

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

Кафедра радиотехнических систем (РТС)

А.А. Савин

**ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА  
И МИКРОПРОЦЕССОРЫ**

Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий

**Томск – 2012**

Савин А.А. **Цифровые устройства и микропроцессоры.** Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий. – Томск: ТУСУР, 2012.

Учебно-методическое пособие предназначено для проведения практических занятий по дисциплине «Цифровые устройства и микропроцессоры».

Рекомендовано кафедрой радиотехнических систем ТУСУР для студентов специальностей 210300.62 «Радиотехника», 210304.65 «Радиоэлектронные системы», 210403.65 «Защищенные системы связи» и 090106.65 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

## Содержание

Введение.....	4
1. Позиционные системы счисления.....	5
2. Представление чисел с фиксированной и плавающей точкой.....	7
3. Комбинационные цифровые устройства.....	9
4. Последовательные цифровые устройства.....	10
5. Программирование микропроцессоров.....	11
Список литературы.....	12

## **Введение**

Целью проведения практических занятий является освоение методов синтеза и анализа цифровых устройств (ЦУ). Цифровые устройства различной сложности являются неотъемлемой частью практически любой радиотехнической системы. Для закрепления лекционного материала, полученного в рамках курса «Цифровые устройства и микропроцессоры», предлагается выполнить ряд заданий. В качестве справочной литературы рекомендуется использовать книги [1 – 6].

## 1. Позиционные системы счисления

Для представления чисел в ЦУ при выполнении арифметических операций, а также в текстах программ используется помимо десятичной двоичная, восьмеричная, шестнадцатеричная и двоично-десятичная системы счисления. Основание системы счисления указывается либо цифровым индексом ( $11100_{(2)}$ ,  $28_{(10)}$ ,  $1C_{(16)}$ ), либо буквой (соответственно  $11100B$ ,  $28D$ ,  $1CH$ ). После десятичного числа индекс 10 или буква D иногда не ставятся. В некоторых случаях, если система счисления понятна из контекста, индексы и буквы не ставятся и в других системах счисления.

Для выполнения заданий также потребуется знать, что  $\lfloor A \rfloor$  – целая часть  $A$ ;  $\lceil A \rceil$  – ближайшее к  $A$  целое число, меньшее  $A$ ;  $\lceil A \rceil$  – ближайшее к  $A$  целое число. Например,  $\lfloor 2,3 \rfloor = 2$ ;  $\lceil 2,3 \rceil = 3$ ;  $\lfloor 2,3 \rfloor = 2$ ;  $\lceil 2,6 \rceil = 3$ .

### Задачи и упражнения:

1.1 Определить значения следующих выражений:  $\log_2 16$ ;  $\lfloor \log_2 7 \rfloor$ ;  $\lceil \log_2 7 \rceil$ ;  $\lceil \log_2 100 \rceil$ ;  $\lfloor \log_2 1000 \rfloor$ ;  $\lceil \log_2 65000 \rceil$ ;  $\lceil \log_2 10^6 \rceil$ ;  $\lceil \log_2 7^2 \rceil$ ;  $\lfloor \log_2 7 \rfloor$ ;  $\lceil \log_2 17 \rceil$ .

1.2 Сколько различных чисел можно записать с помощью  $n$ -разрядного кода с основанием  $q$ . Привести расчет при  $n = 4, 8$  и  $16$ ;  $q = 10, 2, 8$  и  $16$ .

1.3 Обосновать известный алгоритм перевода целого числа из одной позиционной системы счисления в другую: число делится на основание новой системы счисления  $p$  и определяется остаток; частное вновь делится на  $p$  и вновь определяется остаток; так продолжается до тех пор, пока частное не окажется меньше  $p$ ; после этого выписывается последнее частное и все остатки – это и будет представление числа в системе счисления с основанием  $p$ .

1.4 Обосновать известный алгоритм перевода дробного числа из одной позиционной системы счисления в другую: исходное число умножается на основание новой системы счисления  $p$ , затем дробная часть произведения вновь

умножается на  $p$ ; так поступают столько раз, сколько разрядов числа в новой системе счисления желательно получить. Затем выписываются целые части всех произведений – это и будет представление числа в системе счисления с основанием  $p$ .

1.5 Чем определяется точность числа в позиционной системе счисления? Какое число разрядов необходимо иметь, чтобы получить заданную точность?

1.6 Дробное число, содержащее  $n$  разрядов, переводится из системы счисления с основанием  $q$  в систему счисления с основанием  $p$ . Какое число разрядов  $m$  необходимо взять, чтобы сохранить точность исходного числа? Произвести расчет для  $q = 10, p = 2$ .

1.7 Перевести следующие числа из десятичной системы счисления в двоичную и из двоичной в шестнадцатеричную: а)  $27_{(10)}$ ; б)  $127_{(10)}$ ; в)  $74_{(10)}$ .

1.8 Перевести следующие числа из шестнадцатеричной системы счисления в двоичную и из двоичной в десятичную, а также непосредственно из шестнадцатеричной в десятичную: а)  $D5_{(16)}$ ; б)  $127_{(16)}$ ; в)  $E1_{(16)}$ ; г)  $CAB_{(16)}$ ; д)  $11C2_{(16)}$ .

1.9 Перевести следующие числа из двоичной системы счисления в восьмеричную и из восьмеричной в десятичную с точностью  $0,0001_{(10)}$ : а)  $10101_{(2)}$ ; б)  $1,101_{(2)}$ ; в)  $10,0101_{(2)}$ ; г)  $1,11001_{(2)}$ .

1.10 Перевести следующие числа из десятичной системы счисления в шестнадцатеричную без промежуточного перевода в двоичную с точностью до трех разрядов после запятой: а)  $1125_{(10)}$ ; б)  $53127_{(10)}$ ; в)  $0,216_{(10)}$ .

1.11 Перевести следующие числа из двоичной системы счисления в десятичную с точностью  $0,001_{(10)}$ : а)  $1,001_{(2)}$ ; б)  $0,1011_{(2)}$ ; в)  $101,1001_{(2)}$ .

1.12 Перевести следующие числа из десятичной системы счисления в восьмеричную без промежуточного перевода в двоичную систему: а)  $23_{(10)}$ ; б)  $1,25_{(10)}$ ; в)  $100,57_{(10)}$  с погрешностью не более  $0,001_{(10)}$ .

1.13 Не переводя указанные числа в десятичную систему счисления, оценить, какое из них самое большое и какое самое маленькое:  $101110_{(2)}$ ;  $101110_{(8)}$ ;  $101110_{(16)}$ ?

1.14 Перевести указанные числа в десятичную систему счисления: а)  $11111_{(2)}$ ; б)  $FFF_{(16)}$ ; в)  $7777_{(8)}$ ; г)  $\underbrace{NNN\dots N}_{n \text{ разрядов}}_{(N+1)}$ .

1.15 Перевести указанные числа в двоичную систему счисления: а)  $2^8_{(10)}$ ; б)  $(2^6 - 1)_{(10)}$ ; в)  $(2^k - 1)_{(10)}$ .

1.16 Перевести следующие числа из десятичной системы счисления в двоичную с точностью до четырех разрядов после запятой: а)  $0,65_{(10)}$ ; б)  $23,625_{(10)}$ ; в)  $1,217_{(10)}$ .

1.17 Представить в двоично-десятичном коде 8421 следующие числа: а)  $27_{(10)}$ ; б)  $316_{(10)}$ ; в)  $4571_{(10)}$ ; г)  $0101\ 1001_{(2)}$ .

1.18 Перевести из двоично-десятичного кода 8421 в десятичный и двоичный коды следующие числа: а)  $0010\ 0110_{(2/10)}$ ; б)  $1001\ 0010_{(2/10)}$ .

## 2. Представление чисел с фиксированной и плавающей точкой

В вычислительной технике используются две основные формы представления чисел: с фиксированной и плавающей точкой. При одинаковом числе разрядов вторая форма обеспечивает запись чисел более широкого диапазона и с меньшей погрешностью, но аппаратная реализация соответствующего арифметического устройства оказывается сложнее, чем при записи с фиксированной точкой.

Пример распределения разрядов ячейки памяти:

$$\begin{array}{ccccccc} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{Знак мантиссы} & \underbrace{\text{Модуль мантиссы}} & & & \text{Знак порядка} & & \underbrace{\text{Модуль порядка}} & & & & & & & & & & \end{array}$$

В ячейке в формате с плавающей точкой записано двоичное число  $0,1010010$ .

### Задачи и упражнения:

2.1 Записать в 8-разрядной ячейке в прямом коде с фиксированной точкой следующие двоичные числа: а)  $0,1011010$ ; б)  $-0,0101011$ ; в)  $-0,111100101$ .

2.2 Записать в 16-разрядной ячейке в прямом коде с плавающей точкой следующие числа: а)  $0,1010010$ ; б)  $-11011,1010111$ ; в)  $0,0001011011101$ . Для мантиссы и порядка выделить по восемь разрядов.

2.3 Сколько двоичных разрядов необходимо использовать для записи с фиксированной точкой числа, находящегося в диапазоне от  $-100_{(10)}$  до  $+100_{(10)}$ , с абсолютной погрешностью не хуже: а)  $0,1_{(10)}$ ; б)  $0,001_{(10)}$ ; в)  $0,000001_{(10)}$ ?

2.4 Сколько требуется разрядов, чтобы записать с плавающей точкой точные значения следующих двоичных чисел: а)  $0,0001011101$ ; б)  $11,0101101$ ; в)  $-0,011010111$ ; г)  $-11011$ ; д)  $-1,0011110001$ ?

2.5 Ячейка памяти, содержащая  $n$  двоичных разрядов, может использоваться для записи чисел с фиксированной или плавающей точкой. Как следует распределить разряды между мантиссой и порядком в случае плавающей точки, чтобы обеспечить запись чисел более широкого диапазона, чем при фиксированной точке? Произвести расчет при  $n = 16$ .

2.6 В чем преимущества и недостатки способов записи чисел с фиксированной и плавающей точкой?

### **Контрольное задание по темам 1 и 2:**

1. Перевести  $N$  и  $(100 - N)$  из десятичной системы счисления в двоичную (здесь и далее  $N$  – номер студента в списке группы).

2. Перевести  $N$  и  $(100 - N)$  из шестнадцатеричной системы счисления в двоичную и десятичную системы счисления.

3. Записать  $N$  и  $(100 - N)$  в кодах 8421 и 2421.

4. Разделить  $N$  и  $(100 - N)$  на 2 и перевести в десятичную систему счисления.

5. Представить  $N$  и  $(100 - N)$ , а также их значения, деленные на 2, с плавающей точкой. Разрядность выбрать и дать описание самостоятельно. Определить минимально необходимое число разрядов.

### 3. Комбинационные цифровые устройства

На занятиях по данной тематике рассматриваются задачи и упражнения, связанные с синтезом комбинационных ЦУ. При решении задач следует использовать известные законы и постулаты булевой алгебры.

#### Задачи и упражнения:

3.1 Синтезировать в базисе И, ИЛИ, НЕ устройство, сигнал на выходе которого равен 1 только в том случае, когда на его двух входах ( $x_1$  и  $x_2$ ) действуют различные сигналы (узел неравнозначности, сумматор по модулю два).

3.2 Решить задачу 3.1, используя только элементы: а) И-НЕ; б) ИЛИ-НЕ.

3.3 Синтезировать в базисе И, ИЛИ, НЕ устройство, сигнал на выходе которого равен 1 только в том случае, когда на его двух входах ( $x_1$  и  $x_2$ ) действуют одинаковые сигналы (узел равнозначности).

3.4 Устройство с четырьмя входами ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ) должно работать так, чтобы на выходе появлялся сигнал 1, когда не менее чем на трех входах будут одновременно сигналы 1. Синтезировать устройство на элементах И, ИЛИ, НЕ.

3.5 Синтезировать мажоритарный элемент на три входа ( $x_1, x_2, x_3$ ): а) в базисе И-НЕ; б) в базисе ИЛИ-НЕ. У такого элемента значение выходного сигнала совпадает с значением большинства входных.

3.6 Синтезировать устройство в базисе ИЛИ-НЕ, булева функция которого задана в числовом виде:

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum_{\text{обязат}} (1, 4, 8, 10, 11, 14) + \sum_{\text{факульт}} (0, 2, 7, 12, 13).$$

3.7 Синтезировать устройство в базисе И-НЕ, булева функция которого задана в числовом виде:

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4) = \sum (0, 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 15).$$

3.8 Синтезировать полный дешифратор на три входа на элементах И, ИЛИ, НЕ. Как необходимо изменить схему дешифратора, чтобы превратить его в дешифратор-демультиплексор (стробируемый дешифратор)?

3.9 Синтезировать шифратор на пять входов: а) на элементах ИЛИ-НЕ; б) на элементах И-НЕ.

3.10 Синтезировать мультиплексор на восемь каналов на элементах И, ИЛИ, НЕ.

#### **4. Последовательные цифровые устройства**

На занятиях по данной тематике рассматриваются задачи и упражнения, связанные с анализом работы различных типов триггеров.

##### **Задачи и упражнения:**

4.1 Нарисовать схему асинхронного *RS*-триггера на элементах И-НЕ и его условное обозначение: а) пояснить принцип работы триггера; б) составить таблицу переключений триггера; в) записать собственную функцию *RS*-триггера; г) построить временные диаграммы, поясняющие работу триггера, с учетом задержек, создаваемых его элементами; д) определить минимальную длительность управляющих импульсов, при которой триггер функционирует нормально, а также разрешающее время триггера; е) на вход триггера поданы сигналы  $S = R = 0$  – запрещенная комбинация. Затем эти сигналы изменяются на  $S = R = 1$ . В каком состоянии окажется триггер?

4.2 Нарисовать схему асинхронного *RS*-триггера на элементах ИЛИ-НЕ и его условное обозначение: а) пояснить принцип работы триггера; б) составить таблицу переключений триггера; в) записать собственную функцию *RS*-триггера; г) построить временные диаграммы, поясняющие работу триггера, с учетом задержек, создаваемых его элементами; д) определить минимальную длительность управляющих импульсов, при которой триггер функционирует

нормально, а также разрешающее время триггера; е) на вход триггера поданы сигналы  $S = R = 1$ . Затем эти сигналы изменяются на  $S = R = 0$ . В каком состоянии окажется триггер?

4.3 Построить схему синхронного одноступенчатого  $RS$ -триггера на элементах И-НЕ. Составить таблицу переключений. Используя одноступенчатые синхронные  $RS$ -триггеры, получить схему двухступенчатого  $RS$ -триггера. Пояснить различие в работе.

4.4 Построить одноступенчатый  $D$ -триггер, используя синхронный  $RS$ -триггер. Нарисовать временные диаграммы выходных сигналов при различных входных сигналах. Чем отличается работа двухступенчатого  $RS$ -триггера от работы одноступенчатого?

4.5 Можно ли из одного  $D$ -триггера образовать  $T$ -триггер? Как это сделать?

4.6 Составить таблицу переключений  $JK$ -триггера.

4.7 Как из  $JK$ -триггера получить  $T$ -триггер и  $D$ -триггер?

## 5. Программирование микропроцессоров

На практических занятиях по данной теме изучается гипотетический одноразрядный микропроцессор (МП), рассмотренный в [6].

### Задачи и упражнения:

5.1 Изобразить схему гипотетического одноразрядного микропроцессора. Пояснить принцип работы схемы.

5.2 Написать программы, реализующие бинарные функции: а) запрет; б) исключающее ИЛИ; в) стрелка Пирса; г) эквивалентность; д) импликация; е) штрих Шеффера.

## Список литературы

1. Гольденберг Л.М. и др. Цифровые устройства и микропроцессорные системы. Задачи и упражнения: Учеб. пособие для вузов / Л.М. Гольденберг, В.А. Малев, Г.Б. Малько. – М.: Радио и связь, 1992. – 256 с.: ил.
2. Безуглов Д.А. Цифровые устройства и микропроцессоры / Д.А. Безуглов, И.В. Калиенко. – Изд. 2-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 468, [1] с: ил. – (Высшее образование).
3. Браммер Ю.А. Цифровые устройства: Учеб. пособие для вузов / Ю.А. Браммер, И.Н. Пащук. – М.: Высш. шк., 2004. – 229 с.: ил.
4. Гивоне Д., Россер Р. Микропроцессоры и микрокомпьютеры: Вводный курс: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 464 с., ил.
5. Горюнов А.Г. Ливенцов С.Н. Микропроцессоры: Учеб. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. – 89 с.
6. Клингман Э. Проектирование специализированных микропроцессорных систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 363 с., ил.