

**Практическое занятие**  
**Формирование двоичного кода и способы**  
**его отображения (индикации) на схеме**

**Цель работы:** используя программную среду электронной лаборатории Electronics Workbench/Multisim научиться формировать на схеме двоичные коды различной разрядности и изменять их значения, а также изучить способы отображения (индикации) двоичных кодов.

**Учебное оборудование:** Моделирование работы функционального узла проводится в программной среде электронной лаборатории Electronics Workbench/Multisim.

Используются следующие виртуальные элементы и тестовые инструменты Electronics Workbench/Multisim (табл. 1.1):

Таблица 1.1

№ п/п	Название элемента	Элемент EWB	Библиотека EWB
1.	Источник постоянного напряжения	Battery	Sources
2.	Источник питания цифровых схем +5В	Vcc Voltage Source	Sources
3.	Заземление схемы	GND	Sources
4.	Резистор	Resistor	Basic
5.	Переключатель	Switch	Basic
6.	Светодиодный индикатор («пробник»)	Red Probe	Indicators
7.	Цифровой семисегментный индикатор	Seven-Segment Display	Indicators
8.	Цифровой семисегментный индикатор со встроенным дешифратором	Decoded Seven- Segment Display	Indicators

**Краткие теоретические сведения**

В цифровой электронике значение бита – «0» или «1» – кодируется уровнем (потенциалом) напряжения, как приведено в табл. 1.2 :

Таблица 1.2. Кодирование бит уровнем (потенциалом) напряжения

значение бита	уровень напряжения, В	допустимый диапазон, В
«0»	0	0...0,5
«1»	5	5...2,5

Для формирования нужного потенциала напряжения необходимо собрать электрическую цепь (электрический контур), в которой формируется требуемое падение напряжения. Например, это можно произвести с помощью всего трех элементов: источника постоянного напряжения, равного 15 В (батарейки), резистора и переключателя. Так, на рис. 1.1 приведен пример схемотехнической реализации формирования 4-битного двоичного кода с помощью одной батарейки (Battery), 4-х резисторов (Resistor) и 4-х переключателей (тумблеров, или кнопок с фиксацией – элементы Switch из стандартной библиотеки EWB Basic). Фактически мы таким образом моделируем работу 4-кнопочной клавиатуры.

*Примечание.* Переключатель Switch срабатывает по нажатию клавиши на клавиатуре компьютера. По умолчанию этой клавишей является «пробел» (Space). Переопределить клавишу можно сначала вызвав правой кнопкой мыши контекстное меню элемента, затем выбрав строку Component Properties, вкладку Value. Далее нажатием клавиши на клавиатуре указывается желаемая клавиша.

Для формирования потенциала напряжения можно использовать вместо батарейки и резистора специальный элемент EWB для формирования потенциала 5 В (1 Vcc Voltage Source из библиотеки EWB Sources). Схема формирования потенциалов с помощью элементов Vcc приведена на рис. 1.2.

Отображение (индикация) сформированного кода на схеме производится двумя способами. Первый способ – с помощью 4-х светодиодов (так называемых «пробников», элементы Red Probe из стандартной библиотеки EWB Indicators). Загорание светодиода происходит при наличии в точке его подключения напряжения +5 В. Таким образом, зажженный светодиод показывает наличие логического значения «1». Если светодиод не горит (т.е. на светодиод подан нулевой потенциал), то это означает логический «0». Каждый светодиод «отвечает» за свой разряд двоичного кода. Таким образом, с помощью четырех светодиодов можно отобразить 4-битный двоичный код.

Второй способ отображения двоичного кода – вывод на цифровой семисегментный индикатор (элемент Decoded Seven-Segment Display из

библиотеки EWB Indicators). Высвечивание определенных комбинаций из семи сегментов (сегменты нумеруются буквами *a, b, c, d, e, f, g*) позволяет отобразить все символы десятичной и шестнадцатеричной систем счисления – это все символы «обычных» десятичных цифр от 0 до 9, а также шестнадцатеричные символы с буквенными обозначениями – A, B, C, D, E и F (см. приведенные ниже рис. 1.3 и табл. 1.3, а также список контрольных вопросов – вопрос №7).

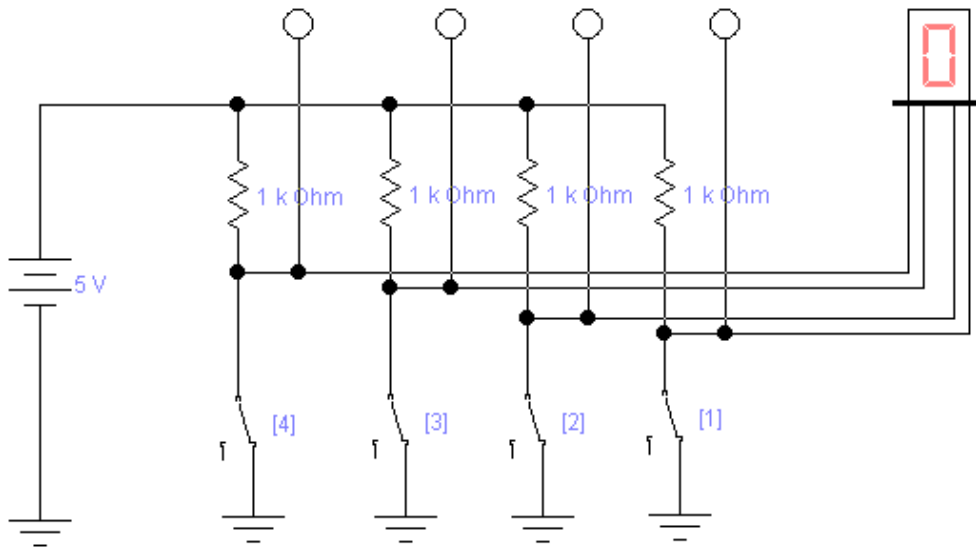


Рис. 1.1. Формирование 4-битного двоичного кода с помощью одной батарейки (Battery), 4-х резисторов (Resistor) и 4-х переключателей (Switch)

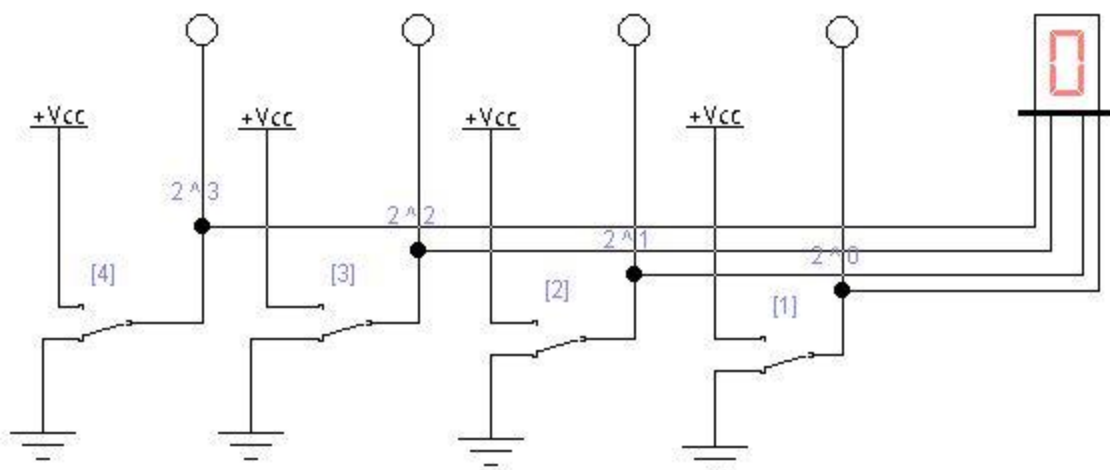


Рис. 1.2. Формирование 4-битного двоичного кода с помощью источника постоянного напряжения  $V_{CC}$

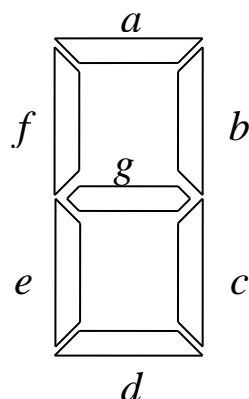


Рис. 1.3. Схема расположения и буквенное обозначение сегментов в семисегментном цифровом индикаторе

Таблица 1.3

Символы десятичных цифр от 0 до 9 и соответствующие им высвечиваемые комбинации сегментов семисегментного индикатора

символ цифры	сегмент дисплея						
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
0	+	+	+	+	+	+	
1		+	+				
2	+	+		+	+		+
3	+	+	+	+			+
4		+	+			+	+
5	+		+	+		+	+
6	+		+	+	+	+	+
7	+	+	+				
8	+	+	+	+	+	+	+
9	+	+	+	+		+	+

Отображение шестнадцатеричных символов от А до F производится высвечиванием символов – А, b, C, d, E, F (использование строчных написаний символов для В и D вызвано тем, чтобы не было совпадений с отображением цифр «8» и «0»).

Таким образом, один семисегментный индикатор позволяет полностью отобразить все символы 4-битного двоичного кода. Для отображения 8-битного кода (байта) соответственно требуется два удвоенных семисегментных индикатора, а для отображения 16-битного кода – четыре и т.д. (см. рис. 1.4).

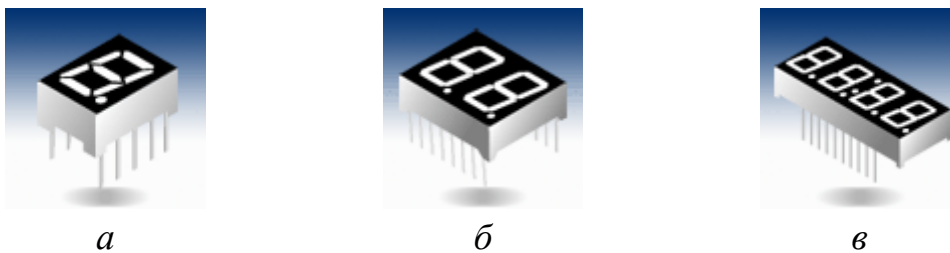


Рис. 1.4. Внешний вид некоторых семисегментных индикаторов фирмы *Toyo LED Electronics Ltd.*: *а* – одnorазрядный с десятичной точкой; *б* – сдвоенный; *в* – четырехпозиционный с двоеточием.

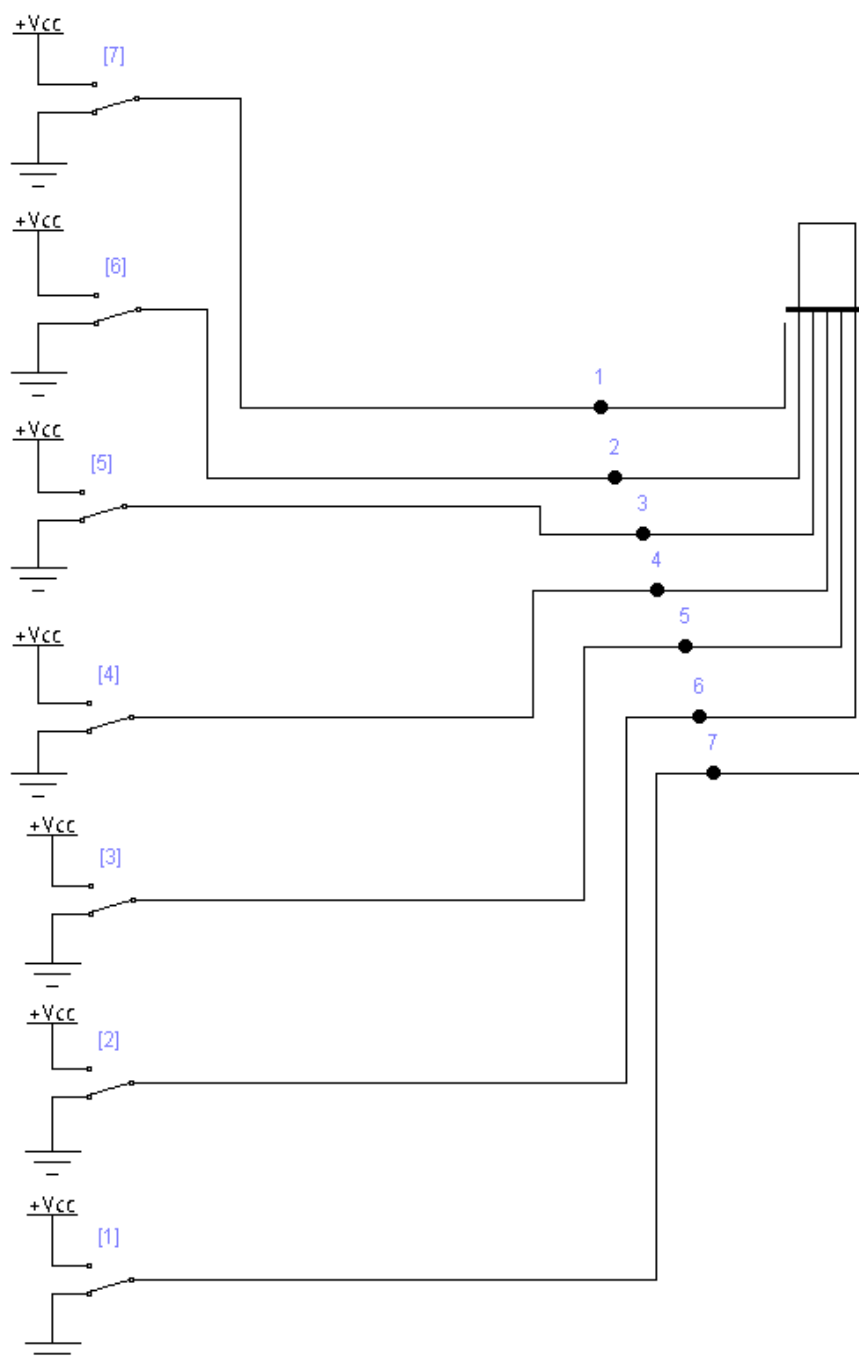


Рис. 1.5. Схема для определения соответствия выводов семисегментного индикатора 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (нумерация слева направо) и сегментов его дисплея - *a, b, c, d, e, f, g*.

На рис. 1.1 и 1.2 для цифровой индикации был использован библиотечный элемент семисегментного индикатора со встроенным дешифратором (Decoded Seven-Segment Display). Этот индикатор имеет четыре входа для приема 4-битного кода, который затем преобразуется в специальный 7-битный код для отдельного высвечивания семи сегментов дисплея индикатора. Более простой 7-выводной цифровой индикатор (Seven-Segment Display) не имеет встроенного дешифратора. Предполагается, что на его входы подается уже предварительно сформированный вне индикатора специальный 7-битный код. На рис. 1.5 приведена схема для определения таблицы соответствия выводов семисегментного индикатора – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и каждого из составных сегментов его дисплея - *a, b, c, d, e, f, g* (см. задание 2).

*Примечание.* Нумерация выводов элемента Seven-Segment Display производится, как обычно принято на микросхемах, слева направо.

### **Использование стандартного измерительного прибора EWB Word Generator**

Для формирования двоичного кода мы провели схемотехническое моделирование и рассмотрели работу клавиатуры из 4-х переключателей. С помощью такой клавиатуры можно формировать любые произвольные двоичные коды в диапазоне от 0 до F (для формирования кодов сверх этого диапазона необходимо соответственно добавление дополнительных переключателей).

В случае проведения тестовых испытаний разрабатываемых логических схем вычислительных устройств часто возникает необходимость формировать один и тот же набор фиксированных кодов (в соответствие с определенной таблицей). Для этой цели в EWB служит стандартный измерительный прибор – Word Generator (Генератор слова).

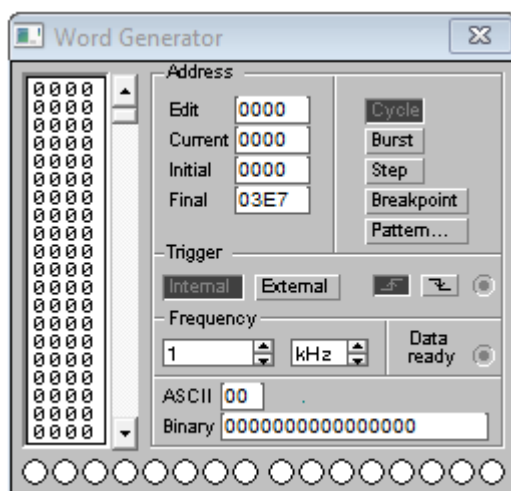


Рис. 1.6. Передняя панель стандартного измерительного прибора EWB Word Generator (Генератор слова)

### *Описание прибора Word Generator*

По своему названию (генератор слова) прибор Word Generator служит для формирования (генерирования) двоичных кодов (длиной 16 бит).

*Примечание.* Двоичный код длиной 8 бит, как известно, называется байтом. Если длина кода составляет 16 бит, то такой код получил название *слово*, если 32 бита – *двойное слово*. Двоичный код длиной 4 бита называется *тетрадой*.

Нижний ряд выводов на передней панели (16 выводов) – это выходы бит генерируемого слова (нумерация разрядов производится справа налево, т.е. самый младший бит – крайний справа).

Формирование набора двоичных кодов производится пользователем (разработчиком схемы) в окне слева с помощью клавиатуры компьютера (рис. 1.6). Каждая строчка – это 16-разрядный двоичный код, который отображается 4-мя шестнадцатеричными цифрами (напомним, одна шестнадцатеричная цифра представляет 4 бита, т.е. одна тетрада).

Существует два режима подачи на выход сигналов:

- 1) автоматический (циклический) (кнопка “Cycle”);
- 2) генерация по шагам (кнопка “Step”).

Вначале пользователем указывается начальное и конечное значение строки. Это соответственно поля “Initial” и “Final”. Количество возможных строк соответствует максимальному значению 16-битного слова, т.е.  $2^{16} = 65536$ . Таким образом, строки нумеруются от значения 0000 до FFFF.

Перед выбором автоматического режима (кнопка “Cycle”) необходимо задать скорость подачи генерируемых слов на выход прибора. Скорость задается указанием частоты в поле “Frequency” (рис. 1.8). Например, для скорости 1 слово в 1 секунду необходимо задать частоту 1 Hz (Герц).

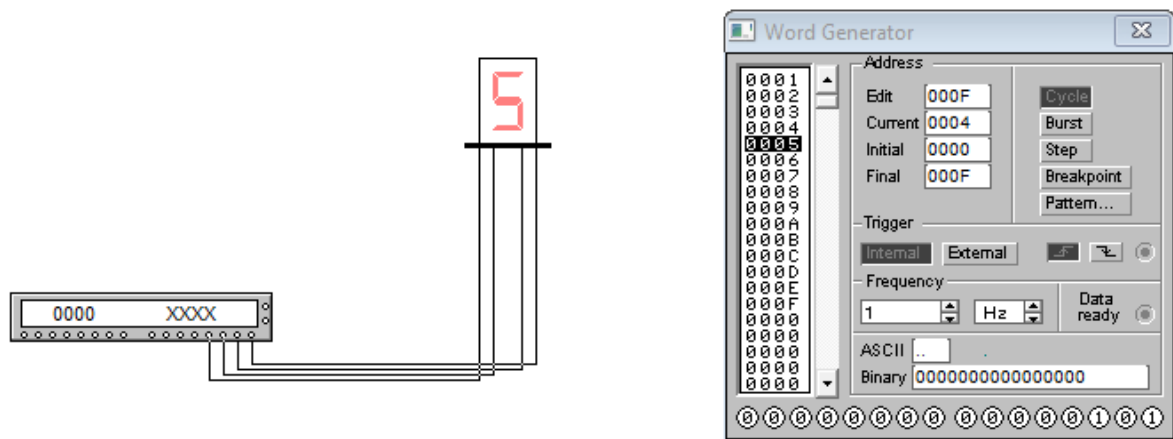


Рис. 1.7. Схема для циклической подачи двоичных кодов на 4-выводной семисегментный индикатор

При выборе режима “Step” скорость определяется самим пользователем нажатием соответствующей кнопки.

## Задание 1

1.1. Соберите в среде Electronics Workbench схемы, приведенные на рис. 1.1 и 1.2. Для каждого из переключателей задайте соответствующую клавишу клавиатуры: для переключателя, отвечающего за самый младший бит, задайте клавишу <1>, далее <2>, <3> и <4>.

С помощью 4-х переключателей на схеме сформируйте различные 4-битные двоичные коды и посмотрите, как производится их отображение на индикаторах.

1.2. Тестирование 7-выводного цифрового семисегментного индикатора.

Соберите в среде Electronics Workbench схему, приведенную на рис. 1.5. С помощью 7-ми переключателей на схеме произведите поочередное высвечивание отдельных светодиодных сегментов дисплея цифрового индикатора.

В результате проведенного тестирования работы цифрового индикатора и используя данные на рис. 1.3, заполните таблицу соответствия выводов семисегментного индикатора с номерами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (нумерация выводов индикатора слева направо) и каждого из сегментов его дисплея – *a, b, c, d, e, f, g*.



номер вывода индикатора	1	2	3	4	5	6	7
сегмент дисплея							

1.3. С помощью переключателей на схеме произведите высвечивание на цифровом индикаторе одного числа, соответствующего **номеру студента согласно списку в журнале преподавателя.**

*Примечание.* Если номер по списку в журнале превышает значение 15, произведите вычитание на 15. Например, если номер равен 16, то высветите на индикаторе число «1», если 17, то «2» и т.д.

1.4. Откройте в среде Electronics Workbench/Multisim схему, предлагаемую преподавателем – Дешифратор 7447.ewb. Данная схема иллюстрирует работу микросхемы дешифратора 7447, функция которого заключается в преобразовании 4-битного двоичного кода в 7-битный код семисегментного индикатора (в 4-выводной цифровой индикатор, представленных на рис. 1.1 и 1.2 встроен именно такой дешифратор).

Проведите моделирование работы схемы, задавая различные двоичные коды на входе схемы. Убедитесь, что микросхема 7447 действительно преобразует 4-битный двоичный код в 7-битный код семисегментного индикатора.

*Примечание.* Обратите внимание: на схеме включения ИС 7447 есть особенность – все выходы микросхемы с данными для индикатора – OA, OB, OC, OD, OE, OF, OG – являются не прямыми, а *инверсными*. Именно для этого обратного инвертирования сигналов используются семь логических элементов «НЕ» (элемент NOT Gate из библиотеки логических элементов Logic Gates).

## **Задание 2 (дополнительное)**

### **Циклическая подача двоичных кодов на цифровой индикатор с помощью прибора Word Generator**

2.1. На рис. 1.7. приведена схема, на которой происходит подача двоичных данных (от 0 до F) на вход 4-выводного семисегментного индикатор в циклическом режиме.

Задание состоит в реализации в среде EWB данной схемы для изучения работы как схемы в целом, так и назначении отдельных полей прибора в целях ознакомления с возможностями и порядком работы с прибором Word Generator. Убедитесь, что по мере поступления данных происходит их отображение на дисплее цифрового индикатора.

2.2. С помощью Word Generator проведите циклическую подачу двоичных данных (от 0 до F) на вход 4-выводного семисегментного индикатора и убедитесь, что происходит их отображение на дисплее индикатора (рис. 1.7).

### Задание 3 (дополнительное)

#### Тестирование 7-выводного семисегментного индикатора

На схемах рис. 1.1 и 1.2 мы проводили вывод двоичного числа с помощью 4-кнопочной клавиатуры на 4-выводной семисегментный индикатор. Такой индикатор имеет встроенный дешифратор преобразования двоичного числа в специальный код семисегментного индикатора. Для тестирования 7-выводного семисегментного индикатора (без встроенного дешифратора) необходимо подавать уже не непосредственно двоичные данные, а специальные предварительно подготовленные коды, которые будут соответствовать этим двоичным данным. С помощью этих специальных кодов будет производиться прямое высвечивание отдельных сегментов 7-выводного семисегментного индикатора.

В табл. 1.4 приведено соответствие чисел в десятичном и шестнадцатеричном представлении (первые два столбца) и специальных двоичных кодов для высвечивания отдельных сегментов дисплея семисегментного индикатора. Символ «1» в ячейке этой таблицы означает высвечивание соответствующего сегмента (см. также табл. 1.3). Для использования прибора Word Generator необходимо задавать специальные коды не в двоичном, а в шестнадцатеричном виде, т.е. необходимо продолжить заполнение ячеек последнего столбца табл. 1.4.

Таблица 1.4

Соответствие символов десятичных и шестнадцатеричных цифр и двоичных кодов для высвечивания сегментов семисегментного индикатора

значение в десятичной системе, DEC	значение в шестнадцатеричной системе, HEX	сегмент дисплея индикатора и биты специального двоичного кода								специальный код, HEX (16)
		–	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	
		старшая тетрада кода				младшая тетрада кода				
		7	6	5	4	3	2	1	0	
0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	7E

1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	30
2	2	0	1	1	0	1	1	0	1	6D
3	3	0	1	1	1	1	0	0	1	79
4	4	0	0	1	1	0	0	1	1	
5	5	0	1	0	1	1	0	1	1	
6	6	0	1	0	1	1	1	1	1	
7	7	0	1	1	1	0	0	0	0	
8	8	0	1	1	1	1	1	1	1	
9	9	0	1	1	1	1	0	1	1	
10	A									
11	B									
12	C									
13	D									
14	E									
15	F									

*Примечание.* Перевести двоичный код в шестнадцатеричный можно несколькими способами:

- 1) вручную с использованием математической формулы, что называется «в лоб» (см. Приложение);
- 2) с помощью специальных программных приложений или онлайн калькуляторов на смартфоне или компьютере;
- 3) вручную табличным способом (см. Приложение).

В последнем случае один байт мысленно разбивается на две половины по 4 бита (тетрады). Далее по таблице ищется соответствие 4-битного кода и его шестнадцатеричного представления. Полученные две шестнадцатеричные цифры и будут представлять искомый код, который можно задать в прибор Word Generator.

3.1. Заполните в табл. 1.4 пустые ячейки (т.е. биты) для столбца «Сегмент дисплея и биты специального двоичного кода». При этом используйте схему расположения и буквенное обозначение сегментов, которые приведены на рис. 1.3, а также результаты, полученные при выполнении задания 1.2. Также ответьте на контрольный вопрос №6.

3.2. Переведите полученные специальные 7-битные двоичные коды в их шестнадцатеричное представление и заполните все пустые ячейки (т.е. продолжите заполнение) последнего столбца («код, HEX (16)»).

3.3. Тестирование 7-выводного семисегментного индикатора с помощью Генератора слова Word Generator.

Соберите схему на рис. 1.8. Задайте для прибора Word Generator полученные при выполнении п. 3.1 и 3.2 специальные коды (табл. 1.4).

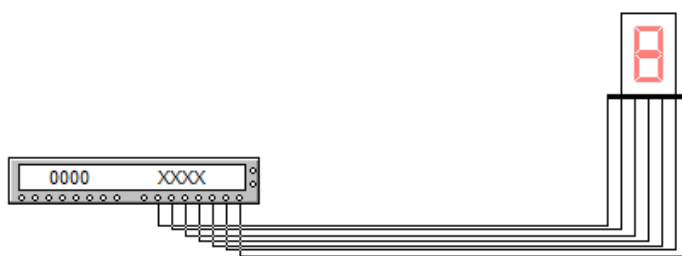


Рис. 1.8. Схема тестирования 7-выводного семисегментного индикатора с помощью Генератор слова Word Generator

Проведите циклическую подачу полученных специальных двоичных кодов на вход 4-выводного семисегментного индикатора. Убедитесь, что на дисплее индикатора происходит корректное отображение всех шестнадцатеричных цифр 0 до F.

Зафиксируйте на экране монитора высвечивание требуемой цифры – по номеру студента по списку в журнале преподавателя.

*Примечание.* Если номер по списку в журнале превышает значение 15, произведите вычитание на 15. Например, если номер равен 16, то это снова 1, если 17, то 2 и т.д.

Сделайте скриншот и задокументируйте полученный результат.

### Отчет о выполненной работе

Подготовьте отчет о выполненной работе.

Отчет должен содержать скриншоты (копии экрана монитора) с результатами всех выполненных заданий, а также полученные в результате моделирования выводы.

### Контрольные вопросы

1. Назовите, какое десятичное значение имеют двоичные коды 1000, 100, 10? Дайте обоснование своему ответу.
2. Укажите, какому десятичному числу соответствует шестнадцатеричное число «Е»? Приведите также его двоичный код.
3. Используя законы Ома и Кирхгофа из курса физики, объясните, как в электрической цепи, состоящей из источника постоянного напряжения, резистора и переключателя, формируются необходимые потенциалы напряжения.
4. Назовите, какой специальный элемент в EWB служит для задания фиксированного потенциала +5В?
5. Приведите два способа индикации сформированных в схеме значений двоичных кодов.

6. Укажите, какие сегменты дисплея в семисегментном индикаторе необходимо высветить для отображения буквенных символов шестнадцатеричного числа, т.е. букв «А», «b», «C», «d», «E» и «F»? Используя данные о схеме расположения и нумерации сегментов, приведенных на рис. 1.3, заполните таблицу ниже (по аналогии с табл. 1.3):

Таблица 1.5

Символы шестнадцатеричных цифр и соответствующие им высвечиваемые комбинации сегментов семисегментного индикатора

СИМВОЛ	сегмент дисплея						
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
A							
b							
C							
d							
E							
F							

7. Поясните, почему для отображения символов шестнадцатеричных цифр «B» и «D» (в отличие от «A», «C», «E» и «F») используется их начертание строчными буквами – «b» и «d» – а не заглавными буквами?

8. На схеме в задании п.4 производится инвертирование сигналов. Для чего и как на схеме производится такое преобразование?

9. Назовите, сколько информационных выводов (т.е. выводов без учета «питание», «земля» и нескольких дополнительных вспомогательных выводов) должно быть в корпусе 4-позиционного семисегментного цифрового индикатора (см. рис. 4в)?

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Краткие сведения по системам счисления

Соответствие двоичного кода и его значения в десятичной и шестнадцатеричной системах счисления:

двоичный код	значение в десятичной системе	значение в шестнадцатеричной системе
0000	0	0
0001	1	1
0010	2	2
0011	3	3
0100	4	4
0101	5	5
0110	6	6
0111	7	7
1000	8	8
1001	9	9
1010	10	A
1011	11	B
1100	12	C
1101	13	D
1110	14	E
1111	15	F

Представление 4-битного двоичного числа как 4-разрядного регистра (ячейки) памяти

номер разряда регистра	3	2	1	0
двоичное значение разряда регистра (бит)	$n_3$	$n_2$	$n_1$	$n_0$

Формула для перевода двоичного числа (4-разрядного)  $a_2 = n_3 n_2 n_1 n_0$  в десятичное число  $a_{10}$

$$n_3 \cdot 2^3 + n_2 \cdot 2^2 + n_1 \cdot 2^1 + n_0 \cdot 2^0 = a_{10}$$

или

$$n_3 \cdot 8 + n_2 \cdot 4 + n_1 \cdot 2 + n_0 \cdot 1 = a_{10}$$



