ВВЕДЕНИЕ

Область автоматики и вычислительной техники развивается стремительными темпами: уменьшаются габариты блоков и компонентов, увеличивается производительность систем, повышается их функциональность и т. д. С развитием техники и технологий совершенствуются не только системы автоматики и вычислительной техники, но и становится все острее проблема обеспечения надежности и безопасности функционирования каждой составляющей. Эти обстоятельства учитываются при разработке, конструировании и проектировании технических систем.

С появлением релейной техники в первой половине XX в. возникает не только задача логического описания процессов ее функционирования, но и разработка методов повышения надежности и безопасности реализации самих функций. С повсеместным использованием полупроводниковой техники и схем с высоким уровнем миниатюризации (программируемые схемы и системы с большой и сверхбольшой степенью интеграции элементов на кристалле) возникает новый виток в развитии не только методов логического описания их функционирования, но и определения и прогнозирования технического состояния, а также возможностей в повышении надежности и обеспечении безопасности. С уменьшением габаритов компонентов и порогов срабатывания элементов все большее внимание уделяется проблеме обеспечения электромагнитной совместимости компонентов.

Математический аппарат для описания функций устройств и систем автоматики и вычислительной техники возник во второй половине XIX в. и был описан в работах Дж. Буля. В своих фундаментальных работах «Математический анализ логики» (1847), «Логическое исчисление» (1848) и «Исследование законов мышления» (1854) Дж. Буль впервые в истории математики сформулировал основные законы, по которым строится человеческое мышление и человеческая речь. На возможность применения аппарата булевой алгебры для описания поведения схем автоматики обратил внимание в 1910 г. русский физик П. Эрнефест. Но только в 30-е гг. XX в. независимо друг от друга К. Э. Шеннон, А. Накашима и В. И. Шестаков доказали возможность использования булевой алгебры для описания поведения систем автоматики, реализованных на релейно-контактной основе. Применению математического аппарата булевой алгебры для анализа и синтеза устройств и систем автоматики посвящено большое количество работ, в том числе таких известных ученых, как М. А. Гаврилов, В. М. Глушков, А. Д. Закревский, В. Г. Лазарев, Д. А. Поспелов, В. Н. Рогинский, М. Л. Цетлин.

С появлением транзисторной техники и широким внедрением ее во всех областях промышленности и транспорта актуальность использования логических методов описания ее работы только возросла, как возросла и проблема обеспечения надежности и безопасности функционирования (в особенности в критических приложениях в системах, обеспечивающих протекание ответственных технологических процессов). Большинство систем автоматики эксплуатируются в сложных климатических условиях и непрерывно во времени, что требует оперативного поддержания их работоспособности и отказоустойчивости.

С развитием техники и технологий управления во второй половине XX в. возникает и активно развивается такое важное направление, как надежность и техническая диагностика.

Возникновение теории надежности связывают с началом использования в середине XX в. в военной технике и в промышленности сложных радиотехнических систем и систем автоматического управления, построенных на транзисторах и электронных лампах. Невысокая надежность этих элементов, которую они имели в то время, приводила к частым отказам электронной аппаратуры, что вызывало нарушения и остановки технологических процессов, в том числе аварийные.

Одними из первых на проблему надежности обратили внимание коммерческие авиакомпании, образовав организацию ARINC (Aeronautical Radio, Incorporated). ARINC анализировала проблемы ненадежности электровакуумных приборов. С 1950 г. организация сконцентрировала усилия на проблеме надежности в военных исследованиях. Оценка надежности сложных систем и разработка методов повышения надежности являются актуальными техническими задачами и в настоящее время.

Первые работы в области надежности, в которых рассматривались математические вопросы теории надежности и прикладные задачи, были опубликованы в середине XX в. такими учеными, как Ю. К. Беляев, А. И. Берг, Н. Г. Бруевич, Б. В. Гнеденко, Г. В. Дружинин, А. М. Половко, Д. Нейман, А. Пирс, К. Барлоу, С. Прошан и другими специалистами. В эти же годы появились первые работы, посвященные исследованиям надежности и безопасности систем автоматического управления на транспорте и в промышленности.

Важную роль в обеспечении надежности и безопасности технических систем играет использование методов и средств технического диагностирования блоков и компонентов. От работы тестового и функционального диагностического обеспечения технических систем зависит своевременность фиксации сбоев и отказов, а также возможность быстрого реагирования технического персонала на проявления неисправностей и их ликвидации. Именно эти вопросы рассматриваются в такой области знаний, как техническая диагностика.

Одним из родоначальников данного направления в отечественной науке является П. П. Пархоменко, являющийся автором не только первых трудов по диагностике, но и первой, ставшей классической, монографии в двух томах, посвященной проблемам определения технического состояния устройств автоматики. Развитие технологий изготовления блоков и компонентов систем управления предопределило и бурное развитие технической диагностики в каждой составляющей: будь то релейная техника или микроэлектронная и микропроцессорная.

Данная книга аккумулирует основные знания в области надежности и технической диагностики устройств автоматики и вычислительной техники и предназначена для начального ознакомления с обозначенным направлением в технике. Книга рассчитана на широкий круг читателей и будет полезна студентам, аспирантам, преподавателям, инженерам и ученым, занимающимся проблемами автоматизации технологических процессов, надежности и технической диагностики составляющих систем автоматического и автоматизированного управления на транспорте и в промышленности.

Раздел 1. ОСНОВЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ

Глава 1. Элементы технических систем

1.1. Виды устройств автоматики

Элемент автоматики (рис. 1.1) осуществляет преобразование входной величины x в выходную величину y.

Рис. 1.1. Элемент автоматики

Это преобразование может быть непрерывным или дискретным.

У элемента непрерывного действия его состояние и выходная величина y меняются непрерывно при непрерывном изменении входной величины x (рис. 1.2, *а*). Примером может служить усилитель, у которого напряжения на входе и выходе изменяются непрерывно (рис. 1.2, *б*).

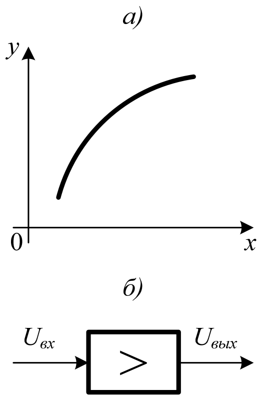

Рис. 1.2. Непрерывное преобразование: а) график; б) усилительный элемент

У элемента логического действия его состояние и выходная величина y изменяются скачкообразно при непрерывном изменении x (рис. 1.3). Логический элемент имеет конечное множество состояний. В приведенном на рис. 1.3 случае – четыре состояния: y_0, y_1, y_2, y_3. Поэтому такой элемент называют многопозиционным или многозначным.

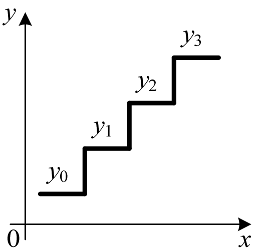

Рис. 1.3. Логическое преобразование

Если логический элемент имеет два состояния, то его называют элементом релейного действия или реле, а его характеристику – релейной (рис. 1.4). Два состояния обычно обозначают «0» и «1». Значение $y = y_0$ соответствует состоянию «0», а значение $y = y_1$ – состоя-нию «1».

Рассмотрим два примера элементов релейного действия. Первый пример – это транзистор, работающий в ключевом режиме (рис. 1.5, *а*). Если $U_{вх} = 0$, то транзистор закрыт (рис. 1.5, *б*) и напряжение на выходе $U_{вых} \approx -E_к$ (состояние «1»).

При некотором отрицательном напряжении на входе открывается переход «эмиттер – база», протекают базовый $i_б$ и коллекторный $i_к$ токи и транзистор переходит в режим насыщения. Потенциал на выходе при этом будет близок к потенциалу земли ($U_{вых} \approx 0$ – состояние «0»). На этом «ключевом» свойстве транзистора – иметь два состояния 0 и 1 – основана вся дискретная микроэлектроника.

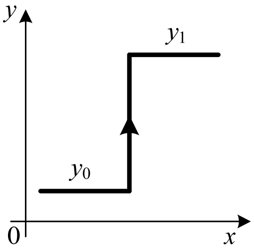

Рис. 1.4. Релейная характеристика

Второй распространенный пример – это электромагнитное контактное реле, которое представляет собой электромагнит, снабженный контактной системой (рис. 1.6). Конструкция реле содержит следующие части: 1 – обмотка, которая создает магнитный поток; 2 – сердечник – часть магнитопровода, на которой располагается обмотка; 3 – ярмо – часть магнитопровода, на которой крепится контактная система; 4 – якорь – подвижная часть магнитопровода, которая взаимодействует с контактной системой (механически); 5 – контактная система, которая служит для переключения внешних цепей (нагрузки), в данном случае – управление двумя лампами $Л_1$ и $Л_2$.

Контактная система состоит из фронтового ФК, общего ОК и тылового ТК контактов. Пружина ОК связана механически с якорем. Если реле под током, то замкнут ФК. Если реле без тока (как показано на рис. 1.6), то замкнут контакт ТК и горит лампа $Л_2$. При нажатии кнопки К по обмотке реле протекает ток, возникает магнитный поток Ф по цепи: сердечник, ярмо, якорь, воздушный промежуток. Якорь притягивается к сердечнику, пружина ОК перемещается вверх, ТК размыкается, ФК замыкается, лампа $Л_2$ выключается, лампа $Л_1$ включается.

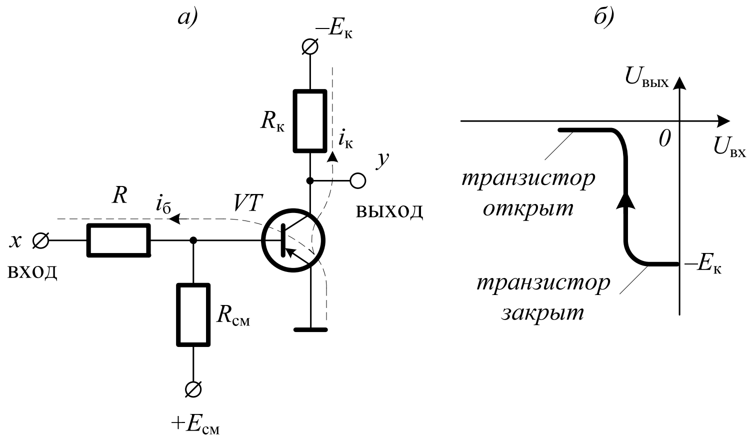

Рис. 1.5. Транзисторный ключ: а) схема включения; б) переходная характеристика

На рис. 1.7, *а* показана релейная характеристика для фронтового контакта. Входной величиной является ток в обмотке реле ($I_{реле}$), выходной величиной – ток в нагрузке ($I_{л1}$). Если $I_{реле} = 0$, якорь реле под воздействием упругой пружины ОК находится в исходном состоянии, ФК разомкнут и $I_{л1} = 0$. Будем увеличивать ток в обмотке, при некотором значении тока (токе притяжения) якорь реле притягивается, ФК замыкается и ток в лампе $Л_1$ скачком возрастает. На рис. 1.7, *б* приведена релейная характеристика для тылового контакта.

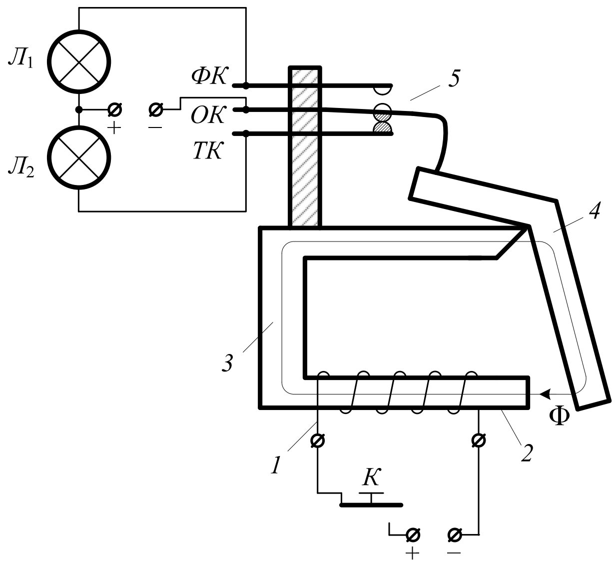

Рис. 1.6. Конструкция электромагнитного реле

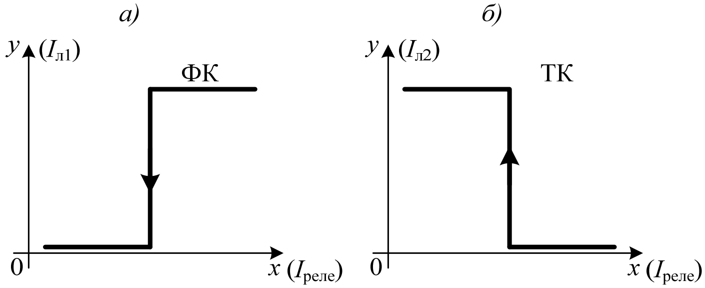

Рис. 1.7. Релейные характеристики: а) фронтового контакта; б) тылового контакта

Условные обозначения в релейно-контактных схемах показаны на рис. 1.8.

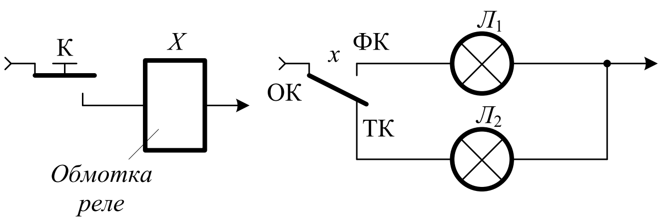

Рис. 1.8. Условные обозначения в релейно-контактной схеме

1.2. Логические устройства автоматики

Логическое устройство (ЛУ) (рис. 1.9) функционирует во времени. Время также считается дискретным (рис. 1.10). Оно разбивается на отдельные интервалы Δt (такты), в течение которых входные сигналы x_1, x_2, ..., x_n остаются неизменными. В зависимости от способа определения тактов ЛУ разделяют на синхронные и асинхронные.

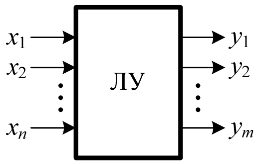

Рис. 1.9. Логическое устройство

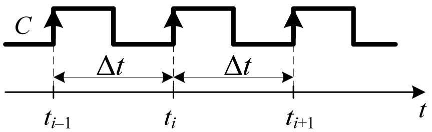

Рис. 1.10. Логическое время

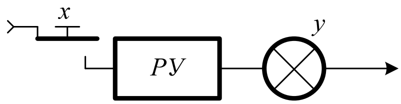

Рис. 1.11. Пример релейного устройства

В синхронных ЛУ моменты времени начала (t_i) и конца (t_{i+1}) такта определяются синхронизирующими (тактовыми) импульсами C (рис. 1.10), которые вырабатывает специальный генератор, играющий роль внутренних часов ЛУ. Смена тактов осуществляется в моменты переднего или заднего фронта синхроимпульса.

В асинхронных схемах отсутствует синхронизация сигналов и начало нового такта определяется моментом изменения входных сигналов. Длительность тактов Δt в синхронных и асинхронных схемах должна быть больше времени протекания переходных процессов в схемах ЛУ.

Логическое устройство, построенное на элементах релейного действия, называют релейным устройством (РУ). Его входы x и выходы y являются двоичными, т. е. принимают только два значения 0 или 1. Сама внутренняя структура РУ также построена на двоичных элементах. Примером двоичного входа является кнопка x (рис. 1.11). При этом $x = 0$, если кнопка x не нажата, и $x = 1$, если кнопка нажата. Примером двоичного выхода является лампа y. При этом $y = 0$, если лампа не горит, и $y = 1$, если лампа горит. На рис. 1.11 в качестве примера РУ приведен некоторый выключатель лампы y.

В зависимости от характера преобразования входных воздействий в выходные ЛУ (рис. 1.9) подразделяются на два класса (рис. 1.13).

Рис. 1.12. Классификация ЛУ

Работа комбинационных схем (КС) не зависит от времени. Это означает, что при одном и том же состоянии входов $x_1, x_2, ..., x_n$ в различные моменты времени t_i наблюдается одно и то же состояние выходов $y_1, y_2, ..., y_m$. Следовательно, выходные сигналы КС в данный момент времени зависят только от значений входных сигналов и никак не зависят от сигналов, действовавших на входах в прошлом (в схеме отсутствует память). Простым примером является выключатель (рис. 1.11), который работает следующим образом: лампа y горит, если нажата кнопка x, и выключена, если кнопка x не нажата. Данный алгоритм работы отражен в табл. 1.1. Всегда если $x = 1$, то $y = 1$ (такты t_2 и t_4). Всегда если $x = 0$, то $y = 0$ (такты t_1, t_3, t_5).

Работа многотактных схем (МС) зависит от времени. Это означает, что при одном и том же состоянии входов $x_1, x_2, ..., x_n$ в различные моменты времени t_i могут наблюдаться различные состояния выходов $y_1, y_2, ..., y_m$. В этом случае ЛУ обладает памятью. Например, в табл. 1.2 показана работа выключателя для следующего алгоритма работы: лампа y горит после нечетного числа нажатий кнопки x и не горит после четного числа нажатий. В табл. 1.2 в моменты времени t_2 и t_4 имеем одно и то же состояние входа $x = 1$ и различное значение выхода $y = 0$ и $y = 1$. Выключатель запоминает число нажатий кнопки x (четное или нечетное).

Таблица 1.1. Описание работы КС

t_i	x	y
t_1	0	0
t_2	1	1
t_3	0	0
t_4	1	1
t_5	0	0

Таблица 1.2. Описание работы МС

t_i	x	y
t_1	0	0
t_2	1	1
t_3	0	1
t_4	1	0
t_5	0	0

Память в многотактной схеме реализуется за счет того, что последняя имеет некоторое конечное множество внутренних состояний, зависящих от состояний элементов памяти в ее структуре. Этим определяется второй термин, используемый для ЛУ с памятью – конечный автомат с памятью.

Конечные автоматы с памятью подразделяются на два класса – автоматы Мура и автоматы Мили. Их структуры приведены на рис. 1.13. Они содержат три блока.

Входной преобразователь воспринимает входные сигналы $x_i(t)$. Блок памяти реализует алгоритм работы автомата как смену внутренних состояний $s(t)$. Выходной преобразователь формирует выходные сигналы $y_j(t)$. Внутренние состояния автоматов в каждый момент времени $s(t)$ определяются функцией переходов δ – зависимостью внутренних состояний от значений сигналов на входах в данный момент времени $x_i(t)$ и внутренним состоянием автомата в предыдущий момент времени $s(t-1)$:

$$s(t) = \delta(x_i(t); s(t-1)). \quad (1.1)$$

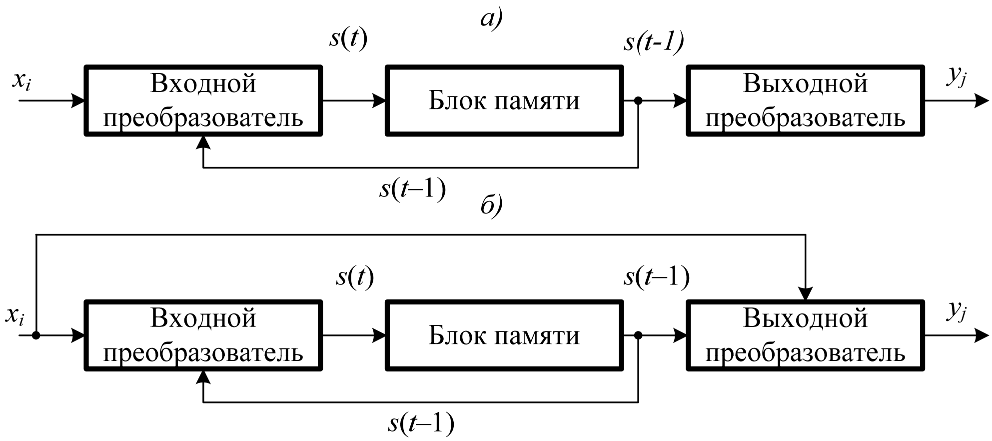

Рис. 1.13. Конечные автоматы с памятью: а) Мура; б) Мили

В автомате Мура (рис. 1.13, *а*) выходные сигналы зависят от внутреннего состояния, а в автомате Мили – еще и от состояния входов (рис. 1.13, *б*).

Рис. 1.14 иллюстрирует описанную выше классификацию конечных автоматов.

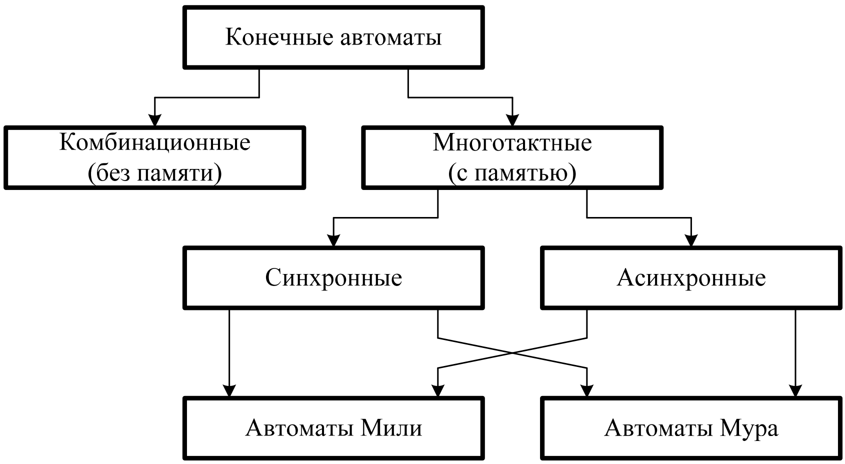

Рис. 1.14. Классификация конечных автоматов

Глава 2. Математический аппарат описания работы устройств автоматики

2.1. Функции алгебры логики

Функции алгебры логики (ФАЛ), или булевы функции (БФ), есть математический аппарат для описания поведения логических устройств автоматики и вычислительной техники [19]. Основы алгебры логики (исчисления высказываний) были заложены английским математиком Джорджем Булем (1815–1864) в середине XIX в.

В начале XX в. появились контактные реле, ставшие впоследствии элементной базой для сложных автоматических систем управления. Релейно-контактная техника использовалась для различных целей (как и в управлении технологическими процессами, так и в бытовой сфере), однако единого описания не имела. В конце 30-х гг. XX в. советский ученый В. И. Шестаков, японский ученый А. Накашима и чуть позже американский ученый К. Э. Шеннон определили связь между алгеброй логики и процессом функционирования контактных схем. Оказалось, что два таких, казалось бы, совершенно не связанных друг с другом объекта, как человеческая речь и релейно-контактные схемы (РКС), подчиняются одним и тем же законам.

Рассмотрим, к примеру, следующее высказывание: «Если стоит хорошая погода и у меня есть свободное время, то я еду на охоту». Данное предложение сложное. Его можно разбить на простые *A, B* и *C* (рис. 2.1). Тогда получим: «Если *A* и *B*, то *C*».

$$\text{Если } \underbrace{\text{стоит хорошая погода}}_{A} \text{ и } \underbrace{\text{у меня есть свободное время}}_{B}\text{, то } \underbrace{\text{я еду на охоту}}_{C}$$

Рис. 2.1. Структура логического высказывания

Каждое из предложений может быть либо истинным, либо ложным. Введем обозначения:

– если X ложно, то $X = 0$;
– если X истинно, то $X = 1$.

Истинность предложения С находится в зависимости от истинности *A* и *B*, т. е.

$$C = f(A, B). \qquad (2.1)$$

Функция (2.1) названа функцией алгебры логики. Ее можно задать в виде таблицы истинности (табл. 2.1).

Табл. 2.1 задает ФАЛ, которая носит название *конъюнкция (логическое умножение, функция «И»)*. Обозначается данная функция следующим образом: $C = AB$.

Рассмотрим теперь контактную схему, приведенную на рис. 2.2. В ней присутствуют двоичные элементы: контакты *A* и *B* и реле *C*. Введем следующие обозначения:

– если контакт $A(B)$ разомкнут, то $A(B) = 0$;
– если контакт $A(B)$ замкнут, то $A(B) = 1$;
– если реле C без тока, то $C = 0$;
– если реле C под током, то $C = 1$.

Нетрудно видеть, что работа данной схемы задается табл. 2.1. Реле C будет находиться под током только при замыкании обоих контактов A и B. Другими словами, данная релейно-контактная схема является физической моделью рассмотренного выше высказывания и реализует конъюнкцию.

Таблица 2.1. Таблица истинности конъюнкции

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

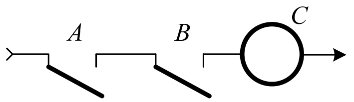

Рис. 2.2. Контактная реализация функции «И»

Логика исходного предложения изменится, если в нем союз «И» заменить союзом «ИЛИ». Тогда, используя ранее введенные обозначения (рис. 2.1), получим: «Если A или B, то C». Описанием такого выражения служит таблица истинности (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Таблица истинности дизъюнкции

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

ФАЛ, задаваемая табл. 2.2, носит название *дизъюнкция (логическое сложение, функция «ИЛИ»)*. Она обозначается так: $C = A \vee B$.

Ее физическая модель на контактах представляет собой подключение реле C через параллельное соединение контактов A и B (рис. 2.3): реле C будет под током, если хотя бы один из контактов A и B замкнут.

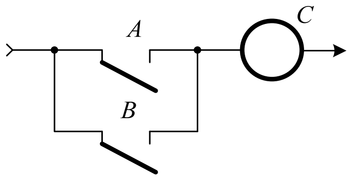

Рис. 2.3. Контактная реализация функции «ИЛИ»

Приведем еще один пример связи человеческой речи с работой релейно-контактных схем. Рассмотрим следующее логическое утверждение: «Если не F, то C». Таблица истинности, характеризующая данное умозаключение, приведена ниже (табл. 2.3).

Таблица 2.3. Таблица истинности инверсии

F	C
0	1
1	0

Функция, определяемая табл. 2.3, получила название *инверсия (логическое отрицание, функция «НЕ»)*. Будем обозначать ее в виде черты над переменной: $\bar{x}$.

Релейно-контактная схема, соответствующая функции отрицания, приведена на рис. 2.4. Смысл работы схемы таков: реле C находится под током, если замкнут тыловой контакт F.

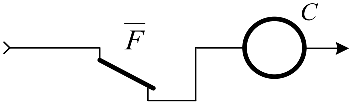

Рис. 2.4. Контактная реализация функции «НЕ»

Таким образом, релейно-контактные схемы являются логическими схемами, поскольку реализуют ФАЛ.

Приведенные выше примеры (рис. 2.2–2.4) – это примеры физических моделей функций от двух переменных A и B. ФАЛ может быть задана и от любого числа переменных. Например, в табл. 2.4 приведена таблица истинности для функции «конъюнкция» от трех переменных. Она задает работу схемы (рис. 2.5). Реле F включено, если замкнуты все три контакта x_1, x_2, x_3.

Определим некоторые особенности ФАЛ.

Вообще, под *функцией* понимается отображение, по которому каждому элементу из некоторого множества X (области задания) ставится в соответствие элемент из множества Y (области значений). Отображение является однозначным, т. е. каждой точке x_i соответствует единственное значение y_j.

Любая ФАЛ (так же как и ее переменные) может принимать только два значения: 0 и 1 (в таком случае говорят о двоичной или бинарной логике).

Теорема 2.1. *Областью задания ФАЛ является множество двоичных наборов, число которых равно* 2^n.

Таблица 2.4. Описание работы схемы с тремя входами

x_1	x_2	x_3	f
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

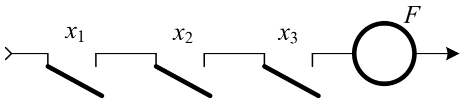

Рис. 2.5. Релейно-контактная схема включения реле F через контакты x_1, x_2 и x_3

Доказательство. Пусть n = 1. В таком случае имеем два набора: 0 и 1. Подставляя n = 1 вместо степени числа 2, имеем: $2^1 = 2$.

Положим n = 2. Получим все наборы для данного случая. Возьмем каждый набор для n = 1 и припишем к нему один разряд, который может иметь два значения (рис. 2.6, *а*). Умножим 2^1 на 2, имеем: $2^1 \cdot 2 = 2^2 = 4$.

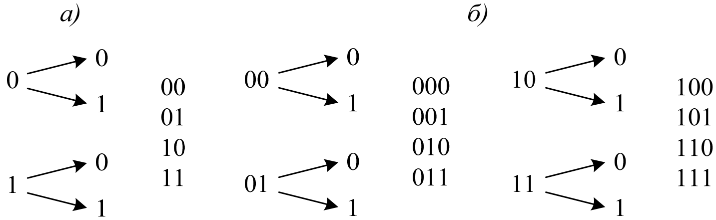

Рис. 2.6. Схема образования двоичных наборов: а) с двумя разрядами; б) с тремя разрядами

Примем n = 3. По аналогии с вышепроделанной операцией добавим по одному разряду к каждому набору, полученному при n = 2 (рис. 2.6, *б*). Умножим 2^2 на 2, имеем: $2^2 \cdot 2 = 2^3 = 8$.

Получаем по индукции, что при числе входных переменных, равном n, имеется 2^n набора (набор часто называют *кодовой комбинацией* или *кодовым вектором*).

Областью значений ФАЛ является множество $\{0,1\}$.

Определение 2.1. ФАЛ $f(x_1, x_2, ..., x_n)$ называется функция, которая дает однозначное отображение множества двоичных наборов, число которых равно 2^n, на множество, состоящее из 0 и 1.

Задать ФАЛ – это значит определить значение функции на всех возможных входных наборах.

Определение 2.2. ФАЛ являются эквивалентными, если они принимают одинаковые значения на всех возможных входных наборах:

$$f_1(x_1, x_2, ..., x_n) = f_2(x_1, x_2, ..., x_n).$$

Наиболее простым способом задания ФАЛ является составление ее таблицы истинности (иными словами, *табличный* способ). Примером задания ФАЛ в виде таблицы истинности может служить табл. 2.4. В таблице истинности строка соответствует входному набору. При составлении таблицы истинности необходимо перечислить все возможные наборы, при этом удобно таблицу заполнять с использованием следующего правила.

Алгоритм 2.1 (правило составления таблиц истинности). При заполнении i-го столбца, считая от столбца, соответствующего младшему разряду, необходимо чередовать группы по 2^{i-1} нулей и единиц, в частности при заполнении столбца младшего разряда чередуются 0 и 1; при заполнении следующего столбца чередуются группы по два 0 и две 1; при заполнении следующего столбца – группы по четыре 0 и четыре 1, и т. д.

Алгоритм 2.1 иллюстрируется табл. 2.4.

Геометрической формой задания ФАЛ служит n-мерный куб (рис. 2.7), каждая вершина которого соответствует одному двоичному набору из 2^n возможных. На рис. 2.7 приводятся примеры n-мерных кубов при различных значениях n: при $n = 1$ (рис. 2.7, *а*) имеем 1-мерный куб (линию), при $n = 2$ (рис. 2.7, *б*) – 2-мерный куб (квадрат), при $n = 3$ (рис. 2.7, *в*) – 3-мерный куб. Геометрическая интерпретация удобна только до $n = 3$.

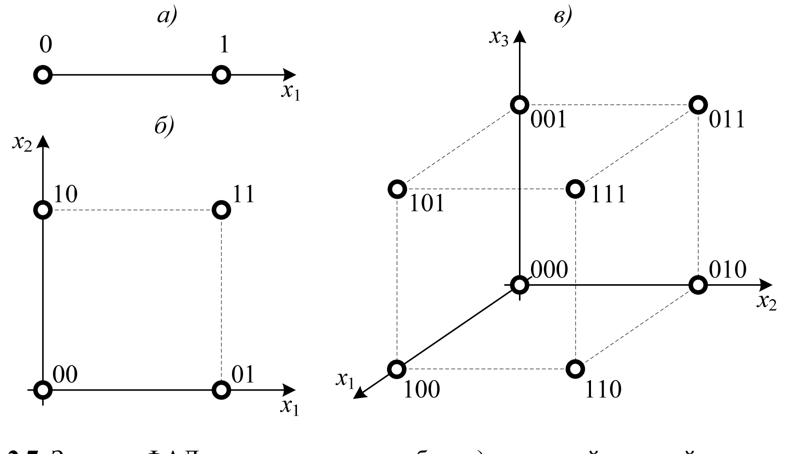

Рис. 2.7. Задание ФАЛ в виде n-мерных кубов: а) для одной входной переменной; б) для двух входных переменных; в) для трех входных переменных

Задание ФАЛ в виде n-мерного куба сводится к разбиению множества его вершин на два непересекающихся подмножества: V_0 – вершин, в которых функция равна 0, и V_1 – вершин, в которых функция равна 1. Например, для ФАЛ, заданной табл. 2.4, множество V_1 включает один элемент:

$$V_1 = \{111\}.$$

При *числовом* способе задания ФАЛ перечисляются десятичные эквиваленты всех двоичных наборов, на которых $f = 1$. Любое число можно представить в виде полинома:

$$N = a_n r^n + a_{n-1} r^{n-1} + \ldots + a_i r^i + \ldots + a_1 r^1 + a_0 r^0, \qquad (2.2)$$

где r – основание системы счисления; i – номер разряда; r^i – вес разряда; a_i – коэффициент при i-м разряде.

Алгоритм 2.2 (правило перевода из двоичной системы в десятичную). Для перевода числа из двоичной системы счисления в десятичную необходимо сложить веса тех разрядов, которые равны 1 в двоичном представлении числа.

Пример 2.1. Представить число 110110 в десятичном виде.

Для решения поставленной задачи непосредственно применим формулу (2.2):

$$(110110)_2 = 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = (32 + 16 + 4 + 2)_{10} = (54)_{10}.$$

Обратный перевод из десятичной системы счисления в двоичную осуществляется по следующему алгоритму.

Алгоритм 2.3 (правило перевода из десятичной системы в двоичную). Для перевода числа из десятичной системы счисления в двоичную необходимо выполнить следующие операции.

1. Исходное число делится на 2.
2. Полученный остаток от деления записывается в младший разряд двоичного числа.
3. Полученное частное вновь делится на 2.
4. Остаток от деления является следующим разрядом двоичного числа.
5. Операции 3 и 4 повторяются до тех пор, пока частное не станет меньше 2.
6. Последнее частное является старшим разрядом двоичного числа.

Пример 2.2. Представить число 54 в двоичном виде.

Для решения поставленной задачи применим алгоритм 2.2 (рис. 2.8).

Как результат имеем двоичное число – аналог заданного числа:

$$(54)_{10} = (110110)_2.$$

Получим задание с помощью десятичных чисел функции f (табл. 2.5). В левом крайнем столбце таблицы приведены десятичные эквиваленты двоичных наборов. Имеем: $f = \{1,2,4,6,7\}$. Достоинство данного способа задания ФАЛ – его компактность.

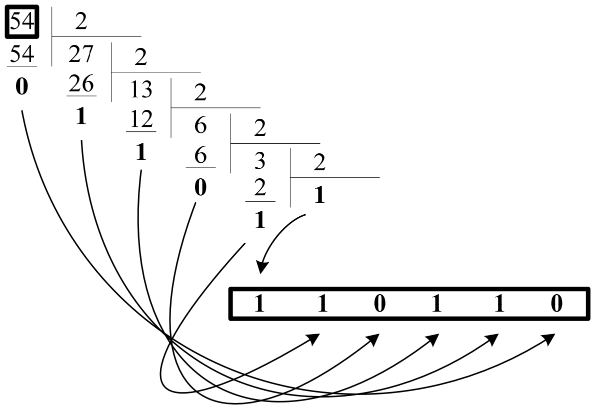

Рис. 2.8. Схема получения двоичного числа из десятичного

Таблица 2.5. Пример задания функции с помощью десятичных чисел

Десятичное число	2^2	2^1	2^0	f
	x_1	x_2	x_3	
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	1
3	0	1	1	0
4	1	0	0	1
5	1	0	1	0
6	1	1	0	1
7	1	1	1	1

Таблица 2.6. Не полностью определенная функция

№	x_1	x_2	x_3	f
0	0	0	0	0
1	0	0	1	1
2	0	1	0	1
3	0	1	1	~
4	1	0	0	1
5	1	0	1	~
6	1	1	0	~
7	1	1	1	0

Еще два способа задания ФАЛ – алгебраический и матричный – рассматриваются далее.

Особенностью логических устройств является то, что на части входных комбинаций значение функции может быть не существенным или же подобные наборы могут вообще не формироваться на входах. Такие комбинации называются неиспользуемыми. Выходные сигналы на них не определены, т. е. функция f на неиспользуемых входных наборах принимает произвольные значения. Часто значение функции f на неиспользуемых входных наборах называют неопределенным или безразличным и обозначают знаком «~». Сами функции f при наличии безразличных значений называют не полностью (частично) определенными, т. е. ФАЛ, определенными только на части входных наборов.

В табл. 2.6 приведен пример задания не полностью определенной ФАЛ. Числовым способом указанную ФАЛ можно задать так: $f = \{1,2,4,(3,5,6)\}$.