

В.А. Емельянов

***СХЕМОТЕХНИКА  
ЦИФРОВЫХ БИС***

Москва - Наука 2006

УДК 621.382

Рецензенты:  
Академик НАН Б В.А.Лабунов  
Д.ф.-м.н., профессор МИФИ В.С. Першенков

**Емельянов В.А.**

Схемотехника цифровых БИС

М.;Наука, 2006.- 352с.

ISBN 985-6107-18-0

В монографии рассматриваются теоретические и практические вопросы схемотехники цифровых БИС (КМОП, биполярных и БиКМОП) для высокопроизводительных цифровых вычислительных и управляющих систем. Дана общая характеристика цифровых БИС, классификация базовых элементов, система основных электрических параметров, рассмотрены паразитные элементы и эффекты в БИС, влияние дестабилизирующих факторов на работоспособность и электрические параметры БИС. Детально рассмотрены электрические схемы элементов цифровых КМОП, ТТЛШ, И<sup>2</sup>Л и БиКМОП БИС, даны примеры их практического применения в БИС. Книга предназначена специалистам микроэлектронной и радиоэлектронной промышленности, а также студентам старших курсов и аспирантам электронного профиля.

**ISBN 985-6107-18-0**

© 2006г. Емельянов В.А.

*18406404*

ЦНБ им. Я. КОЛАСА  
НАЧ. Г. ГЛУСКИ

---

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЦИФРОВЫХ БИС.....	5
1.1. СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ БИС.....	7
1.1.1. ОБЩАЯ СТРУКТУРА ЦИФРОВЫХ БИС.....	7
1.1.2. СТРУКТУРА ВНУТРЕННИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВЫХ БИС.....	9
1.1.3. СТРУКТУРА ЭЛЕМЕНТОВ СОГЛАСОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ БИС.....	18
1.2. СИСТЕМА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВЫХ БИС.....	31
1.2.1. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦИФРОВЫХ БИС.....	31
1.2.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЦИФРОВЫХ БИС.....	32
1.2.3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЦИФРОВЫХ БИС.....	35
1.3. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ БИС.....	37
1.3.1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЗОВЫХ ЛЭ ЦИФРОВЫХ БИС.....	37
1.3.2. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ИСПОЛНЕНИЕ БАЗОВЫХ ЛЭ ЦИФРОВЫХ БИС.....	48
1.4. ВЛИЯНИЕ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЦИФРОВЫХ БИС.....	54
1.4.1. УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИФРОВЫХ БИС К ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМУ РАЗРЯДУ.....	55
1.4.2. УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИФРОВЫХ БИС К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПЕРЕГРУЗОК.....	63
1.4.3. ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВЫХ БИС ОТ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	64
1.4.4. УСТОЙЧИВОСТЬ ЦИФРОВЫХ БИС К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОМЕХ.....	67
1.5. ПАРАЗИТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ЭФФЕКТЫ В ЦИФРОВЫХ БИС.....	83
1.5.1. ПАРАЗИТНЫЕ ТРАНЗИСТОРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В КРИСТАЛЛАХ ЦИФРОВЫХ БИС.....	83
1.5.2. ЭФФЕКТ МИЛЛЕРА.....	89
1.5.3. ЭФФЕКТ «ЗАЩЕЛКИВАНИЯ».....	91
1.5.4. ЭФФЕКТЫ «ГОРЯЧИХ» НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА.....	98

ГЛАВА 2. СХЕМОТЕХНИКА ЦИФРОВЫХ БИС НА КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ МОП ТРАНЗИСТОРАХ .....	101
2.1. БАЗОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВЫХ КМОП БИС.....	103
2.1.1.СТАТИЧЕСКИЕ КМОП ЛЭ.....	103
2.1.2.БАЗОВЫЕ ЛЭ ДИНАМИЧЕСКОЙ КМОП ЛОГИКИ.....	128
2.2. ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ ЦИФРОВЫХ КМОП БИС.....	146
2.2.1.ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ, ТАКТИРУЕМЫЕ УРОВНЕМ СИНХРОСИГНАЛА.....	147
2.2.2.ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ, ТАКТИРУЕМЫЕ ФРОНТОМ СИНХРОСИГНАЛА. ....	155
ГЛАВА 3. СХЕМОТЕХНИКА ЦИФРОВЫХ БИС НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ .....	161
3.1. ЦИФРОВЫЕ БИС НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ С ДИОДАМИ ШОТКИ.....	163
3.1.1.БАЗОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТТЛШ ЦИФРОВЫХ БИС.....	163
3.1.2.БАЗОВЫЕ ЛЭ ШОТКИ ТРАНЗИСТОРНОЙ ЛОГИКИ.....	171
3.1.3.БАЗОВЫЕ ЛЭ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ШОТКИ ЛОГИКИ. ....	173
3.1.4.БАЗОВЫЕ ЛЭ ДИОДНО-ТРАНЗИСТОРНОЙ ЛОГИКИ С ДИОДАМИ ШОТКИ. ....	177
3.2. ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ ТТЛШ БИС .....	178
3.2.1.ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ, ТАКТИРУЕМЫЕ ФРОНТОМ СИНХРОСИГНАЛА. ....	178
3.2.2.ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ, ТАКТИРУЕМЫЕ УРОВНЕМ СИНХРОСИГНАЛА.....	189
3.3. СХЕМОТЕХНИКА ВХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СОГЛАСОВАНИЯ ТТЛШ БИС .....	191
3.3.1.ВХОДНЫЕ ЭС ТТЛШ БИС СО СТАНДАРТНЫМИ ТТЛ ВХОДНЫМИ УРОВНЯМИ.....	191
3.3.2.ВХОДНЫЕ ЭС ТТЛШ БИС С ПОВЫШЕННОЙ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ.....	196
3.3.3.ВХОДНЫЕ ЭС ТТЛШ БИС С ПАРАФАЗНЫМИ ВЫХОДАМИ.....	197
3.3.4.ВХОДНЫЕ ЭС ТТЛШ БИС С ПАМЯТЬЮ.....	200
3.3.5.ВХОДНЫЕ ЭС ТТЛШ БИС С ПОВЫШЕННОЙ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬЮ.....	203
3.3.6.ВХОДНЫЕ ЭС С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ УРОВНЕЙ СИГНАЛОВ.....	210

3.3.7.СХЕМЫ ЗАЩИТЫ ЦЕПЕЙ ВХОДНЫХ ЭС ТТЛШ БИС.....	217
3.4. СХЕМОТЕХНИКА ВЫХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СОГЛАСОВАНИЯ ТТЛШ БИС.....	220
3.4.1.ВЫХОДНЫЕ ЭС ТТЛШБИС СО СТАНДАРТНЫМИ ТТЛ ВЫХОДНЫМИ УРОВНЯМИ.....	220
3.4.2.ВЫХОДНЫЕ ЭС ТТЛШ БИС С ПАМЯТЬЮ.....	230
3.4.3.ВЫХОДНЫЕ ЭС ТТЛШ БИС С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ УРОВНЕЙ СИГНАЛОВ.....	233
3.4.4. СХЕМОТЕХНИКА ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ ВЫХОДНЫХ ЭС ТТЛШ БИС.....	236
3.5. ЦИФРОВЫЕ БИС НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ИНЖЕКЦИОННОЙ ЛОГИКИ.....	253
3.5.1.РАЗНОВИДНОСТИ БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И <sup>2</sup> Л.....	257
3.5.2.ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ И <sup>2</sup> Л БИС.....	267
3.5.3.СХЕМОТЕХНИКА ВХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СОГЛАСОВАНИЯ И <sup>2</sup> Л БИС.....	275
3.2.4.СХЕМОТЕХНИКА ВЫХОДНЫХ ЭС И <sup>2</sup> Л БИС.....	288
3.2.5. ЗАЩИТА ВЫВОДОВ И2Л БИС ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ И СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА.....	292
3.3 БИПОЛЯРНЫЙ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ КОМПЛЕКТ БИС СЕРИИ К 1815 ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ...	293

#### ГЛАВА 4 СХЕМОТЕХНИКА ЦИФРОВЫХ БИС НА КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ МОП И БИПОЛЯРНЫХ

ТРАНЗИСТОРАХ.....	303
4.1. БАЗОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ БИКМОП БИС.....	304
4.2. ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ БИКМОП БИС.....	317
4.3. СХЕМОТЕХНИКА ВХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СОГЛАСОВАНИЯ БИКМОП БИС.....	318
4.3.1 ВХОДНЫЕ ЭС БИКМОП БИС С ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ УРОВНЕЙ СИГНАЛОВ.....	318
4.3.2.ВХОДНЫЕ ЭС БИКМОП БИС С ПОВЫШЕННОЙ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ.....	325
4.3.3.ВХОДНЫЕ ЭС БИКМОП БИС ПОВЫШЕННОЙ ПОМЕХОЗАЩИЩЁННОСТИ.....	327
4.3.4.ВХОДНЫЕ ЭС БИКМОП БИС С ПАМЯТЬЮ.....	328

---

4.3.5.СХЕМОТЕХНИКА ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ ЭС БИКМОП БИС.....	328
4.4. СХЕМОТЕХНИКА ВЫХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СОГЛАСОВАНИЯ БИКМОП БИС.....	329
4.4.1.ВЫХОДНЫЕ ЭС БИКМОП БИС С ФОРМИРОВАНИЕМ КМОП ВЫХОДНЫХ УРОВНЕЙ.....	329
4.4.2.ВЫХОДНЫЕ ЭС БИКМОП БИС С ФОРМИРОВАНИЕМ ТТЛ ВЫХОДНЫХ УРОВНЕЙ.....	330
4.4.3.ВЫХОДНЫЕ ЭС БИКМОП БИС С ФОРМИРОВАНИЕМ ЭСЛ ВЫХОДНЫХ УРОВНЕЙ.....	334
4.4.4.ВЫХОДНЫЕ ЭС БИКМОП БИС С ПАМЯТЬЮ.....	337
4.4.5.СХЕМОТЕХНИКА ЦЕПЕЙ ЗАЩИТЫ ВЫХОДНЫХ ЭС БИКМОП БИС.....	337
4.5.СБИС ОДНОКРИСТАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ ILA 9381.....	337