

УДК 621.3.049.77(075.8)
Д 872

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *А.Г. Гарганеев*, ИШЭ ТПУ
канд. техн. наук, доцент *Л.Г. Зотов*

Работа выполнена на кафедре электроники и электротехники
для студентов III курса РЭФ дневной формы обучения,
направление «Электроника и наноэлектроника»

Дыбко М.А.

Д 872 Цифровая микроэлектроника: учебное пособие / М.А. Дыбко,
А.В. Удовиченко, А.Г. Волков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ,
2019. – 200 с.

ISBN 978-5-7782-3834-3

Рассмотрены основы работы транзисторных ключей на биполярных и полевых транзисторах. Изложены принципы построения логических элементов семейств транзисторно-транзисторной логики, эмиттерно-связанной логики, комплементарных логических элементов и логики на базе биполярных транзисторов с комплементарными ключами. При рассмотрении транзисторных ключей и логических элементов приведены основные характеристики и свойства, а также способы улучшения статических характеристик и быстродействия.

По каждому разделу помимо теоретического материала предложен ряд контрольных вопросов, а также практические задания для закрепления полученных знаний. В конце пособия рассмотрен пример разработки схемы цифровой электроники на базе логического элемента семейства ТТЛ, который служит примером выполнения расчетов по курсовому проекту в рамках курса «Микроэлектроника».

Пособие предназначено для студентов третьего курса факультета РЭФ дневного отделения направления «Электроника и наноэлектроника».

УДК 621.3.049.77(075.8)

ISBN 978-5-7782-3834-3

© Дыбко М.А., Удовиченко А.В.,
Волков А.Г., 2019
© Новосибирский государственный
технический университет, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
1. ЭЛЕКТРОННЫЕ КЛЮЧИ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ	7
1.1. Теоретические сведения.....	7
1.1.1. Биполярные транзисторы.....	7
1.1.2. Характеристики и параметры БТ	8
1.1.3. Частотные и переходные характеристики транзисторов	10
1.1.4. Электронный ключ на биполярном транзисторе. Статика	11
1.1.5. Электронный ключ на биполярном транзисторе. Динамика.....	14
1.1.6. Потери мощности в транзисторном ключе	19
1.1.7. Температурные зависимости статических параметров	20
1.1.8. Способы повышения быстродействия транзисторных ключей.....	23
1.1.9. Особенности работы ТК на индуктивную и емкостную нагрузку.....	27
1.2. Задания для самостоятельной работы	33
1.2.1. Теоретические вопросы	33
1.2.2. Упражнения и задачи	33
Практическая работа № 1. Исследование электронных ключей на бипо- лярных транзисторах	36
2. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ	42
2.1. Теоретические сведения.....	42
2.1.1. Логический элемент и его характеристики	42
2.1.2. Диодно-транзисторная логика (ДТЛ)	45
2.1.3. Транзисторно-транзисторная логика с простым инвертором.....	48
2.1.4. Транзисторно-транзисторная логика со сложным инвертором	54
2.1.5. Динамика работы ТТЛ	62
2.1.6. Модификации элементов ТТЛ.....	71

2.1.7. Логические элементы на переключателях тока. Эмиттерно-связанная логика	80
2.1.8. Логические элементы ЭСЛ-типа	83
2.2. Задания для самостоятельной работы	87
2.2.1. Теоретические вопросы и задания для самопроверки.....	87
2.2.2. Упражнения и задачи	88
Практическая работа № 2. Исследование транзисторно-транзистор-ных логических элементов	90
3. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ	93
3.1. Теоретические сведения.....	93
3.1.1. Полевые транзисторы.....	93
3.1.2. Статические характеристики полевых транзисторов.....	95
3.1.3. Ключи на полевых МДП-транзисторах	96
3.1.4. Динамика работы МДП логических схем	101
3.1.5. Логические элементы на КМОП-ключах	107
3.1.6. Буферные усилители	109
3.1.7. Логические элементы типа БиКМОП.....	111
3.1.8. Логические элементы истоково-связанной логики (ИСЛ)	118
3.1.9. Защитные цепи входных и выходных каскадов ЛЭ на МОП-транзисторах.....	120
3.2. Задания для самостоятельной работы	122
3.2.1. Теоретические вопросы	122
3.2.2. Упражнения и задача.....	123
Практическая работа № 3. Исследование логических элементов КМОП и БиКМОП	124
4. ПРОСТЕЙШИЕ ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА	127
4.1. Теоретические сведения.....	127
4.1.1. Симметричный триггер [1, 2]	127
4.1.2. Несимметричные триггеры.....	129
4.1.3. Генераторы импульсов на логических элементах. Мульти-вибраторы и одновибраторы	135
4.1.4. Детекторы фронтов и событий.....	140
4.1.5. Элементы оперативных запоминающих устройств (ОЗУ)	140
4.1.6. Флэш-память	144
4.1.7. Преобразователи уровней.....	149

4.2. Задания для самостоятельной работы	158
4.2.1. Теоретические вопросы	158
4.2.2. Упражнения и задачи	159
Практическая работа № 4. Исследование устройств формирования импульсов и генераторов колебаний на логических элементах.....	160
Практическая работа № 5. Исследование несимметричного триггера Шмитта на транзисторах.....	164
Библиографический список	169
Приложение 1. Краткое описание стендов National instruments ELVIS II	171
Приложение 2. Краткое описание среды моделирования Microcap.....	176
Приложение 3. Пример расчета схемы логического элемента ТТЛ.....	191