

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
"КОМБИНАЦИОННЫЕ
УСТРОЙСТВА"
И "ЦИФРОВЫЕ АВТОМАТЫ"

МОСКВА
1986

МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
"КОМБИНАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА" И "ЦИФРОВЫЕ АВТОМАТЫ"

Утверждено
на заседании редсовета
16 мая 1985 г.

МОСКВА 1986

68I.142 (075)

М 545

УДК: 68I.322 (076.5)

Авторы-составители: Р.М. Кондратьев, Л.В. Кошелькова,
Б.С. Мельников

Методические указания к лабораторным работам "Комбинационные устройства" и "Цифровые автоматы" / Кондратьев Р.М., Кошелькова Л.В., Мельников Б.С. - М.: МАИ, 1986. - 30 с., ил.

Методические указания к лабораторным работам "Комбинационные устройства" и "Цифровые автоматы" предназначены для студентов факультета "Радиоэлектроники ЛА", изучающих дисциплины "Микропроцессоры и вычислительные устройства" и "ЭВМ и микро ЭВМ".

Проведение работ в учебном классе существенно отличается от работы в стандартных учебных лабораториях, что и послужило поводом к написанию данных методических указаний.

Рецензенты: Е.Ф. Юрков, П.Д. Давидов, О.П. Глудкин

1. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В УЧЕБНОМ КЛАССЕ КАФЕДРЫ

1.1. Состав учебного класса

Лабораторные работы по синтезу цифровых устройств выполняются в специализированном учебном классе, оснащенном техническими средствами обучения (ТСО). В состав учебного класса входят:

- 24 рабочих места для студентов;
- стол преподавателя с пультом управления;
- классная доска с экраном;
- технические средства обучения.

Технические средства обучения предназначены для формирования и воспроизведения различного рода информации, синтеза цифровых устройств и контроля знаний студентов.

Для проведения лабораторных работ используются следующие технические средства:

- комплекс телевизионный ДС-1002;
- графопроектор "Лектор-2000";
- диапроектор "Альфа 35-50 Автофокус";
- магнитофон "Комета-212", усилитель "Радиотехника-020" и акустическая система 35 АС-212.

Для контроля знаний студентов используются две системы: стандартная автоматизированная система РИТМ-2М и телевизионная система контроля работы студентов на макетах, разработанная на кафедре.

1.2. Работа студентов в учебном классе

Работа студентов в учебном классе происходит в следующем порядке:

- а) прослушивание студентами установочной лекции. Цикл занятий в лаборатории начинается с вводной лекции о порядке выполнения работ. На каждом занятии проводится тематическая лекция по теоретической части выполняемой на данном занятии лабораторной работы.

С

Московский авиационный институт, 1986 г.

В случае использования графопроектора студенты наблюдают изображение на экране классной доски, а при использовании телевизионного комплекса — на экранах телевизоров, установленных на столах студентов;

б) опрос студентов при помощи автоматизированной системы "РИТМ-2М". Опрос студентов по теоретической части проводится с помощью автоматизированной системы контроля знаний "РИТМ-2М". При работе с этой системой преподаватель предлагает вопросы с помощью средств статической проекции (графопроектор, телевизионный комплекс), а студенты отвечают на вопросы с помощью пультов, установленных на их столах. Коды правильных ответов (от 0 до 15) предварительно записываются в память ЭЕМ.

Начало работы задает преподаватель нажатием клавиши "П" на пульте управления. При этом на пультах студентов загорается сигнал "ОТВ" ("Отвечайте"). Студент, обдумав ответ и получив его в виде числа, должен ввести это число в коде 1-2-4-8 нажатием соответствующих клавиш на своем пульте. После набора кода ответа нужно нажать кнопку "Конец ввода". Система анализирует ответы студентов, и после нажатия преподавателем кнопки "Ст" на каждый пульт подается сигнал "+", если студент ответил правильно, и сигнал "-", если он ответил неправильно. По результатам ответов на ряд вопросов система автоматически проставляет оценку каждому студенту;

в) получение индивидуального задания. При получении индивидуального задания студенты используют плакаты "Варианты заданий по комбинационной логике" и "Варианты заданий по конечным автоматам", расположенные на стене лаборатории;

г) выполнение теоретической части задания. Порядок выполнения теоретической части зависит от конкретной лабораторной работы и будет описан в соответствующих разделах.

При выполнении студентами теоретической части задания преподаватель демонстрирует с помощью телевизионного комплекса основные этапы решения типового примера. Для приема телевизионной информации студенты должны подготовить телевизоры к работе, как было описано в подпункте а) данного раздела. Чтобы успешно выполнить задание, студенты должны стремиться работать в темпе, который задается преподавателем с помощью демонстрационного примера. Если кто-либо из студентов работает в ином темпе, он может воспользоваться плакатами, вывешенными в лаборатории, на которых представлена необходимая информация по всем лабораторным работам.

Выполнение теоретической части задания завершается построением временных диаграмм. Соответствие эюр выходного напряжения заданию (истинностной таблице) свидетельствует о правильности выполнения теоретической части;

д) выполнение экспериментальной части. При выполнении экспериментальной части задания необходимо изменить режим работы телевизора установкой тумблера в ящике левого стола в верхнее положение. При этом на экране телевизора должны появиться четыре "строки отображения" (горизонтальные полосы с вертикальными линиями), соответствующие телевизионной развертке для наблюдения четырех процессов одновременно. Студенты просматривают сигналы с выхода схемы и с трех промежуточных точек. Убедившись, что эюры во всех точках схемы соответствуют теоретически построенным, студенты делают заключение о том, что синтезированная схема функционирует правильно и реализует заданную логическую функцию;

е) предъявление результатов эксперимента преподавателю. Результаты эксперимента проверяются преподавателем с помощью телевизионной системы контроля работы студентов на макетах. Преподаватель имеет возможность нажатием кнопки коммутатора телевизионной системы контроля подключить к своему телевизору цепи сигналов макетов, расположенных на любом из рабочих мест. Студент, составив правильно работающую схему, должен подойти к столу преподавателя и назвать номер рабочего места. Преподаватель, подключив указанный макет к своему телевизору, определяет соответствие временных диаграмм исходному заданию;

ж) оформление отчета. Отчеты по лабораторным работам рекомендуются выполнять в лекционных тетрадях. Отчет должен содержать: наименование лабораторной работы, задание, наименование и содержание основных этапов теоретической части задания, заключение о результатах эксперимента.

1.3. Описание лабораторного комплекса

Лабораторный комплекс включает в себя задающую часть, макеты-приставки, телевизионный дисплей и блок питания. Макеты подключаются к задающей части при помощи штепсельного разъема, TV-дисплей-тумблера, расположенного внутри левой части рабочего места. Здесь мы опишем только задающую часть. Макеты-приставки будут подробно рассмотрены в соответствующих разделах.

Задающая часть решает две задачи: формирует все необходимые для работы макетов управляющие сигналы и обеспечивает возможность

наблюдения на экране TV дисплея до четырех процессов одновременно. Блок-схема задающей части изображена на рис. I.1. Четыре логических переменных и их инверсии генерируются на счетчике-формирователе переменных.

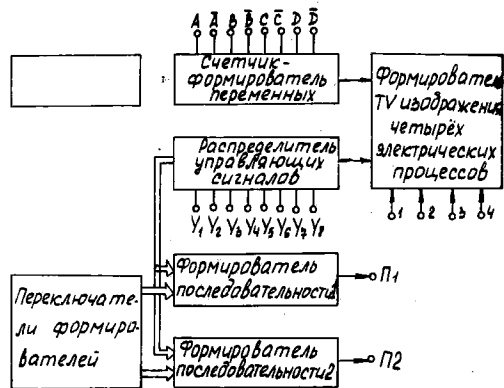


Рис. I.1

Формирователь последовательностей П1 и П2 служит для создания последовательностей информационных сигналов длиной до 8 двоичных символов. Каждый символ имеет длительность переменного В, так что соседние одинаковые символы сливаются в непрерывный потенциал. Набор последовательностей осуществляется при помощи переключателей (гумблеров), расположенных на передней панели задающей части.

Логические переменные П1 и П2 описываются выражениями:

$$П1 = \bigvee_{i=1}^8 Y_i^1 K K_i (B, C, D); \quad П2 = \bigvee_{i=1}^8 Y_i^2 K K_i (B, C, D);$$

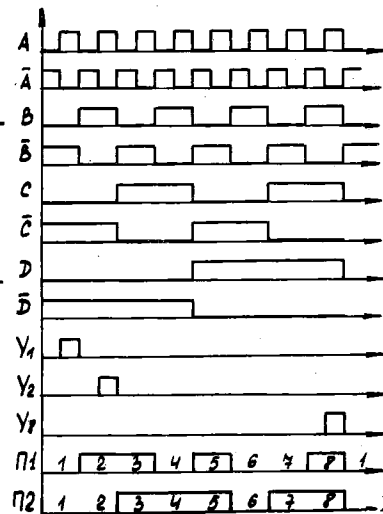
где Y_i^1, Y_i^2 - логические сигналы переключателей; $K K_i (B, C, D)$ - конъюнктивная констигента переменных B, C и D.

Эпюры напряжений на всех выходах задающей части изображены на рис. I.2. Последовательности П1 и П2 построены для случая:

$$Y_1^1 = Y_4^1 = Y_6^1 = Y_7^1 = Y_1^2 = Y_2^2 = Y_6^2 = 0;$$

$$Y_2^1 = Y_3^1 = Y_5^1 = Y_8^1 = Y_3^2 = Y_4^2 = Y_5^2 = Y_7^2 = Y_8^2 = 1.$$

Для удобства контроля работы синтезируемых устройств служит формирователь TV изображения четырех электрических процессов. Поскольку мы имеем дело только с цифровыми устройствами, работающими с двоичными сигналами, изображение на телевизионном экране формируется в условном виде, когда такты разделяются вертикальными линиями, а значения переменных внутри такта отображаются горизонтальными линиями, расположенными на двух уровнях.



2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО СИНТЕЗУ КОМБИНАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

2.1. Реализация устройств на элементах И, ИЛИ, НЕ

2.1.1. Теоретическая часть

Логические функции и конъюнкция (логическое И), дизъюнкция (логическое ИЛИ), отрицание (логическое "НЕ") представляют собой операции булевой алгебры. Набор этих функций образует функционально полную систему логических функций и реализуется соответствующими схемными элементами И, ИЛИ и НЕ.

Функционально полной системой логических функций называется совокупность логических функций, посредством которых могут быть выражены любые логические функции от произвольного числа переменных [2].

Целью лабораторной работы является ознакомление с нормальными формами представления логических функций, способами их преобразования и минимизации, а также их реализации на элементах И, ИЛИ, НЕ.

Рассмотрим разновидности нормальных форм логических функций. Дизъюнктивной нормальной формой логической функции называется дизъюнкция элементарных конъюнкций, где в элементарную конъюнкцию

ункцию могут входить логические переменные в своем непосредственном виде или в виде своих отрицаний. Например,

$$F(A, B, C, D) = A\bar{B}\bar{C} + A\bar{C}\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + ABCD. \quad (2.1)$$

Аналогично определяется конъюнктивная нормальная форма:

$$F(A, B, C, D) = (A + \bar{B})(C + D)(\bar{A} + \bar{B} + C)(A + \bar{B} + \bar{C} + D). \quad (2.2)$$

Среди нормальных форм представления логических функций особое место занимают совершенные и минимальные формы.

Совершенная дизъюнктивная нормальная форма (СДНФ) логической функции от n логических переменных представляет собой дизъюнкцию таких элементарных конъюнкций, которые являются функциями всех логических переменных. Например,

$$F(A, B, C, D) = \bar{A}\bar{B}\bar{C}D + A\bar{B}\bar{C}D + \bar{A}\bar{B}CD + A\bar{B}CD. \quad (2.3)$$

Аналогично определяется совершенная конъюнктивная нормальная форма (СКНФ):

$$F(A, B, C, D) = (A + \bar{B} + C + D)(A + \bar{B} + \bar{C} + D)(\bar{A} + B + C + D). \quad (2.4)$$

Каждая логическая функция имеет единственную совершенную дизъюнктивную нормальную форму (совершенную конъюнктивную нормальную форму).

Минимальной дизъюнктивной нормальной формой (МДНФ) называется некоторое эквивалентное исходному логическое выражение, содержащее минимальное количество наипростейших элементарных конъюнкций. При схемной реализации такому выражению соответствует наименьшее количество элементов "И" и наименьшее количество входов каждого элемента.

Аналогично минимальная конъюнктивная нормальная форма (МКНФ) определяется как некоторое эквивалентное исходному логическое выражение, содержащее минимальное количество наипростейших элементарных дизъюнкций.

Для реализации на макете заданных логических функций следует найти соответствующие им минимальные формы. Нахождение минимальных форм может быть выполнено алгебраическими методами или с помощью диаграмм Карно [2]. Принципы минимизации логических функций будут проиллюстрированы далее на конкретном примере.

2.1.2. Описание макета

Лабораторный макет включает в себя набор элементов "И" и "ИЛИ", которые могут соединяться между собой и подключаться к сигналам логических переменных и их отрицаний, подведенным на переднюю панель макета от задающей части лабораторного комплекса.

Если логические переменные задаются в положительной логике, то макет реализует дизъюнктивные нормальные формы логических функций, когда группа схем "И" работает на одну схему "ИЛИ". В случае отрицательной логики макет реализует конъюнктивные нормальные формы записи логических функций, когда группа схем "ИЛИ" работает на одну схему "И".

Поскольку переменные задающей части сформированы в положительной логике, при реализации конъюнктивных нормальных форм вместо входных переменных нужно использовать их отрицания и наоборот. Входы незадействованных схем И (ИЛИ) заземляются при помощи вилок.

2.1.3. Порядок выполнения лабораторной работы

Порядок выполнения работы определяется общими правилами, изложенными в разд. 1.2.

Укажем основные этапы выполнения теоретической части лабораторной работы:

1. Составить истинностную таблицу заданной функции.
2. Построить совершенные нормальные формы (дизъюнктивную и конъюнктивную).
3. Найти минимальные формы (МДНФ и МКНФ) по соответствующим диаграммам Карно.
4. Показать результат минимизации преподавателю.
5. Нарисовать две логические схемы, реализующие МДНФ и МКНФ.
6. Нарисовать эпюры напряжений для обеих схем с указанием типа логики (положительная или отрицательная).
7. Проверить, совпадают ли эпюры выходного напряжения с заданием.
8. Показать результат преподавателю и получить разрешение на эксперимент.

2.1.4. Пример

Задание. Синтезировать схему, реализующую заданную функцию в нормальной форме записи. Функция истинна на наборах: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 13, 14.

В процессе эксперимента следует убедиться, что напряжения во всех точках схемы соответствуют эграм, и показать результат преподавателю.

2.2. Реализация устройств на элементах И-НЕ, ИЛИ-НЕ

2.2.1. Теоретическая часть

Цель работы – ознакомление с функционально полными системами логических функций "штрих Шеффера" и "стрелка Пирса" и изучение методов построения минимальных логических цепей на элементах И-НЕ, ИЛИ-НЕ.

Функция "штрих Шеффера" (" $\bar{A} \cdot \bar{B}$ ", логическое И-НЕ) определяется через операции булевой алгебры как отрицание конъюнкции:

$$A/B/C/D = A \cdot B \cdot C \cdot D, \quad (2.9)$$

а функция "стрелка Пирса" (" $A \downarrow B$ ", логическое ИЛИ-НЕ) как отрицание дизъюнкции логических переменных:

$$A \downarrow B \downarrow C \downarrow D = A + B + C + D. \quad (2.10)$$

Каждая из функций "штрих Шеффера" и "стрелка Пирса", взятая в отдельности, составляет функционально полную систему логических функций. С целью упрощения схемной реализации эти системы дополняются константами: "ноль" (к элементам ИЛИ-НЕ) и "единица" (к элементам И-НЕ). Тогда отрицание переменной

$$\bar{A} = A \downarrow 0 = A / 1. \quad (2.11)$$

С учетом соотношения (2.11) будем допускать наличие отрицаний в выражениях, предназначенных для реализации на элементах И-НЕ, ИЛИ-НЕ.

Формулы алгебры логики, записанные через операции "штрих Шеффера" и "стрелка Пирса", не имеют формальных правил минимизации. Поэтому минимизируются эквивалентные им выражения в булевой алгебре, а затем полученные минимальные нормальные формы преобразуются к операциям "штрих Шеффера" или "стрелка Пирса" в соответствии с выражениями (2.9...2.11). Правила преобразования подробно изложены в [2].

В результате перехода от нормальных форм (дизъюнктивной и конъюнктивной) к операциям "штрих Шеффера", "стрелка Пирса" получается четыре выражения, из которых для схемной реализации следует выбрать два простейших, но так, чтобы одно было представлено через операцию "штрих Шеффера", а другое – через "стрелку Пирса".

При определении сложности реализации необходимо учитывать:

- количество элементов;
- общее количество входов;
- количество ступеней в схеме;
- количество переменных, входящих в минимальные формы с отрицанием.

2.2.2. Описание макета

Лабораторный макет состоит из набора интегральных элементов I55 или I33 серии. Упрощенная схема двухвходового элемента изображена на рис. 2.8,а, а таблица состояний этой схемы на рис. 2.8,б.

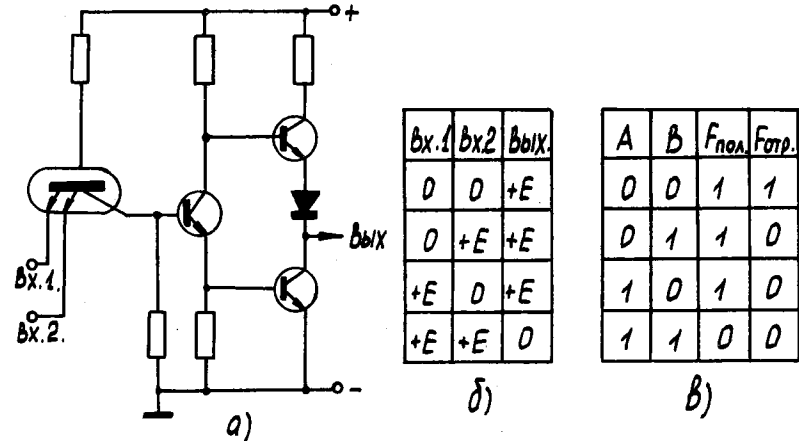


Рис. 2.8

Как видно из табл. 2.8,в, в положительной логике (когда низкий уровень потенциала соответствует логическому нулю, а высокий – логической единице) данная схема реализует функцию "штрих Шеффера", а для отрицательной (инверсной) логики – функцию "стрелка Пирса". Маркировка логических переменных выполнена для положительной логики, поэтому при построении схем на элементах ИЛИ-НЕ необходимо вместо переменных использовать их отрицание (и наоборот).

Подключение элементов к сигналам входных логических переменных и соединение между собой осуществляется при помощи проводов или двухполюсных вилок.

2.2.3. Порядок выполнения лабораторной работы

При выполнении теоретической части работы необходимо:

- 1) составить таблицу истинности заданной функции;
- 2) найти совершенные нормальные формы (дизъюнктивную и конъюнктивную);
- 3) построить дизъюнктивную и конъюнктивную диаграммы Карно и найти минимальные формы: МДНФ и МКНФ;
- 4) по минимальным формам построить логические выражения в операциях "штрих Шеффера" и "стрелка Пирса" (всего - четыре выражения);
- 5) показать результат преподавателю;
- 6) для двух простейших выражений построить логические схемы;
- 7) нарисовать эпюры напряжений во всех точках схем;
- 8) проверить, совпадают ли эпюры напряжений с заданием;
- 9) показать результат преподавателю и получить разрешение на эксперимент.

2.2.4. Пример

Задание. Синтезировать схему на элементах И-НЕ, ИЛИ-НЕ, реализующую функцию, истинную на наборах: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 13, 14.

При выполнении работы по синтезу устройств на элементах И-НЕ, ИЛИ-НЕ основные этапы, связанные с нахождением минимальных нормальных форм, выполняются точно так же, как при реализации функций в нормальной форме записи (см. разд. 2.1.4).

Рассматривая ту же функцию, что и в предыдущем примере, придем во внимание, что минимальные нормальные формы определены (выражения 2.7 и 2.8).

Выполним переход от МДНФ к выражению через операции "штрих Шеффера" и "стрелка Пирса":

$$F(A, B, C, D) = \bar{A}B + B\bar{C} + \bar{B}\bar{D} + A\bar{B}C = (\bar{A}/B) / ((B/\bar{C}) / (\bar{B}/\bar{D})) / (A/\bar{B}/C); \quad (2.12)$$

$$F(A, B, C, D) = \bar{A}B + B\bar{C} + \bar{B}\bar{D} + A\bar{B}C = (A/\bar{B}) + (\bar{B}/C) + (B/\bar{D}) + (\bar{A}/B/\bar{C}). \quad (2.13)$$

Аналогично выполним переход от МКНФ:

$$F(A, B, C, D) = (A + B + \bar{D})(\bar{A} + \bar{B} + \bar{C})(B + C + \bar{D}) = (A + B + \bar{D}) + (\bar{A} + \bar{B} + \bar{C}) + (B + C + \bar{D}); \quad (2.14)$$

$$F(A, B, C, D) = (A + B + \bar{D})(\bar{A} + \bar{B} + \bar{C})(B + C + \bar{D}) = (\bar{A}/\bar{B}/D) / (A/B/C) / (\bar{B}/\bar{C}/D). \quad (2.15)$$

Выражения (2.12) и (2.15), представленные через операцию "штрих Шеффера", требуют для своей реализации одинаковое количество элементов и входов (5 элементов и 13 входов), однако выражению (2.12) соответствует меньше ступеней в схеме, поэтому оно выбирается для реализации.

Из двух выражений (2.13) и (2.14), представленных через операцию "стрелка Пирса", простейшим является выражение (2.14), так как оно требует для реализации меньшего количества элементов.

Схема для реализации выражения (2.12) изображена на рис. 2.9. Временные диаграммы, поясняющие работу схемы, показаны на рис. 2.10.

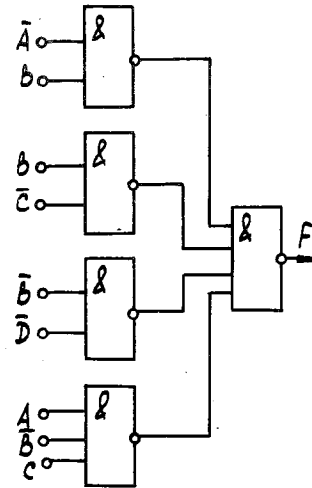


Рис. 2.9

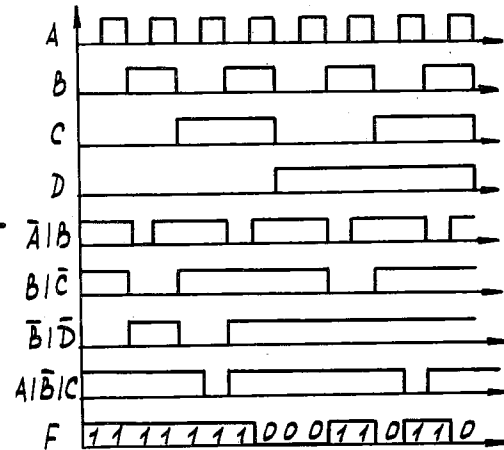


Рис. 2.10

При построении временных диаграмм необходимо учитывать, что операция "стрелка Пирса" реализуется на макете в отрицательной логике.

Построив эпюры напряжений во всех точках схем, следует проверить, совпадает ли эпюра напряжения на выходе схемы с заданной функцией.

Закончив теоретическую часть задания и убедившись в том, что эпюра напряжения на выходе схемы соответствует заданию, нужно показать результат преподавателю и получить разрешение на эксперимент.

В процессе эксперимента следует убедиться, что эпюры напряжения во всех точках схемы соответствуют построенным теоретически, и показать результат преподавателю.

2.3. Реализация устройств на мультиплексорах

2.3.1. Теоретическая часть

Мультиплексором называется устройство, служащее для подключения одного из входных проводов x_0, x_1, \dots, x_{k-1} шины x к выходному проводу Y . Подключение осуществляется кодом управления $S = (S_l, S_{l-1}, \dots, S_1, S_0)$. Для реальных микросхем число входов k равно 4, 8 или 16, в связи с чем разрядность кода управления составляет 2, 3 или 4 двоичных единицы.

Мультиплексор может быть описан следующим логическим выражением:

$$Y = \bar{S}_l \cdot \bar{S}_{l-1} \cdots \bar{S}_1 \bar{S}_0 x_0 + \cdots + S_l \cdot S_{l-1} \cdots S_0 x_{k-1} \quad (2.16)$$

или

$$Y = \sum_{i=0}^{k-1} K K_i x_i,$$

где $K K_i$ — конъюнктивная констигуента номера i кода управления S ; x_i — логическая переменная i -го входа мультиплексора.

Рассмотрим два способа реализации комбинационных логических выражений n переменных $Y = F(b_1, b_2, \dots, b_{n-1}, b_n)$ на мультиплексорах:

а) число входных переменных равно разрядности кода управления: $n = l + 1$.

В этом случае функция Y представляется в СДНФ, определяют номера констигуент единицы и подаются логические уровни единицы на те входы шины x , номера которых совпадают с номерами констигуент;

б) число входных переменных на единицу больше разрядности кода управления: $n = l + 2$.

При такой реализации Y представляется в форме разложения по $(n-1)$ переменной (кроме S_j):

$$Y = (\bar{S}_l \bar{S}_{l-1} \cdots \bar{S}_0) \& Y(0, 0, \dots, \bar{S}_j, 0, 0) \vee (\bar{S}_l \bar{S}_{l-1} \cdots \bar{S}_0) \&$$

$$\& Y(0, 0, \dots, S_j, 0, 0) \vee \cdots \vee (S_l S_{l-1} \cdots S_0) \& Y(1, 1, \dots, S_j, 1, 1)$$

или

$$Y = (\bar{S}_l \bar{S}_{l-1} \cdots \bar{S}_0) \& [Y(0, 0, \dots, \bar{S}_j, 0, 0) \vee Y(0, 0, \dots, S_j, 0, 0)] \vee$$

$$\vee \cdots \vee (S_l S_{l-1} \cdots S_0) \& [Y(1, 1, \dots, \bar{S}_j, 1, 1) \vee Y(1, 1, \dots, S_j, 1, 1)]. \quad (2.17)$$

Функции в квадратных скобках являются логическими функциями одного переменного и, следовательно, могут вырождаться в константу нуля, константу единицы, переменное S_j или отрицание переменного \bar{S}_j .

2.3.2. Описание лабораторного макета

Лабораторный макет включает в себя восьмивходовый мультиплексор, управляемый трехразрядным кодом управления. На управляющие входы подаются три из четырех переменных реализуемой функции $F(A, B, C, D)$, на информационные входы — константа "0", константа "1", четвертое переменное или его отрицание.

2.3.3. Порядок выполнения лабораторной работы

Укажем основные этапы теоретической части работы:

1. Составить таблицу истинности заданной функции.
2. Найти совершенную дизъюнктивную нормальную форму.
3. Выбрать переключающие переменные (4 варианта).
4. Использовать теорему разложения, для чего в СДНФ наборы переключающих переменных вынести за скобки.
5. Определить значения логических сигналов на входах мультиплексора.
6. Нарисовать логическую схему макета.
7. Нарисовать эпюры напряжения для всех точек макета.
8. Показать результат работы преподавателю и получить разрешение на эксперимент.

2.3.4. Пример

Задание. Синтезировать схему на мультиплексоре, реализующую функцию, истинную на наборах: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 13, 14.

СДНФ этой функции имеет вид

$$Y = \bar{D}\bar{C}\bar{B}\bar{A} + \bar{D}\bar{C}\bar{B}A + \bar{D}\bar{C}B\bar{A} + \bar{D}\bar{C}BA + \bar{D}C\bar{B}\bar{A} + \bar{D}C\bar{B}A + \bar{D}CB\bar{A} + \bar{D}CBA + DC\bar{B}\bar{A} + DC\bar{B}A + DCB\bar{A} + DCBA.$$

Примем: $S_2 = D$, $S_1 = C$, $S_0 = B$, $S_j = A$.

Вынесем за скобки переключающие переменные:

$$Y = \bar{D}\bar{C}\bar{B}(A+\bar{A}) + \bar{D}\bar{C}B(A+\bar{A}) + \bar{D}C\bar{B}(A+\bar{A}) + \bar{D}CB(\bar{A}) + DC\bar{B}(A+\bar{A}) + DC\bar{B}(A) + DCB(\bar{A}).$$

Заменяем наборы переключающих переменных констигуентами с индексами. Тогда, упрощая выражение, получим

$$Y = K_0 + K_1 + K_2 + K_3 \bar{A} + K_5 + K_6 A + K_7 \bar{A}.$$

Отсюда значения входных сигналов мультиплексора определяются так:

$$x_0 = x_7 = x_2 = x_5 = 1; \quad x_3 = x_7 = \bar{A}; \quad x_6 = A; \quad x_4 = 0.$$

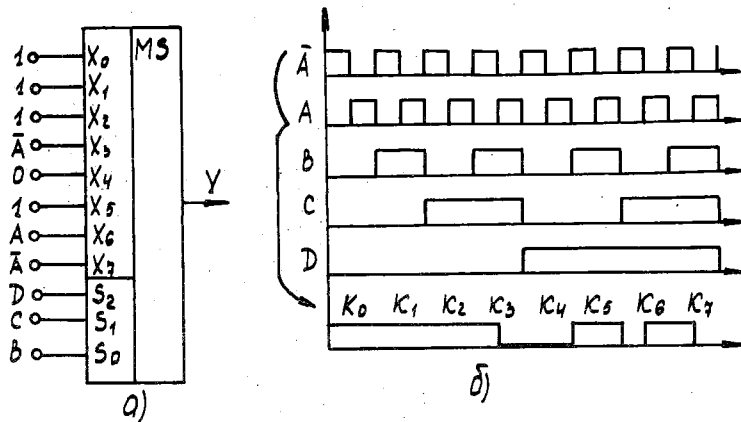


Рис. 2.II

Схема устройства изображена на рис. 2.II,а, а эпюры напряжения во всех точках – на рис. 2.II,б.

2.4. Реализация логических устройств на элементах И-ИЛИ-НЕ

2.4.1. Теоретическая часть

Будем считать, что в нашем распоряжении имеются элементы И-ИЛИ-НЕ, у которых все схемы "И" имеют только два входа, а элементы "ИЛИ" объединяют либо 2, либо 4 элемента "И".

Для преобразования исходной функции четырех переменных $F(A, B, C, D)$ к виду, удобному для реализации, будем использовать следующую процедуру:

1. Находим функцию, инверсную данной.
2. Определяем МДНФ инверсной функции.
3. Оставляем без изменения элементарные конъюнкции, включающие в себя не более двух переменных.
4. Оставшиеся элементарные конъюнкции объединяем в группы, где можно вынести за скобки одну из переменных.
5. Значения скобок примем за новые функции.
6. Переходим к п. 1.

2.4.2. Описание лабораторного макета

Лабораторный макет включает в себя 6 схем И-ИЛИ-НЕ (3 схемы 2x2 И-ИЛИ-НЕ, 3 схемы 2x4 И-ИЛИ-НЕ), на которых можно реализовать любую функцию четырех переменных. Переменные на схемы подаются посредством проводников, входы незадействованных схем И заземляются при помощи вилок.

2.4.3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Построить диаграмму Карно исходной функции.
2. Получить логическое выражение для реализации на элементах И-ИЛИ-НЕ, используя процедуру преобразования.
3. Построить логическую схему макета.
4. Нарисовать эпюры напряжения для всех точек макета.
5. Показать результат работы преподавателю и получить разрешение на эксперимент.
6. Собрать схему и убедиться в правильности ее функционирования.
7. Показать результаты работы преподавателю.
8. Оформить отчет.

2.4.4. Пример

Задание. Построить логическую схему на элементах И-ИЛИ-НЕ, реализующую функцию F , истинную на наборах: 0, 1, 2, 7, 8, 14.

Построим для заданной функции F диаграмму Карно (рис.2.I2,а). Используя правило о недостающих конституентах, определим \bar{F} (рис. 2.I2,б).

Определим МДНФ инверсной функции:

$$F = \overline{BC + AD + AB\bar{C} + B\bar{C}D + A\bar{C}\bar{D}}$$

Из трехбуквенных членов вынесем за скобки B и C :

$$B(A\bar{C} + \bar{C}D) + C(\bar{A}\bar{D})$$

Содержимое скобок рассматриваем как исходные функции

$$B(A\bar{C} + \bar{C}D) + C(\bar{A}\bar{D}) = B(C + \bar{A}\bar{D}) + C(A + D)$$

Окончательно получаем

$$F = \overline{BC + AD + B(C + \bar{A}\bar{D}) + C(A + D)}$$

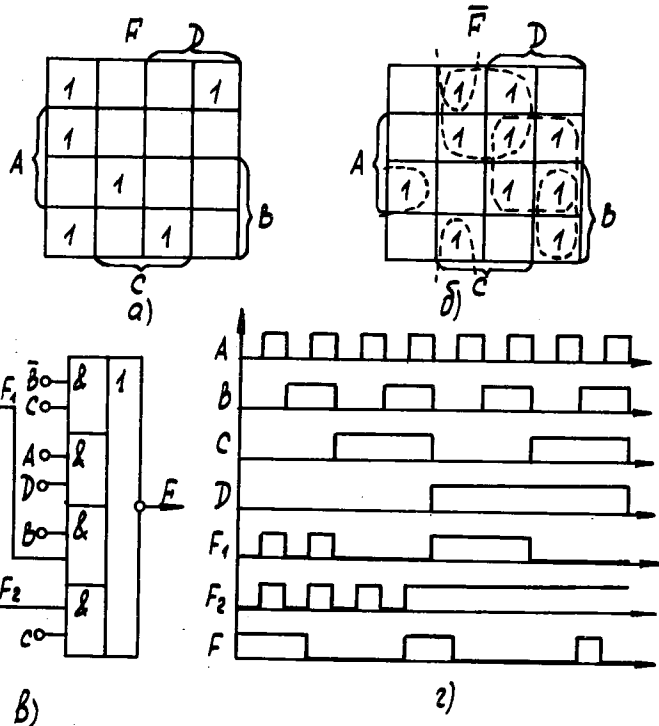


Рис. 2.12

Логическая схема устройства и эпюры напряжений во всех ее точках изображены на рис. 2.12, в и 2.12, г.

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО СИНТЕЗУ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

Цель работы — изучить методы абстрактного и структурного синтеза конечных автоматов.

3.1. Построение автоматов, заданных в абстрактной форме

3.1.1. Теоретическая часть

Автоматом называют дискретный преобразователь информации, способный принимать различные состояния, переходить из одного состояния в другое под действием входных сигналов и формировать выходные сигналы.

В отличие от комбинационных устройств автомат обладает памятью. Информация, записанная в память, рассматривается как внутреннее состояние автомата, определяющее характер его реакции на очередной входной сигнал.

Автомат рассматривают на двух уровнях: абстрактном уровне (абстрактный автомат) и уровне физической реализации (реальный автомат) [4, с. 9–12].

Абстрактный автомат рассматривают на трех алфавитах переменных: входных $X\{x_i\}$, выходных $Y\{y_j\}$ и внутренних $S\{s_k\}$. В реальном автомате каждому символу этих алфавитов ставится в соответствие комбинация значений двоичных переменных.

Функционирование автомата на абстрактном уровне описывается двумя функциями [4, с. 13]: функцией переходов

$$S(t+1) = f(S(t), X(t)) \quad (3.1)$$

и функцией выходов:

$$Y(t) = F(S(t), X(t)) \text{ для автомата Милли; } \quad (3.2)$$

$$Y(t) = F(S(t)) \text{ для автомата Кура. } \quad (3.3)$$

Функции переходов и выходов могут быть представлены направленным графом, таблицами переходов и выходов, матрицами переходов и выходов [4, с. 17–24].

Синтез автомата проводится в два этапа: на этапе абстрактного синтеза по исходному заданию строится граф автомата и таблицы переходов и выходов.

Структурный синтез (см. [4, разд. 4]) начинают с определения необходимого количества элементарных автоматов:

$$N \geq \lceil \log_2 m \rceil.$$

После этого таблицу переходов и выходов преобразуют в кодированную таблицу переходов и выходов путем двоичного кодирования букв алфавита:

$$X, Y, S \rightarrow a, Z, Q. \quad (3.4)$$

По кодированным таблицам определяют функции внешних переходов элементарных автоматов и функции каждого выхода:

$$Q(t+1) = f(a_1, a_2, \dots, a_n, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)_t; \quad (3.5)$$

$$Z(t) = F(a_1, a_2, \dots, a_n, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)_t.$$

После выбора типа триггера находят функции возбуждения элементарных автоматов:

$$q_k^i(t) = f_k^i(a_1, a_2, \dots, a_n, Q_1, Q_2, \dots, Q_l)_t. \quad (3.6)$$

3.1.2. Описание лабораторного макета

Макет содержит два универсальных триггера и набор логических схем "И-ИЛИ", на которых реализуются функции возбуждения и функции выходов. Все логические элементы работают в положительной логике.

Каждый триггер, в зависимости от положения тумблеров, может работать как триггер типов D, T, R-S, R, S, E и J-K.

Если в схеме "И-ИЛИ" какой-либо элемент "И" не используется, то на один из его входов нужно подать логический ноль, т.е. вход должен быть заземлен.

3.1.3. Порядок выполнения лабораторной работы по синтезу автомата, заданного в абстрактной форме

1. Получить у преподавателя номер варианта задания и тип автомата (Мура или Милли).
2. Построить граф автомата.
3. Составить таблицу переходов и выходов.
4. Определить требуемое количество элементарных автоматов и закодировать внутренние состояния автомата и выходной сигнал (кодировка входного алфавита задается).
5. Построить кодированную таблицу переходов и выходов.
6. Определить функции внешних переходов триггеров.
7. Найти функции возбуждения триггеров автомата.
8. Определить функцию (функции) выходов.
9. Построить логическую схему автомата.
10. Построить эпюры напряжений во всех точках автомата.

3.1.4. Примеры решения задач

Варианты заданий на работу приведены в таблице, вывешенной на стене лаборатории. Исходные данные к заданию определяются тремя полями таблицы. Например, задан вариант 10-12-4 (рис. 3.1). Поле А указывает вариант последовательности букв выделяемого слова (X_0, X_1, X_3), а также входную последовательность ($X_2, X_0, X_0, X_1, X_3, X_3, X_2$) для проверки работы автомата теоретически и экспериментально.

Поле Б (рис. 3.2) определяет тип применяемого триггера. В нашем варианте - это триггеры типов D и S.

Вариант А Б В
10-12-4

Поле А	X_i, X_j, X_k			Входная последовательность							
	i	j	k	A	B	C	D	E	F	G	H
10	0	1	3	2	0	0	1	3	3	3	2

Тип элементарного автомата	Поле Б
D	S
	12

Рис. 3.1

Рис. 3.2

Вариант поля В определяет способ кодирования букв входного алфавита. Для нашего случая (рис. 3.3) X кодируется как

$$X_0 = 00, X_1 = 10, X_2 = 01, X_3 = 11.$$

По заданию необходимо синтезировать схему автомата Мура, распознающего все "трехбуквенные" последовательности вида X_0, X_1, X_3 .

Кодирование	C_1	0	0	1	1	Поле В
	C_2	0	1	1	0	
Символы входного алфавита		X_0	X_2	X_3	X_1	4

Рис. 3.3

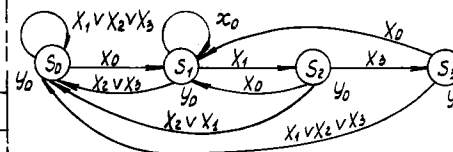


Рис. 3.4

Построение графа рекомендуется начинать с рассмотрения реакции автомата на "правильную" последовательность. Автомат содержит четыре состояния (рис. 3.4), переход от исходного состояния (S_0) к последующим состояниям происходит только при подаче выделяемой последовательности:

$$S_0 \xrightarrow{X_0} S_1 \xrightarrow{X_1} S_2 \xrightarrow{X_3} S_3$$

После этого граф достраивается для всех произвольных последовательностей. В состоянии S_3 автомат выдает сигнал Y_1 . Из рис. 3.4 видно, что в остальных состояниях его выходной сигнал Y_0 .

X(t)	S(t)			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
X ₀	S ₁	S ₁	S ₁	S ₁
X ₁	S ₀	S ₂	S ₀	S ₀
X ₂	S ₀	S ₀	S ₀	S ₀
X ₃	S ₀	S ₀	S ₃	S ₀
Y(t)	Y ₀	Y ₀	Y ₀	Y ₁

Рис. 3.5

По графу строим таблицу переходов и выходов (рис. 3.5).

Закодировав внутренние состояния и выходные сигналы, получаем таблицы кодирования (рис. 3.6). Кодированная таблица переходов и выходов показана на рис. 3.7, а. Для того чтобы кодированную таблицу можно было рассматривать как диаграмму Карно функций внешних переходов, состояния S следует кодировать возрастающим циклическим кодом [4, с. 48-49]:

$$S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \equiv 00 \rightarrow 01 \rightarrow 11 \rightarrow 10.$$

C	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃
C ₁	0	1	0	1
C ₂	0	0	1	1

S	сост. триггеров	
	Q ₁	Q ₂
S ₀	0	0
S ₁	0	1
S ₂	1	1
S ₃	1	0

Z	Y	
	Y ₀	Y ₁
Z	0	1

Рис. 3.6

Одновременно нужно переставить две нижние строки таблицы, чтобы код c, c₂ следовал в порядке 00 → 01 → 11 → 10 (рис. 3.7, б). Таблица переходов раслаивается на диаграммы Карно Q₁(t+1) и Q₂(t+1). По таблице выходов строим диаграмму Карно для Z(t) (рис. 3.8).

Функции возбуждения триггера типа D логически совпадают с функциями внешних переходов [4, с. 40], поэтому:

$$Q(t+1) = D(t).$$

Минимизируя функции по диаграммам Карно, получаем:

$$D_1(t) = (c_1 \bar{c}_2 \bar{Q}_1 Q_2 + c_1 c_2 Q_1 Q_2)_t;$$

$$D_2(t) = (\bar{c}_1 \bar{c}_2 + \bar{c}_2 \bar{Q}_1 Q_2)_t; \quad Z(t) = (Q_1 \bar{Q}_2)_t$$

По совокупности этих выражений составляем логическую схему автомата (рис. 3.9).

Временные диаграммы (рис. 3.10) строим последовательно по тактам. На первом такте задаемся значениями состояний триггеров, соответствующими состоянию S₀ = 00. Затем находим значения D₁ и D₂, которые определяют состояния триггеров Q₁ и Q₂ в следующем такте. После нахождения сигналов Q₁ и Q₂ по всем тактам по выражению для Z(t) строим диаграмму выходного сигнала автомата.

C ₁ C ₂	Q ₁ Q ₂			
	00	01	11	10
00	01	01	01	01
01	00	00	00	00
10	00	11	00	00
11	00	00	10	00
Z	0	0	0	1

а)

C ₁ C ₂	Q ₁ Q ₂			
	00	01	11	10
00	00	01	11	10
01	00	01	01	01
01	00	00	00	00
11	00	00	10	00
Z	0	0	0	1

б)

Рис. 3.7

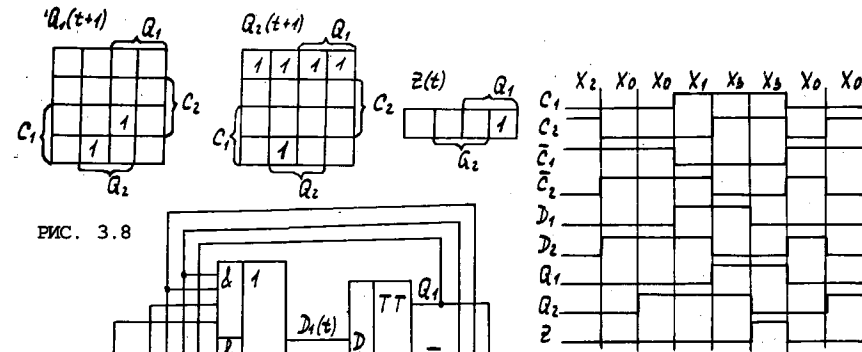


РИС. 3.8

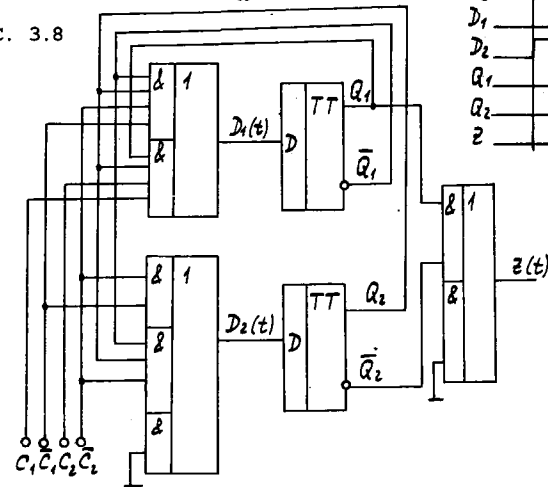


РИС. 3.9

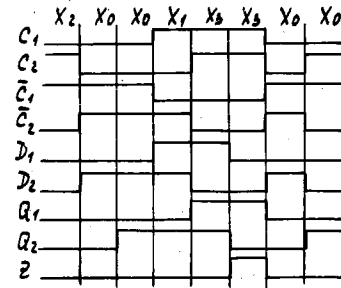


РИС. 3.10

При построении автоматов на триггерах типа T, R-S, S, R и J-K будем использовать табличный метод определения функции возбуждения [4, с. 49-50].

Рассмотрим случай, когда в качестве элементарного автомата Q_2 используется триггер S -типа.

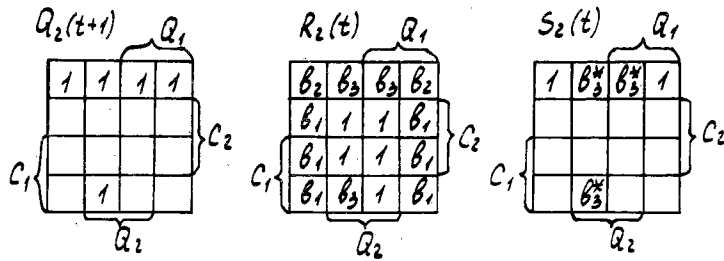


Рис. 3.11

На рис. 3.11 показаны диаграммы функций внешних переходов $Q_2(t+1)$ и функций возбуждения $R_2(t)$ и $S_2(t)$, которые получены с использованием матрицы переходов S -триггера (рис. 3.12). Минимизацию $R_2(t)$ и $S_2(t)$ осуществляем по правилам минимизации системы неполностью определенных функций.

Для упрощения выражения $R_2(t)$ все неопределенные коэффициенты нужно приравнять единице. В этом случае в диаграмме $S_2(t)$ взаимосвязанные коэффициенты b_3^* принимают единичные значения. Выражения принимают вид:

$$\begin{cases} R_2(t) = 1; \\ S_2(t) = (\bar{c}_1 \bar{c}_2 + \bar{c}_2 \bar{q}_1 q_2)_t \end{cases}$$

Рис. 3.12

Для записи простейшего выражения для $S_2(t)$ коэффициенты b_3^* , находящиеся в нижней части диаграммы, необходимо принять за ноль, тогда соответствующий ему коэффициент b_3 в диаграмме $R_2(t)$ нужно также взять нулевым.

Проведя минимизацию, получим:

$$\begin{cases} S_2(t) = (\bar{c}_1 \bar{c}_2)_t; \\ R_2(t) = (q_1 + c_2)_t. \end{cases}$$

Из двух рассмотренных вариантов к более простой принципиальной схеме приводит последний.

3.2. Синтез автоматов, заданных временными диаграммами

В задании приводятся временные диаграммы входных и выходных двоичных сигналов и дается словесное пояснение особенностей функционирования автомата.

Задача. Временные диаграммы работы автомата показаны на рис. 3.13 (такты работы отмечены вертикальными линиями). Создать автомат, который все нечетные единицы направлял бы на выход Z_1 , а четные — на Z_2 . Исходное задание предусматривает построение автомата в виде автомата Милли. Перейдем к абстрактной форме описания автомата. Выберем входной и выходной алфавиты и закодируем их (рис. 3.14).

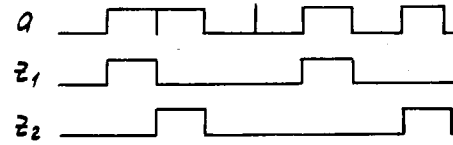


Рис. 3.13

X	a	Y	Z ₁	Z ₂
X ₀	0	Y ₀	0	0
X ₁	1	Y ₁	1	0
		Y ₂	0	1

Рис. 3.14

Задание можно сформулировать так: каждая четная буква X_1 вызывает появление выходного сигнала Y_1 , а нечетная — Y_2 .

Граф, описывающий работу автомата, представлен на рис. 3.15.

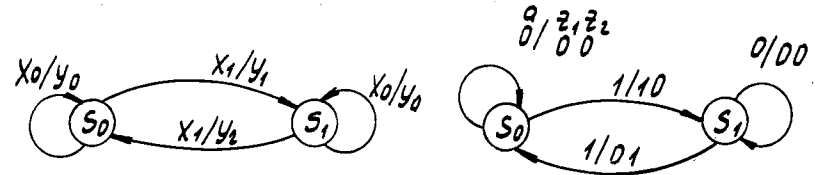


Рис. 3.15

Рис. 3.16

Дальнейший синтез автомата ведется по рассмотренному выше алгоритму. При достаточной квалификации разработчика этап абстрактного синтеза может быть опущен. В этом случае по исходному заданию составляют частично кодированный граф (рис. 3.16). В нем состояния автомата выражены абстрактными символами S_0 и S_1 , а входные и выходные сигналы представлены их двоичными кодами.

S	Q
S ₀	0
S ₁	1

Рис. 3.17

	Q	
Q	0	1
0	0/00	0/00
1	1/10	1/01

Рис. 3.18

Кодирование внутренних состояний выполняется в соответствии с таблицей кодирования (рис. 3.17), после чего строится кодированная таблица переходов (рис. 3.18). Далее синтез ведется известными методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каган Б.М., Каневский М.М. Цифровые вычислительные машины и системы. - М.: Энергия, 1974.
2. Силин В.Б. Сборник упражнений по курсу "Электронные вычислительные устройства". - М.: МАИ, 1970.
3. Силин В.Б. Конспект лекций по курсу "Электронные вычислительные устройства". Вып. I и 2. - М.: МАИ, 1971.
4. Силин В.Б., Мельников Б.С. Учебное пособие по курсу "Электронные вычислительные устройства". Конечные автоматы. - М.: МАИ, 1978.

Тем. план 1986, поз. 27

Авторы-составители:

Руслан Михайлович Кондрагъев
Лариса Владимировна Кошелькова
Борис Сергеевич Мельников

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
"КОМБИНАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА" И "ЦИФРОВЫЕ АВТОМАТЫ"

Редактор Р.Л. Сатановская
Техн. редактор К.П. Барановская
Подписано к печати 28.02.86
Формат . 60x90 1/16. Бум. тип. № 2
Усл. печ. л. 2,00; уч.-изд. л. 2,00. Тираж 1000.
Зак. /58 /1478. Бесплатно
Ротапринт МАИ
125871, Москва, Волоколамское шоссе, 4