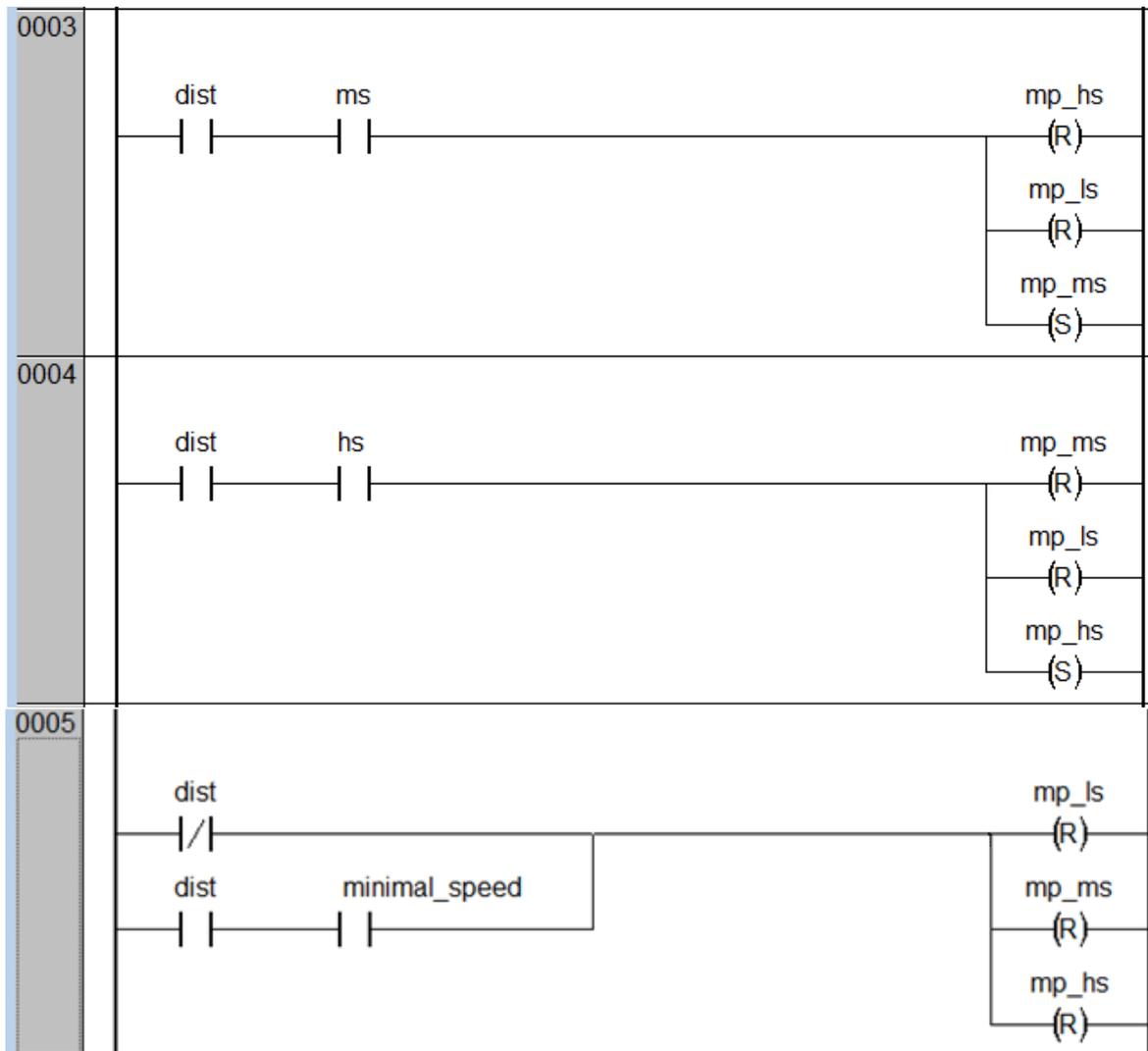


Рис. 52. Программа управления, фрагмент 2

5.3. Включить автоматический выключатель и УЗО. Загрузить программу в ПЛК и запустить ее на выполнение. Апробировать систему. Срабатывание теплового реле имитировать нажатием на кнопку его панели или отсоединением сигнального провода.

6. Реализовать *второй вариант* системы на базе ПЛК. В этом варианте ПЛК осуществляет управление двигателем в обоих режимах: и в дистанционном и в ручном. Аппаратная схема цепей управления отсутствует и управление без ПЛК невозможно.

К входам ПЛК должны быть подключены:

- кнопки «Пуск» и «Стоп» (замыкающие контакты);
- контакты магнитных пускателей (замыкающие);
- контакт реле контроля скорости (замыкающий);
- контакт теплового реле (замыкающий);
- три контакта командоконтроллера (замыкающие).

К выходам ПЛК подключены:

- катушка магнитного пускателя, запускающего двигатель (через размыкающий контакт теплового реле);
- катушки трех пускателей, коммутирующих цепи сопротивлений фазного ротора.

Требуется:

6.1. Составить принципиальную электрическую схему соединений, предоставить ее для проверки преподавателю. После проверки собрать схему и предоставить ее на проверку.

6.2. Запустить на ПК среду CoDeSys, подключиться к ПЛК. В случае неудачи обратиться к преподавателю. Разработать экран визуализации и программу управления для ПЛК. Экран и программа должны обеспечивать:

- сигнализацию о срабатывании магнитных пускателей, вращении двигателя, срабатывании тепловой защиты на экране визуализации;
- управление двигателем посредством аппаратных и программных кнопок «Пуск» и «Стоп». Программные кнопки (без фиксации) должны быть размещены на экране визуализации. Кроме того, на экране должен присутствовать переключатель режимов управления. В «ручном» режиме управление осуществляется аппаратными кнопками, в «дистанционном» – программными.

Экран визуализации и программа управления будут оперировать следующими переменными:

`start_app` – сигнал о нажатии кнопки «Пуск» (вход ПЛК, имя переменной назначается в конфигураторе);

`stop_app` – сигнал о нажатии кнопки «Стоп» (вход ПЛК);

`mp_work` – сигнал о срабатывании магнитного пускателя КМ1(вход ПЛК);

`high_speed` – сигнал о срабатывании КМ2 (вход ПЛК);

`medium_speed` – сигнал о срабатывании КМ3 (вход ПЛК);

`low_speed` – сигнал о срабатывании КМ4 (вход ПЛК);

`motor_work` – сигнал о срабатывании РКС (вход ПЛК);  
`tr` – сигнал о срабатывании теплового реле (вход ПЛК);  
`hs_app` – команда на включение КМ2 от командоконтроллера (вход ПЛК);  
`ms_app` – команда на включение КМ3 от командоконтроллера (вход ПЛК);  
`ls_app` – команда на включение КМ4 от командоконтроллера (вход ПЛК);  
`mp_start` – сигнал управления магнитным пускателем КМ1 (выход ПЛК, нормально открытый контакт);  
`mp_hs` – сигнал управления магнитным пускателем КМ2 (выход ПЛК, нормально открытый контакт);  
`mp_ms` – сигнал управления магнитным пускателем КМ3 (выход ПЛК, нормально открытый контакт);  
`mp_ls` – сигнал управления магнитным пускателем КМ4 (выход ПЛК, нормально открытый контакт);  
`start_prog` – программная кнопка «Пуск» (глобальная переменная);  
`stop_prog` – программная кнопка «Стоп» (глобальная переменная);  
`hs_prog` – программная кнопка «Макс.» (глобальная переменная);  
`ms_prog` – программная кнопка «2» (глобальная переменная);  
`ls_prog` – программная кнопка «1» (глобальная переменная);  
`manual` – переключатель режима управления / ручное управление (глобальная переменная);  
`minimal_speed` – программная кнопка «Мин.» (глобальная переменная).

Примерный вид экрана визуализации с привязками показан на рис. 53, а программы управления – на рис. 54. Программа управления составлена на языке LD.

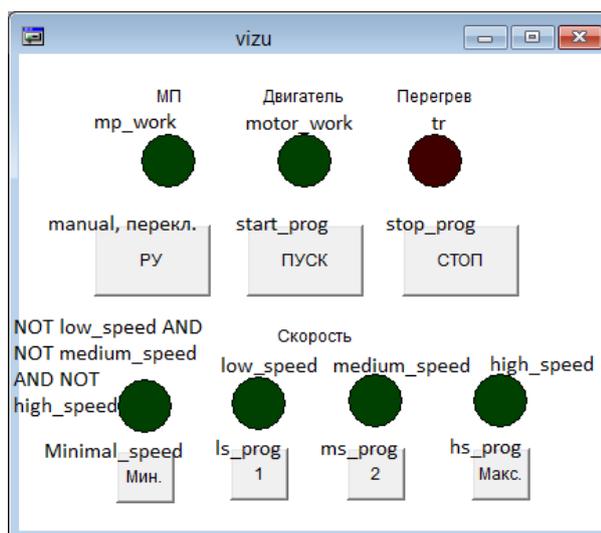


Рис. 53. Экран визуализации с привязками

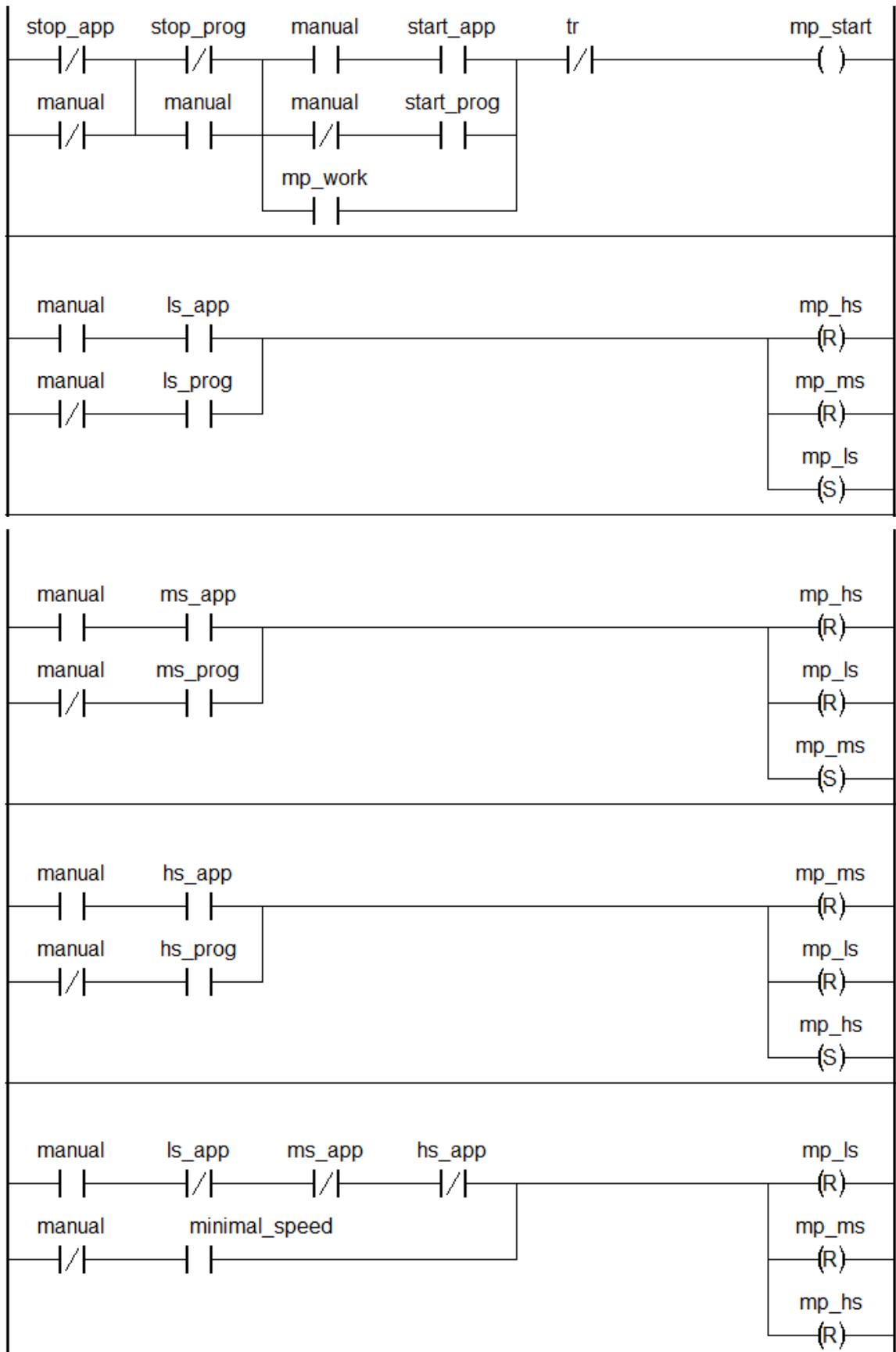


Рис. 54. Программа управления

6.3. Включить автоматический выключатель и УЗО. Загрузить программу в ПЛК и запустить ее на выполнение. Апробировать систему. Срабатывание теплового реле имитировать нажатием на кнопку его панели или отсоединением сигнального провода.

### 3. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Преобразователи частоты предназначены для регулирования скорости вращения двигателей переменного тока путем изменения параметров электрической энергии: частоты и напряжения.

Hitachi SJ100 и ABB ACS 300, задействованные в лабораторных работах, – это преобразователи частоты типа PWM (pulse-width modulation – широтно-импульсная модуляция).

Как и большинство современных преобразователей частоты, они построены по схеме двойного преобразования. Она состоит из следующих основных частей: звена постоянного тока (неуправляемого выпрямителя), силового импульсного инвертора и системы управления.

Звено постоянного тока состоит из неуправляемого выпрямителя и фильтра. Переменное напряжение питающей сети преобразуется в нем в напряжение постоянного тока.

Силовой трехфазный импульсный инвертор состоит из шести транзисторных ключей. Каждая обмотка электродвигателя подключается через соответствующий ключ к положительному и отрицательному выводам выпрямителя. Инвертор осуществляет преобразование выпрямленного напряжения в трехфазное переменное напряжение нужной частоты и амплитуды, которое прикладывается к обмоткам статора электродвигателя.

В выходных каскадах инвертора в качестве ключей используются силовые IGBT-транзисторы. По сравнению с тиристорами они имеют более высокую частоту переключения, что позволяет вырабатывать выходной сигнал синусоидальной формы с минимальными искажениями.

В целом преобразователь частоты состоит из неуправляемого диодного силового выпрямителя В, автономного инвертора, системы управления ШИМ, системы автоматического регулирования, дросселя  $L_v$  и конденсатора фильтра  $C_v$  (рис. 55).

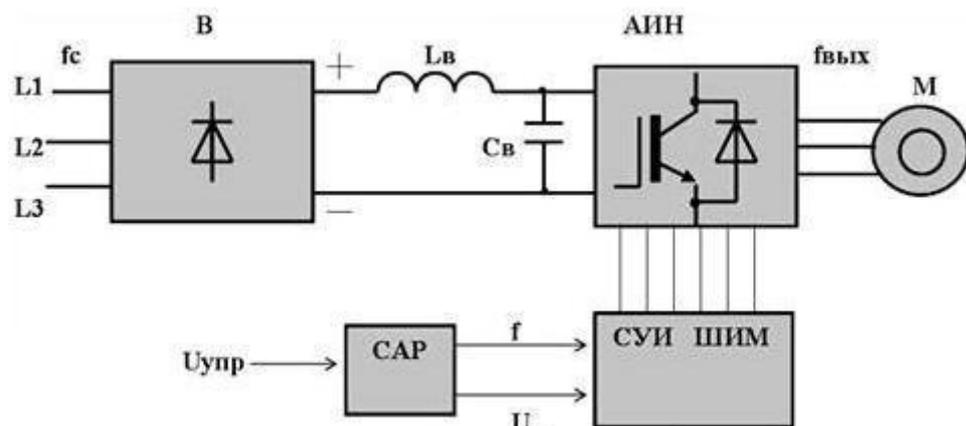


Рис. 55. Структурная схема преобразователя частоты

Регулирование выходной частоты  $f_{\text{вых}}$  и напряжения  $U_{\text{вых}}$  осуществляется в инверторе за счет высокочастотного широтно-импульсного управления. Широтно-импульсное управление характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя.

Длительность этих состояний внутри периода ШИМ модулируется по синусоидальному закону. При высоких (обычно 2...15 кГц) тактовых частотах ШИМ, в обмотках электродвигателя, вследствие их фильтрующих свойств, текут синусоидальные токи. Таким образом, форма кривой выходного напряжения представляет собой высокочастотную двухполярную последовательность прямоугольных импульсов (рис. 56).

Частота импульсов определяется частотой ШИМ, длительность (ширина) импульсов в течение периода выходной частоты АИН модулируется по синусоидальному закону. Форма кривой выходного тока (тока в обмотках асинхронного электродвигателя) практически синусоидальна.

Регулирование выходного напряжения инвертора также осуществляется широтно-импульсным (ШИМ) способом за счет изменения программы переключения вентилях V1-V6 при постоянном напряжении в звене постоянного тока.

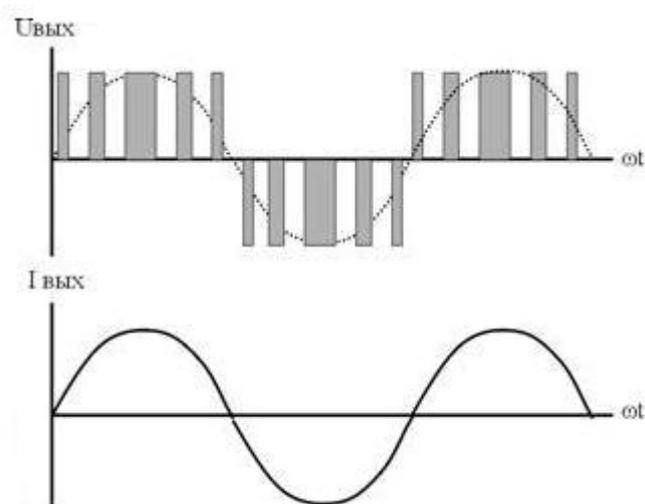
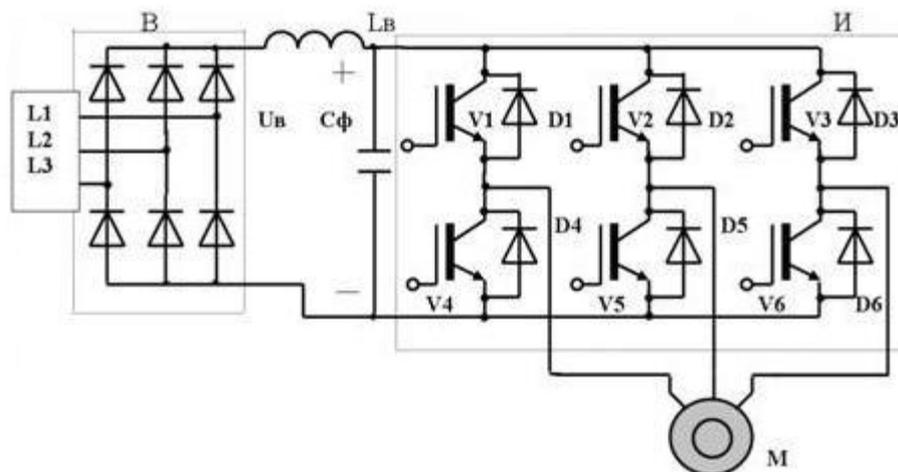


Рис. 56. Формирование напряжения в инверторе

Такое управление позволяет получить высокий КПД преобразователя и эквивалентно аналоговому управлению с помощью частоты и амплитуды напряжения.

На рис. 57 представлена схема силовых цепей преобразователя частоты.



В – трехфазный мостовой выпрямитель;  
 И – трехфазный мостовой инвертор.

Рис. 57. Схема силовых цепей преобразователя частоты

Помимо выпрямительного моста схема содержит индуктивно-емкостный фильтр и шесть IGBT-транзисторов V1-V6, включенные встречно-параллельно с диодами обратного тока D1-D6.

За счет поочередного переключения вентилях V1-V6 по алгоритму, заданному системой управления, постоянное напряжение  $U_b$  преобразуется в переменное прямоугольно-импульсное выходное напряжение. Через управляемые ключи V1-V6 протекает активная составляющая тока асинхронного электродвигателя, через диоды D1-D6 – реактивная составляющая тока.

Соотношение между выходным напряжением и частотой преобразователя определяются так называемым *законом частотного управления*. Наиболее часто применяется закон  $U/f = \text{const}$ , обеспечивающий (с необходимыми поправками) постоянную перегрузочную способность двигателя (максимальный момент) в широком диапазоне изменения частоты. В случае, если момент нагрузки пропорционален квадрату скорости (центробежные вентиляторы и насосы) применяется закон  $U/f^2 = \text{const}$ , обеспечивающий снижение потребляемой мощности на малых скоростях.

### 3.1 Преобразователь частоты Hitachi SJ-100

Технические характеристики преобразователя частоты [3]:  
 серия/Тип: SJ100-004HFE;  
 применяемый двигатель (кВт): 0,4;  
 номинальный выходной ток (А): 1,5;  
 напряжение питания (В): 3 ~ 380 - 460 В +/- 10 %, 50/60 Гц +/- 5 %;  
 выходное напряжение: 3 ~ 0 - 380 ... 460 В (в зависимости от входного напряжения);  
 степень защиты: IP20;

частота ШИМ: 0,5 - 16 кГц (программируется);  
вольт-частотные характеристики: разнообразные, с повышенным пусковым моментом, со стандартным пусковым моментом (постоянный момент, пониженный момент), бессенсорный векторный контроль (SLV);  
выходная частота: 0,5 - 360 Гц;  
точность отработки частоты: при цифровой установке: +/- 0,01 % от максимального значения, при аналоговой установке: +/- 0,2 % от максимального значения;  
точность установки частоты: при цифровой установке: 0,1 %, при аналоговой установке: максимальная частота/1000;  
допустимая перегрузка по току: 150 % в течении 60 сек, макс. 220 %;  
пусковой момент (при использовании функции SLV): более 200 %;  
регенеративное торможение с конденсаторной ОС: 100 %;  
торможение постоянным током (DC – торможение): программируются следующие параметры: частота, на которой включается DC-торможение, тормозной момент, продолжительность включения торможения постоянным током;  
аналоговые входы: 0 - 10 В, сопротивление нагрузки 10 кОм; (переменный резистор 1 – 2 кОм (1 Вт)); 4 - 20 мА, сопротивление нагрузки 250 Ом; вход РТС (терморезистора);  
дискретные входы: 6 программируемых многофункциональных входов, 24 В, PNP-логика;  
аналоговый выход: частота, ток, момент (вольтметр постоянного тока, шкала 0-10 В макс., 1 мА);  
цифровые выходы: открытый коллектор (Сигнал: о работе привода, о работе в заданном диапазоне частот, о превышении установленного значения перегрузки, о превышении отклонения установок ПИД- регулятора) и выход реле сигнализации;  
функции защиты: защита от перегрузки по току, от повышенного и пониженного напряжения, от перегрева, от короткого замыкания на землю при запуске, ограничение перегрузки и т.д.;  
дополнительные функции: 15 фиксированных частот, ПИД-регулятор, защита параметров от перезаписи, автоматический перезапуск, толчковый режим, установка частоты кнопками вверх/вниз.  
Схема подключения цепей контроля и управления преобразователя частоты показана на рис. 58.

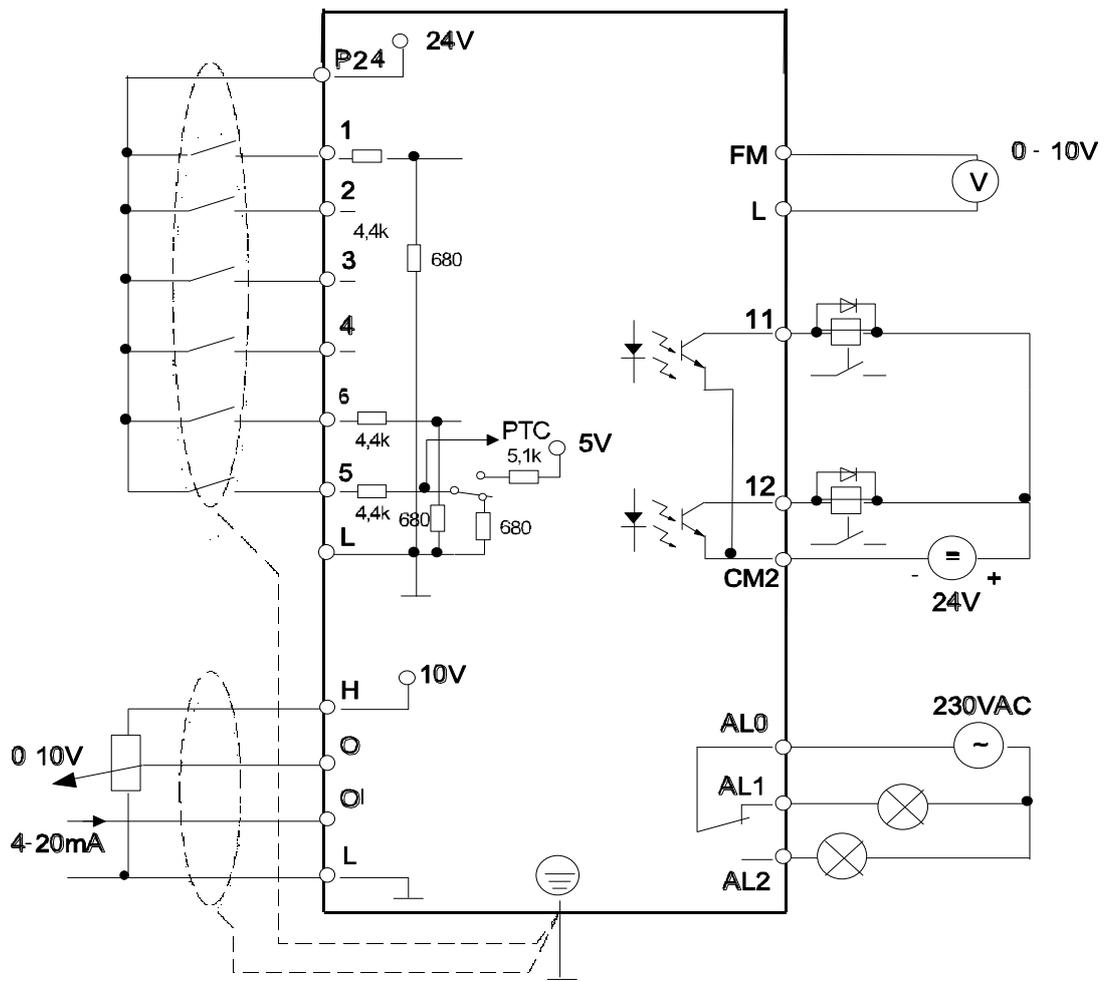


Рис. 58. Схема подключения цепей контроля и управления

Преобразователь, задействованный при проведении лабораторной работы, входит в состав стенда РРД1 [4], см. рис. 59, и управляет двигателем вентилятора системы охлаждения лабораторного теплового объекта.

Внешние цепи преобразователя 1 выведены на гнезда панели 2, причем обозначения гнезд полностью соответствуют обозначениям на рис. 58. Необходимые соединения выполняются лабораторными проводами. В режиме дистанционного управления частота задается сигналом по напряжению 0-10 В, который снимается с гнезд 3 и контролируется по вольтметру 4. Сигнал формирует аналоговый регулятор Р17 (5), который в стенде выполняет функцию преобразования токового сигнала 0-5 мА в сигнал по напряжению. Сигнал 0-5 мА выдает блок управления БУ12 (6). В режиме ручного управления БУ12 формирует его самостоятельно в соответствии с положением потенциометра на лицевой панели, в режиме автоматического управления БУ12 транслирует сигнал, сформированный программируемым контроллером Ремиконт Р130 (7). При выполнении лабораторных работ контроллер задействован не будет, поэтому БУ12 должен находиться в режиме ручного управления.

Подача и отключение питания на элементы стенда производится с помощью кнопок 8. Для подключения ПЧ к сети и двигателю необходимо включить пускатели КМ1 и КМ2 соответственно, предварительно убедившись, что двига-

тель вентилятора лабораторной установки подключен к соответствующей розетке на задней панели стенда, а переключки 9 нижней панели установлены. Подача и отключение питания приборов Р17 и БУ12 осуществляется пускателем РЕГ.

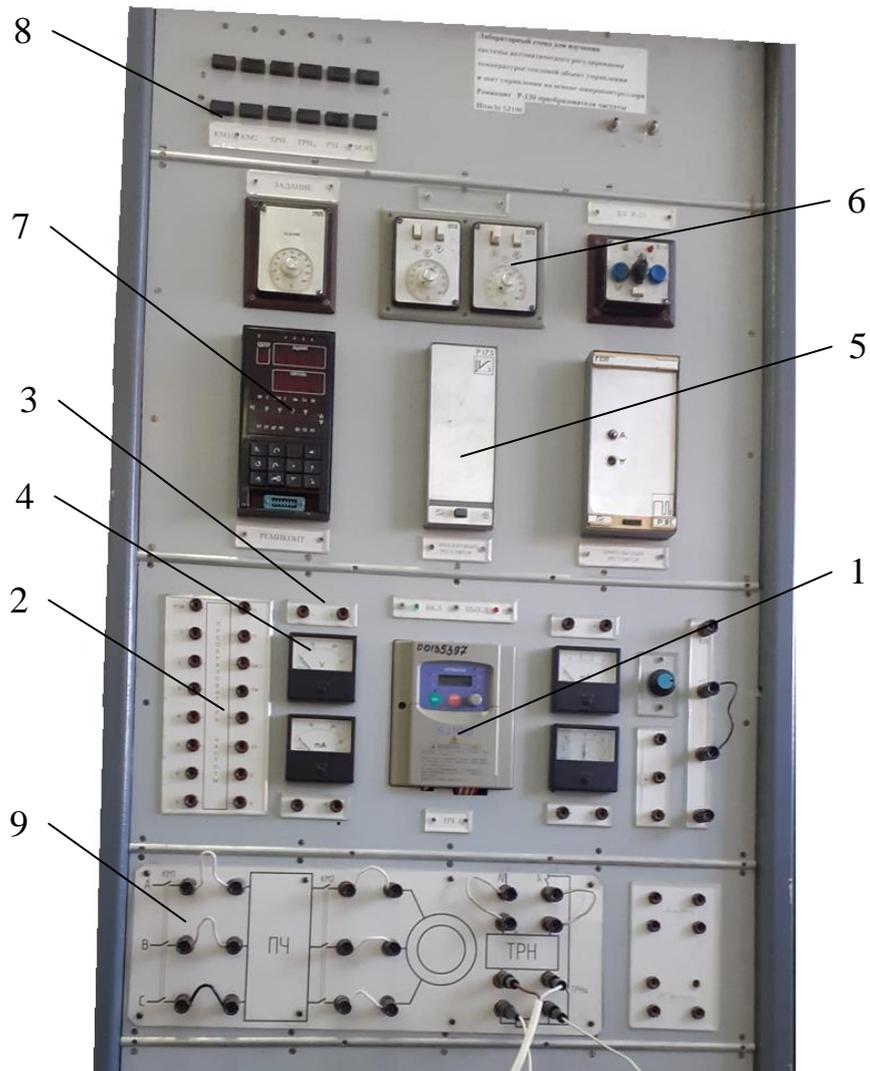


Рис. 59. Элементы стенда РРД1, задействованные в работе

Для настройки преобразователя необходимо открыть лицевую крышку и получить, таким образом, доступ к клавишам FUNC, Δ, ∇, STR, рис. 60.

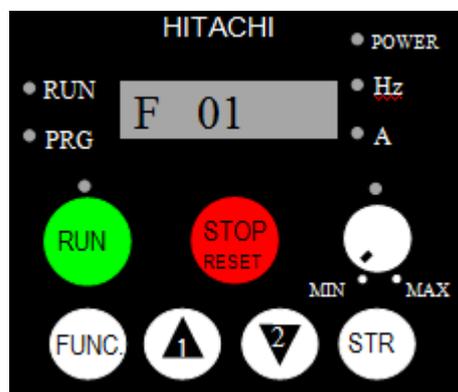


Рис. 60. Лицевая панель преобразователя

Клавиша FUNC (FUNCTION) используется для выбора функции, клавиши 1,2 – для «прокрутки» функций и их значений, STR (STORE) – для сохранения значений, рис. 61.

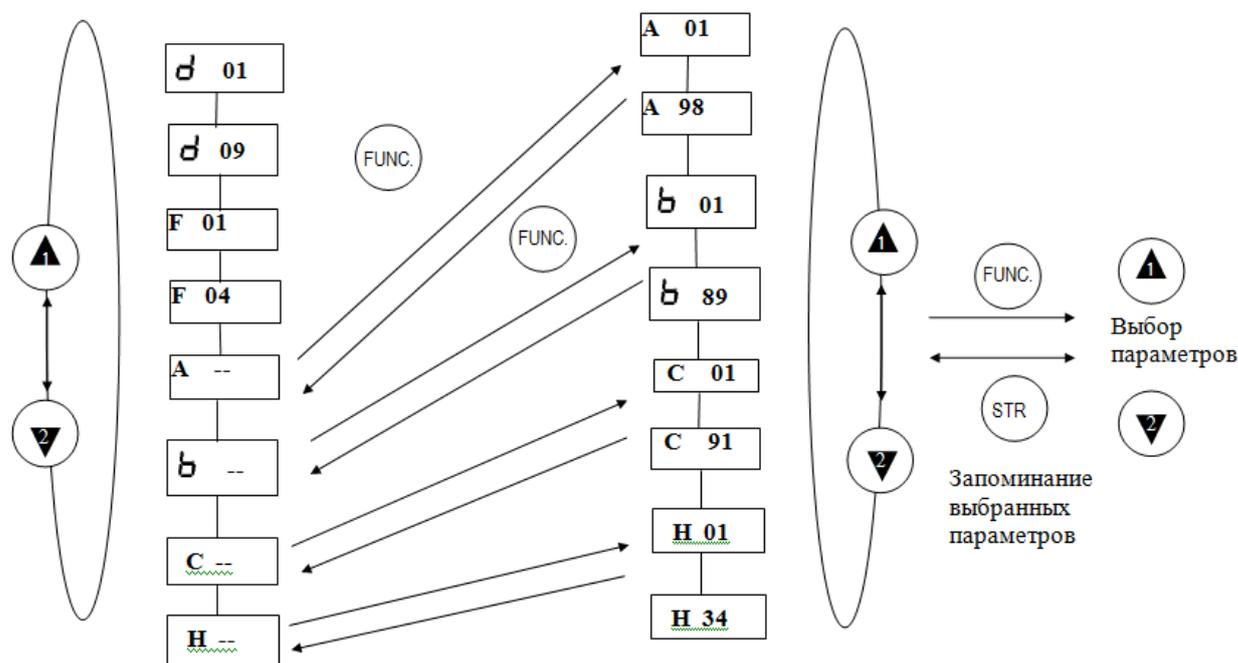


Рис. 61. Настройка преобразователя частоты

Преобразователь имеет большое число настраиваемых функций, сгруппированных по назначению. Порядок настройки следующий. Сначала выбирается группа, потом конкретная функция. С помощью клавиши FUNC производится вход в режим редактирования параметра функции. Клавишами Δ, ∇ выбирается требуемое значение, нажатием на клавишу STR оно сохраняется в энергонезависимой памяти преобразователя.

Особое место занимает группа функций d (display). Эти функции управляют режимом просмотра и не имеют параметров. Выбор одной из функций группы приводит к отображению на дисплее соответствующей информации, например, о выходной частоте, токе двигателя и т.д. По окончании настройки преобразователя всегда выбирают одну из функций группы d (обычно d01 – отображение выходной частоты).

Подробнее с функциями настройки преобразователя можно ознакомиться в Инструкции по эксплуатации [3], доступной в твердом виде при выполнении лабораторных работ.

### 3.2 Преобразователь частоты ABB ACS 300

Технические характеристики преобразователя частоты [5]:

серия/Тип: ACS311-2P1-3;

применяемый двигатель (кВт): 1,1;

номинальный выходной ток (А): 3,2;

напряжение питания (В): 3 ~ 380 - 480 В, 48-63 Гц;

выходное напряжение: 3 ~ 0 - 380 ... 480 В (в зависимости от входного напряжения);

степень защиты: IP21;

частота ШИМ: 1 - 16 кГц (программируется);

вольт-частотные характеристики: разнообразные, с повышенным пусковым моментом, со стандартным пусковым моментом (постоянный момент, пониженный момент);

выходная частота: 0 - 500 Гц;

допустимая перегрузка по току: 150 % в течении 60 сек;

торможение постоянным током (DC – торможение): программируются следующие параметры: тормозной момент, продолжительность включения торможения постоянным током;

аналоговые входы: 0 - 10 В, сопротивление нагрузки 1-10 кОм; (переменный резистор 1 – 2 кОм (1 Вт)); 0 - 20 мА, сопротивление нагрузки 250 Ом;

дискретные входы: 5 входов, 24 В, PNP-логика;

аналоговый выход: частота, ток (0(4)-20мА);

цифровые выходы: реле, перекидной контакт (сигнал: о работе привода, о работе в заданном диапазоне частот, о превышении установленного значения перегрузки, о неисправности и др.);

функции защиты: защита от перегрузки по току, от повышенного и пониженного напряжения, от перегрева, от короткого замыкания на землю при запуске, ограничение перегрузки и т.д.;

дополнительные функции: до 6 фиксированных частот, ПИД-регулятор, установка частоты кнопками вверх/вниз.

Внешние цепи преобразователя частоты показаны на рис. 62.

Преобразователь частоты входит в состав лабораторного стенда «Частотно-управляемый электропривод на основе ПЧ АBB ACS300» [6], рис. 63. Помимо преобразователя на стенде имеются асинхронный двигатель и органы управления.

Органы управления (1) состоят из пяти выключателей и потенциометра. Выключатели подключены к дискретным входам преобразователя частоты DI1 – DI5 (рис. 62). Потенциометр служит для ручного задания скорости вращения и подключен контактам 1– 3, как показано на рис. 2.

В результате модернизации стенда все цепи управления преобразователем дополнительно выведены на гнезда, расположенные в коробке (2). Таким образом, появилась возможность управления преобразователем от внешнего устройства (в нашем случае контроллера Siemens S7-200). Сопряжение стенда с контроллером осуществляется посредством лабораторных проводов.

Блок выводов X1		Функция
1	REF	Опорное значение для потенциометра +10 В, максимальная нагрузка 10 мА, $1\text{ кОм} < R < 10\text{ кОм}$
2	GND	
3	AI+	Аналоговый вход: опорное значение от 0 до 10 В (или от 0 до 20 мА) <sup>1)</sup> , $R_i = 200\text{ к}\Omega$ (сигнал напряжения) и $R_i = 250\text{ к}\Omega$ (токовый сигнал)
4	GND	
5	+24 V	Дополнительный выход напряжения +24 В, максимальная нагрузка 50 мА
6	DI1	Цифровые входы 1 - 5 Функции цифровых входов выбираются дополнительным переключателем ввода/вывода S1  Управляющее напряжение 24 - 48 В
7	DI2	
8	DI3	
9	DI4	
10	DI5	
11	AO+	Аналоговый выход: сигнал от 0 до 20 мА или от 4 до 20 мА (минимум определяет параметр A.OUT OFFS Страницы 2), $R_i < 500\ \Omega$
12	GND	
13	RO 11	Программируемый выход реле (заводская установка - НЕИСПРАВНОСТЬ)
14	RO 12	
15	RO 13	
16	RO 21	Программируемый выход реле (заводская установка - РАБОТА)
17	RO 22	
18	RO 23	

Рис. 62. Внешние цепи преобразователя частоты



Рис. 63. Лабораторный стенд

Реакция ПЧ на сигналы, поступающие на его дискретные входы, определяется положением специального переключателя (рис. 64), расположенного под панелью управления и задающего режим управления ПЧ, а также параметрами программирования.

В данной работе используется стандартное распределение («Стандартный режим»), устанавливаемое на заводе изготовителе, согласно которому вход DI1 отвечает за пуск/останов привода (замыкание контакта на рис. 62 приводит к пуску);

вход DI2 отвечает за реверс, т.е. изменение направления вращения (замыкание контакта на рис. 62 приводит к реверсу);

вход DI3 отвечает за выбор первой фиксированной скорости;

вход DI4 отвечает за выбор второй фиксированной скорости;

вход DI5 отвечает за выбор скорости развертки частоты при разгоне и торможении.

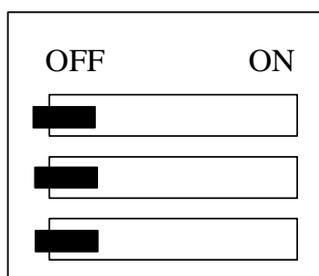


Рис. 64. Положение переключателя в стандартном режиме

При одновременной активации входов DI3 и DI4 производится выбор третьей фиксированной скорости. Если оба входа неактивны, скорость регулируется потенциометром.

Имеется два варианта стандартного режима: собственно «Стандартный режим» и «Стандартный режим 2». Выбор между ними осуществляется с помощью параметра программирования PARAM SET страницы параметров PAGE3. Режимы отличаются лишь назначением входа DI5. В нашем случае следует убедиться, что PARAM SET = 1.

Задание фиксированных скоростей осуществляется с помощью параметров CON f1, CON f2, CON f3 станицы параметров PAGE2.

Для перевода системы управления преобразователем частоты в режим установки параметров требуется нажать кнопку панели управления «\*». Эта же кнопка используется для перехода между страницами (по ссылке) и для входа в режим установки конкретного параметра. Для переходов между параметрами, а также выбора их значений используются кнопки «Уменьшение» и «Увеличение».

Управление преобразователем частоты может осуществляться как внешним устройством, так и с помощью органов панели управления. При первом подключении к сети преобразователь по умолчанию переходит в режим внешнего управления. Именно этот режим и используется при выполнении лабораторной работы. Если по каким-либо причинам необходимо перевести преобразователь в режим локального управления, следует нажать и удерживать в течение двух секунд кнопку «Remote».

## 4 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ

### 4.1 Изучение и настройка преобразователя частоты Hitachi SJ-100

#### Цели работы:

- изучение преобразователя частоты Hitachi SJ-100;
- получение навыков настройки и работы с преобразователем частоты Hitachi SJ-100.

#### Программа работы

1. Изучите внешние цепи управления преобразователем.
2. Под контролем и с помощью преподавателя подключите преобразователь к питающей сети и к двигателю (привод центробежного вентилятора).
3. Переведите преобразователь в режим локального управления, установив параметры  $A01 = 00$  (задание частоты с помощью встроенного потенциометра),  $A02 = 02$  (пуск с помощью клавиши RUN). Опробуйте органы управления лицевой панели.
4. Переведите преобразователь в режим дистанционного управления, установив параметры  $A01 = 01$  (задание частоты внешним сигналом),  $A02 = 01$  (пуск с помощью клемм FW/RV).
5. «Запрограммируйте» дискретные входы преобразователя:
  - первый – на пуск ( $C01 = 00$ );
  - второй – на выбор фиксированной частоты CF1 ( $C02 = 02$ );
  - третий – на выбор фиксированной частоты CF2 ( $C03 = 03$ );
  - четвертый – на выбор набора параметров SET ( $C04 = 08$ ).Задайте фиксированные частоты
  - первая – 5 Гц (параметр  $A21 = 5$ );
  - вторая – 15 Гц (параметр  $A22 = 15$ );
  - третья – 25 Гц (параметр  $A23 = 25$ ).Установите
  - минимальную частоту 0 Гц ( $A11 = 0$ );
  - максимальную частоту 50 Гц ( $A12 = 50$ );
  - время разгона 1 сек ( $F02 = 2$ );
  - время разгона (2) 10 сек ( $F202 = 10$ );
  - время торможения 1 сек ( $F03 = 2$ );
  - время торможения (2) 10 сек ( $F203 = 10$ ).Установите метод остановки – выбег ( $b91 = 01$ ).
6. Перейдите к параметру d01 (отображение частоты), установите максимальное задание по частоте и запустите двигатель. Убедитесь, что все введенные параметры вступили в силу. Коммутации проводить лабораторным проводом под контролем преподавателя.
7. С помощью органов панели управления установите метод остановки – торможение по наклонной и остановка ( $b91 = 00$ ). Активируйте торможение постоянным током ( $A51 = 01$ ), задайте начальную частоту торможения 10 Гц ( $A52$

= 10), максимальный тормозной момент ( $A54 = 100$ ) и время торможения 1 сек ( $A55 = 1$ ).

8. Перейдите к параметру d01 (отображение частоты). Запустите двигатель, задайте время пуска и торможения, равное 1 сек, деактивировав четвертый дискретный вход ПЧ, и опробуйте эффективность динамического торможения.

9. Убедитесь, что установленное значение параметра A44 равно 00 ( $U/f = \text{const}$ ). Запустите двигатель и перейдите на выходную частоту 5 Гц. Перейдите к параметру d02 (вывод значения тока). Запишите значение тока.

10. Установите значение параметра A44 равным 01 ( $U/f^2 = \text{const}$ ). Запустите двигатель и перейдите на выходную частоту 5 Гц. Перейдите к параметру d02. Запишите значение тока и сравните его полученным в п. 9. Сделайте вывод об эффективности изменения закона управления на пониженных скоростях и нагрузках привода.

11, 12,... – по заданию преподавателя.

#### **4.2 Изучение и настройка преобразователя частоты ABB ACS 300**

##### Цели работы:

- изучение преобразователя частоты ABB ACS 300;
- получение навыков настройки и работы с преобразователем частоты ABB ACS 300.

##### Программа работы

1. Изучите внешние цепи управления преобразователем.
2. Под контролем и с помощью преподавателя подключите преобразователь к питающей сети.
3. Переведите преобразователь в режим «Локального управления» (см. главу 6 Руководства). Опробуйте органы управления лицевой панели.
4. Переведите преобразователь в режим «Дистанционного управления». Опробуйте органы управления, размещенные на стенде. Сделайте вывод о применяемом режиме управления (см. главу 4 Руководства).
5. При необходимости переведите преобразователь в режим управления «Стандарт» с помощью переключателя, расположенного под лицевой панелью преобразователя.
6. С помощью органов панели управления установите параметры работы преобразователя:
  - минимальную частоту 0 Гц;
  - максимальную частоту 50 Гц;
  - (параметры MIN\_FREQ и MAX\_FREQ страницы 1 параметров);
  - время нарастания частоты 1 – 2сек;
  - время снижения частоты 1 – 2сек;
  - время нарастания частоты 2 – 10сек;
  - время снижения частоты 12 – 10сек;

(параметры ACC TIME1, DEC TIME1 и ACC TIME2, DEC TIME2 страницы 1 параметров);

фиксированную частоту 1, равную 5 Гц;

фиксированную частоту 2, равную 15 Гц;

фиксированную частоту 3, равную 25 Гц;

(параметры CONf1, CONf2, CONf3 страницы 2 параметров);

торможение понижением частоты (параметр STOP страницы 2 параметров, значение DEC RAMP);

7. Перейдите к параметру OUTPUT f , установите максимальное задание по частоте и запустите двигатель. Опробуйте органы управления и убедитесь, что все введенные параметры вступили в силу.

8. С помощью органов панели управления установите параметр STOP = DC Break (торможение постоянным током).

9. Перейдите к параметру OUTPUT f . Запустите двигатель и опробуйте эффективность динамического торможения.

10. Убедитесь, что установленное значение параметра U/f RATIO (стр. 2 параметров) равно Linear ( $U/f = \text{const}$ ). Запустите двигатель и перейдите на выходную частоту 5 Гц. Перейдите к параметру OUTPUT I (стр. 1 параметров, вывод значения тока). Запишите значение тока.

11. Установите значение параметра U/f RATIO равным Square ( $U/f^2 = \text{const}$ ). Запустите двигатель и перейдите на выходную частоту 5 Гц. Перейдите к параметру OUTPUT I. Запишите значение тока и сравните его полученным в п. 9. Сделайте вывод об эффективности изменения закона управления на пониженных скоростях и нагрузках привода.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ПЛК110. Контроллер программируемый логический. Руководство по эксплуатации.
2. Среда программирование ПЛК CoDeSys [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.codesys.com>. – 07.03.2017.
3. Преобразователи частоты HITACHI. Инструкция по эксплуатации. Серия SJ100-...NFE/HFE. ВЭМЗ-СПЕКТР, 1999.
4. Рыбалев А.Н. Программируемые логические контроллеры и аппаратура управления: лабораторный практикум. Часть 1. Ремиконт Р130. Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2009.
5. Преобразователи частоты ACS 300 для регулировки скорости вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором 0,55...11 кВт. Руководство пользователя. ЗАТУ 61229965 EN. Введено в действие с 1 июля 1996 г. Согласовано с программным обеспечением версии CDS02E.1 / CDH02E.1
6. Рыбалев А.Н. Программируемые логические контроллеры и аппаратура управления: лабораторный практикум. Часть 2. Siemens S7-200. Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2009.