

УДК 621. 385

Галочкин В.А. «Схемотехника телекоммуникационных устройств». Учебное пособие (конспект лекций):

- часть 1 «Схемотехника аналоговых устройств»;
- часть 2 «Схемотехника цифровых устройств».

Под редакцией д.т.н., профессора Елисеева С. Н.

- Самара: ФГОБУ ВПО ПГУТИ 2015г- 448с.

ISBN 978-5-904029-50-0

Рассматривается элементная база устройств полупроводниковой электроники; излагаются принципы построения и схемотехника аналоговых и цифровых телекоммуникационных устройств. Предназначено для студентов (бакалавров и специалистов) дневной и заочной формы обучения направлений по направлениям подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», 210400 «Радиотехника», 090302 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», а также для инженерно-технических работников, изучающих электронику.

Рецензент: д.т.н., профессор Тяжев А.И.

ФГОБУ ВПО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»

ISBN 978-5-904029-50-0

© Галочкин В.А. 2015

Оглавление

Список сокращений и обозначений	4
ВВЕДЕНИЕ	7
Лекция 1	
Тема: основные технические характеристики и показатели аналоговых электронных устройств	
1.1. Стандартизация. Унификация	10
1.2. Входное и выходное сопротивление	11
1.3. Коэффициенты усиления (передачи).....	11
1.4. Коэффициент усиления (передачи) по мощности.....	12
1.5. Амплитудно - и фазочастотная характеристики	13
1.6. Переходная характеристика.....	15
1.7. Нелинейные искажения	17
1.8. Коэффициент полезного действия.....	19
1.9. Собственные помехи.....	19
1.10. Амплитудная характеристика	
Динамический диапазон	20
1.11. Специфические показатели АЭУ	22
1.12. Стабильность показателей	22
Выводы по теме	23
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	24
Лекция 2	
Тема: требования к цепям питания усилительных элементов. Стабилизация режима транзистора	
2.1. Нестабилизированные цепи питания	26
2.1.1. Смещение фиксированным током базы.....	26
2.1.2. Смещение фиксированным напряжением база— эмиттер.....	28
2.2. Стабилизация режима транзистора	30
2.2.1. Эмиттерная стабилизация	30
2.2.4. Цепи смещения с температурной стабилизацией.....	33
2.3. Цепи смещения без стабилизации	
режимов полевых транзисторов	34
2.4. Цепи смещения со стабилизацией режима.....	35
2.5. Генераторы стабильного тока (ГСТ)	37
2.5.1. Принцип работы ГСТ	37

2.5.2. Схемы ГСТ.....	39
Выводы по теме	42
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	44

Лекция 3

Тема: обратная связь в аналоговых электронных устройствах и ее влияние на их параметры и свойства.

Схемотехника применения отрицательной обратной связи

3.1. Виды обратной связи	46
3.1.1. Параллельная по входу и выходу ОС.....	47
3.1.2. Последовательная по входу и выходу обратная связь.....	49
3.1.3. Последовательная по входу и параллельная по выходу обратная связь	51
3.1.4. Параллельная по входу и последовательная по выходу ОС	53
3.2. Влияние ОС на коэффициенты усиления.....	55
3.3. Стабильность коэффициента усиления при обратной связи	58
3.4. Влияние отрицательной обратной связи на входные и выходные сопротивления (проводимости)	59
3.4.1. Влияние отрицательной обратной связи на входное сопротивление	59

Лекция 4

Тема: обратная связь в аналоговых электронных устройствах и ее влияние на их параметры и свойства.

Схемотехника применения обратной связи

(продолжение лекции 3)

3.4.2. Влияние отрицательной обратной связи на выходное сопротивление.....	62
3.4.3. Общий метод определения влияния ООС на входные и выходные сопротивления по формуле Блекмана.....	64
3.5. Влияние ОС на амплитудно-, фазочастотные и переходные характеристики (линейные искажения).....	66
3.5.1. Частотно-независимая ОС.....	66
3.5.2. Частотнозависимая ОС.....	69
3.6. Влияние ОС на нелинейные искажения, помехи и динамический диапазон.....	71
3.7. Устойчивость усилителей с ОС. Критерии	

устойчивости. Запасы устойчивости	72
Выводы по теме	77
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	78

Лекция 5

Тема: усилители на биполярных и полевых транзисторах

<i>5.1.1. Основные свойства транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером</i>	<i>80</i>
<i>5.1.2. Основные свойства транзистора, включенного по схеме с общей базой</i>	<i>82</i>
<i>5.1.3. Основные свойства транзистора, включенного по схеме с общим коллектором</i>	<i>85</i>
5.2. Принцип электронного усиления	86
5.3 Режимы работы усилительных элементов	88
5.4. Схемы межкаскадных связей.....	91
5.5. Динамические и нагрузочные характеристики	93
5.6. Резисторный апериодический предварительный усилитель напряжения	95
<i>5.6.1. АЧХ резисторного каскада на биполярном транзисторе.....</i>	<i>96</i>

Лекция 6

Тема: усилители на биполярных и полевых транзисторах (продолжение лекции 5)

<i>5.6.2. Фазочастотная характеристика резисторного каскада.....</i>	<i>104</i>
6. Усилители на полевых транзисторах.	105
Широкополосные (импульсные) усилители. Коррекция амплитудно-частотных характеристик	105
6.1. Особенности анализа каскадов на полевых транзисторах	106
6.2. Широкополосные (импульсные) каскады. Площадь усиления	107
6.3. Низкочастотная коррекция	110
<i>6.3.1. НЧ коррекция с помощью цепочки $R_\Phi C_\Phi$</i>	<i>110</i>
<i>6.3.2. НЧ коррекция с помощью ОС</i>	<i>113</i>
6.4. Высокочастотная коррекция.....	114
<i>6.4.1. Схема ВЧ коррекции с параллельной индуктивностью.....</i>	<i>114</i>

6.4.2. ВЧ коррекция с ООС.....	116
Выводы по теме	118
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	120

Лекция 7

Тема: анализ и схемотехника выходных мощных каскадов усиления

7.1. Требования к оконечным усилительным каскадам	123
7. 2. Схемы выходных каскадов	124
7. 3. Трансформаторный каскад мощного усиления в режиме А	127
7.3.1. Общие соотношения.....	127
7.3.2. Расчет однотактного транзисторного каскада мощного усиления в режиме А	130
7.3.3. Особенности расчета двухтактного каскада мощного усиления в режиме А.....	133
Лекция 8.....	136

Тема: анализ и схемотехника выходных мощных каскадов усиления (продолжение лекции 7)

7.3.4. Трансформаторный каскад в режиме В.....	136
7.3.5. Бестрансформаторные двухтактные каскады мощного усиления	139
7.3.6. Двухтактный бестрансформаторный каскад с параллельным (несимметричным) выходом.....	139
7.3.7. Двухтактный каскад с последовательным управлением	143
7.3.8. Расчет бестрансформаторных двухтактных каскадов	144
7.3.9. Двухтактный усилитель мощности с операционным усилителем.....	147
Выводы по теме:	147
Контрольные вопросы по теме:	149

Лекция 9

Тема: операционные усилители

9.1 Операционные усилители. Определения, структура.....	152
9.2 Схемотехника ОУ	157
9.2.1 Элементарная (упрощенная) схема входного	

каскада.....	157
9.2.2. Упрощенная типовая схема входного каскада ОУ первого поколения.....	158
9.2.3. Схема входного каскада ОУ второго поколения.....	159
9.2.4. Схема входного каскада ОУ третьего поколения.....	160
9.2.5. Промежуточные каскады.....	161
9.2.6 Выходные каскады.....	161
9.3. Основные параметры ОУ.....	163
9.4. Схемы сдвига уровней.....	166
Выводы по теме.....	167
Задания и вопросы для самоконтроля по теме.....	168

Лекция 10

Тема: схемотехника аналоговых устройств на основе операционных усилителей

10.1. Инвертирующий усилитель.....	171
10.2. Неинвертирующий усилитель.....	175
10.3. Дифференциальный усилитель.....	176
10.4. Устройства суммирования и вычитания.....	178
10.4.1. Инвертирующий сумматор.....	178
10.4.2. Сумматор на основе неинвертирующего усилителя.....	179
10.5. Интегрирующий усилитель.....	180
10.6. Дифференцирующий усилитель.....	182
10.7. Логарифмический и антилогарифмический усилители.....	184

Лекция 11

Тема: схемотехника аналоговых устройств на основе операционных усилителей (продолжение лекции 10)

11.1. Перемножители и делители на ОУ.....	189
11.1.1. Аналоговый умножитель.....	189
11.1.2. Применение аналоговых умножителей.....	190
11.1.3. Умножитель с переменной крутизной (общий принцип).....	191
11.2. Повторитель напряжения.....	193
11.3. Активные фильтры на основе операционных усилителей.....	194
11.3.1. Активные RC – фильтры нижних частот первого порядка. Обобщенное описание фильтра НЧ.....	195

11.3.2. Реализация ARC – фильтра нижних частот первого порядка.....	198
11.3.3. Преобразование фильтра НЧ в фильтр ВЧ.....	199
11.3.4. Реализация ФВЧ на ARC.....	199
11.3.5. Реализация ARC – фильтров НЧ и ВЧ второго порядка	199
11.3.6. Фильтр НЧ со сложной ООС.....	200
11.3.7. ФНЧ на основе положительной обратной связи	201
11.3.8. Фильтр ВЧ на основе положительной обратной связи.	202
11.3.9. Реализация полосовых фильтров второго порядка.....	203
Выводы по теме	205
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	209

Лекция 12

Тема: положительная обратная связь.

Генераторы на основе операционных усилителей.

Компараторы на основе операционных усилителей

12.1. Применение положительной обратной связи в RC - генераторах на ОУ.....	213
12.2. Генератор сигналов прямоугольной формы.....	217
12.3. Генератор сигналов треугольной формы.....	219
12.4. Компараторы напряжения на основе операционных усилителей.....	220
12.4.1 Принцип функционирования компаратора	221
12.4.2. Включение ПОС в компараторе.....	223
12.4.3. Пороговые уровни компараторов.....	224
12.4.4. Детектор с «окном»	225
12.4.5. Особенности схемотехники компараторов.....	227
Выводы по теме	228
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	229

часть 2. Схемотехника цифровых устройств

Лекция 13

Тема: современные базовые элементы цифровой техники (введение в цифровую технику).

Цифровые сигналы и цифровые схемы

13.1. Цифровые сигналы и цифровые схемы	232
---	-----

13.2. Современные базовые элементы цифровой техники.....	235
13.2.1. Логический элемент «И»	236
13.2.2. Логический элемент «ИЛИ»	240
13.2.3. Логический элемент «НЕ» (инвертор).....	243
13.2.4. Логическое двойное инвертирование	244
13.3. Логические элементы «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ», «исключающее ИЛИ»	245
13.3.1. Логический элемент «И-НЕ» (инвертированное «И»). ..	246
13.3.2. Логический элемент «ИЛИ-НЕ» (отрицание «ИЛИ») ..	248
13.3.3. Логический элемент "исключающее ИЛИ"	251

Лекция 14

Тема: современные базовые элементы

Цифровой техники (введение в цифровую технику)

Цифровые сигналы и цифровые схемы

(продолжение лекции 13)

14.1. Свойства и сравнительные характеристики современных базовых элементов	254
14.2. Способы представления информации	255
14.3. Основные требования к базовым логическим элементам.....	256
14.3.1. Совместимость уровней входных и выходных сигналов	257
14.3.2. Нагрузочная способность логического элемента	258
14.3.3. Формирующие свойство логического элемента (квантование сигнала)	259
14.4. Помехоустойчивость логических элементов. Быстродействие логических элементов	
Классификация логических устройств.....	261
14.4.1. Помехоустойчивость логических элементов.....	262
14.4.2. Быстродействие логического элемента	263
14.5. Классификация логических устройств	265
14.5.1. Классификация по способу ввода-вывода информации	265
14.5.2. Классификация по принципу действия	265
14.5.3. Классификация по схемотехническим решениям.....	266

Выводы по теме	267
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	270

Лекция 15

Тема: схемотехника цифровых интегральных схем

Схемотехника логических элементов

15.1. Ключ на биполярном транзисторе.....	275
15.2. Транзисторная логика с непосредственными связями (НСТЛ).....	276
15.3. Схема РТЛ (транзисторная логика с резистивной связью)	278
15.4. Схема ДТЛ (диодно-транзисторной логики).....	279
15.5. ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика).....	281
15.6. Эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ).....	282
15.7. Логические элементы с инжекционным питанием (И ² Л)	284
15.8. Логические элементы на полевых транзисторах.....	287
15.8.1. Ключ на МДП-транзисторах с динамической нагрузкой.....	288
15.8.2. Логические элементы на комплементарных МДП - транзисторах (КМДП).....	291
15.8.3. Динамическая логика на МДП-транзисторах.....	294
15.9. Сравнение параметров основных типов интегральных логических схем	296
Выводы по теме	296
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	299

Лекция 16

Тема: коды. Преобразователи кодов. Шифраторы.

Мультиплексоры

16.1. Двоично – десятичный код 8421.....	301
16.2. Код с избытком 3.....	303
16.3. Код Грея	304
16.4. Преобразователи кодов.....	304
16.5. Шифраторы. Дешифраторы. Мультиплексоры. Демультимплексоры	305
16.5.1. Шифраторы и дешифраторы.....	307
16.5.2. Мультиплексоры и демультимплексоры.....	311
Выводы по теме	316
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	318

Лекция 17

Тема: триггеры. Схемы фиксаторов. Запуск триггеров

17.1. RS-триггер (асинхронный).....	322
17.2. Синхронный (тактируемый) RS-триггер	325
17.3. D-триггер (триггер с задержкой)	328
17.4. D-триггеры с дополнительными входами	330
17.5. JK-триггеры. Схемы фиксаторов. Запуск триггеров	332
17.6. JK-триггер (ждущий мультивибратор).....	332
17.7. JK-триггер с дополнительными входами	333
17.8. Схемы фиксаторов	335
17.9. Запуск триггеров	337
17.9.1. Триггеры с управлением (запуском) или по фронту или по срезу тактового импульса.....	337
17.9.2. Триггеры типа ведущий/ведомый (триггеры с динамическим управлением)	340
Выводы по теме	341
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	343

Лекция 18

Тема: счетчики; регистры; сумматоры

18.1. Счетчики со сквозным переносом	346
18.2. Асинхронный счетчик по модулю 10	348
18.3. Синхронные счетчики	349
18.4. Вычитающие счетчики.....	351
18.5. Асинхронный трехразрядный счетчик по модулю 8	351
18.6. Самоостанавливающиеся счетчики	352
18.7. Регистры	353
18.7.1. Последовательные регистры сдвига.....	355
18.7.2. Параллельные регистры сдвига.....	357
18.7.3. Классификация регистров	360
18.8. Арифметические устройства. Сумматоры.....	361
18.8.1. Двоичное сложение	361
18.8.2. Сложение в разряде единиц (полусумматор).....	363
18.8.3. Полные сумматоры.....	364
18.8.4. 3-х разрядный сумматор.....	366

Выводы по теме	367
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	368

Лекция 19

Тема: запоминающие устройства. Схемотехника запоминающих устройств

19.1. Принципы работы ОЗУ. ЗУ с произвольной выборкой (ЗУПВ).....	373
19.2. Постоянные запоминающие устройства (ПЗУ).....	377

Лекция 20

Тема: запоминающие устройства. Схемотехника запоминающих устройств (продолжение лекции 19)

20.1. Схемотехника ЗУ	383
20.1.1. Статические ОЗУ на биполярных транзисторах	384
20.1.2. Статические ОЗУ на основе полевых транзисторах	385
20.1.3. Динамические ОЗУ.....	387
20.2. Постоянные ЗУ (ПЗУ; ROM - Read – Only Memory)	390
20.2.1. Масочные ПЗУ.....	390
20.2.2. Прожигаемые ПЗУ (однократно программируемые ППЗУ).....	391
20.2.3. Репрограммируемые ПЗУ (стираемое ППЗУ - Erasable PROM, EPROM; РПЗУ)	392
Выводы по теме	395
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	397

Лекция 21

Тема: сопряжение цифровых и аналоговых устройств

Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП)

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)

21.1 Цифроаналоговые преобразователи	401
21.2. Общая структурная схема ЦАП.....	403
21.3. Основная схема простого ЦАП	404
21.4. Цифроаналоговый преобразователь лестничного типа ...	405
21.5. Сопряжение цифровых и аналоговых устройств. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)	407
21.5.1. Базовая структурная схема аналого-цифрового преобразователя (АЦП).....	409

Лекция 22

Тема: сопряжение цифровых и аналоговых устройств

Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП)

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)

(продолжение лекции 21)412

21.5.2. Структурная схема АЦП с динамической

компенсацией412

21.5.3. Интегрирующий АЦП413

21.5.4. АЦП последовательного приближения415

21.6. Характеристики АЦП и ЦАП417

Выводы по теме421

Задания и вопросы для самоконтроля по теме422

Список литературы

часть 1 «Схемотехника аналоговых устройств»424

Основная литература:424

Дополнительная литература:424

часть 2 “Схемотехника цифровых устройств”425

Основная:425

Дополнительная литература:425

Глоссарий

часть 1 «Схемотехника аналоговых устройств»426

часть 2 «Схемотехника цифровых устройств»433