

А. М. Сажнев

**МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ
СИСТЕМЫ
ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА
И МИКРОПРОЦЕССОРЫ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СПО

2-е издание, переработанное и дополненное

Рекомендовано Учебно-методическим отделом среднего профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования

**Книга доступна в электронной библиотеке biblio-online.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Москва ■ Юрайт ■ 2019

УДК 004.318(075.32)
ББК 32.971.32я723
С14

Автор:

Сажнев Александр Михайлович — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры радиоприемных и радиопередающих устройств факультета радиотехники и электроники Новосибирского государственного технического университета.

Рецензенты:

Киселев А. В. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоприемных и радиопередающих устройств факультета радиотехники и электроники Новосибирского государственного технического университета;

Сединин В. И. — доктор технических наук, профессор Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики.

Сажнев, А. М.

C14 Микропроцессорные системы: цифровые устройства и микропроцессоры : учебное пособие для среднего профессионального образования / А. М. Сажнев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 139 с. — (Профессиональное образование). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-534-12092-9

В пособии содержатся сведения о логических и арифметических основах цифровых устройств. Рассматриваются начала синтеза комбинационных и последовательностных логических схем. Приведена схемотехника отдельных узлов, на основе которых базируются современные вычислители, микропроцессоры и микроконтроллеры, применяемые в устройствах автоматики и радиоаппаратуре. Даны сведения о микропроцессорных системах и их взаимодействии с внешними устройствами.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и профессиональным требованиям.

Рекомендовано к изучению по специальностям «Радиотехника» и «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» для студентов любой формы обучения.

УДК 004.318(075.32)

ББК 32.971.32я723



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-534-12092-9

© Сажнев А. М., 2017

© ООО «Издательство Юрайт», 2019

Оглавление

Предисловие	5
Введение.....	6
Глава 1. Логические основы электронно-вычислительных устройств	8
1.1. Основные понятия.....	8
1.2. Аксиомы и основные свойства алгебры логики	13
1.3. Понятие базиса.....	15
1.4. Формы представления функций алгебры логики.....	16
1.5. Минимизация функций	19
1.5.1. Задача минимизации	19
1.5.2. Метод карт Карно	21
1.5.3. Минимизация не полностью определенных функций	27
1.6. Синтез логических схем	29
1.6.1. Синтез схем с одним выходом.....	29
1.6.2. Синтез схем с несколькими выходами	30
1.6.3. Скобочная форма функций алгебры логики.....	32
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>33</i>
Глава 2. Арифметические основы электронно-вычислительных устройств.....	34
2.1. Системы счисления	34
2.2. Перевод чисел из одной системы в другую	35
2.3. Арифметические операции в различных системах счисления.....	38
2.4. Формы представления чисел	40
2.5. Машинные коды	44
2.6. Операции над числами в машинных кодах	46
2.7. Двоично-десятичная система кодирования.....	50
2.8. Переполнение разрядной сетки машины.....	52
2.9. Контроль информации	53
2.10. Представление алфавитно-цифровой информации	55
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>58</i>
Глава 3. Комбинационные устройства	59
3.1. Дешифратор и шифратор	59
3.2. Мультиплексор и демультиплексор	63
3.3. Сумматоры.....	67

3.4. Преобразователи кодов	72
3.5. Шинный формирователь	74
<i>Контрольные вопросы</i>	76
Глава 4. Последовательностные устройства.....	77
4.1. Асинхронные триггеры.....	78
4.2. Синхронные триггеры	86
4.3. Способы управления триггерами	91
<i>Контрольные вопросы</i>	93
Глава 5. Элементы цифровых устройств.....	94
5.1. Уровни представления вычислительных устройств.....	94
5.2. Структура цифрового устройства	94
5.3. Операционные элементы	95
5.3.1. Регистры	96
5.3.2. Счетчики	106
5.3.3. Арифметико-логические устройства	114
<i>Контрольные вопросы</i>	116
Глава 6. Запоминающие устройства	117
6.1. Основные понятия.....	117
6.2. Построение памяти требуемого объема.....	119
<i>Контрольные вопросы</i>	122
Глава 7. Организация электронно-вычислительных устройств	123
7.1. Структура и принцип действия ЭВМ.....	123
7.2. Типовая структура обрабатывающей части микропроцессора... ..	125
7.3. Устройство управления в МП	128
7.4. Общие сведения о микропроцессорах.....	131
7.5. Классификация микропроцессоров.....	133
7.6. Обобщенная схема микропроцессорной системы	136
<i>Контрольные вопросы</i>	137
Список рекомендуемой литературы.....	138

Предисловие

Данное учебное пособие рекомендовано к изучению по специальностям «Радиотехника» и «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» для студентов любой формы обучения. Также книга будет полезна тем, кто хочет изучить «азбуку» цифровой техники и понять устройство и принципы работы микропроцессоров.

В результате изучения курса обучающийся должен освоить:

трудовые действия

- по использованию аппарата алгебры логики и приемов программирования типовых вычислительных процессов на языке низкого уровня;

необходимые умения

- разрабатывать и исследовать цифровые устройства;

необходимые знания

- методов анализа и принципов построения цифровых устройств.

Введение

Цифровые вычислительные машины прочно вошли в нашу жизнь и находят применение во все больших сферах человеческой деятельности. Они используются и для расчетов по заданным математическим формулам, и для управления механизмами, устройствами и транспортом. При этом управляемое устройство обычно может находиться в двух состояниях: «включено» или «выключено» (лампа светится или нет, электрический двигатель включен или нет, механизм работает или выключен). Использование двоичных сигналов позволило увеличить чувствительность и помехоустойчивость аппаратуры управления, позволяет хранить большие объемы информации и изменять алгоритмы обработки — перепрограммировать устройства.

В природе все процессы непрерывные (аналоговые). Аналоговый сигнал есть непрерывная функция непрерывного времени. Это значит, что в произвольный момент времени можно найти значение сигнала с любой точностью. Цифровые машины работают с цифровыми сигналами. Цифровой сигнал есть дискретная функция дискретного времени nT (рис. 1), где n — номер такта ($n = 1, 2, 3, 4, \dots$), T — шаг дискретизации по времени.

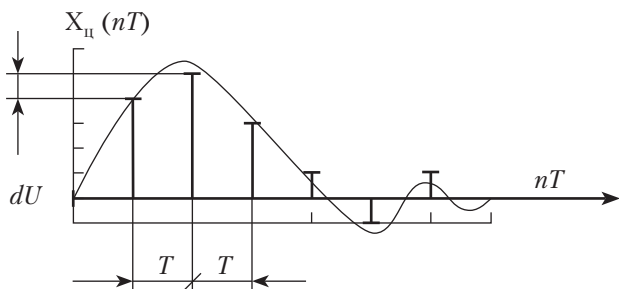


Рис. 1. Цифровой сигнал

Здесь сигнал принимает только фиксированные значения, определяемые шагом квантования по амплитуде dU (связано с разрядностью счета или точностью представления числа).

Быстродействие цифровых вычислительных машин определяется шагом дискретизации по времени, а точность представления сигнала — числом уровней квантования. Конечно, это недостатки цифровых вычислителей, но уже существуют машины с быстродействием до 100 млрд операций/с, а точность — до 40 десятичных разрядов, что достаточно для решения большинства технических задач, возлагаемых на вычислительную технику.

В зависимости от назначения все цифровые машины (электронно-вычислительные машины — ЭВМ) условно делят:

1) на микрокалькуляторы;

2) микроЭВМ — вычислители, встроенные в приборы — стиральную машину, автомобиль или другое устройство;

3) персональные компьютеры (ПК). Первые ПК появились в 1975 г., когда фирма *apple* выпустила их в количестве 575 шт. В 2001 г. каждая семья в США имела по два ПК. На их основе создают автоматизированные системы управления (например, диспетчерские пульта или системы продажи билетов);

4) универсальные ЭВМ;

5) быстродействующие ЭВМ, на их основе строятся вычислительные центры (кустовые и региональные) для решения сложных управленческих задач, например гидрометеослужба, системы наблюдения за воздушным пространством, управления флотами и др.;

6) сверхбыстродействующие ЭВМ — престижные ЭВМ для решения специальных задач.

Особую группу вычислительных устройств составляют микропроцессоры (МП). МП — это большая интегральная схема (ИС) с программируемой логикой работы. МП самостоятельного значения не имеет (у него нет памяти и устройств ввода/вывода информации). МП может работать только в составе микропроцессорной системы (МПС). Разрядность обрабатываемых данных составляет 4, 8, 10, 12, 16, 32, 64 бит (двоичных разрядов). Тактовая частота работы составляет единицы гигагерц. На базе МП строятся любые современные вычислители и устройства логического управления — контроллеры.

Глава 1

ЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

1.1. Основные понятия

Алгебра логики — один из разделов математической логики. Ее создателем является англичанин Джорж Буль (1815–1864), поэтому алгебру логики называют булевой алгеброй.

Начальным понятием булевой алгебры является высказывание.

Высказывание — это некоторое предложение, о котором можно утверждать, истинно оно или ложно. Высказывание обозначают буквой (идентификатором). Если высказывание истинно, то его обозначают единицей, если ложно — нулем.

Например, два высказывания:

$X_1 = \langle \text{Москва — столица России} \rangle$, значит $X_1 = 1$ — истина

$X_2 = \langle \text{Луна больше Земли} \rangle$, значит $X_2 = 0$ — ложь.

Логическая переменная — некоторая переменная величина X , которая может принимать одно из двух значений — 0 или 1, т.е. быть ложной или истинной, $X = \{0, 1\}$.

Логическая функция (булева функция, переключательная функция, функция алгебры логики) n переменных — это функция, которая может принимать одно из двух значений (0 или 1) на некотором наборе этих переменных, $F(X_1, X_2, \dots, X_n) = \{0, 1\}$.

Логическая функция задается таблицей истинности.

Таблица истинности — это совокупность всех возможных наборов (комбинаций) логических переменных и значений функции на этих наборах. Например, логические функции одной переменной $n = 1$ — тривиальные функции (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Логические функции одной переменной

F	X		Название функции
	0	1	
F_1	0	0	Const «0» — абсолютно ложная функция

F	X		Название функции
	0	1	
F_2	0	1	Переменная «икс» — тождественная функция
F_3	1	0	«Не «икс»» — отрицание «икс» — инверсия «икс»
F_4	1	1	Const «1» — абсолютно истинная функция

Реализация этих функций показана на рис. 1.1.

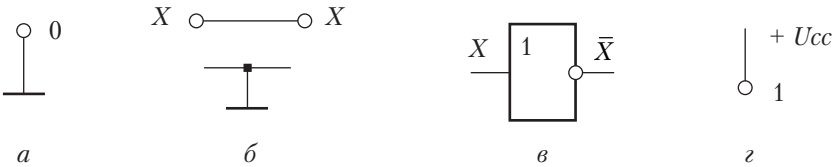


Рис. 1.1. Реализация функций одной переменной

Функция F_1 всегда ложна (рис. 1.1, а), функция F_2 есть сама переменная «икс» (рис. 1.1, б), функция F_3 реализуется инвертором (рис. 1.1, в), функция F_4 всегда истинна (рис. 1.1, з).

В общем случае, если имеем n независимых логических переменных, то можно составить $2^n = N$ наборов этих переменных, а так как на каждом из наборов функция может принимать значение 0 или 1, то общее возможное число функций равно $L = 2^N$. Так, при $n = 1$ число наборов $N = 2$, а число функций $L = 4$.

Рассмотрим логические функции двух переменных $n = 2$. Они относятся к элементарным функциям. Число наборов переменных равно $N = 2^2 = 4$, а число функций $L = 16$.

На практике имеют простую техническую реализацию и используются не все элементарные функции, а только основные (базисные) функции. Рассмотрим их.

1. Логическое умножение, операция «И» — конъюнкция. Выполняется элементом-конъюнктом (рис. 1.2).

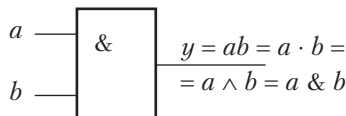


Рис. 1.2. Конъюнктор

Его таблица истинности представлена ниже:

№ п/п	X		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>y</i>
0	0	0	0
1	0	1	0
2	1	0	0
3	1	1	1

2. Операция Шеффера «И-НЕ» – отрицание конъюнкции. Выполняется элементом Шеффера (рис. 1.3).

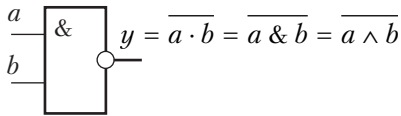


Рис. 1.3. Элемент Шеффера

Его таблица истинности:

№ п/п	X		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>y</i>
0	0	0	1
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0

3. Логическое сложение, операция «ИЛИ» – дизъюнкция. Выполняется элементом-дизъюнктором (рис. 1.4).

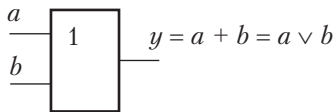


Рис. 1.4. Дизъюнктор

Его таблица истинности:

№ п/п	X		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>y</i>
0	0	0	0
1	0	1	1

№ п/п	X		
	a	b	y
2	1	0	1
3	1	1	1

4. Операция Пирса — отрицание дизъюнкции. Логическое «ИЛИ-НЕ». Выполняется элементом Пирса (рис. 1.5).

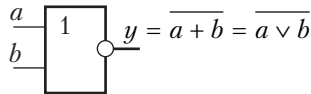


Рис. 1.5. Элемент Пирса

Его таблица истинности:

№ п/п	X		
	a	b	y
0	0	0	1
1	0	1	0
2	1	0	0
3	1	1	0

5. Логическая неравнозначность или сумма по модулю два — **M2**. Выполняется сумматором по «модулю два» (рис. 1.6). Функция истинна на тех наборах, где число единиц нечетно.

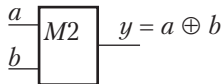


Рис. 1.6. Сумматор по модулю два

Его таблица истинности дана ниже:

№ п/п	X		
	a	b	y
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0

Вместе с тем, в литературе встречается функция, так называемая исключающее **ИЛИ**, которая истинна на тех наборах, где присутствует исключительно одна единица. Операция выполняется элементом «исключающее ИЛИ» (рис. 1.7).

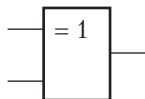


Рис. 1.7. Элемент «исключающее ИЛИ»

Его таблица истинности:

№ п/п	X		
	a	b	y
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0

Очевидно, что таблицы истинности совпадают. Значит, для двух переменных функции $M2$ и $=1$ — эквивалентны.

Составим таблицу истинности этих функций при числе переменных $n = 3$:

№ п/п	a	b	c	$M2$	$=1$
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	1
2	0	1	0	1	1
3	0	1	1	0	0
4	1	0	0	1	1
5	1	0	1	0	0
6	1	1	0	0	0
7	1	1	1	1	0

Видно, что они различаются в последнем наборе. При большем числе переменных это различие возрастает, поэтому функции $M2$ и $=1$ нельзя отождествлять.

Графическое изображение и условное обозначение логических элементов регламентируются ГОСТ 2.743–91 ЕСКД. Этот ГОСТ устанавливает следующие геометрические размеры (рис. 1.8).

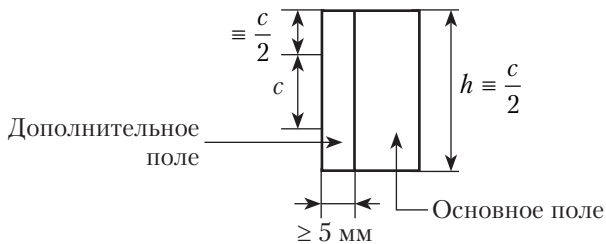


Рис. 1.8. Условное изображение логических элементов

Других ограничений на размеры логических элементов ГОСТ не накладывает.

1.2. Аксиомы и основные свойства алгебры логики

Основные свойства алгебры логики базируются на аксиомах и позволяют преобразовывать логические функции. Приведем здесь аксиомы и основные свойства алгебры логики без обсуждения и доказательств. Заметим, что некоторые свойства, в силу их важности, в технической литературе трактуются как законы.

Аксиомы алгебры логики:

$$0 \cdot 0 = 0 \quad 0 + 0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0 \quad 0 + 1 = 1$$

$$1 \cdot 0 = 0 \quad 1 + 0 = 1$$

$$1 \cdot 1 = 1 \quad 1 + 1 = 1$$

Законы алгебры логики

1. Закон одинарных элементов:

$$1 \cdot X = X \quad 0 \cdot X = 0$$

$$1 + X = 1 \quad 0 + X = X$$

2. Законы отрицания:

а) закон дополнительных элементов

$$X + \bar{X} = 1 \quad X \cdot \bar{X} = 0;$$

б) двойное отрицание

$$\bar{\bar{1}} = 0, \bar{\bar{0}} = 1, \bar{\bar{1}} = 1, \bar{\bar{0}} = 0, \bar{\bar{X}} = X, \bar{\bar{X}} = \bar{X},$$

поэтому отрицание можно переносить из одной части равенства в другую;

в) закон двойственности (правило Моргана):

$$\overline{A + B + C} = \bar{A} + \bar{B} + \bar{C}.$$

Отрицание дизъюнкции есть конъюнкция отрицаний и наоборот: отрицание конъюнкции есть дизъюнкция отрицаний:

$$\overline{A \cdot B \cdot C \cdot D} = \bar{A} + \bar{B} + \bar{C} + \bar{D}.$$

Правило справедливо для любого числа переменных.

3. Комбинационные законы. Они во многом соответствуют обычной алгебре, но есть и отличия:

а) тавтологии (многократное повторение)

$$X + X + X + X = X,$$

$$X \cdot X \cdot X \cdot X = X;$$

б) переместительности

$$A + B + C + D = A + C + B + D;$$

в) сочетательности

$$A + B + C + D = A + (B + C) + D = A + B + (C + D);$$

г) распределительности

$$X_1(X_2 + X_3) = X_1X_2 + X_1X_3,$$

$$X_1 + X_2X_3 = (X_1 + X_2)(X_1 + X_3).$$

Первое соотношение очевидно, а второе докажем путем раскрытия скобок:

$$\begin{aligned} X_1X_1 + X_1X_3 + X_1X_2 + X_2X_3 &= \\ = X_1(1 + X_3 + X_2) + X_2X_3 &= X_1 + X_2X_3; \end{aligned}$$

д) правило поглощения (одна переменная поглощает другие)

$$X_1 + X_1X_2X_3 = X_1(1 + X_2X_3) = X_1;$$

е) правило склеивания (выполняется только по одной переменной)

$$\bar{A}\bar{B}C + ABC = AC(\bar{B} + B) = AC.$$

Так же, как в обычной математике, имеется старшинство операций:

1) действие в скобках;

2) операция с одним операндом (одноместная операция) — НЕ;

- 3) конъюнкция — И;
- 4) дизъюнкция — ИЛИ;
- 5) сумма по модулю два.

Операции одного ранга выполняются слева направо в порядке написания.

1.3. Понятие базиса

С помощью ограниченного набора элементарных функций можно представить любую, сколь угодно сложную функцию алгебры логики. Такой набор элементарных функций называют **базисом**, или **функционально полным набором**.

Базисов может быть много (рис. 1.9):

- 1) И, ИЛИ, НЕ;
- 2) И, НЕ;
- 3) И-НЕ;
- 4) НЕ-И;
- 5) ИЛИ, НЕ;
- 6) ИЛИ-НЕ;
- 7) НЕ-ИЛИ;
- 8) «0», «1», НЕ, $\geq n$ и др.

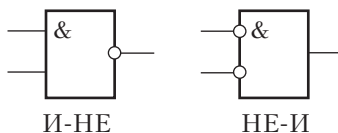


Рис. 1.9. Некоторые базисы

Мажоритарный элемент ($\geq n$) имеет нечетное число входов и вырабатывает единицу, если число единиц на входе больше чем нулей (правило голосования).

Базис называется избыточным, если исключение одной элементарной функции не приводит к потере функциональной полноты. В противном случае базис называется минимальным. Так, базисы 1, 8 — избыточные, а остальные — минимальные.

Используя законы алгебры логики, можно переходить от одного базиса к другому.

Например, пусть имеется элемент 3И-НЕ, а необходимо реализовать следующие операции:

- 1) НЕ;
- 2) И (для двух переменных);
- 3) ИЛИ (для двух переменных).