

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

В.Е. Коваленко

## **ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
и организации самостоятельной работы студентов

Томск  
2023

УДК 004.312  
ББК 32.971.32я73  
К56

**Рецензент:**

**Кривин Н.Н.**, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоаппаратуры

**Коваленко, Валерий Евгеньевич**

К56 Цифровая схемотехника радиоэлектронных средств : Методические указания к выполнению лабораторных работ и организации самостоятельной работы студентов / В.Е. Коваленко. — Томск : ТУСУР, 2023. – 22 с.

Целью дисциплины является изучение основных компонентов цифровой схемотехники радиоэлектронных средств.

Для студентов, изучающих дисциплину «Цифровая схемотехника радиоэлектронных средств».

Одобрено на заседании каф. КИПР, протокол № 24 от 20 января 2023 г.

УДК 004.312  
ББК 32.971.32я73

© В.Е.Коваленко, 2023  
© Томск. гос. ун-т систем упр.  
и радиоэлектроники, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	5
1.1. Лабораторная работа №1 «Синтез комбинационных логических устройств».....	6
1.2. Лабораторная работа №2 «Особые случаи синтеза комбинационных логических устройств».....	8
1.3. Лабораторная работа №3 «Универсальные логические модули на основе мультиплексоров».....	11
1.4. Лабораторная работа №4 «Проектирование цифровых автоматов на ЖК триггерах».....	15
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	17
2.1. Разделы и содержание дисциплины.....	17
2.2. Общие положения.....	17
2.3. Рекомендации по самостоятельной работе студентов.....	18
2.4. Тестовые вопросы по дисциплине».....	19
2.5. Контрольные вопросы.....	20
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Пример титульного листа отчёта.....	22

## Введение

Выполнение лабораторных работ и самостоятельная деятельность студентов в рамках дисциплины является изучение основ цифровой схематехники с целью формирования у студентов знаний основ цифровой электроники, способности решать задачи синтеза и анализа цифровых устройств для решения прикладных задач. Кроме этого ознакомление студентов с современными тенденциями развития схематехники цифровых устройств.

В результате выполнения лабораторных работ и осуществления самостоятельной работы обучающийся должен достичь следующих результатов:

- знать основы цифровой электроники; роль математического моделирования в профессиональной деятельности инженера; методики сбора и обработки информации, актуальные российские и зарубежные источники информации для решения задач цифровой электротехники;

- уметь формулировать задачи исследования, решать стандартные профессиональные задачи с применением основ знаний по цифровой электронике; проводить анализ разработанных моделей; применять на практике сбор и обработку информации, осуществлять критический анализ;

- владеть методами поиска и обработки, критического анализа информации, методикой решения поставленных задач; способен предлагать различные варианты решения поставленных задач; навыками теоретического и экспериментального исследования несложных устройств цифровой электроники; навыками работы в программах компьютерного моделирования по решению задач цифровой электроники.

# **1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

## **1.1 Общие требования**

Для проведения лабораторных работ по цифровой схематехнике используется программный комплекс MicroCAP . Для помощи в освоения данного ресурса обучающийся использует рекомендованную литературу. При выполнении работ студенты также пользуются материалами лекционных занятий, основной и дополнительной литературой указанной в рабочей программе по этому курсу.

Лабораторный практикум, состоит из четырёх работ, разбитых по следующим темам:

1. Синтез комбинационных логических устройств.
2. Особые случаи синтеза комбинационных логических устройств.
3. Универсальные логические модули на основе мультиплексоров.
4. Проектирование цифровых автоматов на JK-триггерах.

## 1.2 Лабораторная работа №1 «Синтез комбинационных логических устройств»

### Цель работы

Знакомство с основными этапами синтеза комбинационных логических устройств; изучение способов минимизации логических функций, представленных в совершенной дизъюнктивной форме; приобретение навыков перехода в логический базис элементов И-НЕ, ИЛИ-НЕ; построение схем комбинационных устройств по заданным функциям алгебры логики.

### Форма проведения

Выполнение индивидуального задания.

### Форма отчетности

Отчет по лабораторной работе должен содержать: схемы включения, графики зависимостей, все необходимые расчеты и их результаты, текстовые пояснения. На графиках в отчете должны присутствовать единицы измерения, масштаб, цена деления.

### Теоретические основы

Теоретические основы по работе изложены в литературе (1) соответственно параграф 1.3 Канонические формы представления логических функций. Минимизация логических функций. Синтез логических устройств в заданных базисах и параграф 1.4 Пример минимизации логической функции и перехода в заданный базис.

### Варианты заданий

Для всех вариантов задания общими являются три столбца таблицы истинности (таблица 2.1), которые представляют собой восемь возможных сочетаний аргументов логической функции  $f(x_3, x_2, x_1)$ . Варианты значений логической функции приведены в таблице 2. Выбрав соответствующий своему варианту столбец в таблице 2.2, необходимо присоединить его в качестве четвертого столбца к таблице 1 и получить, таким образом, полноценную таблицу истинности.

Таблица 2.1– Сочетания аргументов логической функции

$X_3$	$X_2$	$X_1$
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

Таблица 2.2– Варианты значений логической функции  $f(x_3, x_2, x_1)$

	Номера вариантов																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Значение функции	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1
	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1
	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1
	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0
	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1
	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1

### **Контрольные вопросы**

1. В чем заключаются этапы синтеза логического устройства?
2. Что такое дизъюнктивная нормальная форма?
3. Как происходит переход от дизъюнктивной нормальной формы к совершенной дизъюнктивной нормальной форме?
4. Каково правило записи совершенной дизъюнктивной нормальной формы для функции заданной таблично?
5. В чем недостаток структурных схем, построенных по СДНФ?
6. Что такое нулевой, единичный, двоичный куб?
7. Что такое ранг куба?
8. Что такое кубический комплекс?
9. Что такое покрытие логической функции?
10. Что такое цена покрытия логической функции?
11. Что такое карта Вейча?

### 1.3 Лабораторная работа №2 «Особые случаи синтеза комбинационных логических устройств»

#### Цель работы

Знакомство с процессом минимизации логических функций по методу Квайна; изучение принципов доопределения логических функций с последующим нахождением минимальной формы; изучение принципов минимизации систем логических функций на основе импликантных матриц; приобретение практических навыков по использованию операций склеивания и поглощения.

#### Форма проведения

Выполнение индивидуального задания.

#### Форма отчетности

Отчет по лабораторной работе должен содержать: схемы включения, графики зависимостей, все необходимые расчеты и их результаты, текстовые пояснения. На графиках в отчете должны присутствовать единицы измерения, масштаб, цена деления.

#### Теоретические основы

Теоретические основы по работе изложены в литературе (1) соответственно параграф 2.3 Синтез недоопределенных логических функций. Синтез логических устройств с несколькими выходами и параграф 2.4 Пример синтеза логических устройств.

#### Варианты заданий

Для всех вариантов задания общими являются три столбца таблицы истинности (таблица 3.1), которые представляют собой восемь возможных сочетаний аргументов логической функции  $f(x_3, x_2, x_1)$ . Варианты значений логической функции приведены в таблице 3.2. Выбрав соответствующий своему варианту столбец в таблице 3.2, необходимо присоединить его в качестве четвертого столбца к таблице 3.1 и получить, таким образом, полноценную таблицу истинности.

Варианты заданий для минимизации недоопределенных логических функций  
Таблица 3.1 Сочетания аргументов логической функции

$X_3$	$X_2$	$X_1$
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

Таблица 3.2 Варианты значений логической функции  $f(x_3, x_2, x_1)$

	Номера вариантов																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Значение функции	—	—	1	—	1	—	1	1	—	—	0	0	0	0	1	—	0	—	0	1	1	1	—	0	—
	—	1	—	1	—	0	0	—	—	0	1	—	—	—	0	0	0	—	—	0	1	1	0	—	0
	—	—	—	1	—	—	1	1	—	—	1	—	1	0	—	—	—	0	—	1	0	1	—	—	—
	—	0	—	1	0	—	0	—	1	1	—	1	—	0	0	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—
	1	—	—	0	1	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—
	0	0	0	—	1	0	—	—	0	0	—	0	1	—	1	1	—	1	—	—	—	—	1	0	1
	1	—	1	—	—	1	—	—	1	1	1	1	1	—	—	—	0	—	0	0	0	0	0	1	1
	0	0	0	—	—	1	—	0	0	—	—	—	—	1	—	1	—	0	1	—	—	—	1	1	1

Варианты заданий для минимизации системы логических функций.

Для всех вариантов задания общими являются три столбца таблицы истинности (таблица 3.3), которые представляют собой восемь возможных сочетаний аргументов для логических функций  $G_1(x_3, x_2, x_1)$ ,  $G_2(x_3, x_2, x_1)$ ,  $G_3(x_3, x_2, x_1)$ . Варианты значений логических функций приведены в таблице 3.4. Выбрав соответствующие своему варианту три столбца в таблице 3.4, необходимо присоединить их к таблице 3.3 и получить, таким образом, полноценную таблицу истинности.

Таблица 3.3 – Сочетания аргументов логических функций

$X_3$	$X_2$	$X_1$
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

Таблица 3.4 Варианты значений логических функций  $G_1(x_3, x_2, x_1)$ ,  $G_2(x_3, x_2, x_1)$ ,  $G_3(x_3, x_2, x_1)$

	Номера вариантов																		
	1			2			3			4			5			6			
Функции	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	
Значения функций	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	

Таблица 3.4 Продолжение

	Номера вариантов																	
	7			8			9			10			11			12		
Функции	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
Значения функций	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1
	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0
	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Таблица 3.4 Продолжение

	Номера вариантов																	
	13			14			15			16			17			18		
Функции	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
Значения функций	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3.4 Продолжение

	Номера вариантов																	
	19			20			21			22			23			24		
Функции	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
Значения функций	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1
	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1
	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1

### Контрольные вопросы

1. В чем заключаются основные этапы минимизации логических функций по методу Квайна?
2. Что такое операция склеивания?
3. Что такое операция поглощения?
4. Чем отличается сокращенная форма представления логической функции от минимальной?
5. Что такое простая импликанта?
6. Каков принцип заполнения импликантной матрицы?
7. Что такое ядро сокращенной формы представления логической функции?
8. Что нужно сделать, чтобы на основе заполненной импликантной матрицы получить минимальную форму логической функции?
9. Что такое недоопределенная логическая функция?
10. В чем особенность минимизации системы логических функций?

## 1.4 Лабораторная работа №3 «Универсальные логические модули на основе мультиплексоров»

### Цель работы

знакомство с принципом действия мультиплексора, его режимами работы, назначением выводов; изучение некоторых способов настройки универсальных логических модулей на основе мультиплексоров; приобретение навыков разложения логических выражений по Шеннону для случая двух переменных; отработка приемов по составлению остаточных функций для универсальных логических модулей.

### Форма проведения

Выполнение индивидуального задания.

### Форма отчетности

Отчет по лабораторной работе должен содержать: схемы включения, графики зависимостей, все необходимые расчеты и их результаты, текстовые пояснения. На графиках в отчете должны присутствовать единицы измерения, масштаб, цена деления.

### Теоретические основы

Теоретические основы по работе изложены в литературе (1) соответственно параграф 3.3 Способы настройки универсальных логических модулей и параграф 3.4 Пример различных способов настройки УЛМ.

### Варианты заданий

Таблица 4.1 – Варианты задания для первого способа настройки УЛМ

НОМЕР ВАРИАНТА	ЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ $F(X_2, X_1, X_0)$
1	$\bar{x}_0 + x_2\bar{x}_1$
2	$x_1x_0 + x_2x_1 + x_2x_0$
3	$x_1x_0 + \bar{x}_2\bar{x}_1 + x_2x_0$
4	$x_2x_1x_0 + \bar{x}_2\bar{x}_1\bar{x}_0$
5	$\bar{x}_1x_0 + x_2x_0$
6	$x_2 + x_1 + x_0$
7	$x_2 + \bar{x}_1 + x_0$
8	$\bar{x}_1\bar{x}_0 + x_2x_1$
9	$x_2\bar{x}_0 + \bar{x}_2x_1$
10	$\bar{x}_0 + \bar{x}_2x_1$
11	$x_2 + x_1 + \bar{x}_0$
12	$x_1x_0 + \bar{x}_2\bar{x}_1 + \bar{x}_2x_0$
13	$x_2x_1 + \bar{x}_1\bar{x}_0 + \bar{x}_2\bar{x}_1$
14	$x_2\bar{x}_1x_0 + \bar{x}_2x_1\bar{x}_0$
15	$\bar{x}_2 + x_1 + x_0$

Продолжение таблицы 4.1

16	$x_2x_1 + x_2\bar{x}_0$
17	$\bar{x}_2x_1x_0 + x_2\bar{x}_1\bar{x}_0$
18	$\bar{x}_2 + \bar{x}_1 + \bar{x}_0$
19	$x_1\bar{x}_0 + \bar{x}_2x_1 + x_2x_0$
20	$\bar{x}_2 + \bar{x}_1\bar{x}_0$
21	$\bar{x}_2x_1 + x_1\bar{x}_0 + \bar{x}_2x_0$
22	$\bar{x}_2x_1\bar{x}_0 + x_2\bar{x}_1\bar{x}_0$
23	$\bar{x}_2\bar{x}_1 + \bar{x}_1\bar{x}_0$
24	$x_2 + \bar{x}_1 + \bar{x}_0$
25	$x_2 + \bar{x}_1x_0$

Таблица 4.2 – Варианты задания для второго способа настройки УЛМ

НОМЕР ВАРИАНТА	ЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ $G(X_3, X_2, X_1, X_0)$
1	$x_1x_0 + x_2x_0 + x_3$
2	$x_0 + x_1 + \bar{x}_2 + x_3$
3	$x_2\bar{x}_1x_0 + x_3$
4	$x_3\bar{x}_2\bar{x}_1x_0$
5	$x_0 + \bar{x}_1 + x_2 + \bar{x}_3$
6	$x_1x_0 + x_3x_2$
7	$\bar{x}_1x_0 + x_3\bar{x}_2$
8	$x_0 + x_2x_1 + x_3x_2$
9	$x_0 + \bar{x}_2\bar{x}_1 + x_3x_2$
10	$x_2x_1x_0 + x_3x_2x_1$
11	$x_2x_1x_0 + \bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1$
12	$x_2\bar{x}_1x_0 + \bar{x}_3x_2\bar{x}_1$
13	$x_3x_2x_1x_0 + x_3\bar{x}_2\bar{x}_1x_0$
14	$x_1\bar{x}_0 + x_3x_2$
15	$x_0 + \bar{x}_2x_1 + \bar{x}_3$
16	$x_1x_0 + x_2x_0 + x_3x_0$
17	$x_1\bar{x}_0 + \bar{x}_2x_0 + x_3\bar{x}_0$
18	$x_2x_1x_0 + x_3x_1x_0$
19	$\bar{x}_0 + \bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3$
20	$x_1x_0 + \bar{x}_2\bar{x}_0 + x_3$

Продолжение таблицы 4.2

<b>21</b>	$\bar{x}_3 + x_2 + x_1 + \bar{x}_0$
<b>22</b>	$x_3 \bar{x}_2 x_0 + \bar{x}_1$
<b>23</b>	$\bar{x}_3 x_2 x_1 \bar{x}_0$
<b>24</b>	$x_3 \bar{x}_0 + x_2 \bar{x}_1$
<b>25</b>	$x_3 \bar{x}_1 x_0 + x_2 x_1 \bar{x}_0$

Таблица 4.3 – Варианты задания для третьего способа настройки УЛМ

<b>НОМЕР ВАРИАНТА</b>	<b>ЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ <math>H(X_4, X_3, X_2, X_1, X_0)</math></b>
<b>1</b>	$x_1 x_0 + x_4 x_2 x_0 + x_3$
<b>2</b>	$x_0 + x_1 + \bar{x}_2 + x_3 + x_4$
<b>3</b>	$x_2 \bar{x}_1 x_0 + x_4 x_3$
<b>4</b>	$x_3 x_2 x_1 x_0 + \bar{x}_4$
<b>5</b>	$x_0 + \bar{x}_1 + x_2 + \bar{x}_3 + x_4$
<b>6</b>	$x_1 x_0 + x_3 x_2 + x_4$
<b>7</b>	$\bar{x}_1 x_0 + x_3 \bar{x}_2 + x_4$
<b>8</b>	$x_0 + x_2 x_1 + x_4 x_3 x_2$
<b>9</b>	$x_0 + \bar{x}_2 \bar{x}_1 + x_4 x_3 x_2$
<b>10</b>	$x_2 x_1 x_0 + x_3 x_2 x_1 + x_4 x_3 x_2$
<b>11</b>	$x_2 x_1 x_0 + \bar{x}_3 \bar{x}_2 \bar{x}_1 + x_4 x_3 x_2$
<b>12</b>	$x_2 \bar{x}_1 x_0 + \bar{x}_3 x_2 \bar{x}_1 + x_4 \bar{x}_3 x_2$
<b>13</b>	$x_3 x_2 x_1 x_0 + \bar{x}_4 x_2 \bar{x}_1 x_0$
<b>14</b>	$x_1 \bar{x}_0 + x_3 x_2 + \bar{x}_4$
<b>15</b>	$x_0 + \bar{x}_2 x_1 + x_4 \bar{x}_3$
<b>16</b>	$x_4 x_0 + x_1 x_0 + x_2 x_0 + x_3 x_0$
<b>17</b>	$\bar{x}_4 x_0 + x_1 \bar{x}_0 + \bar{x}_2 x_0 + x_3 \bar{x}_0$
<b>18</b>	$x_2 x_1 x_0 + x_3 x_1 x_0 + x_4 x_1 x_0$
<b>19</b>	$\bar{x}_0 + \bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \bar{x}_4$
<b>20</b>	$\bar{x}_4 x_1 + x_3 \bar{x}_2 x_1 + x_0$
<b>21</b>	$\bar{x}_4 + x_3 + \bar{x}_2 + x_1 + \bar{x}_0$
<b>22</b>	$x_4 \bar{x}_3 \bar{x}_2 + \bar{x}_1 x_0$
<b>23</b>	$x_4 \bar{x}_3 \bar{x}_2 x_1 + x_0$
<b>24</b>	$\bar{x}_4 \bar{x}_3 + \bar{x}_2 \bar{x}_1 + \bar{x}_0$
<b>25</b>	$x_3 \bar{x}_2 \bar{x}_1 x_0 + \bar{x}_4 x_2 x_1 \bar{x}_0$

### **Контрольные вопросы**

1. Сравнение структурных (на основе УЛМ) и проверочных схем показывает, что проверочные схемы гораздо проще. В чем тогда заключается преимущество аппаратной реализации логической функции с помощью УЛМ?
2. Что подается на входы мультиплексора при использовании его в качестве УЛМ?
3. Что такое алфавит настройки?
4. Что такое литерал?
5. Какой именно аргумент целесообразно переносить в сигналы настройки УЛМ?
6. Каково правило уменьшения аппаратных затрат для случая пирамидальной двухъярусной структуры УЛМ?
7. Что такое разложение по Шеннону?
8. Что такое остаточная функция?

## 1.5 Лабораторная работа №4 «Проектирование цифровых автоматов на JK-триггерах»

### Цель работы

Знакомство с особенностями проектирования синхронных автоматов с памятью; исследование структуры автоматов Мура; приобретение навыков двоичного кодирования состояний для синхронного автомата; приобретение навыков по нахождению функций возбуждения для JK-триггеров.

### Форма проведения

Выполнение индивидуального задания.

### Форма отчетности

Отчет по лабораторной работе должен содержать: схемы включения, графики зависимостей, все необходимые расчеты и их результаты, текстовые пояснения. На графиках в отчете должны присутствовать единицы измерения, масштаб, цена деления.

### Теоретические основы

Теоретические основы по работе изложены в литературе (1) соответственно параграф 4.3 Методика проектирования автоматов с памятью и параграф 4.4 Пример проектирования автомата на основе JK-триггеров.

### Варианты заданий

№ Варианта	Последовательность состояний при M=1
1	000→101→100→010→001→011→110→111→000
2	000→100→001→101→011→010→110→111→000
3	000→011→001→100→111→010→110→101→000
4	000→010→001→111→101→110→011→100→000
5	000→001→111→101→011→100→110→010→000
6	000→111→100→001→010→011→101→110→000
7	000→110→011→001→010→100→101→111→000
8	000→101→001→111→010→100→011→110→000
9	000→100→111→011→001→010→101→110→000
10	000→011→110→100→101→111→001→010→000
11	000→010→101→011→001→100→111→110→000
12	000→001→100→111→110→101→010→011→000
13	000→111→010→100→001→101→011→110→000
14	000→110→011→101→111→001→100→010→000
15	000→101→111→011→110→001→010→100→000
16	000→100→110→111→101→001→010→011→000
17	000→011→101→100→001→010→111→110→000
18	000→010→100→001→101→110→011→101→000
19	000→001→010→111→011→110→100→101→000
20	000→111→001→011→010→100→110→101→000
21	000→110→111→101→100→001→010→011→000
22	000→101→110→100→001→111→010→011→000
23	000→100→101→011→111→001→110→010→000
24	000→011→100→110→001→111→101→010→000
25	000→010→011→111→101→001→010→100→000
26	000→101→010→011→110→100→111→101→000
27	000→010→011→101→001→100→111→011→000
28	000→010→111→110→011→100→010→001→000

## Контрольные вопросы

1. Что такое последовательностные схемы?
2. В чем основное отличие автоматов с памятью от комбинационных цепей?
3. В чем заключается отличие асинхронных и синхронных автоматов с памятью?
4. Для чего служат тактирующие импульсы в синхронных автоматах с памятью?
5. Каков основной недостаток асинхронных автоматов в плане их практического использования?
6. Что такое автоматы Мили и автоматы Мура?
7. Какие существуют способы кодирования состояний автоматов?
8. На основе, каких типов триггеров наиболее часто реализуют цифровые автоматы?
9. Как определить число триггеров, необходимых для синтеза цифрового автомата, если  $N$  – число состояний автомата?

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### 2.1 Разделы и содержание дисциплины.

Дисциплина «Цифровая схемотехника радиоэлектронных средств» содержит следующие разделы:

1. Схемотехника базовых цифровых элементов.

В разделе рассматриваются: определение цифрового сигнала; преимущество цифровых устройств перед аналоговыми устройствами; типы логик цифровых элементов; основные логические элементы; серии микросхем и их основные характеристики; примеры сравнения по некоторым характеристикам разных серий микросхем.

2. Комбинационные цифровые устройства

В разделе рассматриваются: основы булевой алгебры и способы записи и минимизация логических функций; определение комбинационных и последовательностных цифровых устройств; преобразователи кодов; мультиплексоры, шифраторы и демультимплексоры, дешифраторы; приоритетные шифраторы; сумматоры, цифровые компараторы и мажоритарные элементы.

3. Триггерные устройства.

В разделе рассматриваются: классификация триггеров; светотехника триггерных устройств; применение триггеров в схемах ввода-вывода и синхронизации логических сигналов; регистры последовательного и параллельного типа; счетчики и делители частоты; проектирование триггерных и других последовательностных устройств.

4. Запоминающие устройства

В разделе рассматриваются: классификация запоминающих устройств; основные структуры запоминающих устройств; оперативные запоминающие устройство; постоянные запоминающие устройства типа ROM(M), PROM, EPROM, EEPROM, флэш-память.

5. Программируемые логические интегральные схемы

В разделе рассматриваются: программируемые логические матрицы; схемы с программируемым выходным буфером.

### 2.2. Общие положения

Целями самостоятельной работы являются, упорядочивание и закрепление теоретических знаний в области основ цифровой электроники. Получения навыков синтеза цифровых устройств с использованием свойств булевых функций и способов записи и минимизации функций.

Самостоятельная работа студента по дисциплине «Цифровая схемотехника радиоэлектронных средств» включает следующие виды деятельности:

- 1) проработка лекционного материала, в том числе подготовка к тестированию;
- 2) подготовка к лабораторным работам;
- 3) подготовка к контрольным работам;
- 3) подготовка к практическим работам.

В ходе самостоятельной работы студент, ориентируясь на изложенные рекомендации, планирует свое время и перечень необходимых работ в зависимости от индивидуальных особенностей. Формат самостоятельной работы студентов может отличаться в зависимости от формы обучения и объема аудиторной работы.

### 2.3 Рекомендации по самостоятельной работе студентов

Самостоятельная проработка лекционного материала направлена на получение навыков работы с конспектом. Необходимо своевременно повторять пройденный материал.

Если возникают проблемы в понимании темы, обучающийся должен воспользоваться рекомендованной литературой по курсу. Основные термины и их определения, свойства объектов изучения, условные обозначения необходимо выучить наизусть. Это упростит задачу дальнейшего понимания в изучении курса.

Кроме того, своевременная проработка лекционного материала способствует более глубокому пониманию и прочному запоминанию теоретической части дисциплины.

При подготовке к практическим занятиям и контрольным работам студент должен хорошо владеть информацией из прежних связанных курсов. Если возникают проблемы необходимо обновить для себя материалы пройденных предметов используемых в этом курсе. При выполнении задания на занятие, контрольного задания следовать его условию. Это может быть ограничение на элементную базу как по логическим элементам, их особенностям (количество входов, ограничение базиса и т.д.), так и по серии микросхем.

При получении итогового выражения булевой функции необходимо реализовать (нарисовать) принципиальную схему по условию задания. При этом необходимо линии соединений проводить только или горизонтально или вертикально, добиваясь выбором масштаба читаемости схемы. Отмечать места соединений точками. На схемах используем только соответствующие применяемым логическим устройствам условно графические обозначения.

При самостоятельной работе по подготовке к выполнению лабораторного практикума обучающийся прорабатывает материал по теме работы, осваивает работу с необходимыми приборами. Знакомится с особенностями формирования вариантности задания.

При подготовке к написанию отчёта следует руководствоваться рекомендациями, приводимых в методических указаниях к лабораторным работам. Размещая в отчёте временные диаграммы и другие характеристики исследуемых процессов, необходимо указывать, расшифровывать соответствующие обозначения (единицы измерения, масштаб и т.д. и т.п.). Для анализа проделанной работы необходимо проводить теоретический расчёт исследуемого процесса. В выводах отчёта необходимо сравнивать практические (полученные при выполнении лабораторной работы) результаты, с теоретическими значениями. При защите отчёта по лабораторной работе студент должен рассказать и показать по схеме как работают её элементы, как формируется исследуемый процесс.

В зависимости от особенностей усвоения учебного материала студентами и объема аудиторной работы некоторые из вопросов, рассматриваемые в ходе проведения лекций и лабораторных работ, могут быть также вынесены в формат самостоятельного изучения.

## 2.4 Тестовые вопросы по дисциплине

Тестирование является обязательной частью аттестации по дисциплине, а также важным средством проверки остаточных знаний студентов. Подготовка к тестированию требует повторение материала по всем разделам дисциплины. Для тестирования может использоваться следующий перечень вопросов (с вариантами ответов):

1. Цифровым называют сигнал
  1. непрерывный по времени и по уровню;
  2. квантованный по уровню;
  3. квантованный по уровню и дискретизированный по времени;
  4. дискретизированный по времени.
2. Цифровые схемы по сравнению с аналоговыми отличаются:
  1. повышенной повторяемостью;
  2. повышенной надежностью;
  3. пониженным быстродействием;
  4. всеми перечисленными свойствами.
3. Чем характеризуется помехоустойчивость логической микросхемы:
  1. минимальным током выхода;
  2. разницей между напряжениями низкого и высокого уровня;
  3. наименьшей из разностей между напряжением одного из логических уровней и соответствующим пороговым напряжением;
  4. всеми перечисленными факторами
4. Базовым логическим элементом технологии ТТЛ является:
  1. И; 2. И-НЕ; 3. ИЛИ; 4. ИЛИ-НЕ.
5. Базовым логическим элементом технологии ЭСЛ является:
  1. И; 2. И-НЕ; 3. ИЛИ; 4. ИЛИ-НЕ.
6. В какой из нижеперечисленных технологий базовым элементом может быть как И-НЕ, так и ИЛИ-НЕ?:
  1. ТТЛШ; 2. КМОП; 3. ЭСЛ; 4. И2Л,
7. Какая из нижеперечисленных технологий обеспечивает наибольшее быстродействие?:
  1. ТТЛШ; 2. КМОП; 3. ЭСЛ; 4. И2С,
8. Какая из нижеперечисленных технологий обеспечивает наименьшее потребление в статическом режиме?:
  1. ТТЛШ; 2. КМОП; 3. ЭСЛ; 4. И2С.
9. Результат какой логической операции равен логической единице, если хотя бы один из операндов равен логической единице:
  1. И; 2. И-НЕ; 3. ИЛИ; 4. Исключающее ИЛИ.
10. Результат какой логической операции всегда равен логической единице, если хотя бы один из операндов равен логической нулю:
  1. И-НЕ; 2. ИЛИ-НЕ; 3. НЕ; 4. ИЛИ.

## 2.5 Контрольные вопросы

В итоге изучения тем студент должен уверенно знать следующие вопросы:

1. Типовые выходные каскады логических элементов.
2. Динамические свойства и характеристики логических микросхем.
3. Логические микросхемы на основе технологии ТТЛШ
4. Логические микросхемы на основе технологии ЭСЛ
5. Логические микросхемы на основе технологии И2С
6. Логические микросхемы на основе технологии КМОП
7. Базовые логические функции. Таблицы истинности.
8. Правила преобразования логических функций.
9. Нормальные дизъюнктивная и конъюнктивная формы булевых функций. Правила склеивания.
10. Минимизация логических функций при помощи диаграмм Вейча и карт Карно.
11. Особенности минимизации недоопределенных и многозначных логических функций.
12. Назначение, устройство и применение мультиплексоров.
13. Расширение разрядности мультиплексоров.
14. Универсальные логические модули на основе мультиплексоров.
15. Назначение, виды и устройство демультимплексоров и дешифраторов.
16. Расширение разрядности демультимплексоров и дешифраторов.
17. Приоритетные шифраторы и преобразователи кодов.
18. Алгоритм двоичного суммирования. Сумматоры.
19. Назначение и устройство цифровых компараторов и мажоритарных элементов.
20. Устройство и применение асинхронных триггеров.
21. Устройство и применение триггеров со статической и динамической синхронизацией. Т-триггеры.
22. Устройство и применение универсальных триггеров.
23. Устройство и назначение регистров параллельного типа.
24. Устройство и назначение регистров последовательного типа.
25. назначение суммирующих и вычитающих двоичных счетчиков
26. Устройство и назначение двоично-десятичных счетчиков.
27. Счетчики с предустановкой.
28. Кольцевые счетчики.
29. Использование счетчиков в качестве делителей частоты.
30. Устройство цифровых делителей частоты с постоянным коэффициентом деления.
31. Классификация запоминающих устройств.
32. Организация доступа к ячейкам памяти запоминающих устройств.
33. Устройство и виды постоянных и оперативных запоминающих устройств
34. Устройство и виды перепрограммируемых постоянных запоминающих устройств.
35. Устройство арифметико-логических устройств.
36. Обратный и дополнительный коды. Алгоритм двоичного умножения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Схемотехника компьютерных технологий: Компьютерный лабораторный практикум / Д. В. Озеркин - 2012. 190 с. <https://edu.tusur.ru/publications/1203>
2. Сажнев, А. М. Цифровые устройства и микропроцессоры : учебное пособие для вузов / А. М. Сажнев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 139 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-10883-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/492264>.
3. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. - 464 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**(справочное)**  
**Пример титульного листа отчёта**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

КАФЕДРА КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА РАДИОАППАРАТУРЫ (КИПР)

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1**  
**«СИНТЕЗ КОМБИНАЦИОННЫХ ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ»**

Выполнил  
Студент гр. 200 гр.  
\_\_\_\_\_ Носов К.П.  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023г.

Проверил  
Преподаватель  
\_\_\_\_\_ Коваленко В. Е.  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023г.