

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.В. РОДЫГИН

ЭЛЕМЕНТЫ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Утверждено
Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2018

УДК 621.382:004.31-181.48+621.382.049.77](075.8)
Р 617

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент *В.М. Кавешников*
канд. техн. наук, доцент *Д.А. Павлюченко*

Работа подготовлена на кафедре электропривода
и автоматизации промышленных установок
для студентов III–IV курсов ФМА

Родыгин А.В.

Р 617 Элементы микропроцессорных устройств: учебное пособие /
А.В. Родыгин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 83 с.

ISBN 978-5-7782-3673-8

В пособии рассматриваются основные принципы построения элементов цифровых устройств информационной электроники. Предназначено для студентов направлений 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» всех форм обучения, а также может быть рекомендовано для студентов других направлений подготовки.

УДК 621.382:004.31-181.48+621.382.049.77](075.8)

ISBN 978-5-7782-3673-8

© Родыгин А.В., 2018
© Новосибирский государственный
технический университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Основные понятия	6
1.1. Основные характеристики импульсных сигналов	6
1.2. Системы счисления	7
1.3. Математические операции с двоичными числами	11
1.4. Основы алгебры логики	14
1.5. Базис функции	22
1.6. Минимизация функций	24
1.7. Синтез логического устройства	27
Исследовательская работа	32
Контрольные вопросы и задания	33
2. Последовательные логические устройства	35
2.1. Триггеры	35
2.1.1. RS-триггер	36
2.1.2. JK-триггер	37
2.1.3. D-триггер	39
2.1.4. T-триггер	40
2.1.5. Взаимное преобразование триггеров	40
2.1.6. Синтез асинхронного триггера	41
2.1.7. Синтез синхронного триггера	43
Исследовательская работа	46
2.2. Регистры	47
2.2.1. Регистр с параллельным вводом данных	47
2.2.2. Регистр с последовательным вводом данных	49
2.2.3. Универсальный регистр	50
2.2.4. Реверсивный регистр	51
Исследовательская работа	52

2.3. Счетчики	53
2.3.1. Двоичный счетчик	54
2.3.2. Двоично-десятичный счетчик	55
2.3.3. Реверсивный счетчик	57
2.3.4. Примеры решения задач	58
2.3.5. Синтез делителя частоты	60
Контрольные вопросы и задания	62
3. Комбинационные логические устройства	65
3.1. Сумматоры	65
3.2. Дешифраторы	68
3.3. Шифраторы	71
3.4. Синтез преобразователя кода	72
3.5. Мультиплексоры	75
3.6. Демультимплексоры	77
Исследовательская работа	78
Контрольные вопросы и задания	79
Библиографический список	82

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1.1. Основные характеристики импульсных сигналов

Виды импульсных сигналов

Под импульсной техникой понимают область электроники, которая изучает формирование импульсных сигналов и их прохождение через электрические цепи. Импульсный сигнал может состоять из одного импульса или серии импульсов. Под импульсом понимают быстрое появление и исчезновение тока или напряжения, т. е. кратковременное действие тока или напряжения на электрическую цепь или устройство. В импульсной технике различают два вида импульсных сигналов – видеоимпульсы и радиоимпульсы. Видеоимпульсы представляют собой кратковременные односторонние (относительно оси времени) изменения напряжения или тока в цепи постоянного тока. Радиоимпульс – это сигнал, состоящий из высокочастотных колебаний напряжения или тока, огибающая которых повторяет форму видеоимпульса. В импульсной технике в основном рассматривают видеоимпульсы.

Форма импульсов

Импульсы могут иметь прямоугольную, трапецеидальную, колоколообразную, треугольную и экспоненциальную форму. В импульсе различной формы различают фронт, вершину и спад. Импульсы могут быть положительной или отрицательной полярности.

Параметры импульсов

Каждый импульс характеризуется амплитудой A , длительностью импульса $t_{и}$, длительностями фронта $t_{ф}$ и спада $t_{с}$ импульса, снижением вершины ΔA , а также мощностью в импульсе $P_{и}$.

Амплитуда однополярного импульса характеризуется величиной (размахом) напряжения или тока от нуля до максимального значения импульса данной формы. В двустороннем импульсе величина от вершины положительного до вершины отрицательного импульса называется полным размахом импульса (полной амплитудой A_{Π}).

Длительность импульса $t_{и}$ – интервал времени, в течение которого ток или напряжение действуют на электрическую цепь. В реальных схемах форма импульсов искажается, поэтому длительность определяют на уровне $0,1A$ и реже – по основанию импульса. Активную длительность импульса $t_{и а}$ измеряют на уровне $0,5 A$.

Длительность фронта $t_{ф}$ и спада $t_{с}$ оценивается интервалом времени, в течение которого амплитуда импульса нарастает от $0,1$ до $0,9$ своего максимального значения и падает от $0,9A$ до $0,1A$.

Вершина у прямоугольного импульса не идеально плоская и характеризуется параметром «снижение вершины» ΔA , который практически не должен превышать $(0,01 \dots 0,05)A$.

Мощность в импульсе характеризуется отношением энергии W , выделенной в цепи при прохождении импульса, к его длительности $t_{и}$: $P_{и} = W / t_{и}$.

В дальнейшем описании при использовании термина «импульсный сигнал» будем подразумевать прямоугольный импульсный сигнал, характеризующийся амплитудой U , временем импульса $t_{и}$, периодом следования импульсов T , частотой следования импульсов $f = 1/T$, коэффициентом заполнения $\gamma = t_{и} / T$, скважностью $s = 1/\gamma$. Термином «цифровой сигнал» будем обозначать прямоугольный импульсный сигнал, имеющий два нормированных уровня: «высокий», соответствующий уровню лог. «1», и «низкий», соответствующий уровню лог. «0».

1.2. Системы счисления

Поскольку цифровая техника (в частности, ЭВМ) оперирует с двумя уровнями напряжения, т. е. с двумя числами, это обуславливает существование своего рода языка, на котором работает эта техника.

Для удобства работы с цифровыми устройствами были разработаны различные системы счисления. В позиционных системах счисления

одна и та же цифра в записи числа имеет различные значения в зависимости от того места (разряда), где она расположена.

В общем случае система счисления с основанием b называется b -ричной. При этом:

- 1) основание системы счисления $b > 1$;
- 2) b единиц в каждом разряде объединяется в одну единицу следующего по старшинству разряда;
- 3) разрядные коэффициенты A_k – целые числа, удовлетворяющие неравенству $0 \leq A_k < b$;
- 4) k – порядковый номер разряда, начиная с нулевого;
- 5) n – число разрядов;
- 6) число x в b -ричной системе счисления представляется в виде линейной комбинации степеней числа b :

$$x = \sum_{k=0}^{n-1} A_k b^k.$$

Двоичная система счисления (BIN)

В основе двоичной системы счисления лежат две цифры: «0» и «1». Позиция, занятая двоичной цифрой, называется бит, или двоичный разряд. В двоичной системе счисления, так же как и в десятичной, каждому разряду присвоен определенный вес. В позиции разряда записывается разрядный коэффициент A_k .

Например, в десятичной системе счисления ($b = 10$) число можно представить в виде $967_{10} = 9 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0$, где $A_2 = 9$, $A_1 = 6$, $A_0 = 7$.

Аналогично в двоичной системе счисления ($b = 2$) запись десятичного числа «шесть» имеет вид $110_2 = 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$, где $A_2 = 1$, $A_1 = 1$, $A_0 = 0$.

Читается это двоичное число как «один – один – ноль», а не «сто десять», чтобы отличать от десятичной системы счисления.

Дробное число в двоичной системе счисления записывается в следующем виде: $101,01_2 = 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} = 4 + 1 + 0 + 1/4 = 5,25_{10}$.

Процедура преобразования десятичных чисел в двоичные

Для целых чисел делим преобразуемое число на основание системы (т.е. на 2). Значение остатка присваиваем младшему значащему разряду (МЗР). Результат деления еще раз делим до тех пор, пока частное не станет равным нулю, и присваиваем каждый раз значение остатка следующему разряду.

Пр и м е р. Преобразуем десятичное число 47 в двоичный код.

$47 / 2 = 23$	остаток = 1	→	0-й разряд (МЗР)=1
$23 / 2 = 11$	остаток = 1	→	1-й разряд=1
$11 / 2 = 5$	остаток = 1	→	2-й разряд=1
$5 / 2 = 2$	остаток = 1	→	3-й разряд=1
$2 / 2 = 1$	остаток = 0	→	4-й разряд=0
$1 / 2 = 0$	остаток = 1	→	5-й разряд (СЗР)=1

Результат: $47_{10} = 10\ 1111_2$

Для вещественных чисел преобразуем отдельно целую и дробную части числа. Целую часть преобразуем как описано выше, а для дробной части производим не деление, а умножение на основание системы. Если результат меньше единицы, то старшему значащему разряду (СЗР) дробной части присваиваем «0»; если больше единицы, то «1», и отнимаем единицу от полученного результата. Умножение производим до тех пор, пока результат не станет равным единице или не будет достигнута требуемая точность.

Пр и м е р. Преобразуем десятичное число 0,4 в двоичный код.

$0,4 \cdot 2 = 0,8$	$0,8 < 1$	→	1-й разряд=0
$0,8 \cdot 2 = 1,6$	$1,6 > 1$	→	2-й разряд=1
$(1,6 - 1) \cdot 2 = 1,2$	$1,2 > 1$	→	3-й разряд=1
$(1,2 - 1) \cdot 2 = 0,4$	$0,4 < 1$	→	4-й разряд=0
$0,4 \cdot 2 = 0,8$	$0,8 < 1$	→	5-й разряд=0
$0,8 \cdot 2 = 1,6$	$1,6 > 1$	→	6-й разряд=1
$(1,6 - 1) \cdot 2 = 1,2$	$1,2 > 1$	→	7-й разряд=1
$(1,2 - 1) \cdot 2 = 0,4$	$0,4 < 1$	→	8-й разряд=0

Выявилась определенная закономерность, и дальнейшие вычисления можно прекратить. Посмотрим результаты округления в зависимости от выбранной точности. Выберем представление дробной части различным числом разрядов, тогда: