

Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана

---

**С. Б. Спиридонов**

**Домашнее задание по дисциплине  
«Схемотехника дискретных устройств»**

*Методические указания*



Москва

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
МГТУ им. Н. Э. Баумана

**2 0 1 5**

УДК 621.3.038(075.8)

ББК 32.973

C72

Издание доступно в электронном виде на портале *ebooks.bmstu.ru*  
по адресу: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/193/book1305.html>

Факультет «Информатика и системы управления»  
Кафедра «Системы обработки информации и управления»

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом  
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве методических указаний*

Рецензенты:

*М. В. Мурашов, Е. А. Гаврилина, В. В. Строков*

**Спиридонов, С. Б.**

C72 Домашнее задание по дисциплине «Схемотехника дискретных устройств» : методические указания / С. Б. Спиридонов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 15, [5] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4267-6

Представлены краткие теоретические сведения, перечень тем, порядок и пример выполнения и оформления домашнего задания. Приведены контрольные вопросы и литература по данной дисциплине.

Для студентов 2-го курса кафедры «Системы обработки информации и управления».

УДК 621.3.038(075.8)

ББК 32.973

ISBN 978-5-7038-4267-6

© МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015

© Оформление. Издательство

МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015

## Предисловие

Дисциплина «Схемотехника дискретных устройств» изучает проектирование вычислительных средств на базовом, элементном уровне с применением алгебры логики, а также построение типовых узлов и блоков, встречающихся в электронно-вычислительной технике, системах цифровой автоматики, телекоммуникаций, измерений и т. д.

Данные методические указания содержат практические рекомендации по выполнению домашнего задания.

*Цель домашнего задания* — закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях, овладение навыками проектирования реальных узлов, имеющих законченное функциональное назначение, и моделирование их работы с помощью программы Electronics Workbench.

Для выполнения домашнего задания студенты должны владеть знаниями, полученными при изучении дисциплин «Дискретная математика» и «Электроника».

В процессе выполнения домашнего задания студенты решают следующие задачи:

- составление функциональной схемы узла;
- выбор компонентов, входящих в функциональную схему узла;
- описание внутренних связей компонентов узла;
- описание функционирования компонентов узла наборами булевых функций;
- минимизация булевых функций;
- составление комбинационных логических схем, схем регистров, счетчиков и т. д.;
- моделирование заданного устройства средствами программы Electronics Workbench;
- отладка модели до получения правильного результата;
- составление отчета по домашнему заданию;
- защита домашнего задания.

В результате выполнения домашнего задания студенты приобретут ряд навыков, необходимых для изучения смежных курсов по направлению подготовки «Вычислительная техника и управление», а также овладеют навыками создания документации (на примере отчета о домашнем задании), которые в дальнейшем потребуются при выполнении курсовой работы по дисциплине «Вычислительные средства автоматизированных систем обработки информации и управления».

# 1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

## Минимизация булевых функций методом карт Карно

Упрощение и преобразование логических функций (минимизация) имеют целью получение такого вида функции, при котором построенная в соответствии с ней цифровая комбинационная схема отличалась бы минимальным расходом логических элементов на ее изготовление.

*Карты Карно* являются удобным графическим способом минимизации булевых функций, обеспечивающим относительную простоту работы с большими выражениями. Карта Карно может иметь прямую (рис. 1) или квадратную форму (рис. 2) в зависимости от количества переменных (четное или нечетное).

На рис. 1 и 2 приведены карты Карно для трех и четырех переменных.

$x_3$	0	1
$x_1x_2$ 00		
01		
11		
10		

**Рис. 1.** Карта Карно для трех переменных

$x_3x_4$	00	01	11	10
$x_1x_2$ 00				
01				
11				
10				

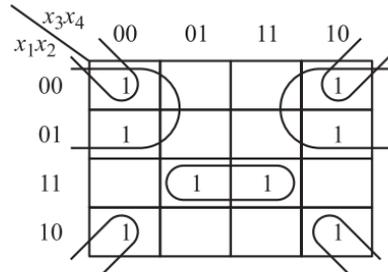
**Рис. 2.** Карта Карно для четырех переменных

При минимизации булевой функции в совершенной дизъюнктивной нормальной форме (СДНФ) из таблицы истинности переносят в карту Карно значения единиц по соответствующей координате. Важно отметить следующее: согласно правилам составления карты Карно, при продвижении по кодам более одного разряда в результате смещения по карте вниз и вправо (карта для четырех пе-

ременных) при каждом шаге меняется только одна переменная, что соответствует последовательностям в коде Грея. После расстановки единиц в карте Карно проводится их объединение в контуры. При этом выполняются следующие требования:

- объединять в контур можно только  $2^k$  единиц, находящихся в соседних клетках;
- соседними считаются не только примыкающие друг к другу клетки, но и клетки, находящиеся по краям карты;
- в квадратной карте Карно для четырех переменных соседними являются клетки, расположенные в четырех углах карты;
- контуры могут пересекаться, т. е. единица в какой-либо клетке может входить в несколько контуров.

После изображения всех контуров на карте Карно (рис. 3) в каждом контуре будет находиться булева переменная, которая меняет свое значение в соседних клетках данного контура; она исключается в элементарной конъюнкции минимизируемой функции. Конъюнкции, определенные по всем контурам, объединяются знаками дизъюнкции для получения итоговой минимизированной булевой функции.



**Рис. 3.** Карта Карно с тремя контурами

По данной карте Карно (см. рис. 3) минимизированная функция будет выглядеть следующим образом:

$$F = (x_1, x_2, x_4) + (\bar{x}_1 \bar{x}_4) + (\bar{x}_2 \bar{x}_4).$$

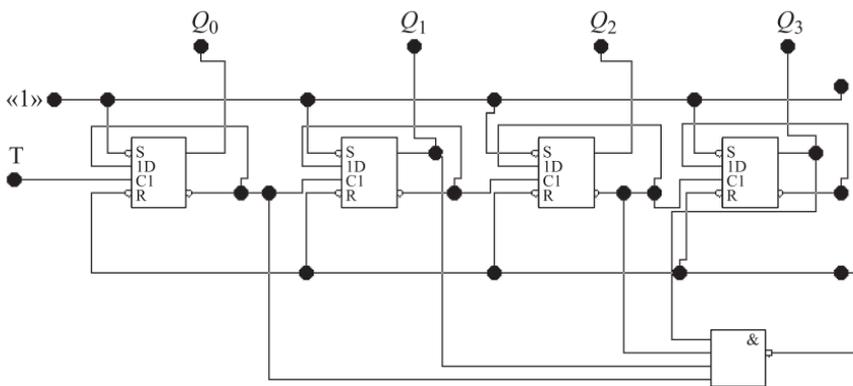
Это выражение булевой функции используется для построения схемы заданного устройства.

### Построение счетчиков с заданным модулем счета

Обычные счетчики, построенные на счетных триггерах, имеют коэффициент пересчета  $K_{сч} = 2^n$ , где  $n$  — число разрядов счетчика. Однако на практике возникает необходимость в счетчиках, коэффициент пересчета которых отличен от  $2^n$ . Очень часто,

например, применяются счетчики с  $K_{сч} = 3, 10, \dots$ , т. е. счетчики, имеющие соответственно 3, 10 и т. д. устойчивых состояний. Принцип построения таких счетчиков заключается в исключении у них «лишних» устойчивых состояний ( $K_{сч} = 2^n$ ), т. е. в организации схем, запрещающих некоторые состояния.

Рассмотрим способ построения счетчика с естественным порядком счета, у которого уменьшение числа устойчивых состояний достигается за счет сбрасывания счетчика в нулевое состояние при записи в него заданного числа сигналов. В соответствии с этим способом к счетчику добавляется логическая схема, проверяющая условие: «Код на счетчике изображает число, равное  $K_{сч}$ , и в зависимости от результата проверки направляет входной сигнал либо на шину «Установка 0», либо на суммирование к записанному коду». Это условие можно проверить с помощью  $n$ -входовой схемы «И», связанной как с прямыми выходами тех триггеров, которые при записи в счетчике числа, равного  $K_{сч}$ , должны находиться в состоянии «1», так и с инверсными выходами триггеров, которые в этом случае должны находиться в состоянии «0».



**Рис. 4.** Схема счетчика при  $K_{сч} = 10$

Приведем пример синтеза схемы подобного счетчика при  $K_{сч} = 10$  (рис. 4), т. е. когда счетчик должен иметь 10 состояний: от 0 до 9 в десятичной системе и от 0000 до 1001 в двоичной системе. Прямые выходы этих разрядов заводятся на входы логической

схемы «И» и далее — в цепь установки «0». Таким образом, при достижении счетчиком значения  $K_{сч}$  он автоматически возвращается в состояние 0000 и счет начинается сначала.

## Построение субблоков с помощью программы Electronics Workbench

В программе Electronics Workbench имеется специальный инструментарий для выделения функциональных блоков из больших схем, который позволяет сократить и упростить изображение итоговой моделируемой схемы устройства. Этот прием можно использовать для создания дополнительной библиотеки цифровых узлов.

Построение субблока рассмотрим на примере комбинационной схемы полного вычитателя (рис. 5).

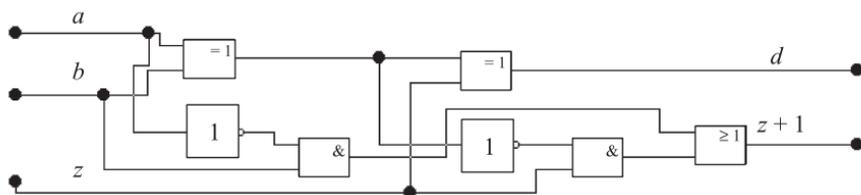
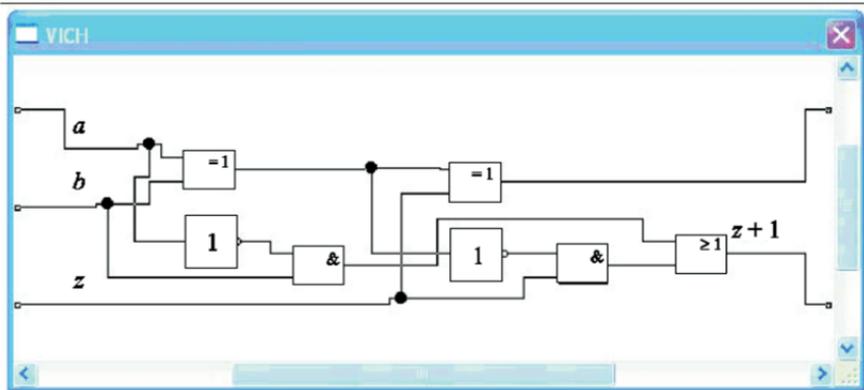


Рис. 5. Комбинационная схема полного вычитателя

Для объединения комбинационной схемы в рамку удобно удлинить все входы и выходы с помощью «соединителя» (изображение точки). Проводники, пересекающие контур субблока, впоследствии образуют его выводы, поэтому их число и расположение надо строго контролировать. Затем следует выделить субблок. Установив курсор в левый верхний угол выделяемого прямоугольника и удерживая левую клавишу мыши, получаем изображение прямоугольника, пересекающего входы и выходы схемы. Сама схема должна быть в очерченном прямоугольнике. При этом элементы схемы станут активного красного цвета. Далее входим в меню Circuit («Цепь») и выбираем Create Subcircuit («Создание субцепи»). В появившемся меню Subcircuit набираем в строке Name произвольное название созданного субблока латинским шрифтом, например VICH, и выбираем строку Copy from Circuit («Копирование из цепи»).

На рабочем столе отобразится дополнительное окно с развернутой схемой субблока (рис. 6).



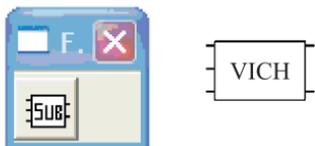
**Рис. 6.** Схема сформированного субблока полного вычитателя

При необходимости эту схему можно отредактировать стандартными приемами. Кроме того, можно добавить выходы, вытянув проводник из нужной точки до края внутреннего поля окна. После отпускания левой клавиши мыши возникнет дополнительная контактная площадка. Напротив, если контактную площадку вытянуть за пределы окна, то соответствующий вывод будет удален. После редактирования и проверки правильности полученной схемы окно субблока можно закрыть.

Для выбора схемного изображения субблока в свернутом виде надо нажать в ряду выбора компонентов на кнопку Favorites («Избранные»). В результате появится окно с изображением субблоков и возможностью дальнейшего выбора Choose SUB (рис. 7).

Нажав в последнем окне левой клавишей мыши Accept («Согласиться»), получим искомое схемное изображение субблока в

свернутом виде, которое можно использовать в более крупных схемах, например, для создания схемы многорядного вычитателя с последовательным заемом. К «внутреннему содержанию» субблока (см. рис. 6) всегда можно вернуться двойным нажатием левой клавиши мыши на пиктограмму с его схемным изображением.



**Рис. 7.** Окно субблоков и получившийся субблок полного вычитателя

## 2. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ

1. Моделирование узла с десятичным наборным полем. Моделирование выполняется в импульсном режиме с помощью шифратора и счетчика.
2. Моделирование игральной кости с шестью гранями.
3. Моделирование системы охранной сигнализации с таймером.
4. Моделирование системы охранной сигнализации с входным кодом.
5. Моделирование системы охранной сигнализации с входным кодом и таймером.
6. Моделирование узла ввода ПИН-кода в банкомате.
7. Моделирование работы таймера с десятичной индикацией.
8. Моделирование работы секундомера с десятичной индикацией.
9. Моделирование работы часов с цифровой десятичной индикацией.
10. Моделирование работы часов с квазистрелочной индикацией.
11. Моделирование работы шахматных часов.
12. Моделирование светофоров на перекрестке без дополнительных сигналов.
13. Моделирование светофоров на перекрестке с одной стрелкой разрешения поворота.
14. Моделирование светофоров на перекрестке с двумя стрелками разрешения поворотов направо и налево.
15. Моделирование светофоров на перекрестке с таймером горения зеленого света.
16. Моделирование светофоров на перекрестке с таймером и сигналами управления пешеходным движением.
17. Моделирование бегущей строки из четырех символов на семисегментных индикаторах (символы и направление сдвига задаются преподавателем).
18. Моделирование нескольких елочных гирлянд с разным режимом работы (по вариантам, данным преподавателем).
19. Моделирование работы простейшего калькулятора, выполняющего сложение и вычитание, с использованием ввода десятичных чисел в качестве аргументов с десятичной клавиатуры, построенной как входы шифратора.

### **3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ**

Последовательность выполнения домашнего задания по дисциплине «Схемотехника дискретных устройств» такова:

- обоснование выбора функциональных схем построения узла, заданного в домашнем задании;
- изображение моделируемой схемы на функциональном уровне;
- написание математических выражений, необходимых для составления комбинационных схем;
- подбор моделирующих элементов из набора библиотек программы Electronics Workbench;
- компоновка моделируемой схемы из подобранных элементов программы Electronics Workbench;
- запуск на отладку и моделирование;
- получение требуемого результата;
- оформление отчета.

### **4. ОТЧЕТ ПО ДОМАШНЕМУ ЗАДАНИЮ**

Отчет по домашнему заданию должен включать:

- задание, содержащее описание исходных данных, назначение и порядок работы узла (устройства), подлежащего проектированию, и моделирование его функционирования;
- функциональную схему узла, указанного в техническом задании;
- перечень сигналов, которые должны отображаться в создаваемой схеме;
- краткое описание состава и назначения элементов в моделируемой схеме;
- моделируемую схему узла либо несколько схем, составляющих одну общую;
- временные диаграммы сигналов, поясняющие работу исследуемой схемы.

## 5. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

Согласно программе курса «Схемотехника дискретных устройств», значение рейтинга составляет 40/20 (максимальное — 40 баллов, минимальное — 20 баллов).

Составляющие баллы оценки: оценка за рубежный контроль — 30/15, оценка за домашнее задание — 10/5.

Критерии оценки выполнения домашнего задания приведены в табл. 1.

Таблица 1

Критерии оценки выполнения домашнего задания	Баллы
Работоспособность тестируемой схемы узла (проверка корректности работы согласно техническому заданию)	4
Наличие схемы спроектированного узла и временных диаграмм	3
Наличие подробного описания этапов синтеза элементов узла	2
Ответы на вопросы при защите домашнего задания	1

Минимальный балл — 5. Максимальный балл — 10.

## 6. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ УЗЛА ПО ТЕМЕ «МОДЕЛИРОВАНИЕ ИГРАЛЬНОЙ КОСТИ С ШЕСТЬЮ ГРАНЯМИ»

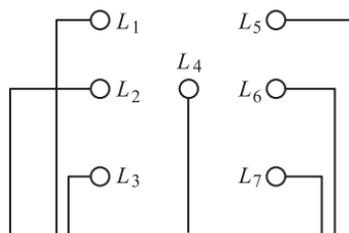
### Техническое задание

Спроектировать и создать модель электронной схемы, имитирующей бросок (получение значения от одного до шести) игральной кости.

Для моделирования использовать программу Electronics Workbench, а для изображения чисел на каждой из шести граней игральной кости — семь светодиодов  $L_1-L_7$ , расположив их так, как показано на рис. 8.

Моделируемая схема должна позволять высветить одну из конфигураций — изображение чисел от одного до шести, со-

ответствующее обозначению на гранях игральной кости, — при нажатии кнопки «Пауза», расположенной в правой части панели инструментов.

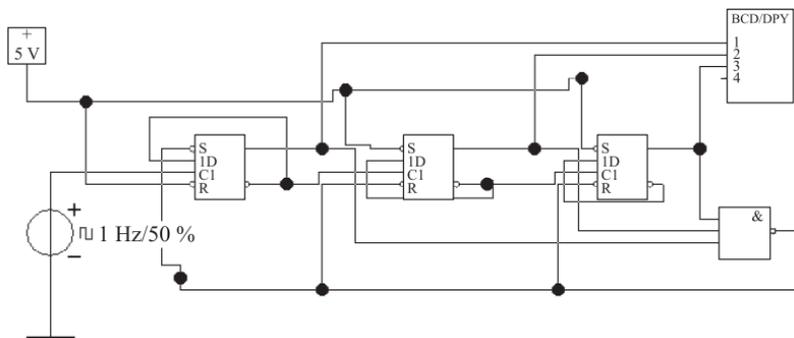


**Рис. 8.** Объединенная грань игральной кости

При большой частоте смены значений можно считать почти случайным число, высвеченное на грани игральной кости.

### Обоснование выбора функционального состава моделируемой схемы

Для получения двоичных кодов чисел от одного до шести можно использовать счетчик, собранный из счетных триггеров (рис. 9). Поскольку типовой трехразрядный счетчик позволяет получать числа от нуля до семи, в него необходимо внести аппаратные изменения по ограничению модуля счета (последнее число должно быть «6») и исключению значения «0», т. е. аппаратно организовать начало счета от значения «1».



**Рис. 9.** Схема суммирующего счетчика

Для построения счетчика удобно применять динамические  $D$ -триггеры с инверсными установочными входами. Для исключения значения «0» необходимо завести сигнал сброса на инверсный вход  $S$ -триггера первого разряда, на все остальные разряды сигнал сброса подается на инверсные входы  $R$ .

### Проектирование комбинационной схемы, включающей светодиоды

Для выдачи сигналов, зажигающих комбинации светодиодов, необходимо создать комбинационную схему, входы которой подключаются к выходам спроектированного счетчика, а к выходам комбинационной схемы подключаются светодиоды  $L_1$ – $L_7$ . Для проектирования комбинационной схемы составим таблицу соответствия двоичного кода, выдаваемого счетчиком, и комбинации горящих светодиодов (табл. 2). Горящий светодиод в таблице обозначен единицей, негорящий — нулем.

Таблица 2

Двоичный код с выхода счетчика			Светодиоды объединенной грани игральной кости						
$x_3$	$x_2$	$x_1$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$L_5$	$L_6$	$L_7$
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	1	1	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0	1	0	1
1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1	0	1	1	1

Перед записью булевых выражений для каждого светодиода необходимо проверить каждую функцию на возможность минимизации. Из табл. 2 видно, что  $L_1 = L_7$ ,  $L_2 = L_6$ ,  $L_3 = L_5$ .

Составим карты Карно для  $L_1$  (рис. 10),  $L_3$  (рис. 11),  $L_4$  (рис. 12).

Исходя из анализа контуров карт Карно для  $L_1$ – $L_4$ , получим следующие выражения:

$$L_1 = (x_2 \bar{x}_3) + (\bar{x}_1 x_2) + (\bar{x}_2 x_3); \quad (1)$$

$$L_2 = \bar{x}_1 x_2 x_3, \quad (2)$$

т. е. минимизации не требуется;

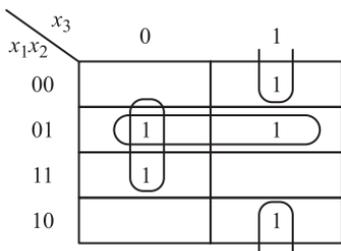


Рис. 10. Карта Карно для  $L_1$

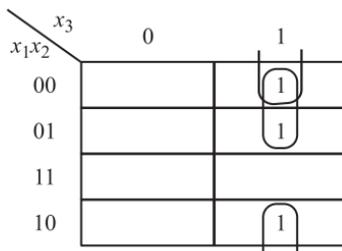


Рис. 11. Карта Карно для  $L_3$

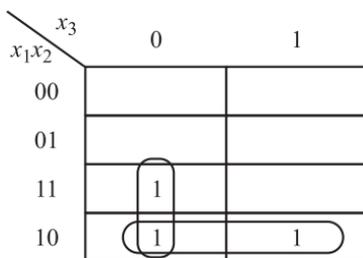


Рис. 12. Карта Карно для  $L_4$

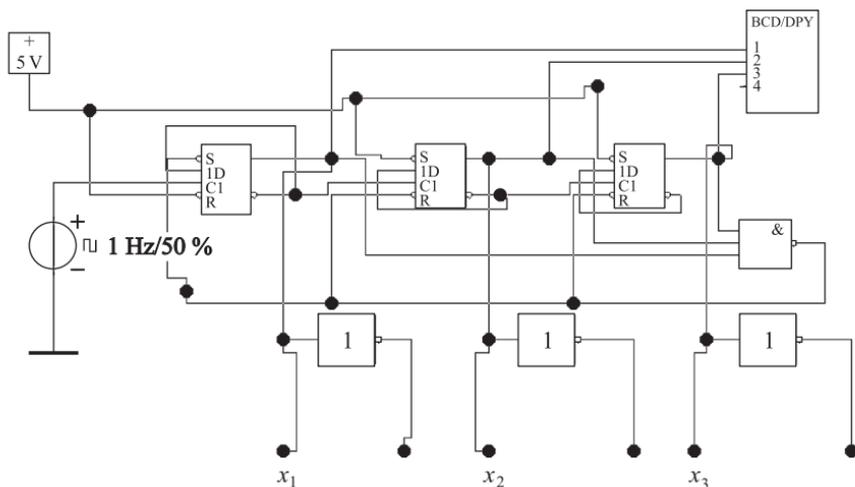
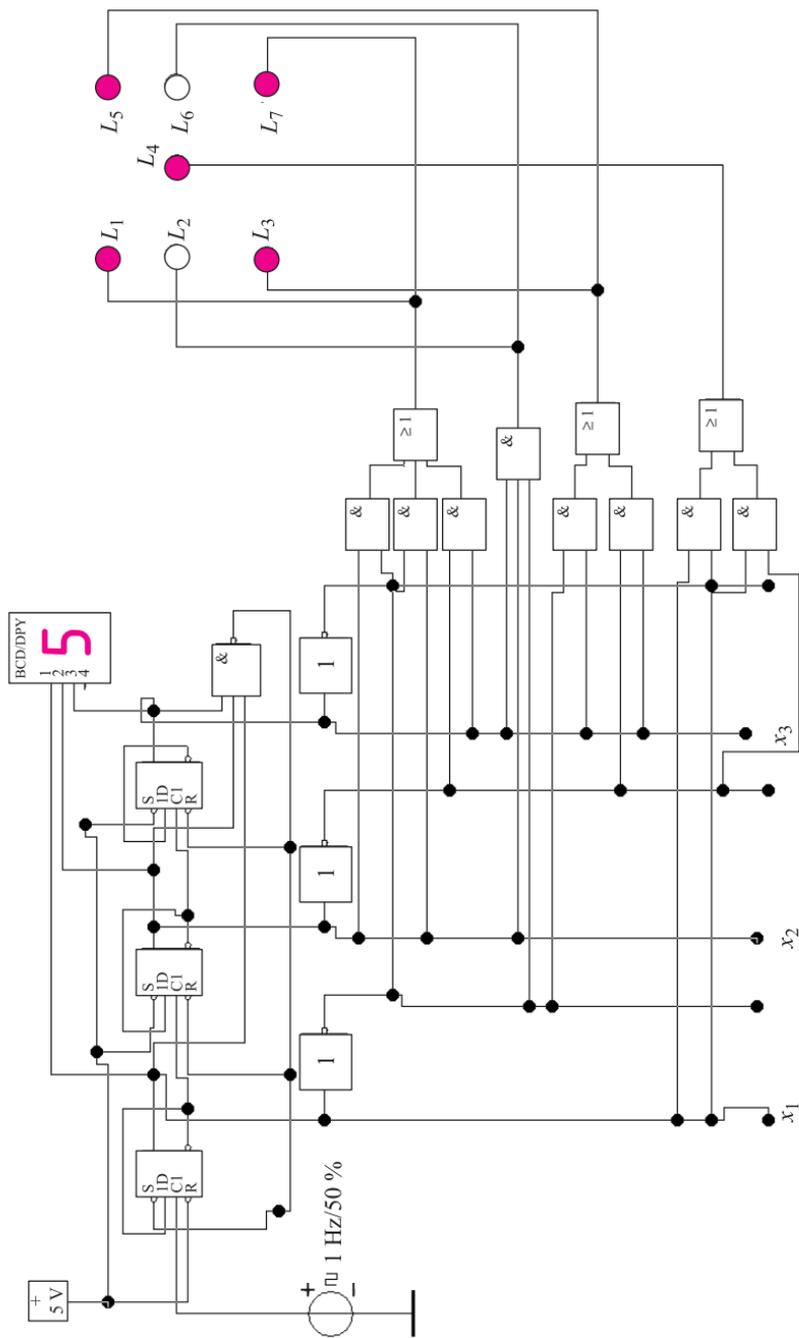


Рис. 13. Схема счетчика с выводами прямых и инверсных значений выходов



**Рис. 14.** Полная функциональная моделируемая схема узла «игральная кость»

$$L_3 = (\bar{x}_1 x_3) + (\bar{x}_2 x_3); \quad (3)$$

$$L_4 = (x_1 \bar{x}_3) + (x_1 \bar{x}_2). \quad (4)$$

После сборки счетчика и схемы включения светодиодов осуществляется подготовка схемы счетчика для подачи значений его выходов как значений двоичного трехразрядного кода. Для этого организуются вертикальные линии с выходов разрядов и линии инверсных значений разрядов с помощью элементов «НЕ» (рис. 13).

Далее по выражениям (1)–(4) строятся комбинационные схемы из логических элементов «И» и «ИЛИ». Выходы комбинационных схем соединяются с соответствующими светодиодами  $L_1$ – $L_7$ .

Итоговая моделируемая схема игральной кости приведена на рис. 14.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЩИТЕ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ**

1. Чем отличается понятие «комбинационная схема» от понятия «цифровой автомат»?
2. С какой целью проводится минимизация булевых выражений?
3. Какие методы минимизации булевых выражений вы знаете?
4. Чем отличается неполный дешифратор от полного?
5. Можно ли построить шифратор, используя только логические элементы «И-НЕ»?
6. Какие типы триггеров можно использовать при построении счетчиков?
7. Для каких целей вводится ограничение модуля счета в счетчике?
8. В чем отличие работы счетчиков, построенных на счетных триггерах без задержки, от работы счетчиков, построенных на счетных триггерах с задержкой?
9. На каком принципе основана работа синхронного счетчика?
10. Каким методом можно установить начальное значение (не нулевое) в счетчик до начала счета?

## Литература

*Бойт К.* Цифровая электроника / пер. с англ. М.: Техносфера, 2007.

*Гуров С.В.* Булевы алгебры, упорядоченные множества, решетки. Определения, свойства, примеры. М.: Либроком, 2013.

*Карлащук В.И.* Электронная лаборатория на IBM PC. М.: СОЛОН-Р, 2001.

*Новожилов О.П.* Архитектура ЭВМ и систем: учеб. пособие для бакалавров. М.: Юрайт, 2012.

*Потемкин И.С.* Функциональные узлы цифровой автоматики. М.: Энергоатомиздат, 1988.

*Угрюмов Е.П.* Цифровая схемотехника. СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2000.

Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: практикум на Electronics Workbench: в 2 т. / под ред. Д.И. Панфилова. М.: ДОДЭКА, 2000.

## Оглавление

Предисловие .....	3
1. Краткие теоретические сведения.....	4
2. Примерный перечень тем домашних заданий.....	9
3. Последовательность выполнения домашнего задания .....	10
4. Отчет по домашнему заданию .....	10
5. Рейтинговая система контроля выполнения домашнего задания.....	11
6. Пример решения задачи проектирования и моделирования работы узла по теме «Моделирование игровой кости с шестью гранями» .....	11
Контрольные вопросы для подготовки к защите домашнего задания .....	16
Литература.....	17

*Учебное издание*

**Спиридонов Сергей Борисович**

**Домашнее задание по дисциплине  
«Схемотехника дискретных устройств»**

Редактор *О.М. Королева*  
Художник *А.С. Ключева*  
Корректор *Л.В. Забродина*  
Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

В оформлении использованы шрифты  
Студии Артемия Лебедева.

Оригинал-макет подготовлен  
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Подписано в печать 30.09.2015. Формат 60×90/16.  
Усл. печ. л. 1,25. Тираж 50 экз. Изд. № 186-2015. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
[press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)  
[www.baumanpress.ru](http://www.baumanpress.ru)

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
[baumanprint@gmail.com](mailto:baumanprint@gmail.com)