

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

**Е. Г. Маежов, В. Ю. Иванов**

**ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКА В СИСТЕМАХ  
УПРАВЛЕНИЯ ЛИФТОВ И ЭСКАЛАТОРОВ**

Методические указания по выполнению контрольных работ  
для студентов заочной формы обучения

Санкт-Петербург

2017

## **ВВЕДЕНИЕ**

В соответствии с основными свойствами качество лифтов на различных уровнях их создания и эксплуатации можно оценивать различными показателями: единичными, характеризующими одно качество, комплексными, характеризующими несколько качеств, определяющими, основными для оценки качества, обобщенными (комплексными и определяющими) и интегральными (наиболее общими).

Основными (определяющими) показателями качества для лифтов являются: экономичность, социальная приспособленность и надежность.

Безопасность эксплуатации лифтов, особенно пассажирских, является одним из основных показателей их качества и характеризуется способностью лифта предотвращать возможность появления аварийных ситуаций. Она определяется: динамическими и тормозными качествами привода; обеспеченностью лифта необходимой сигнализацией, надежными приборами и автоматическими устройствами безопасности и блокировки, предупреждающими и предотвращающими возможность появления аварийных ситуаций; надежностью элементов конструкции, разрушение которых или отказ могут привести к аварийной ситуации; наличием автоматической или другой системы сигнализации и связи с диспетчером или лифтером в случаях отказов в работе лифта.

## 1 Электрооборудование лифтов

Лифт представляет собой подъемную машину циклического действия, предназначенную для вертикального подъема людей и грузов. По назначению лифты разделяют на пассажирские, грузопассажирские, больничные и грузовые.

В зависимости от скорости движения кабины лифты подразделяют на тихоходные (до 0,71 м/с), быстроходные (от 1 м/с до 1,6 м/с), скоростные (от 2 м/с до 4 м/с) и высокоскоростные (4 м/с - 10 м/с). Грузоподъемность пассажирских лифтов составляет от 320 кг до 1600 кг, грузовых - от 160 кг до 5000 кг. При скорости до 1,6 м/с электродвигатель соединяется с канатоведущим шкивом через редуктор, если скорость выше, то применяют безредукторные электроприводы.

При большом разнообразии вариантов конструкций пассажирских и грузовых лифтов основными узлами оборудования для них являются подъемная лебедка, канаты, кабина, противовес, механический тормоз и аппаратура управления. Современные лифты имеют систему подвеса с противовесом и с уравновешивающим канатом.

Кабина перемещается вдоль вертикальных направляющих. Кабина подвешена к канатам, огибающим канатоведущий и направляющий шкивы приводной электрической лебедки. На концах каната укреплен противовес, движущийся по направляющим. Масса противовеса равна сумме массы кабины и (0,42 - 0,5) массы груза (или половине наиболее вероятной нагрузки кабины).

### 1.1 Электроприводы лифтов

В лифтах и грузовых подъемниках типы электроприводов выбираются в зависимости от скорости движения, этажности здания и требуемой точности остановки. В настоящее время применяют следующие электроприводы:

а) для зданий до 17 этажей используются тихоходные и быстроходные лифты со скоростью от 0,7 м/с до 1,4 м/с грузоподъемностью 320 кг, 400 кг. В этих лифтах применяют электропривод с асинхронным двухскоростным электродвигателем с короткозамкнутым ротором,

б) для быстроходных пассажирских лифтов со скоростью 1,6 м/с предназначенных для зданий до 25 этажей применяют электропривод по системе тиристорный регулятор напряжения (ТРН) с двухскоростным асинхронным двигателем (ТРН-АДД).

Наличие регулируемого электропривода обеспечивает высокую плавность процессов разгона и замедления, высокую точность остановки на этаже ( $\pm 20$  мм), отсутствие участка пониженной скорости перед остановкой. Вторая обмотка двигателя служит для получения малой скорости при ревизии,

в) для скоростных и высокоскоростных лифтов применяются электроприводы постоянного тока по системе тиристорный преобразователь-двигатель ТП-Д и переменного тока по системе преобразователь частоты - короткозамкнутый асинхронный электродвигатель ГГЧ-АД.

## 1.2 Тормозные электромагниты

Грузоподъемные механизмы лифтов снабжаются специальными тормозными устройствами с длинноходовыми и короткоходовыми электромагнитами постоянного тока, которые подключаются к сети напряжением 220 или 380 В через выпрямитель.

## 1.3 Аппараты управления лифтов

### 1.3.1 Этажные переключатели

Этажные переключатели предназначены для коммутации цепей управление движением. Они регистрируют положение кабины, автоматически выбирают направление движения ("верх" или "низ") и дают команду на отключение электропривода при остановке. Конструктивно это трехпозиционные рычажные переключатели (путевые командоаппараты) на три положения (1-0-2), имеющие подвижные (на рычаге) к неподвижные (на корпусе) контакты.

Этажные переключатели устанавливаются в шахте на уровне этажа, а на кабине — фасонная отводка, которая действует на рычаг этажного переключателя.

При ходе кабины "вверх" поворотом рычага замыкается одна группа неподвижных контактов, а "вниз"— другая. Когда кабина находится на уровне этажа, этажный переключатель находится в нейтральном положении "О", а неподвижные контакты разомкнуты.

### 1.3.2 Переключатели скорости

Переключатели скорости предназначены для подачи импульса на снижение скорости перед остановкой кабины. Применяются в быстроходных лифтах с электроприводом двухскоростного исполнения. Они построены по принципу действия этажных переключателей, но конструктивный вид имеют другой. Переключатели скорости устанавливаются в стволе шахты комплектно выше и ниже этажа на расстоянии от 0,5 до 0,6 м.

### 1.3.3 Этажные переключатели

Этажные переключатели предназначены для коммутации цепей управления движением. Они регистрируют положение кабины, автоматически выбирают направление движения ("верх" или "низ") и дают команду на отключение электропривода при остановке. Конструктивно это трехпозиционные рычажные переключатели (путевые командоаппараты) на три положения (1-0-2), имеющие подвижные (на рычаге) к неподвижные (на корпусе) контакты.

Этажные переключатели устанавливаются в шахте на уровне этажа, а на кабине - фасонная отводка, которая действует на рычаг этажного переключателя.

При ходе кабины "вверх" поворотом рычага замыкается одна группа неподвижных контактов, а "вниз"— другая. Когда кабина находится на уровне этажа, этажный переключатель находится в нейтральном положении "О", а неподвижные контакты разомкнуты.

#### 1.3.4 Индуктивные датчики

Индуктивные датчики предназначены для применения в быстроходных лифтах. В стволе шахты устанавливается П-образный шихтованный магнитопровод из стали, а на кабине стальная скоба представляющая собой магнитный шунт. На магнитопроводе находится катушка с обмоткой к которой подключается реле управления непосредственно или через выпрямитель. При уходе скобы (магнитопровод размыкается) индуктивное сопротивление катушки мало, что обеспечит срабатывание реле управления. Если стальная скоба перекрывает магнитопровод, резко возрастает индуктивное сопротивление катушки и реле отпускает.

#### 1.3.5 Герконовые датчики

Кроме того, в путевых датчиках нашли широкое применение устройства с герметичными контактами (герконы). Применение герконовых датчиков устраняет такие недостатки этажных переключателей и переключателей скорости, как шумность и радиопомехи, возникающие при работа контактных устройств.

#### 1.3.6 Магнитная отводка

Магнитная отводка - это электромагнитное устройство, устанавливаемое на кабине и контролирующее работу замков дверей шахты. Упор магнитной отводки соединен с якорем электромагнита отводки. При нахождении кабины на этаже электромагнит отводки обесточен, упор под действием пружины отводит защелку замка двери шахты, позволяя ее открыть.

При движении электромагнит отводки под питанием — защелка введена, что запрещает открытие двери. Такие защелки применяются в лифтах старой конструкции (или модернизированных) с ручным приводом дверей шахты.

## 2 Автоматика лифтов

Основным отличием работы лифтов и подъемников является их многопозиционность, выражающаяся в том, что механизмы могут занимать большое число фиксированных положений. Поэтому после каждой остановки приходится решать логическую задачу о выборе последующего перемещения. Решение этой задачи осуществляется с помощью электромагнитных реле, логических интегральных схем (ИС), программируемых логических контроллеров (ПЛК) и однокристалльных микроконтроллеров (ОМК). Алгоритм движения лифта приведен на *рис.2.1*.

Перед схемой управления лифтами ставятся следующие задачи: контроль положения кабины в шахте, автоматический выбор направления движения, определение времени начала торможения, точной остановки кабины на этаже, автоматического открывания и закрывания дверей и защиты электроприводов и лифта.

Командные сигналы, задающие программу движения кабины, разделяются на два типа: "приказы", поступающие из кабины, и "вызовы", поступающие с этажных площадок. Команды подаются кнопками, расположенными соответственно в кабине и на этажных площадках. В зависимости от реакции на команды и способы их отработки различаются схемы отдельного и собирательного управления. При отдельном принципе управления схема воспринимает и обрабатывает только одну команду и во время ее выполнения не реагирует на другие приказы и вызовы.

Такая схема наиболее проста в реализации, но ограничивает возможную производительность лифта и поэтому применяется лишь для лифтов жилых домов высотой до девяти этажей с относительно небольшим потоком пассажиров. При собирательном принципе управления схема воспринимает одновременно несколько команд и выполняет их в определенной очередности, обычно в порядке следования этажей.

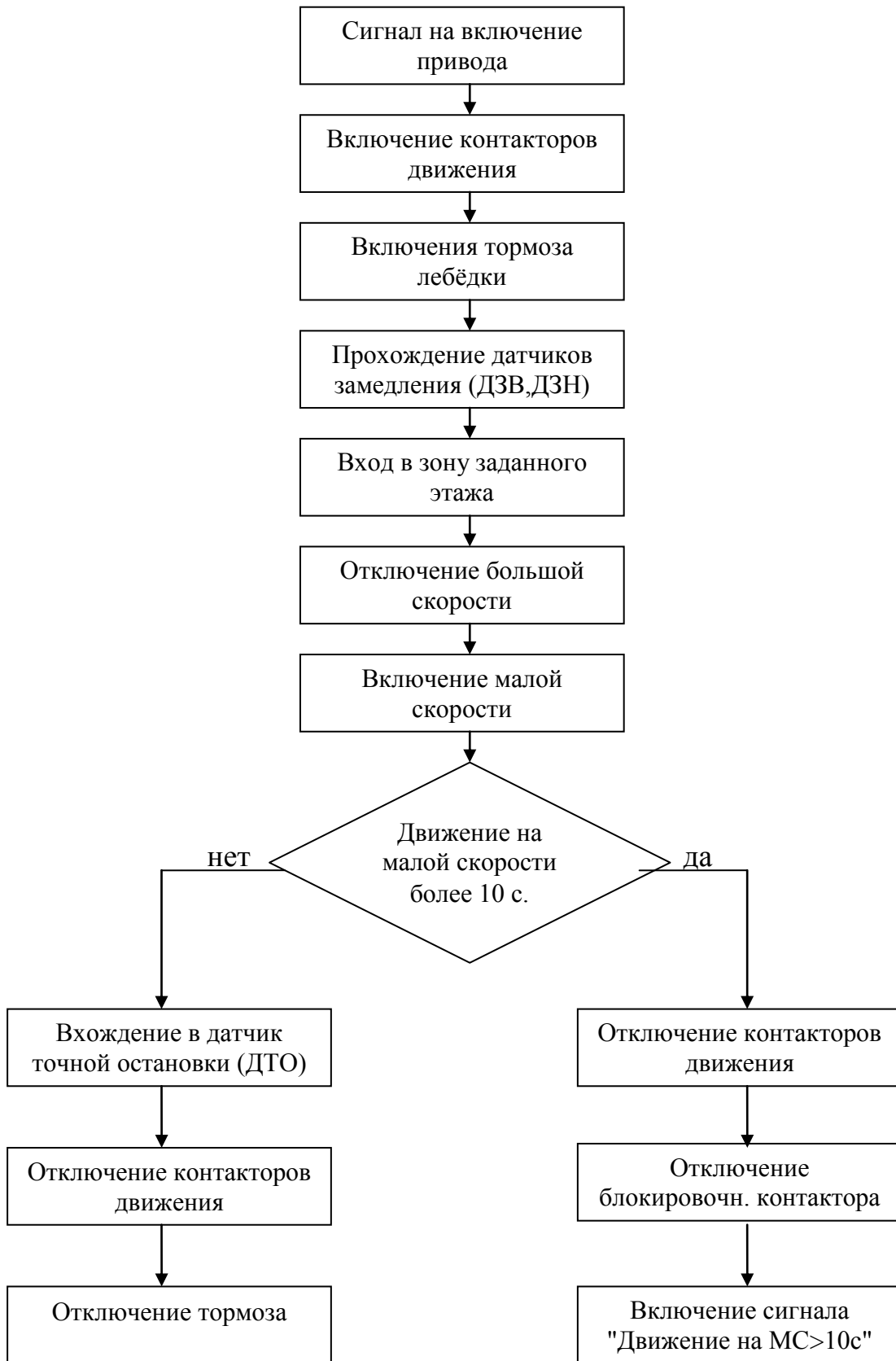


Рис. 2.1 - Алгоритм движения лифта



Основой системы управления лифтами является поэтажный тактовый опрос. Тактовый опрос может быть маятниковым, когда опрос производится в двух направлениях, снизу вверх и сверху вниз и одного направления, например, только сверху вниз. Чаще применяется маятниковый опрос.

### 3 Проектирование системы управления на базе ПЛК

#### 3.1 Программируемый логический контроллер

Программируемый логический контроллер представляют собой устройство, предназначенное для сбора, преобразования, обработки, хранения информации и выработки команд управления. Они реализованы на базе микропроцессорной техники и работают в локальных и распределенных системах управления в соответствии с заданной программой. Программируемый логический контроллер обеспечивают реализацию современных сетевых решений в распределенных системах управления и контроля.

По техническим возможностям, которые определяют уровень решаемых задач, ПЛК делятся на классы: нано-, микро-, малые, средние и большие. Первоначально ПЛК предназначались для замены релейно-контактных схем, собранных на дискретных компонентах – реле, счетчиках, таймерах, элементах жесткой логики.

Принципиальное отличие ПЛК от релейных схем заключается в том, что все его функции реализованы программно. На одном контроллере можно реализовать схему, эквивалентную тысячам элементов жесткой логики. При этом надежность работы схемы не зависит от ее сложности.

##### 3.1.1 Структура программируемого логического контроллера

Структура микропроцессорной системы управления на базе программируемого логического контроллера, показанная на *рис. 3.1*, состоит из

объекта регулирования (ОР), датчиков (Д), исполнительных устройств (ИУ) и программируемого логического контроллера (ПЛК).

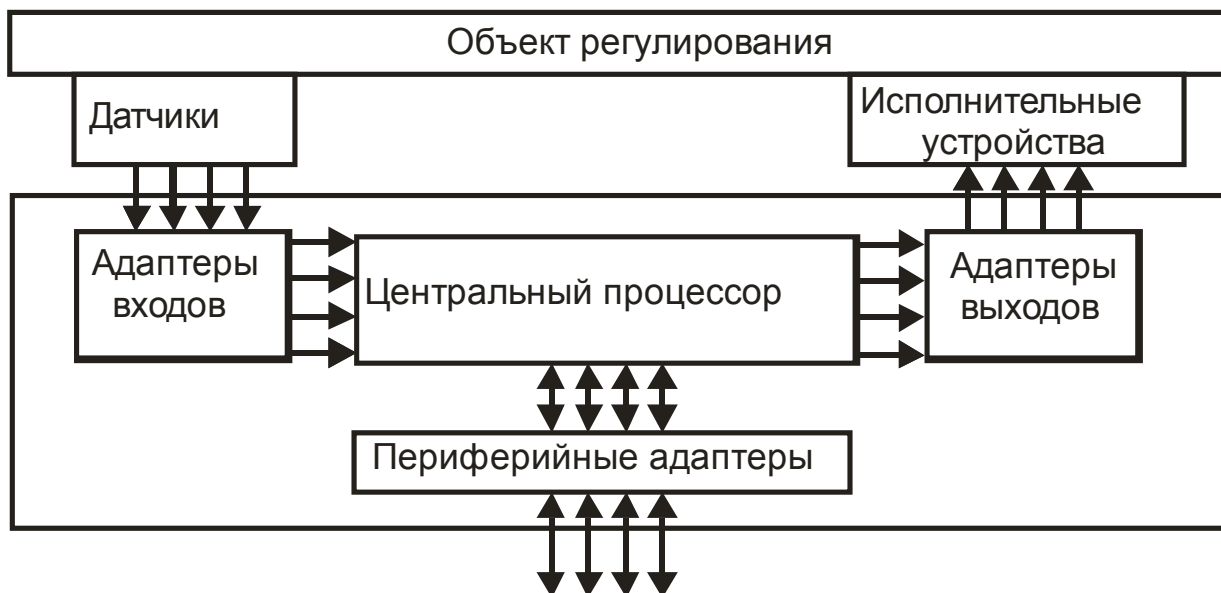


Рис. 3.1 - Структура микропроцессорной системы управления на ПЛК

Программируемый логический контроллер включает в себя центральное процессорное устройство (ЦПУ, CPU), адаптер входов ( $A_{вх}$ ), адаптер выходов ( $A_{вых}$ ) и периферийные адаптеры (ПА).

Адаптеры входов и выходов являются устройствами сопряжения объекта регулирования (УСО) с центральным процессором ПЛК. УСО выполняет ввод в ЦПУ информации от датчиков и вывод из ЦПУ управляющих воздействий на исполнительные устройства.

Периферийные адаптеры предназначены для подключения к ПЛК:

- пульта оператора;
- клавиатуры;
- дисплея;
- дополнительных модулей входов и выходов, расширяющих его функциональные возможности;
- других ПЛК для организации промышленной сети;
- программатора для перепрограммирования ПЛК;

– центрального компьютера в качестве средства сбора и обработки информации.

Пульт оператора содержит клавиатуру и дисплей, которые используются для реализации диалогового режима с оператором. Клавиатура используется для ввода команд и данных. На дисплей выводится информация о параметрах технологического объекта в режиме реального времени.

### 3.1.2. Адаптеры входов и выходов

В устройство сопряжения входят адаптеры входов и выходов аналоговых и дискретных сигналов.

Адаптеры входов аналоговых сигналов обеспечивает прием, преобразование, усиление, нормализацию, фильтрацию и коммутацию электрических аналоговых (непрерывных) сигналов от датчиков, а также преобразование их в цифровой сигнал с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Адаптеры входов дискретных сигналов используются для приема дискретных сигналов от двухпозиционных, кодовых и импульсных датчиков, преобразования их в стандартный цифровой сигнал.

Адаптеры выходов аналоговых сигналов служат для преобразования цифровых сигналов в стандартный аналоговый сигнал (ток или напряжение) цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП).

Адаптеры выходов дискретных сигналов обеспечивают выработку дискретных управляющих сигналов. Выходами этих устройств могут быть дискретные сигналы: замыкание/размыкание контакта электромеханического реле, включение/выключение полупроводникового ключа или широтно-импульсный модулятор (ШИМ).

Общий вид ПЛК приведен на *рис. 3.2*.

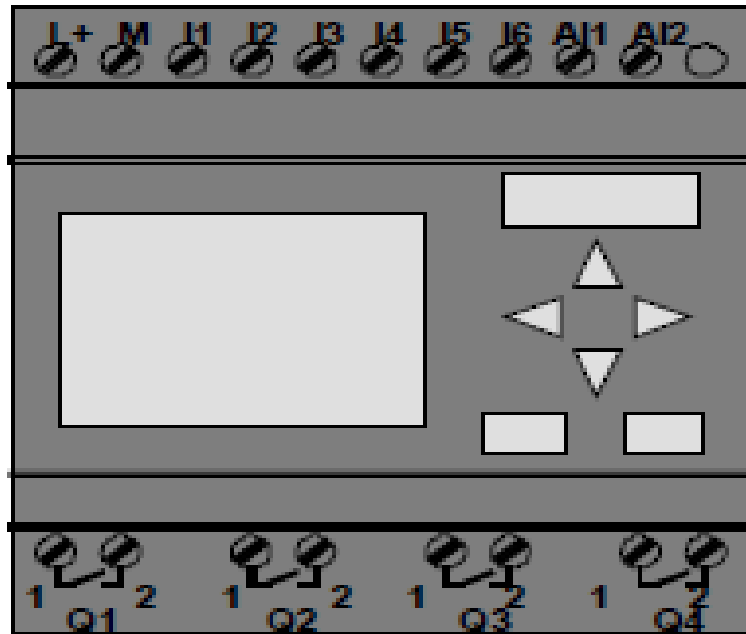


Рис. 3.2. Общий вид ПЛК

ПЛК имеет:

- шесть дискретных входов  $I1, I2, I3, I4, I5, I6$ ;
- два аналоговых входа  $AI1, AI2$ ;
- четыре дискретных выхода  $Q1, Q2, Q3, Q4$ ;
- встроенный дисплей;
- шесть клавиш для программирования;
- набор встроенных функций;
- интерфейс подключения к компьютеру;
- питание напряжением постоянного тока  $L+$  (+12 В или +24 В);
- монтаж на профильную шину ( $DIN$ -рейка);
- размер 72 x 90 x 50 мм.

Схема подключения дискретных датчиков  $S1, S2, S3, S4$  и исполнительного устройства  $Rn$  к ПЛК показана на *рис. 3.3*.

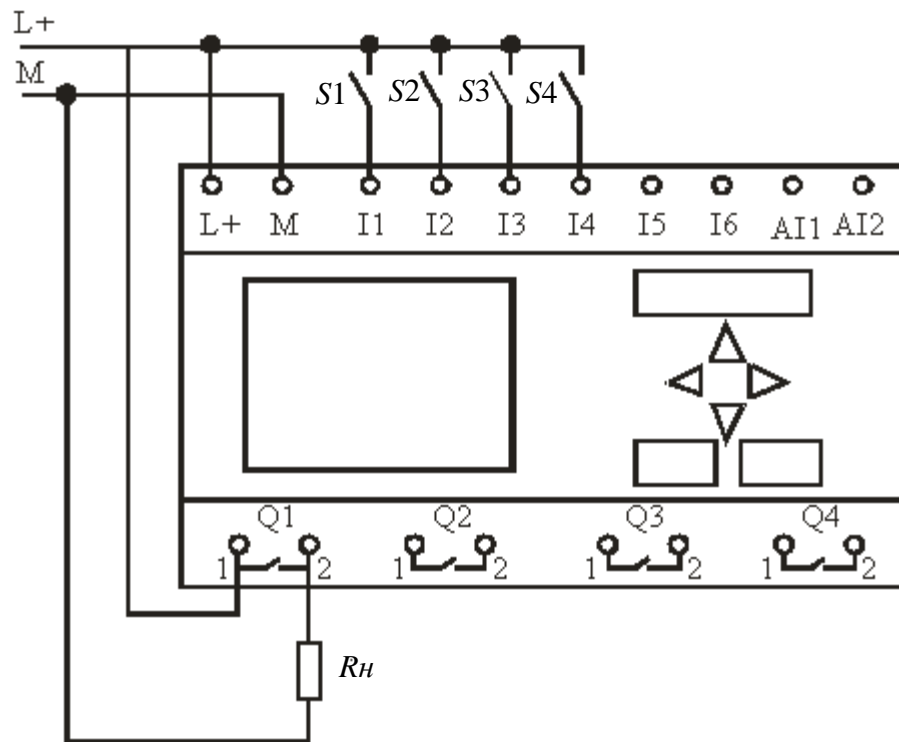


Рис. 3.3. Схема подключения дискретных датчиков и исполнительного устройства к ПЛК

### 3.2. Проектирование логической схемы управления

Проектирование логической схемы управления выполняется методами логического синтеза. Под синтезом понимается процесс составления логических выражений, описывающих схему устройства по заданным условиям технологического процесса. Процедуру синтеза можно разделить на следующие этапы:

- 1) получение логической функции, описывающей алгоритм функционирования проектируемой логической схемы управления;
- 2) минимизация логической функции;
- 3) проверка минимизации;
- 4) построение логической схемы управления;
- 5) проверка работы схемы.

### 3.2.1. Получение логической функции

Запись логической функции, описывающей работу логической схемы управления, обычно производят в виде дизъюнктивной нормальной формы (ДНФ).

ДНФ – это дизъюнкция конъюнкций аргументов или их инверсий. Для каждой функции существует несколько эквивалентных ДНФ.

В классе ДНФ в качестве исходной формы выделяют совершенную дизъюнктивную нормальную форму (СДНФ). Для каждой функции существует только одна СДНФ.

Алгоритм функционирования логического комбинационного автомата задан в виде сокращенной записи СДНФ логической функции:

$$Y = K_i^4, \text{ при } i = 2, 8, 9, 12, 13, 14. \quad (3.1)$$

Выражение (3.1) читается следующим образом: «дизъюнкция конъюнкций четвертого ранга, принимающая единичные значения на наборах 2, 8, 9, 12, 13, 14». На основании выражения (3.1) составим таблицу истинности, приведенную в *табл. 3.1*.

На основании выражения (3.1) и таблицы истинности (*табл. 3.3*) составим развернутую СДНФ. СДНФ удобно находить в такой последовательности:

а) выбрать в таблице истинности (*табл. 3.3*) все наборы (второй, восьмой, девятый, двенадцатый, тринадцатый и четырнадцатый – всего шесть) значений аргументов  $X_3, X_2, X_1, X_0$ , на которых функция  $Y = F(X_3, X_2, X_1, X_0)$  обращается в единицу;

б) выписать ряд конъюнкций всех аргументов и соединить их знаками дизъюнкций. Количество конъюнкций должно равняться числу наборов, на которых функция обращается в единицу

$$\begin{aligned} X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0 \vee X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0 \vee X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0 \vee X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0 \vee \\ \vee X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0 \cdot X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0; \end{aligned} \quad (3.2)$$

в) каждую конъюнкцию привести в соответствие с одним из выбранных наборов, и над аргументами, равными нулю, поставить знаки инверсии  $\bar{X}$ .

Каждая конъюнкция называется исходной конъюнкцией (минтермом, конституентом единицы).

Полученная форма является развернутой СДНФ логической функции

$$Y = \bar{X}_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_1 \cdot \bar{X}_0 \vee X_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_0 \vee X_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{X}_1 \cdot X_0 \vee X_3 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_0 \vee X_3 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_1 \cdot X_0 \vee X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot \bar{X}_0.$$

Таблица 3.1. Таблица истинности

Номер набора	Аргументы (входные переменные)				Выходная переменная $Y$
	$X_3$	$X_2$	$X_1$	$X_0$	
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	1
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	0
8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	1
10	1	0	1	0	0
11	1	0	1	1	0
12	1	1	0	0	1
13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	0

Таким образом, СДНФ логической функции записывается в виде дизъюнкции исходных конъюнкций.

### 3.2.2. Минимизация логической функции методом Карно

Общей задачей минимизации логических функций является отыскание минимальной дизъюнктивной нормальной формы (МДНФ), т. е. логической формы, содержащей минимально возможное число букв и их инверсий.

В формуле СДНФ (3.3) содержится 24 буквы.

Для некоторых логических функций представляется возможным составить одну или несколько ДНФ, содержащих меньшее, по сравнению с СДНФ, число конъюнкций, которые могут не включать некоторые аргументы или их инверсии.

Все методы минимизации логических функций базируются на аксиомах и теоремах алгебры логики.

В методе Карно используются карты (диаграммы) Карно, свойства которых основаны на теореме полного склеивания.

Карта Карно изображается в виде четырехугольника, разделенного на квадраты (клетки), и внешних скобок, определяющих область действия аргументов  $X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0$ . Количество клеток карты равно числу наборов таблицы истинности логической функции (ЛФ). Изображение ЛФ с помощью карты Карно является более компактным, чем таблица истинности.

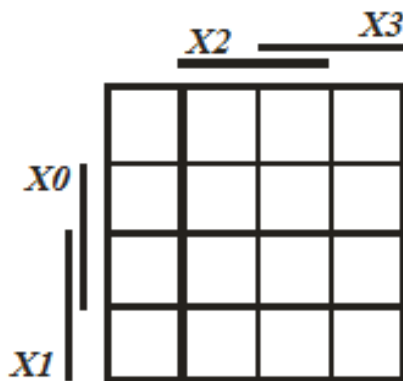


Рис. 3.4 – Карта Карно

Каждая клетка карты Карно соответствует определенному набору таблицы истинности. В каждую клетку записывается значение функции  $Y$  соответствующего набора.



Аргументы функции  $X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0$  располагаются по внешним сторонам карты, напротив ее столбцов и строк. Значение каждого аргумента и скобки относится ко всему столбцу или строке.

Каждая скобка делит карту Карно на две равные части:

В одной половине, отмеченной скобкой, значение аргумента равно единице (прямое значение аргумента  $X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0$ ).

В другой половине, значение аргумента равно нулю (инверсное значение аргумента  $\overline{X_3} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_1} \cdot \overline{X_0}$ ).

Карта Карно строится по следующему правилу:

- 1) строится карта с числом клеток  $2^n$ , где  $n$  – ранг функции;
- 2) по внешним сторонам карты определенным образом располагаются аргументы. При  $n > 2$  ( $n = 3, 4, 5$ ) аргументы располагаются с перекрытием;
- 3) для каждого набора таблицы истинности отыскивается клетка карты;
- 4) в найденную клетку записывается значение функции для данного набора.

Карты Карно имеют следующие свойства. Клетки карты, отличающиеся значением только одной переменной, называются соседними. К соседним клеткам применима теорема полного склеивания: «два логических выражения одного ранга, отличающиеся входением только одной переменной, склеиваются по этой переменной». Например,  $X_1 \cdot X_2 \vee X_1 \cdot \overline{X_2} = X_1$

Каждая клетка карты Карно имеет четыре соседние клетки: верхнюю, нижнюю, левую и правую.

### 3.2.3 Порядок заполнения карты Карно

Для минимизации функции  $Y$  методом Карно даны четыре индивидуальные задания:

1. Номеров аргументов (1, 2, 3, 4) и аргументы ( $X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0$ ) для заданной схемы (табл. 3.2).
2. Схема расположения номеров аргументов карты Карно (рис. 3.4).

3. Схема расположения аргументов карты Карно (рис. 3.5).

4. Переключательная функция  $Y$  (3.1).

Таблица 3.2 Номера аргументов и аргументы для заданной схемы

Номер варианта	Номер схемы	Аргумент			
		1	2	3	4
0	0	$X_3$	$X_2$	$X_1$	$X_0$

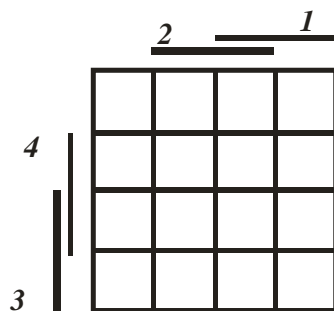


Рис. 3.5. Схема расположения номеров аргументов карты Карно

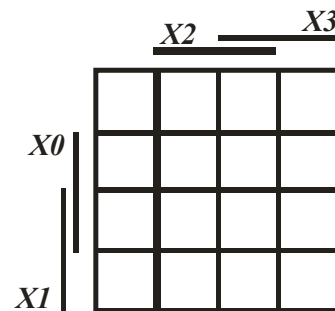


Рис. 3.6. Схема расположения аргументов карты Карно

Запишем аргументы в карте Карно в соответствии с табл. 3.4. Каждой клетке карты Карно можно поставить в соответствие набор таблицы истинности. Аргументы функции располагаются по внешним сторонам карты напротив ее столбцов и строк. Значение аргументов  $X_3$  и  $X_2$  относится ко всем столбцам, а значение аргументов  $X_1$  и  $X_0$  относится ко всем строкам таблицы.

Каждый аргумент делит карту на две равные части: в одной части аргументы равны единице (прямое значение), в другой – нулю (инверсное значение). Значения аргументов определяется внешними скобками (линиями). Восемь аргументов, расположенных напротив каждой скобки, принимают прямое значение. Остальные восемь аргументов принимают инверсное значение.

Внешние скобки располагаются с перекрытием для обеспечения основного свойства карты Карно: каждая клетка карты имеет четыре соседние клетки сверху, снизу, слева и справа. В соседних клетках наборы аргументов отличаются значением только одной переменной.

С учетом сворачиваемости карты в цилиндр по горизонтали все крайние верхние клетки являются соседними с крайними нижними клетками. С учетом

сворачиваемости карты в цилиндр по вертикали все крайние левые клетки являются соседними с крайними правыми клетками.

Запишем в каждую клетку аргументы  $X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0$  (рис. 3.7.).

		$X_2$		$X_3$	
		—————		—————	
		$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$
$X_0$		$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$
		$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$
		$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$
$X_1$		$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$

Рис.3.7 – Карта Карно с аргументами  $X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0$

Преобразуем аргументы  $X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0$  в исходные конъюнкции с учетом значений аргументов, расположенных на внешних сторонах карты (рис. 3.8.).

В одной половине, отмеченной скобкой, значение аргумента имеет прямое значение  $X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot X_0$ . В другой половине без скобки, значение аргумента имеет инверсное значение  $\bar{X}_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_0$ ).

		$X_2$		$X_3$	
		—————		—————	
		$\bar{X}_3\bar{X}_2\bar{X}_1\bar{X}_0$	$\bar{X}_3X_2\bar{X}_1\bar{X}_0$	$X_3X_2\bar{X}_1\bar{X}_0$	$X_3\bar{X}_2\bar{X}_1\bar{X}_0$
$X_0$		$\bar{X}_3\bar{X}_2\bar{X}_1X_0$	$\bar{X}_3X_2\bar{X}_1X_0$	$X_3X_2\bar{X}_1X_0$	$X_3\bar{X}_2\bar{X}_1X_0$
		$\bar{X}_3\bar{X}_2X_1X_0$	$\bar{X}_3X_2X_1X_0$	$X_3X_2X_1X_0$	$X_3\bar{X}_2X_1X_0$
		$\bar{X}_3\bar{X}_2X_1\bar{X}_0$	$\bar{X}_3X_2X_1\bar{X}_0$	$X_3X_2X_1\bar{X}_0$	$X_3\bar{X}_2X_1\bar{X}_0$
$X_1$		$\bar{X}_3\bar{X}_2X_1\bar{X}_0$	$\bar{X}_3X_2X_1\bar{X}_0$	$X_3X_2X_1\bar{X}_0$	$X_3\bar{X}_2X_1\bar{X}_0$

Рис.3.8 – Карта Карно с исходными конъюнкциями

Определим для каждой исходной конъюнкции двоичное число: аргумент, входящий в исходную конъюнкцию с инверсией, принимает нулевое значение;

аргумент, входящий в исходную конъюнкцию без инверсии, принимает единичное значение (рис. 3.9).

		<u>X2</u>		<u>X3</u>	
		00	01	11	10
X1	X0	0000	0100	1100	1000
		0001	0101	1101	1001
0011		0111	1111	1011	
0010		0110	1110	1010	

Рис.3.9 – Карта Карно с двоичными числами

Определим для каждого двоичного числа номер набора (рис. 3.10). Например, для двоичного числа  $1100_2$  номер набора будет равен  $12_{10}$  ( $1 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 1 = 8 + 4 = 12_{10}$ ).

		<u>X2</u>		<u>X3</u>	
		0	4	12	8
X1	X0	1	5	13	9
		3	7	15	11
2		6	14	10	

Рис.3.10 – Карта Карно с номерами наборов

Запишем в каждую клетку значения функций номеров наборов (рис. 3.11) из таблицы истинности (табл.3.1) или из сокращенной СДНФ (3.1).

		$x_2$		$x_3$	
		0	0	1	1
$x_0$		0	0	1	1
		0	0	0	0
$x_1$		1	0	1	0

Рис.3.11 – Карта Карно со значениями заданной функции

Заклучим единицы в контуры (рис. 3.12). Определение по карте Карно конечных конъюнкций выполняется по следующим правилам:

1. Все соседние единичные клетки должны быть заключены в прямоугольные единичные контуры.
2. Число единиц в контуре должно выражаться числами  $2^0 = 1$ ,  $2^1 = 2$ ,  $2^2 = 4$ ,  $2^3 = 8$  и т.д.
3. Единичные контуры не должны содержать внутри себя нулей.
4. Построение единичного контура следует начинать с единиц, которые могут войти только в один единственный контур.
5. Одна и та же единица может входить в несколько единичных контуров.
6. Единичные контуры могут накладываться друг на друга.
7. Единичные контуры могут содержать разрыв на границе карты.
8. Единичные клетки должны объединяться в наибольшие контуры.
9. Количество контуров должно быть минимальным.



Для выделенных контуров записываем конечные конъюнкции:

$$K_1^4 = \bar{X}_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_1 \cdot \bar{X}_0; \quad (3.5)$$

$$K_2^3 = X_3 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_0; \quad (3.6)$$

$$K_3^2 = X_3 \cdot \bar{X}_1. \quad (3.7)$$

Из конечных конъюнкций составляем ДНФ. Подставляем в (3.4) значения конечных конъюнкций из (3.5), (3.6) и (3.7)

$$Y = \bar{X}_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_1 \cdot \bar{X}_0 \vee X_3 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_0 \vee X_3 \cdot \bar{X}_1. \quad (3.8)$$

### 3.2.3. Проверка минимизации импликантной матрицей

Сокращенная ДНФ может оказаться не минимальной и содержать ошибки. Для установления минимальной формы необходимо проверить функцию на наличие избыточных (лишних) конечных конъюнкций.

Импликантная матрица строится следующим образом:

1. Исходные конъюнкции располагаются в столбцах.
2. Конечные конъюнкции располагаются в строках.
3. Если конечная конъюнкция поглощает исходную конъюнкцию, то на пересечении строки и столбца ставится знак «+».

4. Если знак «+» оказался единственным в столбце, то он обводится кружком « $\oplus$ ». Все знаки «+» выбранной строки также обводятся кружками. Конечная конъюнкция, относящаяся к этой строке, является обязательной.

5. Если все не обведенные знаки «+» конечной конъюнкции дублируют обведенные знаки «+» в столбцах, то данная конечная конъюнкция является избыточной (лишней). Избыточная конъюнкция исключается из логической функции.

6. Если в импликантной матрице хотя бы в одном столбце отсутствует знак «+», то необходимо перейти к пункту 3.2.1 и выполнить повторную минимизацию.

Таблица 3.5. Импликантная матрица

КК	ИК					
	$\bar{X}_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_1 \cdot \bar{X}$	$X_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_0$	$X_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{X}_1 \cdot X_0$	$X_3 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_0$	$X_3 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_1 \cdot X_0$	$X_3 \cdot X_2 \cdot X_1 \cdot \bar{X}_0$
$\bar{X}_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_1 \cdot \bar{X}$	$\oplus$					
$X_3 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_0$				$\oplus$		$\oplus$
$X_3 \cdot \bar{X}_1$		$\oplus$	$\oplus$		$\oplus$	

Выводы по проверке конечных конъюнкций:

1. Минимизация функции  $F_1$  выполнена правильно и не имеет лишних конечных конъюнкций.

2. Функция  $Y = \bar{X}_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_1 \cdot \bar{X}_0 \vee X_3 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_0 \vee X_3 \cdot \bar{X}_1$  является минимальной ДНФ (МДНФ).

### 3.2.4. Построение логической схемы

Разработаем логическую схему, реализующую выражение (3.8)

$$Y = \bar{X}_3 \cdot \bar{X}_2 \cdot X_1 \cdot \bar{X}_0 \vee X_3 \cdot X_2 \cdot \bar{X}_0 \vee X_3 \cdot \bar{X}_1.$$

Схемы комбинационного автомата, реализованного на логических элементах и реле, показаны на *рис. 3.13* и *3.14*.



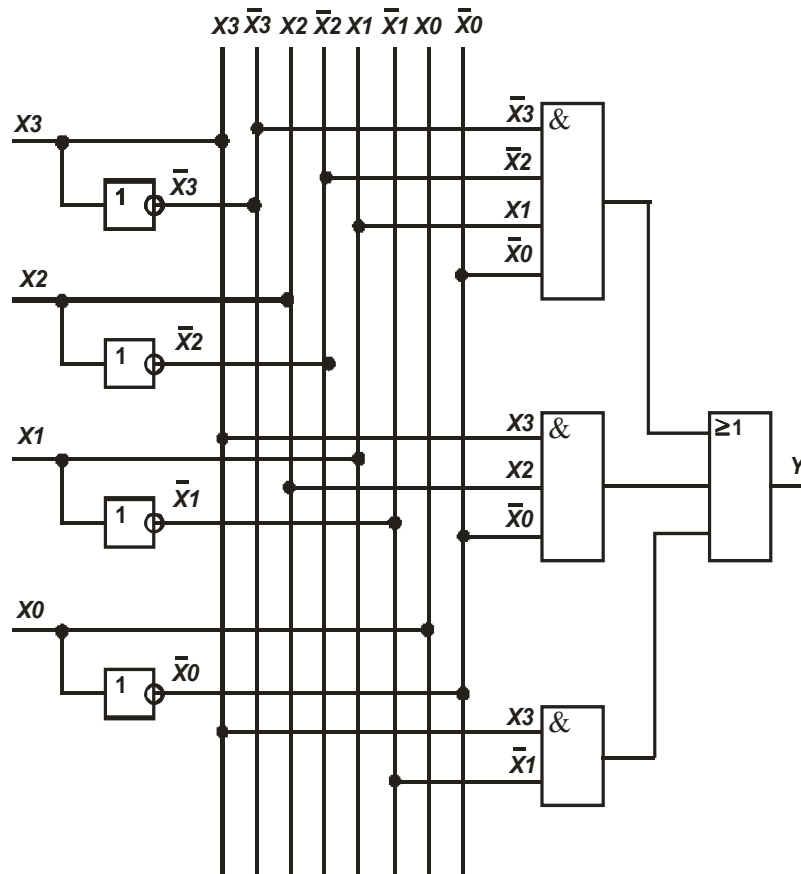


Рис. 3.13. Схема комбинационного автомата на логических элементах

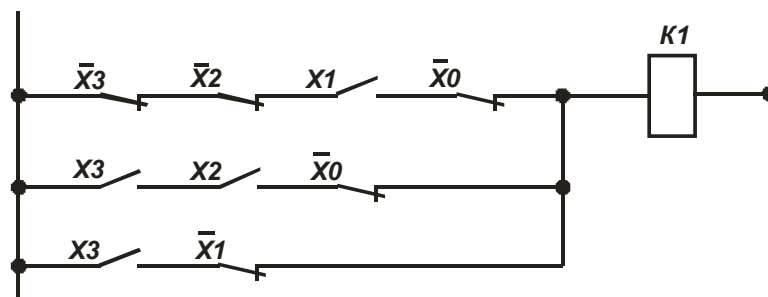


Рис. 3.14. Схема комбинационного автомата на реле

45 Индивидуальные задания к курсовому проекту

Табл.4.1 Аргументы и номера аргументов карты Карно

Номер варианта	Номер схемы	Номер аргумента			
		1	2	3	4
1.	1	X0	X1	X2	X3

2.	1	X0	X2	X3	X1
3.	1	X0	X3	X1	X2
4.	1	X0	X2	X1	X3
5.	1	X0	X1	X3	X2
6.	1	X0	X3	X2	X1
7.	1	X1	X0	X2	X3
8.	1	X1	X2	X3	X0
9.	1	X1	X3	X0	X2
10.	1	X1	X0	X3	X2
11.	1	X1	X3	X2	X0
12.	1	X1	X2	X0	X3
13.	1	X2	X0	X1	X3
14.	1	X2	X1	X3	X0

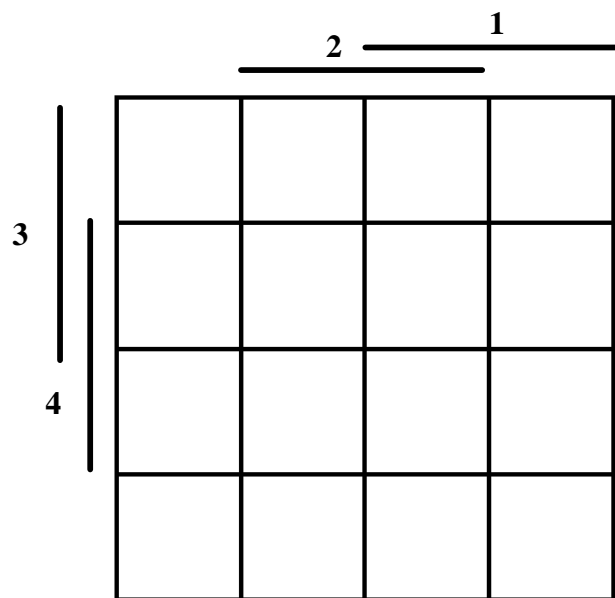


Рис.4.2. Схема расположения номеров аргументов карты Карно

Табл.4.2. Совершенная дизъюнктивная нормальная форма СДНФ

№ вар.	Совершенная дизъюнктивная нормальная форма СДНФ
1	$F1 = \vee K_i^4$ , при $i = 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14$
2	$F2 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 15$
3	$F3 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 1, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 15$
4	$F4 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 1, 2, 7, 9, 11, 13, 14, 15$
5	$F1 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13$
6	$F2 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 1, 6, 7, 8, 9, 12, 14, 15$
7	$F3 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 1, 2, 7, 8, 11, 13, 14, 15$
8	$F4 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 1, 2, 3, 10, 12, 13, 14, 15$
9	$F1 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 1, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14$
10	$F2 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 1, 2, 7, 8, 9, 11, 13, 15$
11	$F3 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 1, 2, 3, 8, 10, 12, 14, 15$
12	$F4 = \vee K_i^4$ , при $i = 1, 2, 3, 4, 9, 11, 13, 14, 15$
13	$F1 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 1, 2, 7, 8, 9, 11, 13, 14$
14	$F2 = \vee K_i^4$ , при $i = 0, 1, 2, 3, 8, 10, 12, 13, 15$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семикопенко И.А. Лифты, строительные подъемники и вышки [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Семикопенко И.А., Вялых С.В., Герасименко В.Б.— Электрон. текстовые данные.— Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012.— 88 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28353.html>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
  2. Путинцев Н.Н. Автоматизированный электропривод [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие/ Путинцев Н.Н., Бородин А.М., Сысенко В.Т.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014.— 80 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45355.html>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
  3. Сипайлова Н.Ю. Вопросы проектирования электрических аппаратов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Сипайлова Н.Ю.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2014.— 168 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34657.html>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
- б) дополнительная учебная литература
4. Проектирование автоматизированных систем управления [Электронный ресурс]: методические указания к курсовому и дипломному проектированию для студентов дневного и очно-заочного отделения, изучающих дисциплину "Проектирование автоматизированных систем управления по направлению подготовки 15.03.04 "Автоматизация технологически процессов и производств / СПГУТД ; сост.: В. В. Сигачева, Д. А. Шурыгин. - СПб., 2015. - 24 с. – Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_ext\\_inf\\_publish.php?id=2307](http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2307), по паролю.
  5. Трофимов В.Б. Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами [Электронный ресурс]/ Трофимов В.Б., Кулаков С.М.— Электрон. текстовые данные.— М.: Инфра-Инженерия, 2016.— 232 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/51726.html>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.