

УДК 621.385

Г

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ,  
протокол № от 2015г

**Рецензент:**

ПГУТИ, д.т.н., профессор Тяжев А.И.

**Галочкин В.А.**

**Г Схемотехника телекоммуникационных устройств.** Учебное пособие. Методические разработки по лабораторным работам. Часть 2. «Схемотехника цифровых электронных устройств». Под редакцией д.т.н., профессора Елисеева С.Н./ В.А.Галочкин - Самара: ПГУТИ, 2016 - 282 с.

В учебном пособии «Схемотехника телекоммуникационных устройств. Методические разработки по лабораторным работам. Часть 2. «Схемотехника цифровых электронных устройств» рассматривается элементная база устройств полупроводниковой электроники; исследуются принципы построения и схемотехника цифровых телекоммуникационных электронных устройств.

Учебное пособие разработано в соответствии с требованиями ФГОС ВПО 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»; 11.03.01 «Радиотехника» и предназначено для студентов (бакалавров и специалистов) 3-4-х курсов телекоммуникационных и радиотехнических специальностей дневной и заочной формы обучения для проведения лабораторных работ, а также для инженерно-технических работников, изучающих электронику.

ISBN

©, Галочкин В.А., 2016

## Оглавление

|   |          |
|---|----------|
| <b>Список сокращений и обозначений .....</b>  | <b>5</b> |
| <b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>   | <b>7</b> |
| <b>Раздел 1. Подготовка оборудования к выполнению лабораторных работ. Содержание и оформление отчета по лабораторной работе. Литература</b> |          |
| 1.1. Подготовка оборудования к выполнению лабораторных работ.....   | 10       |
| 1.2. Требования к содержанию и оформлению отчета по лабораторной работе .....   | 14       |
| 1.3. Данные для построения логарифмической шкалы.....   | 16       |
| 1.4. Форма титульного листа для отчета по лабораторной работе .....   | 17       |
| 1.5. Литература .....   | 18       |
| <b>Раздел 2. Тема: современные базовые элементы цифровой техники. Краткие теоретические сведения</b>  |          |
| 2.1. Логический элемент «И».....  | 20       |
| 2.2. Логический элемент «ИЛИ».....  | 24       |
| 2.3. Логический элемент «НЕ» (инвертор).....  | 27       |
| 2.4. Логическое двойное инвертирование .....  | 28       |
| 2.5. Логические элементы «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ», «исключающее ИЛИ»  |          |
| 2.5.1. Логический элемент «И-НЕ» (инвертированное «И») .....  | 29       |
| 2.5.2. Логический элемент «ИЛИ-НЕ»(отрицание «ИЛИ») .....   | 31       |
| 2.5.3. Логический элемент «исключающее ИЛИ» .....   | 33       |
| 2.6. Свойства и сравнительные характеристики современных базовых элементов. Способы представления информации .....                          | 36       |
| 2.7. Основные требования к базовым логическим элементам .....   | 38       |
| 2.7.1. Совместимость уровней входных и выходных сигналов .....  | 39       |
| 2.7.2. Нагрузочная способность логического элемента .....   | 40       |
| 2.7.3. Формирующее свойство логического элемента (квантование сигнала) .....  | 41       |
| 2.8. Помехоустойчивость логических элементов.   |          |

часть 2. Схемотехника цифровых электронных устройств

|   |    |
|---|----|
| Быстродействие логических элементов. Классификация логических устройств   |    |
| 2.8.1. Помехоустойчивость логических элементов  | 43 |
| 2.8.2. Быстродействие логического элемента  | 45 |
| 2.9. Классификация логических устройств   | 46 |
| 2.9.1. Классификация по способу ввода-вывода информации   | 46 |
| 2.9.2. Классификация по принципу действия   | 47 |
| 2.9.3. Классификация по схемотехническим решениям   | 47 |
| 2.10. Схемотехника цифровых интегральных схем   |    |
| Схемотехника логических элементов   |    |
| 2.10.1. Ключ на биполярном транзисторе  | 50 |
| 2.10.2. Транзисторная логика с непосредственными связями (НСТЛ)   | 52 |
| 2.10.3. Схема РТЛ (транзисторная логика с резистивной связью)   | 53 |
| 2.10.4. Схема ДТЛ (диодно-транзисторной логики)   | 54 |
| 2.10.5. ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика)   | 56 |
| 2.10.6. Эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ)  | 57 |
| 2.10.7. Логические элементы с инжекционным питанием ( $I^2L$ )  | 59 |
| 2.10.8. Логические элементы на полевых транзисторах   | 62 |
| 2.10.8.1. Ключ на МДП-транзисторах с динамической нагрузкой   | 63 |
| 2.10.8.2. Логические элементы на комплементарных МДП-транзисторах (КМДП)  | 66 |
| 2.10.8.3. Динамическая логика на МДП-транзисторах   | 69 |
| 2.11. Сравнение параметров основных типов интегральных логических схем  | 70 |
| 2.12. Экспериментальная проверка основных положений   |    |
| <b>Лабораторная работа № 2-1</b>  |    |
| <b>Принципы построения и функционирования базовых логических элементов «И», «НЕ», «двойного инвертирования», «И-НЕ»</b> |    |
| 1. Цель работы  | 71 |
| 2. Краткое изложение теоретических сведений   | 71 |

В.А.Галочкин

Схемотехника телекоммуникационных устройств  
Лабораторный практикум

часть 2. Схемотехника цифровых электронных устройств

|  |    |
|--|----|
| 3. Литература .....  | 71 |
| 4. Домашнее задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы..... | 71 |
| 5. Подготовка оборудования к выполнению лабораторной работы.....                   | 72 |
| 6. Исследование базового логического элемента «И» .....                            | 73 |
| 7. Исследование базового логического элемента «НЕ» (инвертор).....                 | 75 |
| 8. Исследование базового логического элемента «двойное инвертирование».....        | 76 |
| 9. Исследование базового логического элемента «И-НЕ» .....                         | 78 |
| 10. Исследование схем логических элементов с помощью логического анализатора.....  | 80 |
| 11. Содержание отчета.....   | 83 |
| 12. Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе .....                      | 84 |

**Лабораторная работа № 2-2**

***Принципы построения и функционирования базовых логических элементов «ИЛИ», «ИЛИ-НЕ», «исключающее ИЛИ»***

|  |    |
|--|----|
| 1. Цель работы .....   | 86 |
| 2. Краткое изложение теоретических сведений.....                                   | 86 |
| 3. Литература .....  | 86 |
| 4. Домашнее задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы..... | 86 |
| 5. Подготовка оборудования к выполнению лабораторной работы.....                   | 87 |
| 6. Исследование базового логического элемента «ИЛИ».....                           | 88 |
| 7. Исследование базового логического элемента «ИЛИ-НЕ»....                         | 90 |
| 8. Исследование базового логического элемента «исключающее ИЛИ» .....              | 92 |
| 9. Исследование схем логических элементов с помощью логического анализатора.....   | 94 |
| 10. Содержание отчета.....   | 97 |
| 11. Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе .....                      | 97 |

**Раздел 3. Тема: коды. Преобразователи кодов. Шифраторы.**

**Мультиплексоры. Краткие теоретические сведения**

|  |     |
|--|-----|
| 3.1. Двоично – десятичный код 8421 ..... | 100 |
|--|-----|

|   |            |
|---|------------|
| 3.2. Код с избытком 3 .....   | 102        |
| 3.3. Код Грея .....   | 103        |
| 3.4. Преобразователи кодов .....  | 103        |
| 3.5. Шифраторы. Дешифраторы. Мультиплексоры.<br>Демультимплексоры .....   | 104        |
| 3.5.1. Шифраторы и дешифраторы .....  | 106        |
| 3.5.2. Мультиплексоры и демультимплексоры .....   | 110        |
| <b>3.6. Экспериментальная проверка основных положений<br/>Лабораторная работа № 3-1</b>                             |            |
| <b><i>Принципы построения и функционирования устройств<br/>преобразования кодов (шифраторов и дешифраторов)</i></b> |            |
| 1. Цель работы .....  | 116        |
| 2. Краткое изложение теоретических сведений.....  | 116        |
| 3. Литература .....   | 116        |
| 4. Домашнее задание студентам для подготовки<br>к выполнению лабораторной работы.....                               | 116        |
| 5. Подготовка оборудования к выполнению лабораторной<br>работы.....   | 117        |
| 6. Исследования принципов построения и<br>функционирования шифраторов .....   | 118        |
| 7. Исследования принципов построения и<br>функционирования дешифраторов .....                                       | 120        |
| 8. Содержание отчета .....  | 123        |
| 9. Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе .....  | 123        |
| <b>Раздел 4. Тема: триггеры. Схемы фиксаторов.</b>  |            |
| <b>Запуск триггеров. Краткие теоретические сведения .....</b>   | <b>125</b> |
| 4.1. RS-триггер (асинхронный) .....   | 127        |
| 4.2. Синхронный (тактируемый) RS-триггер .....  | 130        |
| 4.3. D-триггер (триггер с задержкой).....   | 133        |
| 4.4. D-триггеры с дополнительными входами .....   | 135        |
| 4.5. JK-триггеры. Схемы фиксаторов. Запуск триггеров.<br>JK-триггер (ждущий мультивибратор).....                    | 137        |
| 4.6. JK-триггер с дополнительными входами .....   | 138        |
| 4.7. Схемы фиксаторов.....  | 139        |
| 4.8. Запуск триггеров.....  | 142        |
| 4.8.1. Триггеры с управлением (запуском) или<br>по фронту или по срезу тактового импульса.....                      | 142        |

|  |     |
|--|-----|
| 4.8.2. Триггеры типа ведущий/ведомый (триггеры с динамическим управлением) ..... | 145 |
|--|-----|

## 4.9. Экспериментальная проверка основных положений

### Лабораторная работа № 4-1

#### Принципы построения и функционирования триггеров. Асинхронный RS-триггер (фиксатор)

|   |     |
|---|-----|
| 1. Цель работы .....  | 147 |
| 2. Краткое изложение теоретических сведений.....  | 147 |
| 3. Литература .....   | 147 |
| 4. Домашнее задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы.....      | 147 |
| 5. Подготовка оборудования к выполнению лабораторной работы .....                       | 148 |
| 6. Исследование принципов построения и работы асинхронного RS-триггера (фиксатора)..... | 149 |
| 7. Исследование схемы асинхронного RS-триггера с помощью логического анализатора .....  | 152 |
| 8. Содержание отчета .....  | 155 |
| 9. Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе .....                            | 156 |

### Лабораторная работа № 4-2

#### Принципы построения и функционирования триггеров.

#### Синхронный RS-триггер

|  |     |
|--|-----|
| 1. Цель работы .....   | 157 |
| 2. Краткое изложение теоретических сведений.....   | 157 |
| 3. Литература .....  | 157 |
| 4. Домашнее задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы.....                   | 157 |
| 5. Подготовка оборудования к выполнению лабораторной работы.....                                     | 158 |
| 6. Исследование принципов построения и функционирования синхронного (тактируемого) RS-триггера ..... | 159 |
| 7. Исследование схемы синхронного RS-триггера с помощью логического анализатора .....                | 162 |
| 8. Содержание отчета .....   | 167 |
| 9. Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе .....   | 167 |

**Лабораторная работа № 4-3**

**Принципы построения и функционирования триггеров.**

**D-триггер (триггер с задержкой)**

|  |     |
|--|-----|
| 1. Цель работы .....   | 169 |
| 2. Краткое изложение теоретических сведений.....   | 169 |
| 3. Литература .....  | 169 |
| 4. Домашнее задание студентам для подготовки<br>к выполнению лабораторной работы.....              | 169 |
| 5. Подготовка оборудования к выполнению<br>лабораторной работы .....                               | 170 |
| 6. Исследование принципов построения<br>и функционирования D-триггера (триггера с задержкой) ..... | 171 |
| 7. Исследование схемы асинхронного D-триггера<br>с помощью логического анализатора .....           | 174 |
| 7. Содержание отчета .....   | 177 |
| 8. Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе .....                                       | 177 |

**Лабораторная работа № 4-4**

**Принципы построения и функционирования триггеров.**

**D-триггер с дополнительными входами**

|   |     |
|---|-----|
| 1. Цель работы .....  | 179 |
| 2. Краткое изложение теоретических сведений.....  | 179 |
| 3. Литература .....   | 179 |
| 4. Домашнее задание студентам для подготовки<br>к выполнению лабораторной работы.....   | 179 |
| 5. Подготовка оборудования к выполнению<br>лабораторной работы .....  | 180 |
| 6. Исследование принципов построения и<br>функционирования D-триггера с дополнительными<br>входами.....                                     | 181 |
| 7. Исследование схемы D-триггера с дополнительными<br>входами в синхронном и асинхронном режимах<br>с помощью логического анализатора ..... | 185 |
| 8. Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе .....  | 188 |

**Лабораторная работа № 4-5**

**Принципы построения и функционирования триггеров.**

**JK-триггер с дополнительными входами**

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 1. Цель работы ..... | 191 |
|----------------------|-----|

|   |            |
|---|------------|
| 2. Краткое изложение теоретических сведений.....  | 191        |
| 3. Литература .....   | 191        |
| 4. Домашнее задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы.....                                  | 191        |
| 5. Подготовка оборудования к выполнению лабораторной работы .....   | 192        |
| 6. Исследование принципов построения и функционирования JK -триггера с дополнительными входами.....                 | 193        |
| 7. Исследование схемы D-триггера с дополнительными входами с помощью логического анализатора.....                   | 197        |
| 8. Содержание отчета .....  | 199        |
| 9. Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе .....  | 199        |
| <b>Раздел 5. Тема: счетчики. Краткие теоретические сведения .....</b>   | <b>206</b> |
| 5.1. Счетчики со сквозным переносом .....   | 207        |
| 5.2. Асинхронный счетчик по модулю 10 .....   | 209        |
| 5.3. Синхронные счетчики .....  | 210        |
| 5.4. Вычитающие счетчики.....   | 212        |
| 5.5. Асинхронный трехразрядный счетчик по модулю 8 .....  | 212        |
| 5.6. Самоостанавливающиеся счетчики .....   | 213        |
| <b>5.7. Экспериментальная проверка основных положений</b>   |            |
| <b><i>Лабораторная работа № 5-1</i></b>   |            |
| <b><i>Принципы построения и функционирования счетчиков. Суммирующий самоостанавливающийся двоичный счетчик</i></b>  |            |
| 1. Цель работы .....  | 215        |
| 2. Краткое изложение теоретических сведений.....  | 215        |
| 3. Литература .....   | 215        |
| 4. Домашнее задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы.....                                  | 215        |
| 5. Подготовка оборудования к выполнению лабораторной работы .....   | 216        |
| 6. Исследование принципов построения и функционирования самоостанавливающегося суммирующего двоичного счетчика..... | 217        |



|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 7. Содержание отчета .....            | 222 |
| 8. Контрольные вопросы к зачету ..... | 223 |
| по лабораторной работе .....          | 223 |

### **Лабораторная работа № 5-2**

#### **Принципы построения и функционирования счетчиков.**

##### **Вычитающий двоичный счетчик**

|   |     |
|---|-----|
| 1. Цель работы .....  | 224 |
| 2. Краткое изложение теоретических сведений .....   | 224 |
| 3. Литература .....   | 224 |
| 4. Домашнее задание студентам для подготовки<br>к выполнению лабораторной работы .....          | 224 |
| 5. Подготовка оборудования к выполнению<br>лабораторной работы .....                            | 225 |
| 6. Исследование принципов построения и<br>функционирования вычитающего двоичного счетчика ..... | 226 |
| 8. Содержание отчета .....  | 231 |
| 9. Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе .....                                    | 232 |

#### **Раздел 6. Тема: сопряжение цифровых и аналоговых устройств.**

##### **Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП).**

##### **Аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Краткие**

|  |     |
|--|-----|
| <b>теоретические сведения</b> .....  | 233 |
| 6.1. Цифроаналоговые преобразователи .....   | 234 |
| 6.2. Общая структурная схема ЦАП .....   | 236 |
| 6.3. Основная схема простого ЦАП .....   | 237 |
| 6.4. Цифроаналоговый преобразователь<br>лестничного типа .....                                   | 238 |
| 6.5. Сопряжение цифровых и аналоговых устройств.<br>Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) ..... | 240 |
| 6.5.1. Базовая структурная схема аналого-цифрового<br>преобразователя (АЦП) .....                | 242 |
| 6.5.2. Структурная схема АЦП с динамической<br>компенсацией .....                                | 244 |
| 6.5.3. Интегрирующий АЦП .....   | 245 |
| 6.5.4. АЦП последовательного приближения .....   | 247 |
| 6.6. Характеристики АЦП и ЦАП .....  | 249 |

## 6.7. Экспериментальная проверка основных положений

### *Лабораторная работа № 6-1*

#### *Принципы построения и функционирования устройств ЦАП и АЦП»*

|   |     |
|---|-----|
| 1. Цель работы .....  | 254 |
| 2. Краткое изложение теоретических сведений.....  | 254 |
| 3. Литература .....   | 254 |
| 4. Домашнее задание студентам для подготовки<br>к выполнению лабораторной работы.....         | 254 |
| 5. Подготовка оборудования к выполнению<br>лабораторной работы .....                          | 255 |
| 6. Исследование цифро-аналогового преобразователя с<br>взвешивающей резистивной матрицей..... | 256 |
| 7. Исследование цифро-аналогового преобразователя с<br>резистивной матрицей R-2R .....        | 259 |
| 8. Исследование аналого-цифрового преобразователя .....                                       | 260 |
| 9. Исследование двойного преобразования<br>(АЦП-ЦАП).....                                     | 262 |
| 10. Содержание отчета.....  | 267 |
| 11. Контрольные вопросы к зачету по лабораторной работе ...                                   | 267 |
| 12. Приложение: пояснения для схемы АЦП .....   | 269 |