

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»
Кафедра радиоэлектронных средств

И.Н. Цырельчук, П.П. Лычук, А.И. Толстая

***ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ЦИФРОВОЙ
ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ***

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
для студентов специальности
«Моделирование и компьютерное проектирование РЭС»
заочной формы обучения

Минск 2005

УДК 681.325 (075.8)
ББК 32.844-02 я73
Ц 97

Цырельчук И.Н.

Ц 97 Проектирование устройств цифровой обработки информации: Метод. пособие для студ. спец. «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» заоч. формы обуч. / И.Н. Цырельчук, П.П.Лычук, А.И. Толстая. – Мн.: БГУИР, 2005. – 28 с.

ISBN 985-444-709-X

Приводится программа учебной дисциплины «Проектирование устройств цифровой обработки информации», даются методические указания к изучению учебного материала, перечни основных контрольных вопросов к каждому разделу учебной дисциплины и лабораторных работ по данной тематике.

УДК 681.325 (075.8)
ББК 32.844-02 я 73

ISBN 985-444-709-X

© Цырельчук И.Н.,
Лычук П.П., Толстая А.И., 2005
© БГУИР, 2005

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая электроника в настоящее время все больше вытесняет традиционную аналоговую. Ведущие фирмы полностью переходят на цифровую технологию. В ближайшем будущем полностью аналоговые устройства будут применяться только в тех редких случаях, когда требуется получить рекордные значения некоторых параметров электронных устройств (например быстродействие).

Цифровая электроника существенно отличается от аналоговой не только видом используемых сигналов, но, что самое главное, приемами проектирования, требуемым стилем мышления разработчика, принципами построения сложных систем. Проектировщик цифровой аппаратуры в подавляющем большинстве случаев работает с микросхемами как с «черным ящиком», ему не слишком важно, что происходит внутри, как реализуется та или иная функция микросхемы.

Поэтому очень важно сформировать действительно хорошего проектировщика, способного строить высокоэффективные цифровые системы самой различной сложности, который четко будет представлять себе взаимосвязь всех процессов в этой системе сверху донизу.

Учебная дисциплина «Проектирование устройств цифровой обработки информации» (ПУЦОИ) занимает особое место в учебном плане специальности «Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств». Она рассматривает основы схемотехники цифровых устройств, которыми должен свободно владеть и активно пользоваться каждый профессиональный проектировщик цифровой аппаратуры. Ее роль в подготовке специалиста очень важна: студент должен осмыслить большое число новых терминов и понятий, функционирование и взаимодействие всех основных типов цифровых микросхем – от самых простых до самых сложных, модели и уровни представления цифровых микросхем, используемых при проектировании цифровых электронных схем, способы оптимального построения высокоэффективных цифровых систем самой различной степени сложности. Для понимания новых терминов и понятий очень важны знания и навыки, полученные при изучении таких дисциплин, как «Высшая математика», «Физика», «Основы радиоэлектроники» и др.

Учебная дисциплина изучается в одном семестре. Учебным планом предусмотрены аудиторные занятия в виде лекций, лабораторных работ, а также выполнение домашней контрольной работы. Форма отчетности по учебной дисциплине – экзамен.

Данное методическое пособие предназначено для студентов специальности «Моделирование и компьютерное проектирование РЭС» заочной формы обучения, однако будет полезно и студентам других специальностей.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Данная учебная дисциплина предусматривает изучение устройств цифровой обработки информации на этапе проектирования, их применение в современных радиоэлектронных средствах (РЭС), а также принципы построения этих средств. Цель учебной дисциплины – помочь студентам приобрести, а в дальнейшем развить навыки проектирования данных устройств, осмыслить терминологию и основные понятия.

В результате освоения курса «Проектирование устройств цифровой обработки информации» студент должен знать:

- модели и уровни представления цифровых устройств;
- входы, выходы, серии и корпуса цифровых микросхем;
- основное обозначение на схемах и функции цифровых устройств;
- базовые элементы, схемы и методы их проектирования;
- примеры разработки цифровых устройств;

Пройдя подготовку по дисциплине, студент должен уметь:

- применять базовые элементы и схемы при проектировании РЭС;
- разрабатывать цифровые устройства;
- проектировать логические элементы, комбинационные микросхемы, триггеры, регистры, счетчики, микросхемы памяти, ЦАП и АЦП.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Введение

Основные сведения о цифровой электронике и цифровой технологии. Главные методы цифровой системотехники. Основные практические приемы проектирования цифровых устройств. Отличие цифровой электроники от аналоговой. Приемы проектирования цифровых приборов. Стиль мышления разработчика и принципы построения сложных систем.

Роль инженера-конструктора-технолога РЭС в решении проблемных вопросов. Место и значение цифровых устройств обработки информации при решении задач в конструировании РЭС.

Раздел 1. Общая характеристика цифровой электроники. Базовые определения

Цифровые сигналы и их элементы. Модели и уровни представления цифровых устройств: логическая модель, модель с временными задержками, модель с учётом электрических эффектов (или электрическая модель). Входы и выходы цифровых микросхем: стандартный выход или выход с двумя состояниями, выход с откры-

тым коллектором, выход с тремя состояниями. Объединение выходов цифровых микросхем. Классическая и шинная организация связей.

Основные обозначения на схемах: типы схем, обозначение входов и выходов, обозначение шин, сигналов и микросхем. Серии цифровых микросхем. Корпуса цифровых микросхем. Кодирование чисел: десятичная, двоичная, восьмеричная, шестнадцатеричная системы счисления. Функции цифровых устройств.

Методические указания

При изучении учебного материала этого раздела необходимо понять главные принципы цифровой электроники, обоснование её преимуществ, ознакомиться с терминологией и основными правилами оформления схем.

Сигнал – это любая физическая величина, изменяющаяся со временем. Следует понять, что именно благодаря этому изменению во времени сигнал может нести в себе какую-то информацию. Цифровой сигнал – это сигнал, который может принимать только два (иногда три) значения. Разрешаются некоторые отклонения от этих значений. Например, напряжение может принимать два значения: 0 ... 0.5 В (уровень нуля) или 2.5 ... 5 В (уровень единицы) (рис. 1.). Устройства, работающие исключительно с цифровыми сигналами, называются цифровыми устройствами.

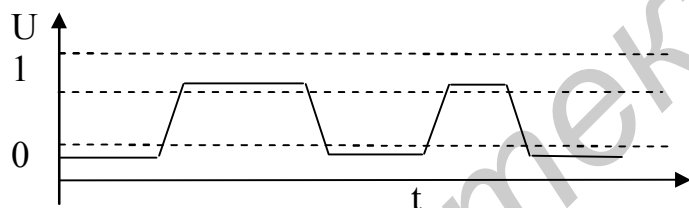


Рис.1. Электрический цифровой сигнал

Все операции, производимые электронными устройствами над сигналами, можно условно разделить на три большие группы:

- обработка (или преобразование);
- передача;
- хранение.

Все цифровые устройства строятся из логических микросхем, каждая из которых (рис.2) обязательно имеет следующие выводы:

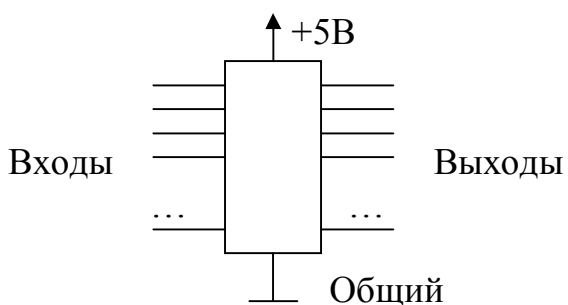


Рис.2. Цифровая микросхема

Каждая микросхема преобразует последовательность входных сигналов в последовательность выходных сигналов. Способ преобразования описывается или в виде таблицы истинности, или в виде временных диаграмм.

Разработчики цифровых схем используют три модели, три уровня представления о работе цифровых устройств:

- логическая модель;
- модель с временными задержками;
- модель с учетом электрических эффектов (или электрическая модель).

Характеристики и параметры входов и выходов цифровых микросхем определяются прежде всего технологией и схемотехникой внутреннего строения микросхем. Наибольшее распространение получили две технологии цифровых микросхем:

- ТТЛ (TTL) и ТТЛШ (TTLS) – биполярно-транзисторно-транзисторная логика и ТТЛ с диодами Шоттки.
- КМОП (CMOS) – комплементарные транзисторы со структурой «металл-окисел-полупроводник».

Различаются они типами используемых транзисторов и схемотехническим решением внутренних каскадов микросхем. Входы микросхем рассматриваются как бесконечно большое сопротивление, практически во многих случаях не влияющее на подключенные к нему выходы. Существуют три разновидности выходных каскадов, различающихся как по своим характеристикам, так и по областям применения:

- стандартный выход, или выход с двумя состояниями (2С или 2S);
- выход с открытым коллектором (ОК, ОС);
- выход с тремя состояниями или с возможностью отключения (3С, 3S).

Для изображения электронных устройств и их узлов применяется три основных типа схем:

- принципиальная схема;
- структурная схема;
- функциональная схема.

Различаются они своим назначением и степенью детализации изображения устройств.

- выводы питания: общий (или «земля») и напряжения питания (+5В или +3.3В), которые на схемах обычно не указываются;
- выводы для входных сигналов (или «входы»), на которые поступают внешние цифровые сигналы;
- выводы для выходных сигналов.

Цифровой сигнал состоит из следующих элементов (рис.3).

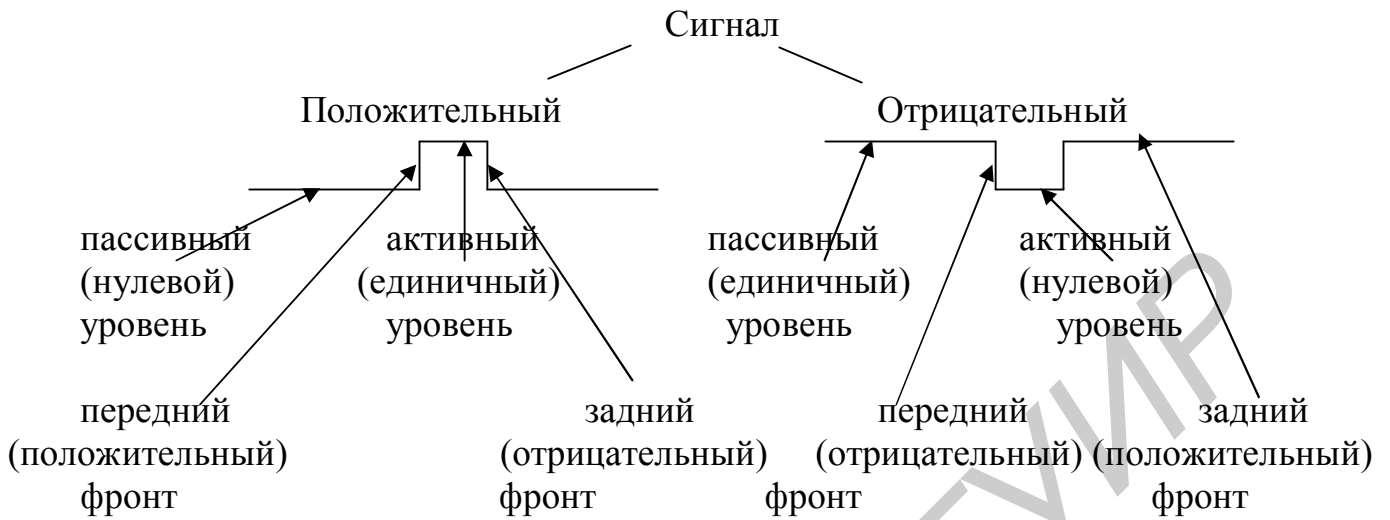


Рис.3. Элементы цифрового сигнала

Все узлы, блоки, части, элементы, микросхемы показываются в виде прямоугольников с соответствующими надписями. Если сигнал отрицательный, то перед его названием ставится знак минус. Входы и выходы обозначаются, как показано на рис.4.

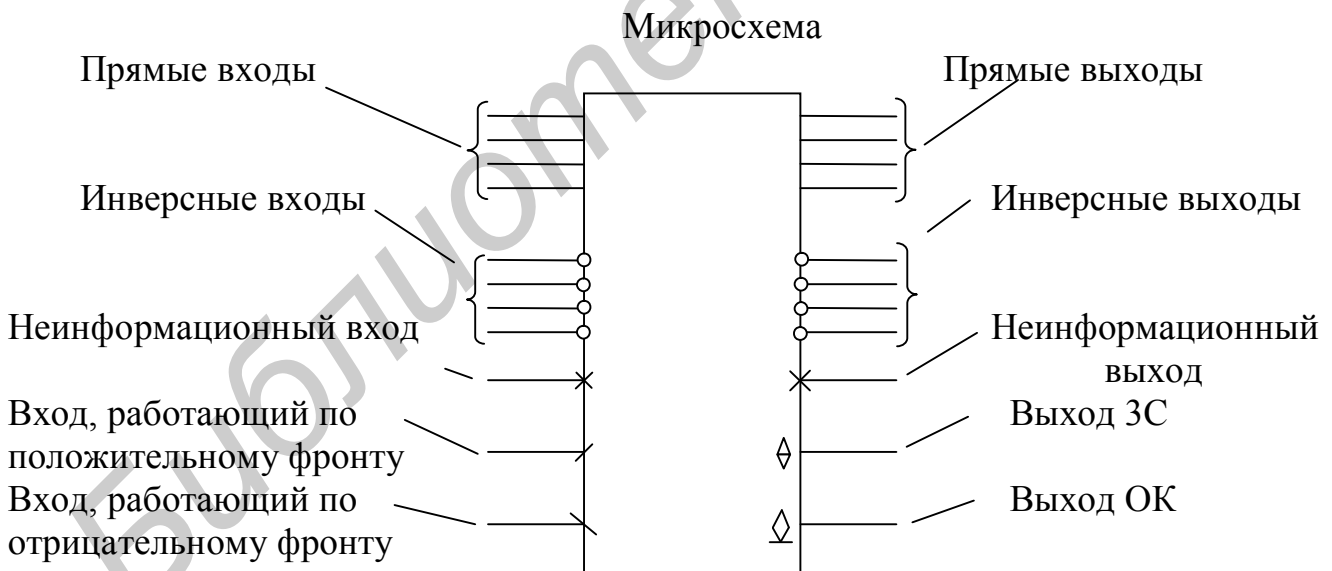


Рис.4. Обозначение входов и выходов

Стандартный выход (2С) никак не помечается.

Одиночный цифровой сигнал не слишком информативен, он может принимать только два значения: ноль и единица. Поэтому при большом объеме информации применяют несколько параллельных цифровых сигналов, которые рассматриваются одновременно. Это двоичные коды. Каждый из двоичных сигналов, входящих в

код, называется разрядом. Каждый разряд двоичного кода называется битом.

Для упрощения записи двоичных чисел применяется шестнадцатеричная система. В этом случае все двоичные разряды разбиваются на группы по четыре разряда (начиная с младшего), а затем каждая кодируется одним символом. Каждая такая группа называется полубайтом (или нибблом, тетрадой), а две группы (8 разрядов) – байтом. Два байта – слово.

Любое цифровое устройство действует по одному и тому же принципу. Оно принимает входные сигналы, выполняет их обработку, передачу, хранение и выдаёт выходные сигналы.

Основными литературными источниками для изучения этого раздела являются [1–5].

Контрольные вопросы

1. В чём отличие аналоговых сигналов от цифровых?
2. Из чего состоит цифровая микросхема?
3. Какие модели и уровни представления цифровых устройств используют разработчики цифровых схем?
4. Какие две технологии цифровых микросхем наиболее распространены и чем они отличаются?
5. В чём отличие входов и выходов цифровых микросхем с точки зрения проектировщика?
6. Какие три разновидности выходных каскадов существуют? В чём их отличие?
7. Какие типы схем применяются для изображения электронных устройств?
8. Из каких элементов состоит цифровой сигнал?
9. Как обозначаются и какие бывают входы и выходы микросхем?
10. В чём отличие отечественной системы обозначений от системы обозначений Texas Instruments?
11. Какие существуют корпуса цифровых схем?
12. Что такое двоичное кодирование?
13. Какие основные функции цифровых устройств?

Раздел 2. Логические элементы

Инверторы. Повторители и буферы. Логические элементы И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ. Логические элементы Исключающее ИЛИ. Сложные логические элементы. Триггеры Шмитта.

Методические указания

Изучение базовых элементов цифровой электроники рекомендуется начать с наиболее простых элементов, а затем рассматривать всё более сложные. Таким образом будут постепенно рассмотрены главные принципы проектирования довольно сложных цифровых устройств.

Логические элементы (или, как их ещё называют, вентили, gates) – это наиболее простые цифровые микросхемы. В одном корпусе микросхемы может располагаться от одного до шести одинаковых или разных логических элементов. Каждый логический элемент имеет несколько входов (от 1 до 12) и один выход. Каждой комбинации входных сигналов элемента соответствует уровень нуля или единицы на его выходе. Внутренней памяти у логических элементов нет, поэтому они относятся к группе комбинационных микросхем.

Достоинство логических элементов – это их высокое быстродействие (малое время задержек), а также малая потребляемая мощность (малый ток потребления).

Недостаток – на их основе достаточно трудно реализовать сложные функции.

Самый простой логический элемент – это инвертор (логический элемент НЕ, inverter). Он выполняет простейшую логическую функцию – инвертирование, то есть изменение уровня входного сигнала на противоположный. Инвертор имеет всего один вход и один выход. Выход инвертора может быть типа 2С или типа ОК. На рис.5 показаны условные обозначения инвертора, принятые у нас и за рубежом, а в табл.1 представлена таблица истинности инвертора.

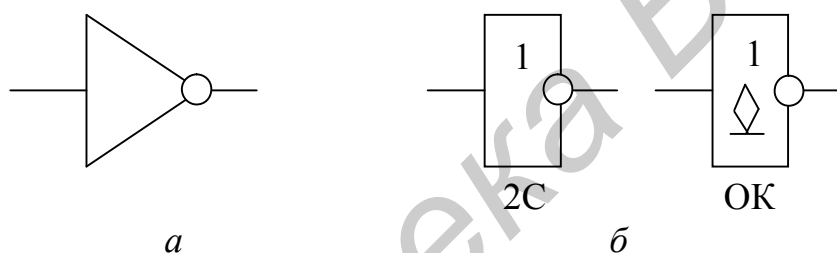


Рис.5. Условные обозначения инверторов: зарубежные *a* и отечественные *б*

Таблица 1

Таблица истинности инвертора

Вход	Выход
0	1
1	0

Повторители и буферы отличаются от инверторов прежде всего тем, что они не инвертируют сигнал (правда, существуют и инвертирующие буферы). Они выполняют функцию увеличения нагрузочной способности сигнала, то есть позволяют подавать один сигнал на много входов. Большинство буферов имеют выход ОК или 3С, что позволяет использовать их для получения двунаправленных линий или мультиплексирования сигналов. Под двунаправленными линиями понимаются такие линии, сигналы по которым могут распространяться в двух противоположных направлениях.

Мультиплексированием называется передача разных сигналов по одним и тем же линиям в разные моменты времени.

Буферы бывают однонаправленные и двунаправленные, с инверсией сигналов, с управлением всеми выходами одновременно или с управлением группами выходов.

Следующая группа микросхем на пути усложнения компонентов цифровой электроники – это элементы, выполняющие простейшие логические функции. Объединяет все эти элементы то, что у них есть несколько равноправных входов (от 2 до 12) и один выход, сигнал на котором определяется комбинацией входных сигналов.

Самые распространенные логические функции, выполняемые такими элементами – это И, И-НЕ, ИЛИ и ИЛИ-НЕ. Присутствие слова НЕ в названии элемента обозначает встроенную инверсию сигнала. В международной системе обозначений используются следующие сокращения: AND – функция И, NAND – функция И-НЕ, OR – функция ИЛИ, NOR – функция ИЛИ-НЕ.

Название самих функций И и ИЛИ говорит о том, при каком условии на входах появляется сигнал на выходе. Таблица истинности двухвходовых элементов приведена в табл. 2.

Таблица 2

Таблица истинности двухвходовых элементов И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ

Вход 1	Вход 2	Выход И	Выход И-НЕ	Выход ИЛИ	Выход ИЛИ-НЕ
0	0	0	1	0	1
0	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0
1	1	1	0	1	0

Отечественные и зарубежные обозначения на схемах двухвходовых элементов И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ показаны на рис.6.

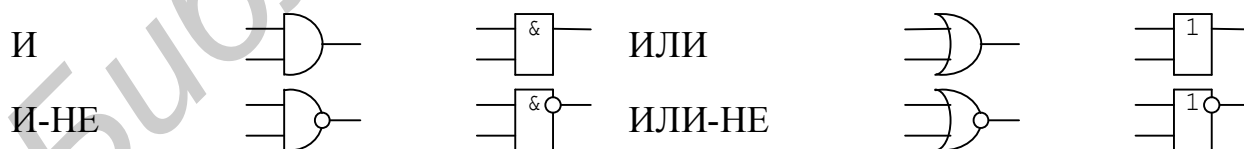


Рис. 6. Обозначения элементов И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ: зарубежные (слева) и отечественные (справа)

Все эти элементы бывают с выходами типа 2С, ОК и 3С. В последнем случае обязательно имеется вход разрешения – EZ.

Любой из логических элементов рассматриваемой группы можно рассматривать как управляемый пропускатель входного сигнала (с инверсией или без нее).

Также эти элементы удобно рассматривать в качестве схем совпадения различных сигналов.

Элементы Исключающее ИЛИ (Exclusive – OR) имеют все равноправные входы, но ни один из них не может заблокировать другие входы, установив выходной сигнал к уровню единицы или нуля.

Под функцией Исключающим ИЛИ понимается следующее: единица на выходе появляется тогда, когда только на одном входе присутствует единица. Если единиц на входах две или больше или если на всех входах нули, то на выходе будет нуль. Таблица истинности двухвходового элемента Исключающее ИЛИ приведена в табл.3.

Таблица 3

Таблица истинности элемента Исключающее ИЛИ

Вход 1	Вход 2	Выход
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Обозначения, принятые в отечественных и зарубежных схемах, показаны на рис.7:

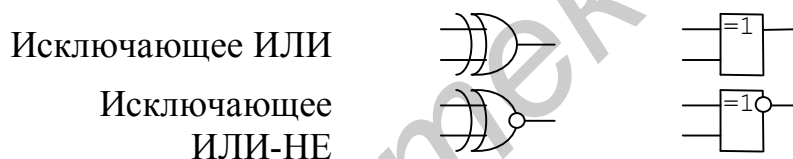


Рис. 7. Обозначение элементов Исключающее ИЛИ: зарубежные (слева) и отечественные (справа)

С точки зрения математики элемент Исключающее ИЛИ выполняет операцию так называемого суммирования по модулю два. Поэтому эти элементы также называются сумматорами по модулю два.

Основное применение элементов Исключающее ИЛИ состоит в сравнении двух входных сигналов. Второе применение этих элементов – управляемый инвертор, смешивание сигналов, формирование коротких импульсов по любому фронту входного сигнала.

Сложные логические элементы представляют собой несложную комбинацию из простейших логических элементов. От более сложных комбинационных микросхем эти элементы отличаются именно очевидной сводимостью к простейшим элементам. Поэтому в справочниках обычно даже не приводятся таблицы истинности этих элементов.

Триггеры Шмитта представляют собой специфические логические элементы, специально рассчитанные на работу с входными аналоговыми сигналами.

Они предназначены для преобразования входных аналоговых сигналов в выходные цифровые сигналы. Появление таких микросхем связано в первую очередь с необходимостью восстановления формы цифровых сигналов, искаженных в результате прохождения по линиям связи. Наиболее распространенное применение триггеров Шмитта – это формирователь сигнала начального сброса по включению питания схемы. Также триггеры Шмитта применяют при построении генераторов импульсов и при подавлении дребезга контактов.

В качестве литературы по данному разделу рекомендуется следующие источники [1, 6–9].

Контрольные вопросы

1. Что понимают под логическими элементами?
2. Какие главные достоинства и недостатки логических элементов по сравнению с другими цифровыми микросхемами?
3. Что представляют собой инверторы?
4. Приведите пример использования инверторов.
5. Поясните, что представляют из себя повторители и буферы, чем они отличаются и для чего используются?
6. Что можно сказать о логических элементах И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ?
7. В чем состоит сущность логических элементов исключающее ИЛИ?
8. Какие выводы можно сделать изучив сложные логические элементы?
9. В чем состоит отличие триггеров Шмитта от остальных логических элементов?
10. Каковы основные области применения триггеров Шмитта?

Раздел 3. Комбинационные микросхемы

Дешифраторы и шифраторы. Мультиплексоры. Компараторы кодов. Сумматоры. Преобразователи кодов. Одновибраторы и генераторы.

Методические указания

Следует понять, что комбинационные микросхемы выполняют более сложные функции, чем простые логические элементы. Их входы объединены в функциональные группы и не являются взаимозаменяемыми. Общее у комбинационных микросхем и логических элементов то, что и те, и другие не имеют внутренней памяти. То есть уровни их входных сигналов всегда однозначно определяются текущими уровнями выходных сигналов и никак не связаны с предыдущими уровнями входных сигналов. Любое изменение входных сигналов обязательно изменяет состояние выходных сигналов.

Все комбинационные микросхемы построены внутри из простейших логических элементов. Состав набора комбинационных микросхем определяется исходя из наиболее часто встречающихся задач. Требуемые для этого функции реализова-

ны в комбинационных микросхемах наиболее оптимально, с минимальными задержками минимальным потреблением мощности.

К комбинационным микросхемам относят:

- дешифраторы и шифраторы;
- мультиплексоры;
- компараторы кодов;
- сумматоры;
- преобразователи кодов;
- одновибраторы и генераторы.

Дешифратор преобразует входной двоичный код в номер выходного сигнала (дешифрирует код), а шифратор преобразует номер входного сигнала в выходной двоичный код (шифрирует номер входного сигнала). Качество выходных сигналов (и соответствующих им входов) дешифратора и входных сигналов (и соответствующих им выходов) шифратора равно количеству возможных состояний двоичного кода (входного кода у дешифратора и выходного кода у шифратора), то есть 2^n , где n – разрядность двоичного кода (рис.8):

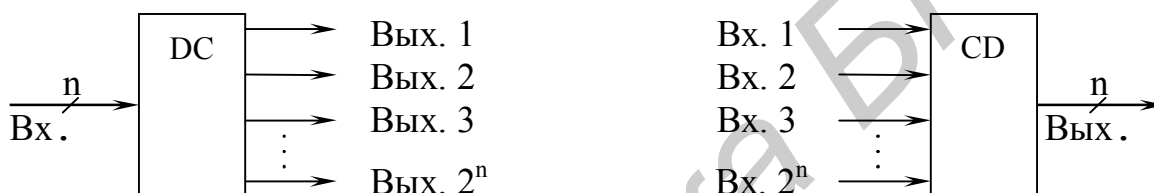


Рис. 8. Функции дешифратора (слева) и шифратора (справа).

Микросхемы дешифраторов обозначаются на схемах буквами DC (Decoder), а микросхемы шифраторов – CD (Coder). Активным всегда является только один выход дешифратора, причем номер этого выхода (и соответствующего ему сигнала) однозначно определяется входным кодом. Выходной код шифратора однозначно определяется номером входного сигнала.

Применение дешифраторов состоит в дешифрировании входных кодов, в выборе заданных входных кодов, в перекоммутации одного входного сигнала на несколько выходов.

Шифраторы применяются гораздо реже. Их стандартное применение состоит в сокращении количества сигналов.

Мультиплексоры (Multiplexer) предназначены для поочередной передачи на один выход одного из нескольких входных сигналов, то есть для их мультиплексирования. Количество мультиплексируемых входов называется количеством каналов мультиплексора, а количество выходов называется числом разрядов мультиплексора. Управление работой мультиплексора (выбор номера канала) осуществляется с помощью входного кода адреса. Мультиплексоры бывают с выходом 2С и 3С. Выходы мультиплексоров бывают прямыми и инверсными. Выход 3С позволяет объединять выходы мультиплексоров с выходами других микросхем, а также получать двунаправленные и мультиплексированные линии.

На схемах микросхемы мультиплексоров обозначаются буквами MS.

Микросхемы компараторов кодов (Comparator) применяются для сравнения двух входных кодов и выдачи на выходы сигналов о результатах этого сравнения (о равенстве или неравенстве кодов). На схемах компараторы кодов обозначаются двумя символами равенства: «==». Одно из основных применений компараторов кодов состоит в селектировании входных кодов.

При применении компараторов надо также учитывать, что при каскадировании задержки микросхем суммируются, и объединенный компаратор, состоящий из n микросхем, будет в n раз медленнее одиночного. Эти микросхемы довольно медленные по сравнению с другими комбинационными микросхемами.

Микросхемы сумматоров (Adder) предназначены для суммирования двух входных двоичных кодов. Количество выходов сумматора на единицу больше количества разрядов входных кодов. Этот дополнительный (старший) разряд называется выходом переноса. На схемах сумматоры обозначаются буквами SM. Сумматоры бывают одноразрядные, двухразрядные и четырехразрядные (в зависимости от разрядов чисел, которые суммируют). Сумматоры могут использоваться для суммирования чисел в отрицательной логике. Они могут вычислять разность входных кодов.

Микросхемы преобразователей кодов (Converter) служат для преобразования входных двоичных кодов в выходные двоично-десятичные и наоборот. Они используются довольно редко, так как применение двоично-десятичных кодов ограничено узкой областью. К тому же при правильной организации схемы часто можно обойтись без преобразования в двоично-десятичный код, например, выбирая счетчики, работающие в двоично-десятичном коде. Преобразование двоично-десятичного кода в двоичный встречается еще реже. На схемах микросхемы преобразователей обозначаются буквами X/Y.

Одновибраторы и генераторы занимают промежуточное положение между комбинационными микросхемами и микросхемами с внутренней памятью. Их выходные сигналы не определяются однозначно входными сигналами, как у комбинационных микросхем, но в то же время они и не хранят информацию длительное время.

Одновибраторы (ждущие мультивибраторы, Monostable Multivibrator) представляют собой микросхемы, которые в ответ на входной сигнал (логический уровень или фронт) формируют выходной импульс заданной длительности. Длительность этого импульса определяется внешними времязадающими резисторами и конденсаторами. То есть можно считать, что у одновибраторов есть внутренняя память, но эта память хранит информацию о входном сигнале строго заданное время, а потом информация исчезает. На схемах одновибраторы обозначаются буквами G1. Существуют одновибраторы без перезапуска и с перезапуском. Разница между этими двумя типами одновибраторов иллюстрируется на рис. 9. Одновибратор без перезапуска не реагирует на входной сигнал до окончания своего выходного импульса. Одновибратор с перезапуском начинает отсчет нового времени выдержки T с каждым новым входным сигналом независимо от того, закончилось ли предыдущее время выдержки. В случае, когда период следования входных сигнала-

лов меньше времени выдержки T , выходной импульс одновибратора с перезапуском не прерывается. Если период следования входных запускающих импульсов больше времени выдержки одновибратора T , то оба типа одновибраторов работают одинаково.

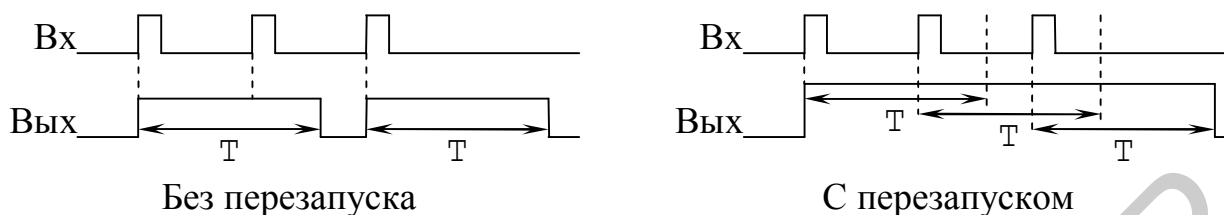


Рис. 9. Принцип работы одновибраторов без перезапуска (слева) и с перезапуском (справа)

Стандартное включение одновибраторов предполагает подключение внешнего резистора и внешнего конденсатора. Наиболее распространенные применения одновибраторов следующие: увеличение или уменьшение длительности входного импульса, деление частоты входного сигнала в заданное число раз, формирование сигнала огибающей последовательности входных импульсов.

Специализированные генераторы (мультивибраторы, Multivibrator) обозначаются на схемах буквой G . Их используют довольно редко, чаще применяют генераторы на инверторах или на триггерах Шмитта. Но в некоторых случаях их нельзя заменить ничем. Дело в том, что они допускают изменение частоты выходных импульсов с помощью уровней двух входных управляющих напряжений (генераторы, управляемые напряжением). Эффект изменения частоты используют в системах автоподстройки частоты или в устройствах с частотной модуляцией.

Учебный материал этого раздела излагается в следующих источниках: [1, 3, 5, 6, 8, 10, 11].

Контрольные вопросы

1. Что понимают под комбинационными микросхемами?
2. Что объединяет комбинационные микросхемы с логическими элементами?
3. Какие микросхемы относят к комбинационным?
4. Чем отличаются дешифраторы от шифраторов и каковы их основные функции?
5. Сколько активных выходов у дешифратора?
6. Какие наиболее типичные применения шифраторов и дешифраторов?
7. Для чего предназначены мультиплексоры?
8. Как осуществляется управление работой мультиплексора?
9. Можно ли объединять микросхемы мультиплексоров для увеличения количества каналов?

10. Как на схемах обозначаются компараторы кодов?
11. Сколько разрядов могут иметь сумматоры?
12. Где применяются преобразователи кодов?
13. Чем отличаются одновибраторы без перезапуска от одновибраторов с перезапуском?
14. В каких случаях применяют специализированные генераторы?

Раздел 4. Триггеры и регистры

Триггеры. Принцип работы и разновидности триггеров. Регистры. Регистры, срабатывающие по фронту. Регистры, срабатывающие по уровню.

Методические указания

Триггеры и регистры являются простейшими представителями цифровых микросхем, имеющих внутреннюю память. Их применение позволяет строить гораздо более сложные и интеллектуальные цифровые устройства. Микросхемы с внутренней памятью называются еще последовательными или последовательностными. Триггеры и регистры сохраняют свою память только до тех пор, пока на них подается напряжение питания. То есть их память относится к типу оперативной памяти. Главным преимуществом триггеров и регистров является их максимально высокое быстродействие по сравнению с другими типами микросхем с памятью, то есть у них минимальные времена задержек срабатывания и максимально высокая допустимая рабочая частота. Недостатком триггеров и регистров является то, что объем внутренней памяти очень мал и они могут хранить только отдельные сигналы, биты (триггеры) или отдельные коды, байты, слова (регистры). Триггер можно рассматривать как одноразрядную ячейку памяти, а регистр – как многоразрядную, состоящую из нескольких триггеров, соединенных параллельно (параллельный триггер) или последовательно (сдвиговой регистр, или регистр сдвига).

В основе любого триггера (Trigger, или Flip-Flop) лежит схема из двух логических элементов, которые связаны положительными обратными связями (то есть сигналы с выходов подаются на вход). В результате подобного включения схема может находиться в одном из двух устойчивых состояний, причем находиться сколько угодно долго, пока на нее подано напряжение питания.

Пример такой схемы (так называемой триггерной ячейки) на двух двухвходовых элементах И-НЕ представлен на рис.10. У схемы есть два инверсных входа: \bar{R} – сброс (Reset), и \bar{S} – установка (Set), а также два выхода: прямой выход Q и инверсный выход \bar{Q} .

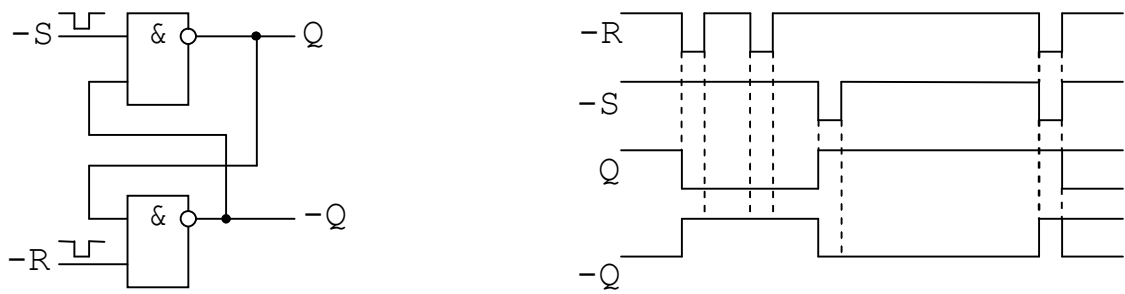


Рис. 10. Схемы триггерной ячейки

Для правильной работы схемы отрицательные импульсы должны поступать на ее входы не одновременно.

Таблица истинности схемы приведена ниже (табл.4).

Таблица 4

Таблица истинности триггерной ячейки

Входы		Выходы	
-R	-S	Q	-Q
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	Без изменения	
0	0	Не определено	

На схемах триггеры обозначаются буквой Т.

Наиболее распространены три типа триггеров:

- RS-триггер – самый простой, но редко используемый триггер;
- JK-триггер имеет самое сложное управление, также используется довольно редко;
- D-триггер – наиболее распространенный тип триггера.

Основное применение триггеры находят в тех случаях, когда надо сформировать сигнал, длительность которого соответствует длительности какой-то выполняемой операции, какого-то продолжительного процесса в схеме. Выходной сигнал триггера при этом может разрешать этот самый процесс, а может информировать остальные узлы устройства о том, что процесс идет (или, как говорят, служить флагом процесса). Вторая важная область применения триггеров – это синхронизация сигналов. Триггеры позволяют также строить линии задержки цифровых сигналов, для чего несколько триггеров соединяются в последовательную цепочку, причем все они тактируются единым тактовым сигналом.

Применение триггеров совместно с другими микросхемами часто позволяет избежать появления паразитных коротких импульсов, обеспечить надежную и уверенную работу схемы. Триггеры можно также использовать для обработки периодических последовательностей входных сигналов.

Регистры (Register) представляют собой, по сути, несколько D-триггеров (обычно от 4 до 16), соединенных между собой тем или иным способом. Принципиальной разницы между ними и отдельными D-триггерами не существует. Но триггеры, входящие в состав регистров, не имеют такого количества разнообразных управляющих входов, как одиночные триггеры. На схемах регистры обозначаются буквами RG.

Все регистры делятся на две большие группы (рис. 11):

- параллельные регистры;
- регистры сдвига (или сдвиговые регистры)

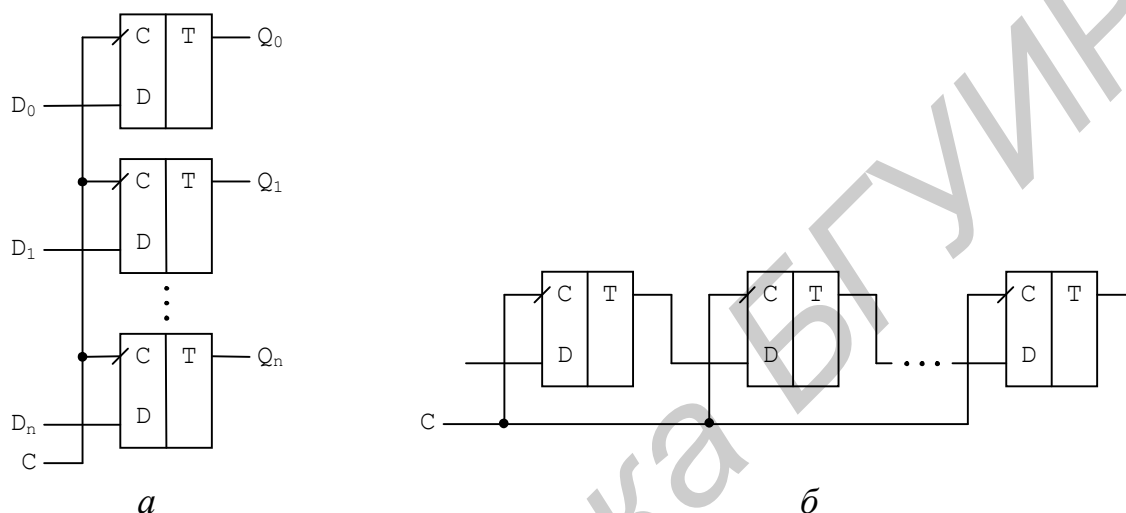


Рис. 11. Структура параллельного регистра *а* и сдвигового регистра *б*:
 D – независимый информационный вход; C – тактовый вход

Параллельные регистры в свою очередь делятся на две группы:

- регистры, срабатывающие по фронту управляющего сигнала C (или тактируемые регистры);
- регистры, срабатывающие по уровню управляющего сигнала C (или стробируемые регистры).

Регистры применяют для хранения требуемого кода в течение нужного времени, для запоминания нескольких последовательных значений изменяющегося входного кода, для организации конвейерной обработки (позволяющей существенно повысить тактовую частоту работу схемы), для накопления результата вычислений, для преобразования параллельного кода в последовательный и наоборот, для формирования импульсов заданной длительности.

В качестве литературы рекомендуется [1, 3, 5, 8, 10, 11].

Контрольные вопросы

1. Что такое триггеры и регистры и чем они отличаются?
2. Как выглядит схема триггерной ячейки?
3. Принцип работы и разновидности триггеров.

4. Как на схемах обозначаются триггеры?
5. Какие основные области применения триггеров?
6. Какие основные типы регистров вы знаете?
7. На какие две группы делятся параллельные регистры?
8. Как выглядит структура параллельного и сдвигового регистра?
9. Принцип действия регистров, срабатывающих по фронту.
10. Где применяются и как действуют регистры, срабатывающие по уровню?

Раздел 5. Счетчики

Асинхронные счетчики. Синхронные счетчики с асинхронным переносом. Синхронные счетчики. Применение счетчиков.

Методические указания

Изучая учебный материал этого раздела, следует четко понять, что счетчики представляют более высокий, чем регистры, уровень сложности цифровых микросхем, имеющих внутреннюю память. Хотя в основе любого счетчика лежат те же самые триггеры, которые образуют и регистры, но в счетчиках триггеры соединены более сложными связями, в результате чего их функции сложнее, и на их основе можно строить более сложные устройства, чем на регистрах. Точно так же, как и в случае регистров, внутренняя память счетчиков – оперативная, то есть ее содержимое сохраняется только до тех пор, пока включено питание схемы. Счетчики предназначены для счета входных импульсов. То есть с приходом каждого нового входного импульса двоичный код на выходе счетчика увеличивается (или уменьшается) на единицу (рис.12).

Срабатывать счетчик может по отрицательному фронту входного (тактового) сигнала (как на рисунке) или по положительному фронту входного сигнала. Режим счета обеспечивается использованием внутренних триггеров, работающих в счетном режиме. Счетчик может работать на увеличение выходного кода по каждому входному импульсу – это основной режим, имеющийся во всех счетчиках, он называется режимом прямого счета. Счетчик может также работать на уменьшение выходного кода по каждому входному импульсу – это режим обратного или инверсного счета, предусмотренный в счетчиках, называемых реверсивными.

Большинство счетчиков работают в обычном двоичном коде, то есть считают от 0 до $2^N - 1$, где N – число разрядов выходного кода счетчика. Имеются также двоично-десятичные счетчики, предельный код на выходе которых не превышает максимального двоично-десятичного числа, возможного при данном количестве разрядов.

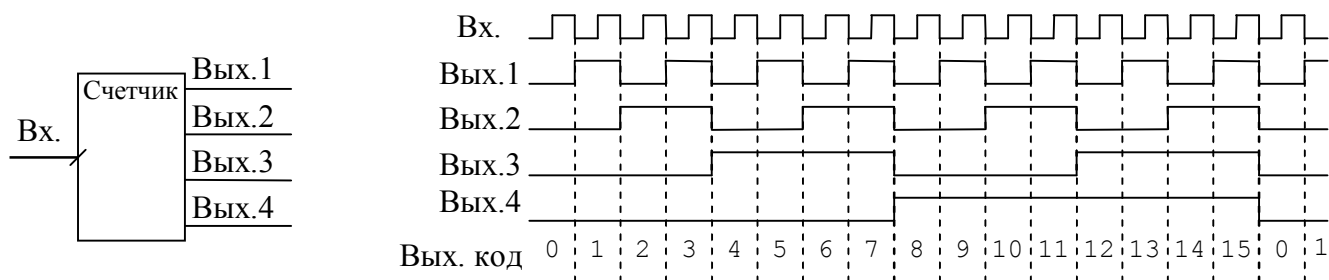


Рис. 12. Работа четырехразрядного двоичного счетчика

По быстродействию все счетчики делятся на три большие группы:

- асинхронные (или последовательные) счетчики;
- синхронные счетчики с асинхронным переносом (или параллельные счетчики с последовательным переносом);
- синхронные (или параллельные) счетчики.

Наибольшим быстродействием обладают синхронные счетчики, наименьшим – асинхронные, наиболее просто управляемые.

Асинхронные счетчики строятся из простой цепочки JK-триггеров, каждый из которых работает в счетном режиме. Выходной сигнал каждого триггера служит входным сигналом для следующего триггера. Поэтому все разряды (выходы) асинхронного счетчика переключаются последовательно (отсюда название – последовательные счетчики), один за другим, начиная с младшего и кончая старшим. Каждый следующий разряд переключается с задержкой относительно предыдущего, то есть асинхронно, не одновременно с входным сигналом и с другими разрядами. Основное применение асинхронных счетчиков состоит в построении всевозможных делителей частоты, то есть устройств, выдающих выходной сигнал с частотой в несколько раз меньшей, чем частота входного сигнала.

Синхронные (или параллельные) счетчики характеризуются тем, что все их разряды переключаются одновременно, параллельно. Полная задержка переключения синхронного счетчика примерно равна задержке одного триггера, то есть синхронные счетчики гораздо быстрее асинхронных и их быстродействие не падает с ростом количества разрядов выходного кода. Управление работой синхронного счетчика гораздо сложнее. Основная суть работы синхронных счетчиков с асинхронным переносом сводится к следующему: все разряды одного счетчика переключаются одновременно, но при каскадировании каждый следующий счетчик переключается с задержкой относительно предыдущего. Их применяют для деления частоты входного сигнала, счета входных импульсов, формирования пачки импульсов, измерения длительности временного интервала, формирования сигналов заданной длительности, измерения частоты входных импульсов, формирования сложных последовательностей сигналов и др.

Синхронные (или параллельные) счетчики представляют собой наиболее быстродействующую разновидность счетчиков. Нарастивание их разрядности при соблюдении определенных условий не приводит к увеличению полной задержки срабатывания. То есть можно считать, что именно синхронные счетчики работают как иде-

альные счетчики, все разряды которых срабатывают одновременно, параллельно. Задержка срабатывания счетчика в этом случае примерно равна задержке срабатывания одного триггера. Достигается такое быстродействие существенным усложнением внутренней структуры микросхемы. Недостатком их является более сложное управление работой. Возможности применения синхронных счетчиков очень широки. Они могут заменить во всех схемах все другие разновидности счетчиков. При необходимости достижения максимального быстродействия они имеют большие преимущества по сравнению со всеми другими счетчиками. Их выходной код устанавливается одновременно при любом количестве разрядов без применения дополнительных выходных регистров.

Для ознакомления с работой и применением счетчиков и осмысления функций, выполняемых ими, рекомендуется [1, 3, 5, 8, 12].

Контрольные вопросы

1. Поясните, что представляют из себя счетчики.
2. Перечислите основные достоинства и недостатки счетчиков.
3. На чем основан принцип работы счетчиков?
4. Для чего предназначены счетчики?
5. Какие виды счетчиков вы знаете?
6. Что представляют из себя асинхронные счетчики?
7. Как на практике можно применять асинхронные счетчики?
8. В чем особенность синхронных счетчиков с асинхронным переносом?
9. Какие основные области применения синхронных счетчиков?

Раздел 6. Микросхемы памяти

Постоянная память. ПЗУ как универсальная комбинационная микросхема. ПЗУ в генераторах импульсных последовательностей. Микропрограммные автоматы на ПЗУ. Оперативная память. ОЗУ для временного хранения информации. ОЗУ как информационный буфер. Улучшение параметров ОЗУ.

Методические указания

Прорабатывая этот раздел учебной программы, следует помнить, что микросхемы памяти (или просто память, или запоминающее устройство – ЗУ, Memory) представляют собой группу еще более сложных цифровых микросхем по сравнению с микросхемами, рассмотренными ранее. Память – это всегда очень сложная структура, включающая в себя множество элементов. Внутренняя структура памяти регулярная, большинство элементов одинаковые, связи между элементами сравнительно простые, поэтому функции, выполняемые памятью, не слишком сложные. Память предназначена для запоминания, хранения массивов информации: наборов, таблиц, групп цифровых кодов. Каждый код хранится в отдельном элементе памяти, называемом ячейкой памяти. Основная функция любой памяти

состоит в выдаче этих кодов на выходы микросхемы по внешнему запросу. Основным параметром памяти – ее объем, то есть количество кодов, которые могут в ней храниться, и разрядность этих кодов. В зависимости от способа занесения (записи) информации и от способа ее хранения микросхемы памяти разделяются на следующие основные типы:

Постоянная память (ПЗУ – постоянное запоминающее устройство, ROM – Read Only Memory – память только для чтения), в которую информация заносится один раз на этапе изготовления микросхемы. Такая память называется еще масочным ПЗУ. Информация в памяти не пропадает при выключении питания, поэтому ее еще называют энергонезависимой памятью.

Программируемая постоянная память (ППЗУ – программируемое ПЗУ, PROM – Programmable ROM), в которую информация может заноситься пользователем с помощью специальных методов (ограниченное число раз). Информация в ППЗУ тоже не пропадает при выключении ее питания, то есть она также энергонезависимая.

Оперативная память (ОЗУ – оперативное запоминающее устройство, RAM – Random Access Memory – память с произвольным доступом), запись информации в нее наиболее проста и может производиться пользователем сколько угодно раз. Информация пропадает при выключении ее питания.

Флэш-память (Flash-Memory) представляет собой ППЗУ с многократным электрическим стиранием и перезаписью информации.

В общем случае любая микросхема памяти имеет следующие информационные выводы (рис.13):

Адресные выводы (входные), образующие шину адреса памяти. Код на адресных линиях представляет собой двоичный номер ячейки памяти, к которой происходит обращение в данный момент. Количество адресных разрядов определяет количество ячеек памяти: при количестве адресных разрядов n количество ячеек памяти равно 2^n .

Выводы данных (выходные), образующие шину данных памяти. Код на линиях данных представляет собой содержимое той ячейки памяти, к которой производится обращение в данный момент. Количество разрядов данных определяет количество разрядов всех ячеек памяти (обычно оно бывает равным 1, 4, 8, 16). Как правило, выходы данных имеют тип выходного каскада ОК или 3С.

В случае оперативной памяти помимо выходной шины данных может быть еще и отдельная входная шина данных, на которую подается код, записываемый в выбранную ячейку памяти. Другой возможный вариант – совмещение входной и выходной шин данных, то есть двунаправленная шина данных, направление передачи информации по которой определяется управляющими сигналами.

Управляющие выводы (входные), которые определяют режим работы микросхемы. В большинстве случаев у памяти имеется вход выбора микросхемы CS. У оперативной памяти также обязательно есть вход записи WR, активный уровень сигнала на котором переводит микросхему в режим записи.

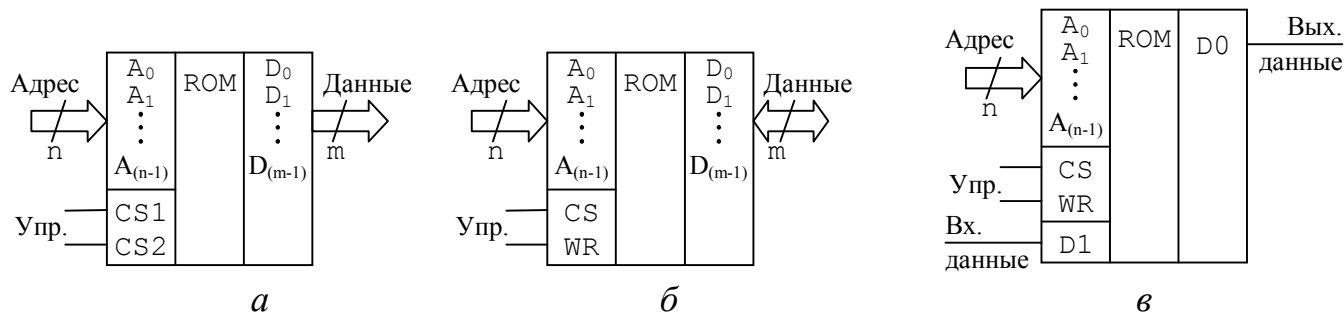


Рис. 13. Микросхемы памяти: *а* – ПЗУ, *б* – ОЗУ с двунаправленной шиной данных, *в* – ОЗУ с отдельными шинами входных и выходных данных

Одно из самых распространенных применений микросхем ПЗУ – замена сложных комбинационных схем. Такое решение позволяет существенно упростить проектируемое устройство и снизить количество используемых комбинационных микросхем, а также иногда уменьшить потребляемый ток и увеличить быстродействие схемы. Следующее важнейшее применение ПЗУ – это построение генераторов сложных последовательностей цифровых импульсов.

Главное применение микросхем оперативной памяти – это временное хранение цифровой информации, всевозможных массивов кодов, таблиц данных и одиночных чисел. В зависимости от того, в каком порядке может записываться или читаться информация, существуют две разновидности ОЗУ:

- ОЗУ с параллельным или произвольным доступом;
- ОЗУ с последовательным доступом.
- Выделяются три основных типа оперативной памяти с последовательным доступом:
 - память типа «первый вошел – первый вышел» (FIFO, First In – First Out);
 - память магазинного, стекового типа, работающая по принципу «последний вошел – первый вышел» (LIFO, Last In – First Out);
 - память для хранения массивов данных.

Второе важнейшее применение микросхем оперативной памяти состоит в организации разнообразных информационных буферов, то есть буферной памяти для промежуточного хранения данных, передаваемых между двумя устройствами или системами. Такое промежуточное хранение позволяет лучше согласовать работу устройств, участвующих в обмене данными, повысить их независимость друг от друга, согласовать скорости передачи и приема.

Как основная литература рекомендуется [1, 2, 3, 5].

Контрольные вопросы

1. Что такое память и для чего она предназначена?
2. Каков принцип организации памяти?
3. Перечислите основные типы памяти.

4. Какие информационные выводы имеет любая микросхема памяти?
5. Назовите основные применения постоянной памяти.
6. Какое основное отличие оперативной памяти от постоянной?
7. Какие разновидности ОЗУ существуют в зависимости от того, в каком порядке может записываться или читаться информация?
8. Перечислите три основных типа оперативной памяти с последовательным доступом.
9. Приведите примеры использования оперативной памяти.

Раздел 7. Микросхемы ЦАП и АЦП

ЦАП. АЦП. Применение ЦАП. Применение АЦП.

Методические указания

Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП, DAC – Digital-to-Analog Converter) и аналого-цифровые преобразователи (АЦП, ADC – Analog-to-Digital Converter) применяются для сопряжения цифровых устройств и систем с внешними аналоговыми сигналами, с реальным миром. При этом АЦП преобразует аналоговые сигналы во входные цифровые сигналы, поступающие на цифровые устройства для дальнейшей обработки или хранения, а ЦАП преобразует выходные цифровые сигналы цифровых устройств в аналоговые сигналы.

ЦАП и АЦП применяются в измерительной технике (цифровые осциллографы, вольтметры, генераторы сигналов), в бытовой аппаратуре, в компьютерной технике (ввод и вывод звука в компьютерах, видеомониторы, принтеры), в медицинской технике, в радиолокационных устройствах, в телефонии и во многих других областях.

ЦАП и АЦП довольно полно рассмотрены в [1, 5, 13, 14].

Контрольные вопросы

1. Что понимают под ЦАП?
2. Что понимают под АЦП?
3. Поясните суть работы ЦАП и АЦП.
4. Укажите отличительные особенности ЦАП и АЦП.
5. Опишите применение микросхем ЦАП и АЦП.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Классификация элементов ЭВМ.
2. Схемотехника логических элементов.
3. Логические и функциональные элементы.
4. Методика расчета логического элемента ТТЛ (транзисторно-транзисторной логики).

5. Методика расчета базовой логики элемента серии эмиттерно-связной логики (ЭСЛ).

4. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

1. Составить таблицу истинности минтермов и макстермов для функций F_1 и F_2 (табл. 5).

2. Представить заданные функции в алгебраическом виде с помощью минтермов и макстермов.

3. Доказать эквивалентность дизъюнктивной совершенной нормальной формы и конъюнктивной совершенной нормальной формы.

4. Получить инверсии заданных функций с помощью аксиом и законов булевой алгебры.

5. Представить функции F_3 и F_4 , заданные в алгебраическом виде, с помощью карт Карно (см. табл.5).

6. По заданным картам Карно составить уравнения функций.

Варианты задания для функций F_1 , F_2 , F_3 и F_4 даны в табл. 5.

Таблица 5

№	F_1	F_2	F_3	F_4
1	$x_1\bar{x}_2$	$x_1+x_2\bar{x}_3$	$x_1\bar{x}_2x_3+\bar{x}_1x_2x_3+x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$	$x_1x_2x_3x_4+\bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4+x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4$
2	x_1+x_2	$x_1\bar{x}_2+x_3$	$\bar{x}_1x_2x_3+x_1x_2x_3+x_1x_2\bar{x}_3$	$x_1\bar{x}_2x_3x_4+\bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4+x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4$
3	\bar{x}_1+x_2	$\bar{x}_1x_3+x_2$	$\bar{x}_1x_2x_3+\bar{x}_1x_2x_3+x_1\bar{x}_2x_3$	$\bar{x}_1x_2x_3x_4+x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4+\bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4$
4	$\bar{x}_1+\bar{x}_2$	$x_1\bar{x}_2x_3$	$x_1x_2x_3+x_1\bar{x}_2x_3+x_1x_2\bar{x}_3$	$\bar{x}_1x_2x_3x_4+x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4+\bar{x}_1\bar{x}_2x_3x_4$
5	x_1x_2	$\bar{x}_1+\bar{x}_2+\bar{x}_3$	$\bar{x}_1x_2x_3+x_1x_2x_3+x_1x_2\bar{x}_3$	$x_1\bar{x}_2x_3x_4+\bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4+x_1\bar{x}_2x_3x_4$
6	$\bar{x}_1\bar{x}_2$	$x_1+\bar{x}_2+\bar{x}_3$	$\bar{x}_1x_2x_3+x_1x_2x_3+\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$	$x_1x_2x_3x_4+\bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4+\bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4$
7	\bar{x}_1x_2	$\bar{x}_1+\bar{x}_2+\bar{x}_3$	$x_1x_2x_3+\bar{x}_1x_2x_3+x_1\bar{x}_2x_3$	$x_1\bar{x}_2x_3x_4+\bar{x}_1x_2x_3x_4+x_1x_2x_3x_4$
8	$x_1\bar{x}_2$	$\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$	$\bar{x}_1x_2x_3+\bar{x}_1x_2x_3+x_1\bar{x}_2x_3$	$x_1\bar{x}_2x_3x_4+\bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4+x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4$
9	$\bar{x}_1\bar{x}_2$	$\bar{x}_1x_2+x_3$	$x_1x_2x_3+\bar{x}_1x_2x_3+x_1x_2\bar{x}_3$	$\bar{x}_1x_2x_3x_4+x_1x_2x_3\bar{x}_4+\bar{x}_1x_2x_3x_4$
10	\bar{x}_1x_2	$\bar{x}_1x_2x_3$	$x_1\bar{x}_2x_3+x_1x_2x_3+\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$	$x_1\bar{x}_2x_3x_4+x_1x_2x_3\bar{x}_4+\bar{x}_1x_2x_3x_4$
11	\bar{x}_1+x_2	$\bar{x}_1x_2+x_3$	$\bar{x}_1x_2x_3+x_1\bar{x}_2x_3+\bar{x}_1x_2x_3$	$x_1x_2x_3x_4+\bar{x}_1x_2x_3x_4+x_1x_2x_3\bar{x}_4$
12	\bar{x}_1x_2	$x_1x_2\bar{x}_3$	$x_1\bar{x}_2x_3+\bar{x}_1x_2x_3+x_1\bar{x}_2\bar{x}_3$	$\bar{x}_1x_2x_3x_4+x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4+x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4$
13	$\bar{x}_1+\bar{x}_2$	$x_1x_2+\bar{x}_3$	$x_1x_2x_3+x_1x_2x_3+x_1x_2\bar{x}_3$	$x_1x_2x_3x_4+x_1x_2x_3\bar{x}_4+x_1x_2x_3x_4$
14	$\bar{x}_1\bar{x}_2$	$x_1x_3+\bar{x}_2$	$\bar{x}_1x_2x_3+x_1\bar{x}_2x_3+\bar{x}_1x_2\bar{x}_3$	$x_1\bar{x}_2x_3x_4+x_1x_2x_3\bar{x}_4+x_1\bar{x}_2x_3x_4$

ЛИТЕРАТУРА

1. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство / Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
2. Уильямс Г.Б. Отладка микропроцессорных систем: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 253с.
3. Чернега В.С., Василенко В.А., Бондарев В.Н. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации. – М.: Высш. шк., 1990. – 224с.
4. Новиков Ю.В., Калашников О.А., Гуляев С.Э. Разработка устройств сопряжения для персональных компьютеров типа IBM PC: Практик. пособие / Под ред. Ю.В. Новикова – М.: ЭКОМ, 1997. – 224с.
5. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. 5-е изд. перераб. – М.: Мир, 1998. – 704с.
6. Горошков Б.И. Радиоэлектронные устройства: Справочник. – М.: Радио и связь, 1984. – 400с.
7. Применение интегральных микросхем в электронной вычислительной технике: Справочник / Р.В. Данилов, С.А. Ельцова, Ю.П. Иванов и др.; Под ред. Б.Н. Файзулаева, Б.В. Тарабрина. – М.: Радио и связь, 1986. – 384 с.
8. Бирюков С.А. Применение цифровых микросхем серий ТТЛ и КМОП. – М.: ДМК, 1999. – 240с.
9. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник. – М.: Радио и связь, 1987. – 352с.
10. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ. / Под ред. У. Томкинса, Дж. Уэбстера. – М.: Мир, 1992. – 592с.
11. Ютин А.М. Цифровые микросхемы для электронных устройств: Справочник. – М.: Высш. шк., 1993. – 176с.
12. Перельман Б.Л., Шевелев В.И. Отечественные микросхемы и зарубежные аналоги: Справочник. – М.: НТЦ Микротех, 1998. – 376с.
13. Гнатек Ю.Р. Справочник по цифроаналоговым и аналого-цифровым преобразователям: Пер. с англ. / Под ред. Ю.А. Рюжина. – М.: Радио и связь, 1982. – 420 с.
14. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.

Учебное издание

Цырельчук Игорь Николаевич
Лычук Петр Павлович
Толстая Алла Ивановна

***Проектирование устройств цифровой
обработки информации***

Методическое пособие
для студентов специальности
«Моделирование и компьютерное проектирование РЭС»
заочной формы обучения

Редактор Т.П. Андрейченко
Корректор Н.В. Гриневич

Подписано в печать
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,6.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,74.
Заказ 93.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности № 02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности № 02330/0131518 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6