Предисловие

Работать в электроустановках на память, без схем, нельзя: это опасно. А схемы надо уметь читать, т. е. получать из них сведения, необходимые для выполнения определенной работы. Если же схема прочитана неправильно, это влечет за собой неправильные действия. Монтажники, например, присоединят (отсоединят) не то (или не туда), что следует. Наладчики и ремонтники вместо того, чтобы наладить (отремонтировать) одни цепи, могут испортить другие, исправные. Эксплуатационники ошибутся в переключениях, не смогут разобраться в причинах неполадок и т. д.

Итак, электрические схемы должны быть понятны всем, кому приходится по ним работать: электромонтажникам и наладчикам, ремонтникам и эксплуатационникам. Поэтому схемы выполняют в стандартных условных обозначениях (а государственные стандарты СССР имеют силу закона) и применяют их по определенной системе, установленной стандартами.

Естественно поэтому начать книгу с объяснения основных понятий: что такое схема, какие бывают виды и типы схем, для чего каждый из них служит, а также рассмотреть: систему построения обозначений, сами обозначения и правила их применения. Этим вопросам посвящены первые главы книги.

Составление схем дело сложное и ответственное. Оно требует:

а) выполнения указаний нормативных документов – Правил устройства электроустановок (ПУЭ), которые устанавливают, что должно быть сделано; Строительных норм и правил (СНиП), определяющих, как нужно выполнять работы; Правил по технике безопасности (ПТБ) и т. п., а также руководящих материалов, например, по расчету токов КЗ, выбору аппаратуры и т. п.;

б) соблюдения требований заводов-изготовителей электротехнических изделий по применению, монтажу и эксплуатации;

в) учета климатических условий, категории размещения и степени защиты электрооборудования.

Эти сведения нужны читателям, так как одна из задач чтения схем состоит именно в том, чтобы выявить отступления от норм и правил.

Другая категория вопросов, рассматриваемых в книге, – влияние на электротехнические изделия нагрева и охлаждения, окружающей среды, вибраций и других факторов, определяющих надежность и долговечность электроустановок. Умение правильно оценить, учтены ли схемой реальные условия эксплуатации, – это тоже задача, которую приходится решать при чтении схем.

И, наконец, третья категория вопросов – средства, с помощью которых могут быть получены необходимые результаты. Например, применение резисторов, конденсаторов, контактов, полупроводниковых приборов, двигателей, источников света и др. Сюда же относятся особенности источников электропитания, свойства видов соединений и т. п. Оценить, верно ли использованы эти средства и свойства, – важная задача чтения схем.

Рассмотрены и объяснены приемы чтения и анализа принципиальных схем, причем

такие приемы, которые доступны читателям с общеобразовательной подготовкой в объеме средней школы.

В отдельной главе описаны типичные правильные узлы схем электроустановок широкого применения: электропитание, защита, измерения, управление электродвигателями и осветительными электроустановками, устройства сигнализации, контроль технологических параметров (температура, уровень и т. п.). Описания этих узлов нужны, так как любая электроустановка представляет собой сочетание нескольких типичных узлов. Следовательно, умение выделить из схем необходимый узел и оценить его – один из приемов чтения схем.

Особое внимание уделено выявлению и устранению причин ложных цепей, а также согласованию временных характеристик совместно действующих аппаратов и устройств в целом.

И, наконец, в приложении 1 рассказано о том, как, руководствуясь принципиальной схемой, можно проверить монтаж и устранить неполадку.

В приложение 2 вынесены краткие сведения об алгебре логики, свойствах двоичной системы счисления и некоторые другие вопросы, рассмотрение которых не входит в задачу книги. Однако эти сведения полезны читателям как введение к чтению книг, специально посвященных вопросам, имеющим в настоящее время большое значение.

Обращается внимание читателей на следующее.

1. В книге приведены упражнения с контрольными вопросами для самопроверки. Читателям рекомендуется *сначала самостоятельно выполнить упражнение, а затем, обратившись к ответам, проверить себя.*

2. Обозначения условные графические во второй и третьей главах даны, как правило, не в виде таблиц (как сделано в стандартах), а во многих случаях непосредственно в схемах, т. е. именно так, как они применяются на практике. Однако это схемы учебные. На учебной схеме для сравнения применены различные формы обозначений; в практической схеме обычно пользуются одной формой, наиболее отвечающей назначению схемы.

На учебных схемах (каждая из которых посвящена объяснению определенной группы обозначений) некоторые элементы устройств не показаны, чтобы не отвлекать внимания от рассматриваемой темы.

3. Специальные радиотехнические обозначения и обозначения, применяющиеся в основном в технике связи, сложной автоматике и вычислительной технике, в книге не рассматриваются.

4. О схемах соединений, присоединений, а также обозначениях электрооборудования и проводок на планах даны только самые общие сведения. Дело в том, что по правильно составленной принципиальной схеме выполнить рабочую документацию довольно просто (хотя это весьма трудоемкая работа). Кроме того, рабочую документацию выполняют по ведомственным нормативным документам, а они в разных организациях различны.

Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность редактору Ю. А. Державиной. Особую признательность автор выражает А. С. Клюеву за большой труд по рецензированию рукописи и ценные рекомендации по ее содержанию.

Замечания и пожелания читателей будут с благодарностью приняты. Их следует направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Автор

Глава 1

Что такое схема и что нужно знать для чтения схем

1.1. Что значит прочитать схему

В дальнейшем нам все время придется работать со схемами - читать схемы. А прочитать схему — это значит почерпнуть из нее сведения, необходимые для выполнения определенной работы. Так, например, если нужно рассчитать ток КЗ, то чтение схемы сводится к выборке из нее данных для расчета. В других случаях прочитать схему необходимо, чтобы: понять принцип действия электроустановки; выяснить назначение того или иного ее элемента; определить, что с чем следует соединить; обнаружить ложную цепь и найти способ ее устранения; проверить, верно ли задан режим работы и т. п. Одним словом, разнообразных задач, которые решаются в результате чтения схем, — много, и задачи эти не только различны, но и разнообразны. Соответственно различны и разнообразны приемы, с помощью которых читают схемы.

К чтению схем нужно подготовиться, т. е. накопить необходимый минимум знаний, точно так же, как перед чтением текста нужно изучить алфавит, правила словообразования и словосочетания. Эти обстоятельства определили способ построения книги. По существу она состоит из двух частей. Первая часть — подготовительная — гл. 1–4. Вторая посвящена приемам чтения и анализа схем.

Читатели, знакомые с условными обозначениями для схем и правилами их применения, могут опустить гл. 2 и 3, а знающие, какими надписями, как и с какой целью снабжают схему, — могут опустить гл. 4.

Что же такое схема? Слово схема употребляют в нескольких значениях.

1. Схема — это конструкторский документ (своеобразный чертеж), в котором составные части изделия — его элементы и связи между ними изображены условно, без соблюдения масштаба. Так, например, элементами электрической схемы являются резисторы, лампы, трансформаторы, двигатели и другие электротехнические изделия. А связями между ними служат проводники.

2. Схемой называют также предмет или набор предметов, например интегральная схема и т. п.

3. Когда говорят: схема работает, схема неисправна, элемент схемы перегревается, то ясно, что речь идет не о чертеже, а о самой электроустановке. Действительно, перегреваться может резистор (элемент схемы), но не его изображение. Одним словом, *электроустановка и ее схема далеко не одно и то же*, точно так же как не одно и

то же, машина и ее чертеж. В этой книге под словом схема, как правило, подразумевается не собственно чертеж, а то, что на нем изображено.

1.2. Виды и типы схем

Схемы подразделяются по видам. Вид схемы определяется видом элементов и связей между ними, а также энергоносителем, который необходим для действия элементов. Виды схем обозначают буквами. Электрические схемы (Э): элементы – электротехнические изделия; связи – проводники; энергоноситель – электрический ток. Гидравлические схемы (Г): элементы – насосы, задвижки, вентили; связи – трубопроводы; энергоноситель – жидкость под давлением, например вода, масло. Пневматические схемы (П): элементы – компрессоры, клапаны, золотники; связи – трубопроводы; энергоноситель – сжатый газ, пар, воздух; кинематические схемы (К): элементы – части механизмов; связи между ними – рычаги, тяги, цепи; энергоноситель – механическая энергия.

Схемы автоматизации. Вих состав могут входить схемы разных видов с соответствующими связями. В данном случае название вида подчеркивает назначение схемы, а не вид элементов и связей.

Комбинированные (совмещенные) схемы (С), например схема электрогидравлическая, т. е. такая схема, которая содержит и электрические и гидравлические элементы. Распространение совмещенных схем объясняется тем обстоятельством, что в настоящее время многие технические задачи решаются совместно средствами гидравлики, пневматики, электротехники и механики. Например, для перемещения груза электродвигатель приводит в действие насос, поднимающий давление в гидравлической системе. Направление движения определяется положением золотников. Золотники имеют пневматические приводы. Ограничение хода достигается элементами кинематики и т. п.

В пределах каждого вида схемы подразделяются на несколько типов. **Тип схемы определяется ее назначением.** Типы схем обозначают цифрами. Структурная схема (1) определяет основные функциональные части изделия. Функциональная схема (2) разъясняет процессы, протекающие в нем. Принципиальная (полная)* схема (3) определяет полный состав элементов и связей между ними и, дает детальное представление о принципе работы.

Принципиальные схемы сравнительно просты по начертанию, но по существу они самые сложные и самые важные. Дело в том, что именно на основании принципиальных схем разрабатывают схемы других типов, т. е. такие схемы, руководствуясь которыми выполняют работы. Это схемы соединений (монтажные) (4), подключения (5), общие (6), расположения (7) и объединенные. На объединенной схеме могут быть помещены схемы одного вида нескольких типов, относящихся к одному изделию (установке), например схема электрическая принципиальная (Э3) и схема электрическая соединений (Э4). Объединенной схеме присваивается наименование схемы, имеющей меньший номер из номеров объединенных схем; в данном случае схеме нужно присвоить номер Э3, так как Э3 меньше, чем Э4.

---

* В скобках даны наименования схем энергетических сооружений, т. е. электрических станций и подстанций, а также оборудования промышленных предприятий и т. п. Применительно к энергетическим сооружениям вместо слова "изделие" говорят "установка". Но понятно, что в состав установки как ее составные части входят собственно изделия, например щиты и пульты управления, шинопроводы и др.

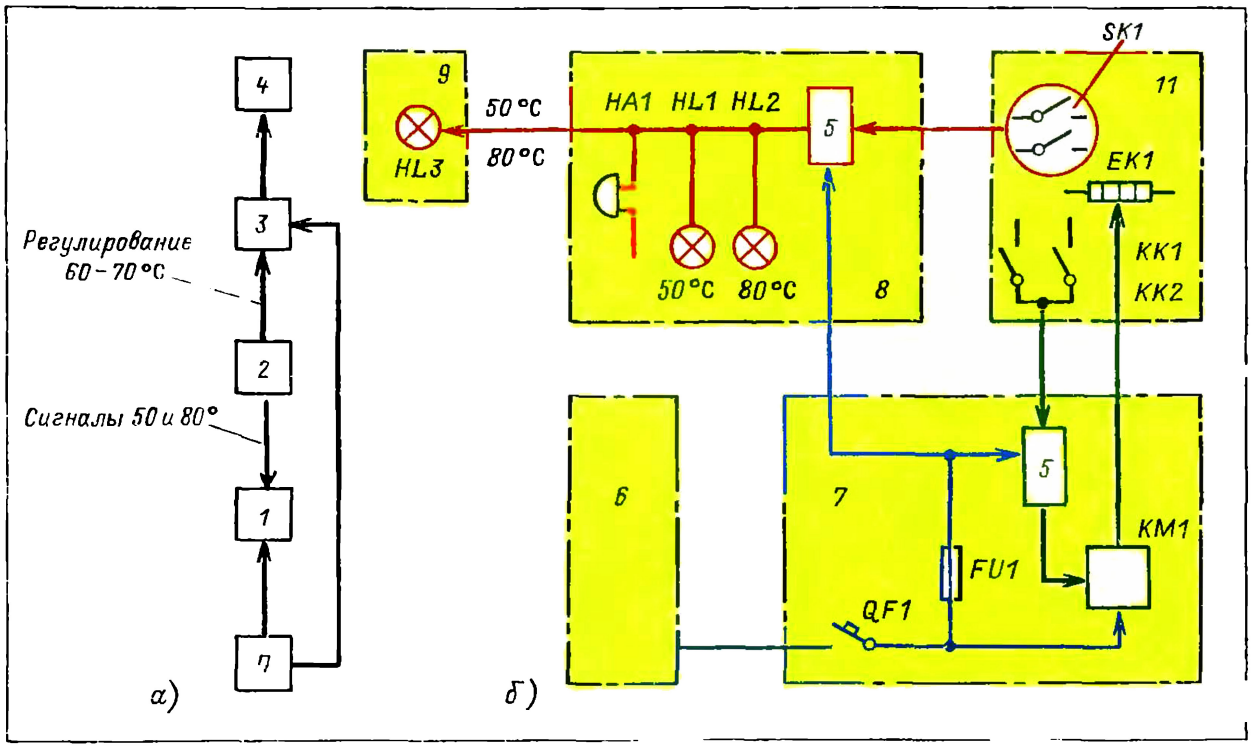


Рис. 1.1. Структурная схема (*а*) определяет основные функциональные части *1–4* установки. К упражнению 1.1. Функциональная схема (*б*) разъясняет происходящие процессы: *5* – группа аппаратов. К упражнению 1.2

В книге рассматриваются только принципиальные схемы. Заметим здесь же, что принципиальная схема электроустановки, например схема управления электроприводом (вводом, релейной защиты и т. п.), действительно является полной. Она дает детальное представление о работе электроустановки благодаря тому, что на ней показаны все электрические цепи. В отличие от полной принципиальной схемы электроустановки принципиальная схема изделия (станции управления, камеры КСО, панели защиты и т. п.) представляет собой схему только одного изделия, но выполненную теми же приемами, что и полные принципиальные схемы, т. е. разнесенным способом. Иными словами, схема изделия – это схема только части электроустановки.

Содержание наиболее распространенных типов схем иллюстрируют упражнения 1.1–1.8. Рисунки 1.1–1.6, относящиеся к этим упражнениям, выполнены для одной и той же электроустановки. Поэтому рассматривать их нужно совместно, хотя они относятся к разным упражнениям.

Упражнение 1.1

На рис. 1.1,*а* приведена структурная схема электроустановки.

Ответить на вопросы. 1. Что обозначают стрелки? 2. Откуда известны интервалы регулирования (60–70°С) и сигнализации (50–80°С) и почему они не равны? 3. Зачем нужны раздельные сигналы о повышении и понижении температуры? Не достаточно ли одного общего сигнала о том, что температура вышла за пределы заданных значений?

Ответы

1. Стрелки определяют направление процесса. Объект *2* контроля и регулирования (температура воды в баке) через блок *3* включает и отключает нагреватель *4*, благодаря чему температура воды в баке поддерживается на заданном уровне, т. е. в пределах 60–70°С. При отклонении температуры от заданных значений (50°С и ниже, 80°С и выше) в блок сигнализации *1* передаются сигналы: один сигнал – температура понижена, другой – температура повышена. Буквой *П* обозначен источник питания.

2. Интервалы регулирования и сигнализации указаны на схеме; знание этих интервалов является, кстати, одним из итогов ее прочтения. Интервал регулирования уже интервала сигнализации, и это совершенно верно. Дело в том, что поддержание температуры в заданных пределах регулирования – это нормальное состояние, т. е. такое состояние, при котором не нужна передача аварийных сигналов.

3. При понижении температуры действия персонала одни, при повышении – другие. Поэтому и нужны раздельные сигналы.

Упражнение 1.2

На рис. 1.1,*б* приведена функциональная схема этой же электроустановки.

Ответить на вопросы. 1. Чем функциональная схема отличается от структурной? 2. Что обозначают *HL3*, *SK1* и *EK1* и для чего они написаны на функциональной схеме? 3. Какая лампа – *HL1* или *HL2* сигнализирует о понижении температуры и откуда это известно? 4. О каких значениях температуры сигнализирует лампа *HL3*? 5. На функциональной и структурной схемах в наших примерах не случайно применены различные цвета, причем система расцветки на обеих схемах одинакова. Что выделено с помощью расцветки? 6. Для чего на функциональной схеме желтые прямоугольники имеют номера *6–9* и *11*, но номер *10* пропущен? Имеет этот пропуск какой-либо смысл, или же это просто ошибка?

Ответы

1. На функциональной схеме видны основные узлы устройства: щиток сигнализации *8*, станция управления *7* и т. п. Отдельные элементы – лампы *HL1 – HL3* и звонок *HA1* показаны в условных обозначениях, но группы аппаратов, осуществляющих переключения, изображены прямоугольниками *5* без детализации.

2. Буквы – это позиционные обозначения элементов, заимствованные из принципиальной схемы (см. рис. 1.2). На функциональных схемах позиционные обозначения обычно не указывают.

3. Лампа *HL1*, под которой написано 50°С.

4. Понижение температуры до 50 и повышение до 80°С.

5. С помощью расцветки выделены функциональные цепи: синие линии – питание, зеленые – регулирование температуры, красные – сигнализация.

6. Желтые прямоугольники – это те же конструктивные узлы электроустановки, которые изображены на общей схеме (см. рис. 1.6). Номер *10* пропущен, так как под ним значится вспомогательное изделие – ящик зажимов. На общей схеме (см. упражнение 1.7) он показан. На функциональных схемах номера конструктивных узлов обычно не указывают. Здесь же они даны в учебных целях для связи между функциональной и общей схемами.

Упражнение 1.3

На рис. 1.2 изображена принципиальная схема электроустановки. На ней красные цифры – номера цепей (строк), синие цифры – обозначения (маркировка) участков цепей (подробнее см. § 4.5). Латинские буквы – позиционные обозначения элементов (подробнее см. § 4.2). Эти же обозначения приведены в табл. 1.1. Все элементы изображены в стандартных условных обозначениях, которые подробно рассмотрены в гл. 2.

Ответить на вопросы. 1. На какое напряжение рассчитан каждый трубчатый нагреватель *EK1*? Цепи управления? 2. Зачем введен предохранитель *FU1*? Не достаточно ли выключателя автоматического *QF1*? Почему предохранитель введен только в фазный провод питания цепей управления? 3. Какое позиционное обозначение имеет аппарат, включающий и отключающий *EK1*? Что он собой представляет и откуда это известно? 4. Для чего служит переключатель *S1*? Что обозначают буквы *P*, *O*, *A*? 5. Как включают и отключают *EK1* при ремонтном управлении? 6. Как автоматически управляется *EK1*? При какой температуре произойдет автоматическое отключение? 7. Есть ли возможность отключить *EK1*

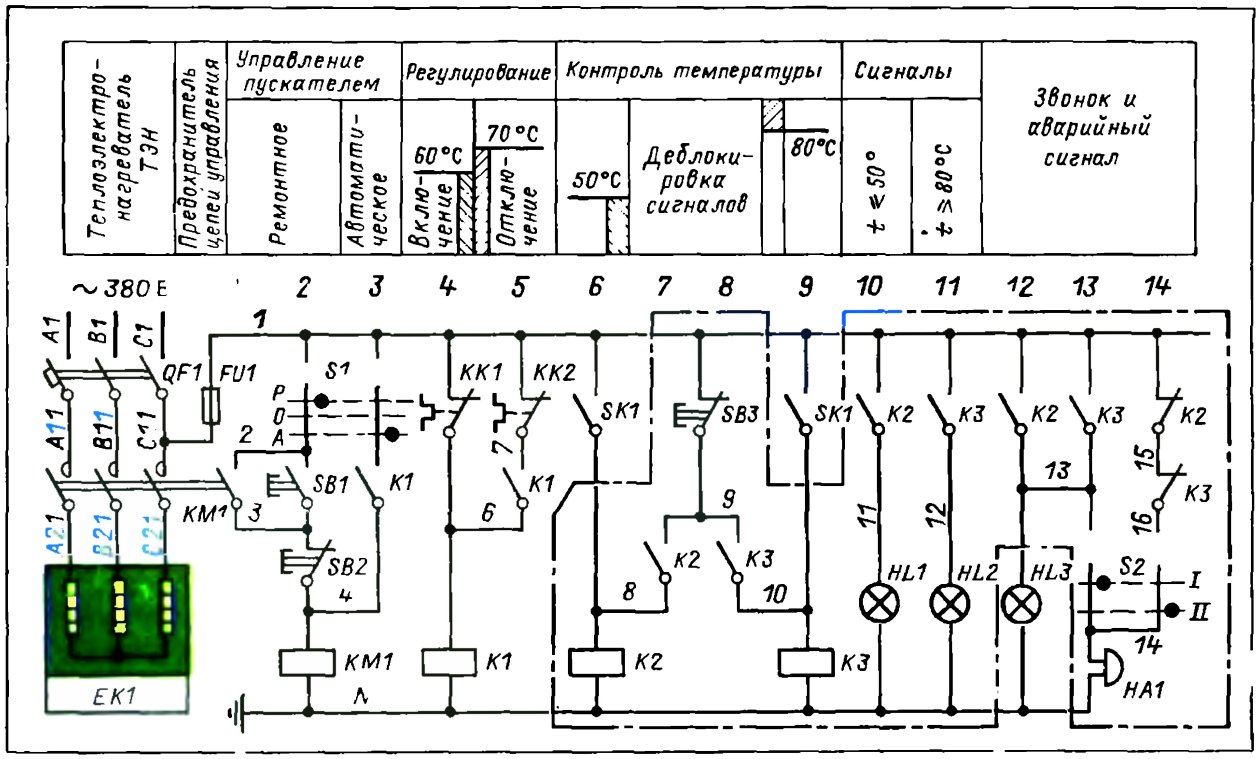


Рис. 1.2. Принципиальная (полная) схема показывает все элементы электроустановки и связи между ними. Перечень элементов приведен в табл. 1.1. К упражнению 1.3

при 65°С, а если есть, то как это сделать? 8. Что произойдет, когда температура, понижаясь, достигнет 50°С? Можно ли при этой температуре погасить лампы *HL1* и *HL3*? Можно ли их погасить при 54°С? Что для этого нужно сделать? 9. При какой температуре включатся лампы *HL2* и *HL3*? 10. В каких случаях автоматически включатся аварийная лампа *HL3* и звонок? Что нужно сделать, чтобы отключить звонок? Погаснет ли при этом лампа *HL3*? Когда она погаснет? 11. С помощью какого схемного приема достигается подготовка звонка к последующему включению? 12. Какой общий вывод явствует из рассмотренного примера? 13. Зачем опытные проектировщики обязательно описывают даже самые, казалось бы, несложные принципиальные схемы? 14. В схеме есть два переключателя *S1* и *S2*, но один из них *S1* имеет нейтральную позицию *0*, а у другого – нейтральной позиции нет. По внешнему виду и количеству контактов переключатели похожи. Монтажник их перепутал. К чему это приведет?

Ответы

1. Трубчатые нагреватели *EK1* соединены в звезду и получают питание от сети трехфазного тока 380 В. На каждый нагреватель приходится фазное напряжение 380: $\sqrt{3} = 220$ В. Цепи управления питаются от фазного и нейтрального *N* проводов, т. е. включены на 220 В.

2. Уставка включателя автоматического *QF1* определяется мощностью нагревателей *EK1* и составляет примерно 50 А. Для защиты цепей управления (если монтаж выполнен медными проводами сечением 1,5 мм^2 и кабелями с алюминиевыми жилами сечением 2,5 мм^2) нужно не более 20 А, поэтому для защиты цепей управления введен предохранитель *FU1*. В заземленный провод *N* предохранители вводить нельзя.

3. Позиционное обозначение *KM1*. Как следует из перечня элементов – это магнитный пускатель.

4. Переключателем *S1* задают режим управления: *P* – ремонтное, *A* – автоматическое, *0* – нейтральное положение. В нейтральном положении обе цепи разомкнуты.

5. Выключателем кнопочным *SB1* по цепи *2* включают *KM1*, который в свою очередь включает *EK1*. После включения *KM1* его катушка продолжает получать питание через вспомогатель-

Таблица 1.1. Перечень элементов к рис. 1.2

Позиционное обозначение	Наименование	Тип	Место установки	Примечание
QF1	Выключатель автоматический		Станция управления	50 А
FU1	Предохранитель цепей управления			15 А
KM1	Магнитный пускатель			–
S1	Переключатель выбора режима управления			
SB1	Выключатель кнопочный "Пуск"			
SB2	То же "Стоп"			-
K1	Реле промежуточное для управления *KM1*			
EK1	Трубчатый нагреватель		Бак	22 кВт
KK1	Реле температурное			60°С и ниже
KK2	То же			70°С и выше
SK1	Электроконтактный термометр			50°С и ниже 80°С и выше
K2	Реле промежуточное		Щиток сигнализации	50°С и ниже
K3	То же			80°С и выше
SB3	Выключатель кнопочный для деблокировки сигналов			
HL1	Лампа сигнальная желтая			50°С и ниже
HL2	То же			80°С и выше
S2	Переключатель для деблокировки звонка			
HL3	Лампа сигнальная красная		Щит дежурного	50°С и ниже 80°С и выше
HA1	Звонок			То же

Примечания: 1. Перечень элементов выполнен по форме, с которой можно встретиться в ряде книг и в исполнительной документации. Достоинство этой формы в ее наглядности, благодаря указанию назначения элементов и их технических данных. Форма перечня элементов, применяющаяся в настоящее время проектными организациями, подробно рассмотрена в § 4.2.

2. Типы изделий не указаны.

ный контакт *KM1* по цепи *1*. Отключают выключателем кнопочным *SB2*.

6. При температуре ниже 60°С контакт реле температурного *KK1* замкнут. Это видно из диаграммы, помещенной над цепью *4*. Поэтому реле *K1* включено, а через его контакт в цепи *3* включен магнитный пускатель *KM1*. Когда же температура превысит 60°С, достигнув, например, 63°С, *EK1* не отключится благодаря тому, что реле *K1* будет продолжать получать питание по цепи *5*. Эта цепь разомкнется только при температуре 70°С, как явствует из диаграммы, помещенной над цепью *5*. При 70°С реле *K1* отпустит, отключит *KM1*, а *KM1* отключит *EK1*. Температура начнет снижаться. Но до тех пор пока она не снизится до 60°С, ничего не произойдет. При 60°С вновь замкнется контакт *KK1* и по цепи *4* включит *K1* и т. д. Иными словами, *K1* при 60°С будет включаться, а при 70°С – отключаться.

7. При замкнутом контакте *K1* в цепи *3* нельзя отключить *KM1* выключателем кнопочным *SB2*, так как контакт *K1* в цепи *3* присоединен к катушке *KM1* минуя *SB2*. Но, несмотря на это, *EK1* отключить можно. Для этого переключатель *S1* нужно перевести в положение *0*.

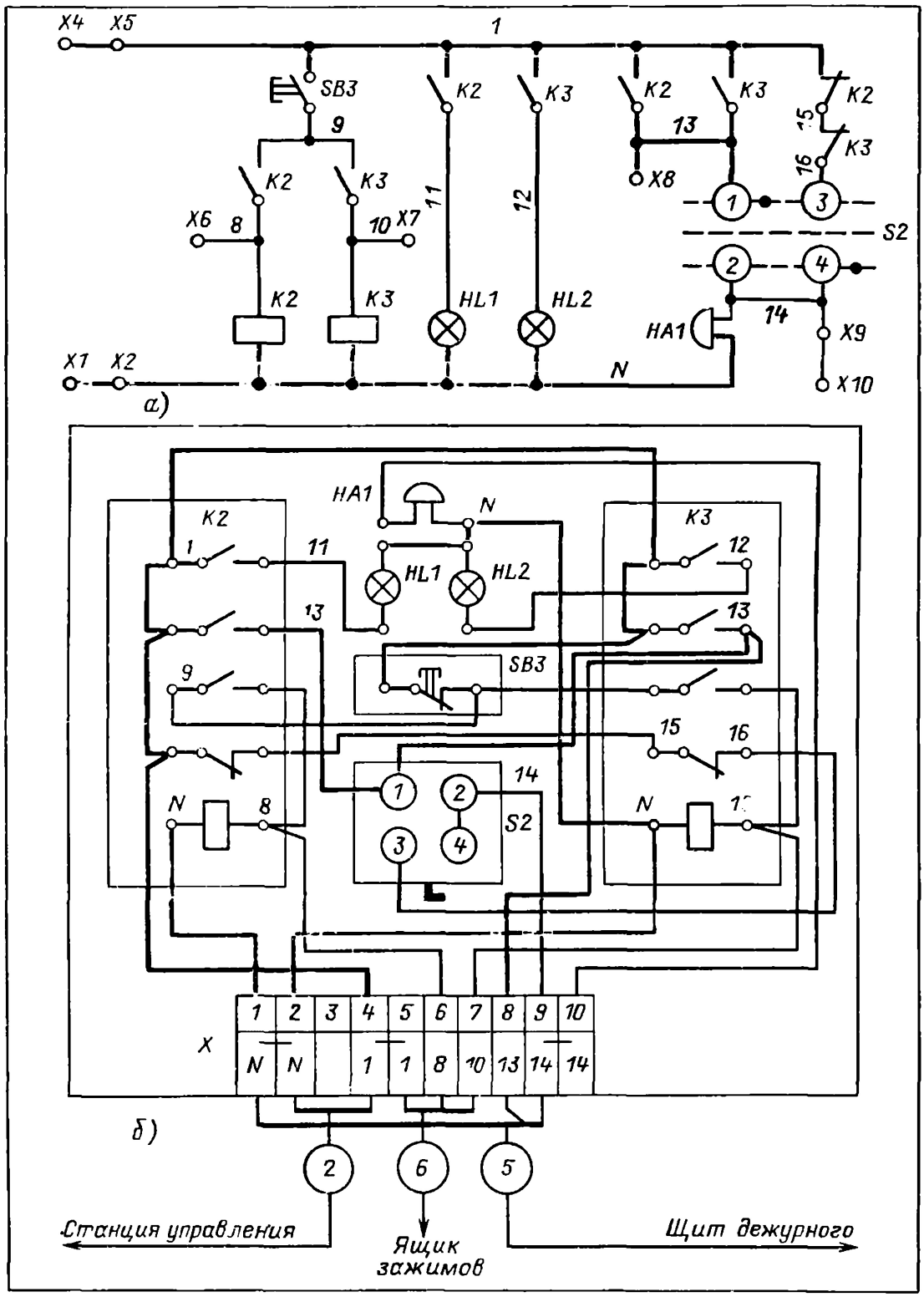


Рис. 1.3. Схемы щитка сигнализации. Принципиальная схема (*а*) показывает, что с чем должно быть соединено и выведено на зажимы. Объединенная схема (*б*) показывает, как надлежит выполнить соединения в пределах изделия и присоединить кабели. К упражнению 1.4

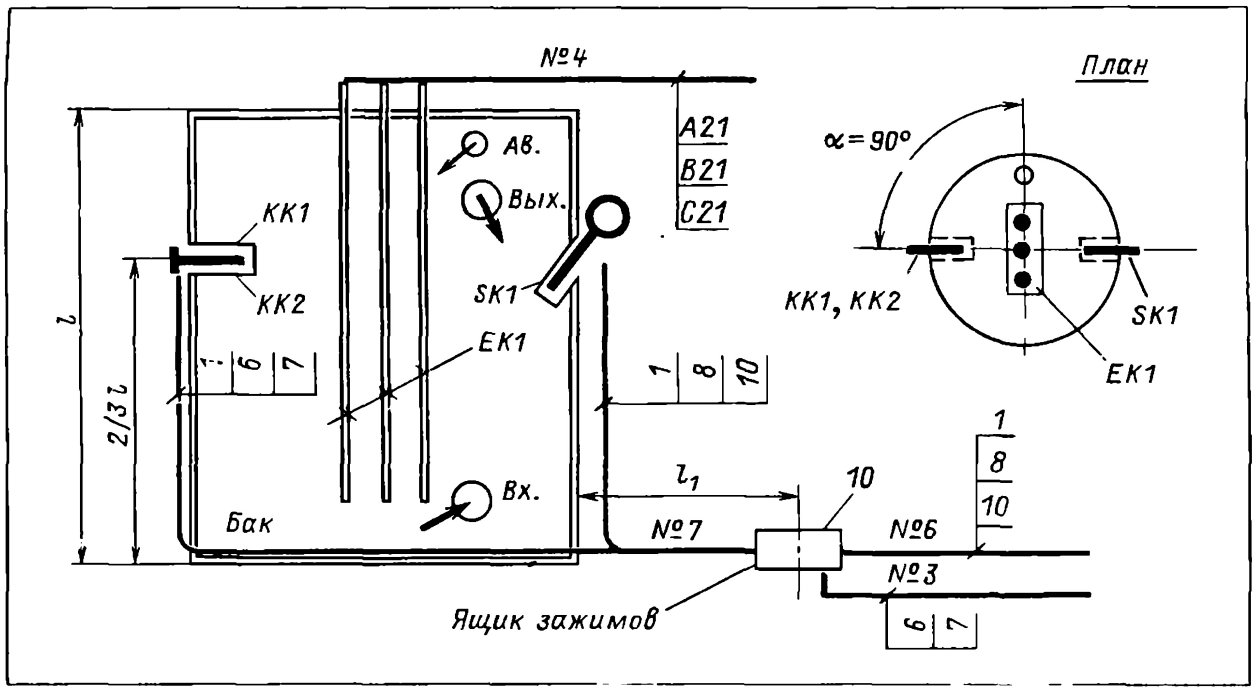


Рис. 1.4. Схема р а с п о л о ж е н и я определяет взаимное расположение электрооборудования (*EK1, KK1, KK2, SK1*) в баке, труб для входа (*Вх.*) и выхода (*Вых.*) и аварийного слива (*Ав.*) воды. К упражнению 1.5

8. В цепи *6* замкнется контакт электроконтактного термометра *SK1*, включит реле *K2*, а оно, в свою очередь, замкнет цепи *10* и *12*. В результате включатся лампы *HL1*, *HL3* и звонок *HA1*. При температуре 50°С и ниже погасить лампы *HL1* и *HL3* нельзя, так как еще замкнут контакт *SK1* в цепи *6*. При температуре выше 50°С, например при 54°С, контакт *SK1* разомкнут. Чтобы погасить лампы, достаточно нажать выключатель кнопочный *SB3*.

9. При температуре 80°С (см. диаграмму над цепью *9*). Включение произойдет при срабатывании реле *K3*, которое включится контактом *SK1* электроконтактного термометра.

10. При снижении температуры до 50°С или при повышении до 80°С. Чтобы отключить звонок, нужно переключатель *S2* перевести из позиции *I* в позицию *II*, разомкнув этим действием цепь *13*, но подготовив цепь *14*, в которой, до тех пор пока температура чрезмерно понижена или повышена, разомкнут один из контактов *K2* или *K3* соответственно. Лампа *HL3* при изменении положения переключателя *S2* не погаснет. Она погаснет только тогда, когда температура достигнет нормального значения, т. е. будет больше 50, но меньше 80°С.

11. Как только температура достигнет нормальных значений, реле *K2* (*K3*) отпустит и замкнет цепь *14*. По ней вновь включится звонок, что вынудит персонал перевести переключатель *S2* из позиции *II* в позицию *I*, подготовив этим действием схему к приему следующего сигнала. Заметим, что манипуляции с *S2* называются к в и т и р о в а н и е м сигналов, от слова квитанция – подтверждение.

12. Принципиальная схема электроустановки действительно является полной, так как дает исчерпывающие сведения об ее действии.

13. Описание схемы – вернейший способ себя проверить. *Экономия времени на описании принципиальных схем всегда оборачивается ошибками* не только в принципиальной схеме, но и *во всей рабочей документации*, выполненной на ее основании. Исправить эти ошибки трудно.

14. Будут нарушены важные условия действия: а) в режиме автоматического управления невозможно будет отключить *EK1* (см. ответ на вопрос 7); б) будет возможность вывести звонок из действия, что совершенно недопустимо.

Упражнение 1.4

На рис. 1.3 показаны две схемы щитка сигнализации.