

УДК 621. 385

Галочкин В.А. «Схемотехника аналоговых и цифровых устройств». Учебное пособие. Под редакцией д.т.н., профессора Елисеева С.Н. - Самара: ФГОБУ ВПО ПГУТИ 2016г- 441с.

ISBN 978-5-904029-51-7

Рассматриваются принципы построения и схемотехника аналоговых и цифровых устройств полупроводниковой электроники; Предназначено для студентов дневной и заочной форм обучения, а также для специалистов направлений «Информатика и вычислительная техника», «Управление в технических системах» и «Радиотехника».

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

ФГОБУ ВПО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

ISBN 978-5-904029-51-7

© Галочкин В.А., 2016

Оглавление

Список сокращений и обозначений	4
ВВЕДЕНИЕ	7
Лекция 1	
Тема: основные технические характеристики и показатели аналоговых электронных устройств (АЭУ)	
1.1. Стандартизация. Унификация	9
1.2. Входное и выходное сопротивление	10
1.3. Коэффициенты усиления (передачи)	10
1.4. Коэффициент усиления (передачи) по мощности	12
1.5. Амплитудно - и фазочастотная характеристики	12
1.6. Переходная характеристика	15
1.7. Нелинейные искажения	16
1.8. Коэффициент полезного действия	18
1.9. Собственные помехи	19
1.10. Амплитудная характеристика	20
1.11. Специфические показатели АЭУ	21
1.12. Стабильность показателей	22
Выводы по теме	23
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	23
Лекция 2	
Тема: требования к цепям питания усилительных элементов. Стабилизация режима транзистора	
2.1. Нестабилизированные цепи питания	26
2.1.1. <i>Смещение фиксированным током базы</i>	26
2.1.2. <i>Смещение фиксированным напряжением база— эмиттер</i>	28
2.2. Стабилизация режима транзистора	30
2.2.1. <i>Эмиттерная стабилизация</i>	30
2.2.4. <i>Цепи смещения с температурной стабилизацией</i>	33
2.3. Цепи смещения без стабилизации режимов полевых транзисторов	34
2.4. Цепи смещения со стабилизацией режима	36
2.5. Генераторы стабильного тока (ГСТ)	37

2.5.1. Принцип работы ГСТ.....	37
2.5.2. Схемы ГСТ	40
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	60
3.4.1. Влияние отрицательной обратной связи на входное сопротивление	60

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.....	70
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	78
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	79

Лекция 5

Тема: усилители на биполярных и полевых транзисторах

5.1.1. Основные свойства транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.....	81
5.1.2. Основные свойства транзистора, включенного по схеме с общей базой.....	83
5.1.3. Основные свойства транзистора, включенного по схеме с общим коллектором.....	86
5.2. Принцип электронного усиления.....	87
5.3. Режимы работы усилительных элементов	89
5.4. Схемы межкаскадных связей	92
5.5. Динамические и нагрузочные характеристики.....	94
5.6. Резисторный апериодический предварительный усилитель напряжения.....	96
5.6.1. АЧХ резисторного каскада на биполярном транзисторе	97

Лекция 6

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

5.6.2. Фазочастотная характеристика резисторного каскада.....	105
6. Усилители на полевых транзисторах. Широкополосные (импульсные) усилители. Коррекция амплитудно-частотных характеристик	106
6.1. Особенности анализа каскадов на полевых транзисторах	107
6.2. Широкополосные (импульсные) каскады. Площадь усиления.....	108
6.3. Низкочастотная коррекция.....	111
6.3.1. НЧ коррекция с помощью цепочки $R_{\phi} C_{\phi}$	111
6.3.2. НЧ коррекция с помощью ОС.....	114
6.4. Высокочастотная коррекция.....	115
6.4.1. Схема ВЧ коррекции с параллельной индуктивностью.....	115

6.4.2. Схема ВЧ коррекции с ООС	117
Выводы по теме	119
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	121

Лекция 7

Тема: анализ и схемотехника выходных мощных

каскадов усиления	124
7.1. Требования к оконечным усилительным	125
каскадам.....	125
7. 2. Схемы выходных каскадов	126
7. 3. Трансформаторный каскад мощного усиления в режиме А	129
7.3.1. Общие соотношения	129
7.3.2. Расчет однотактного транзисторного каскада мощного усиления в режиме А.....	132
7.3.3. Особенности расчета двухтактного каскада мощного усиления в режиме А.....	135

Лекция 8

Тема: анализ и схемотехника выходных мощных

каскадов усиления (продолжение лекции 7)

7.3.4. Трансформаторный каскад в режиме В.....	139
7.3.5. Бестрансформаторные двухтактные каскады мощного усиления.....	142
7.3.6. Двухтактный бестрансформаторный каскад с параллельным (несимметричным) выходом	142
7.3.7. Двухтактный каскад с последовательным управлением.....	146
7.3.8. Расчет бестрансформаторных двухтактных каскадов.....	147
7.3.9. Двухтактный усилитель мощности с операционным усилителем.....	150
Выводы по теме:	150
Контрольные вопросы по теме:.....	152

Лекция9

Тема: операционные усилители

9.1 Операционные усилители. Определения, Структура.....	154
9.2 Схемотехника ОУ	159
9.2.1. Элементарная (упрощенная) схема входного каскада.....	159

9.2.2. Упрощенная типовая схема входного каскада ОУ первого поколения.....	160
9.2.3. Схема входного каскада ОУ второго поколения.....	161
9.2.4. Схема входного каскада ОУ третьего поколения	162
9.2.5. Промежуточные каскады.....	163
9.2.6 Выходные каскады	163
9.3. Основные параметры ОУ.....	166
9.4. Схемы сдвига уровней	168
Выводы по теме	169
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	171

Лекция 10

Тема: схемотехника аналоговых устройств на основе операционных усилителей.....

10.1. Инвертирующий усилитель.....	173
10.2. Неинвертирующий усилитель.....	177
10.3. Дифференциальный усилитель	178
10.4. Устройства суммирования и вычитания	180
10.4.1. Инвертирующий сумматор.....	180
10.4.2. Сумматор на основе неинвертирующего усилителя	181
10.5. Интегрирующий усилитель	182
10.6. Дифференцирующий усилитель	184
10.7. Логарифмический и антилогарифмический усилители	186

Лекция 11

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

11.1. Перемножители и делители на ОУ.....	191
11.1.1. Аналоговый умножитель.....	191
11.1.2. Применение аналоговых умножителей.....	192
11.1.3. Умножитель с переменной крутизной (общий принцип).....	193
11.2. Повторитель напряжения.....	195
11.3. Активные фильтры на основе операционных усилителей.....	196
11.3.1. Активные RC – фильтры нижних частот первого порядка. Обобщенное описание фильтра НЧ.....	197

11.3.2. Реализация ARC – фильтра нижних частот первого порядка.....	200
11.3.3. Преобразование фильтра НЧ в фильтр ВЧ.....	200
11.3.4. Реализация ФВЧ на ARC.....	201
11.3.5. Реализация ARC – фильтров НЧ и ВЧ второго порядка.....	201
11.3.6. Фильтр НЧ со сложной ООС.....	202
11.3.7. ФНЧ на основе положительной обратной связи.....	203
11.3.8. Фильтр ВЧ на основе положительной обратной связи.....	204
11.3.9. Реализация полосовых фильтров второго порядка.....	205
Выводы по теме.....	207
Задания и вопросы для самоконтроля по теме.....	211

Лекция 12

Тема: положительная обратная связь

Генераторы на основе операционных усилителей

Компараторы на основе операционных усилителей..... 213

12.1. Применение положительной обратной связи в RC - генераторах на ОУ.....	214
12.2. Генератор сигналов прямоугольной формы.....	218
12.3. Генератор сигналов треугольной формы.....	220
12.4. Компараторы напряжения на основе операционных усилителей.....	221
12.4.1. Принцип функционирования компаратора.....	222
12.4.2. Включение ПОС в компараторе.....	224
12.4.3. Пороговые уровни компараторов.....	225
12.4.4. Детектор с «окном».....	226
12.4.5. Особенности схемотехники компараторов.....	227
Выводы по теме.....	229
Задания и вопросы для самоконтроля по теме.....	230

часть 2. Схемотехника цифровых устройств

Лекция 13

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

Цифровые сигналы и цифровые схемы..... 231

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	245
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
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	253
14.2. Способы представления информации	254
14.3. Основные требования к базовым логическим элементам	255
14.3.1. Совместимость уровней входных и выходных сигналов	256
14.3.2. Нагрузочная способность логического элемента	257
14.3.3. Формирующие свойство логического элемента (квантование сигнала)	258
14.4. Помехоустойчивость логических элементов.	
Быстродействие логических элементов. Классификация логических устройств	
14.4.1. Помехоустойчивость логических элементов	260
14.4.2. Быстродействие логического элемента	262
14.5. Классификация логических устройств	263
14.5.1. Классификация по способу ввода-вывода информации	263
14.5.2. Классификация по принципу действия	264
14.5.3. Классификация по схемотехническим решениям	265
Выводы по теме	266
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	269

Лекция 15

Тема: схемотехника цифровых интегральных схем

Схемотехника логических элементов	272
15.1. Ключ на биполярном транзисторе	273
15.2. Транзисторная логика с непосредственными связями (НСТЛ)	274
15.3. Схема РТЛ (транзисторная логика с резистивной связью)	276
15.4. Схема ДТЛ (диодно-транзисторная логика)	277
15.5. ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика)	278
15.6. Эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ)	280
15.7. Логические элементы с инжекционным питанием (I^2L)	282
15.8. Логические элементы на полевых транзисторах	285
15.8.1. Ключ на МДП-транзисторах с динамической нагрузкой	286
15.8.2. Логические элементы на комплементарных МДП - транзисторах (КМДП)	289
15.8.3. Динамическая логика на МДП-транзисторах	291
15.9. Сравнение параметров основных типов интегральных логических схем.....	293
Выводы по теме	294
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	296

Лекция 16

Тема: коды. Преобразователи кодов. Шифраторы.

Мультиплексоры

16.1. Двоично – десятичный код 8421	298
16.2. Код с избытком 3	300
16.3. Код Грея	301
16.4. Преобразователи кодов	301
16.5. Шифраторы. Дешифраторы.....	302
Мультиплексоры. Демультимплексоры.....	302
16.5.1. Шифраторы и дешифраторы	304
16.5.2. Мультиплексоры и демультимплексоры	308
Выводы по теме	313
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	315

Лекция 17

Тема: триггеры. Схемы фиксаторов. Запуск триггеров.....

17.1. RS-триггер (асинхронный)	319
17.2. Синхронный (тактируемый) RS-триггер	322
17.3. D-триггер (триггер с задержкой).....	325
17.4. D-триггеры с дополнительными входами	326
17.5. JK-триггеры. Схемы фиксаторов. Запуск триггеров. JK-триггер (ждуший мультивибратор)	328
17.6. JK-триггер с дополнительными входами	330
17.7. Схемы фиксаторов.....	331
17.8. Запуск триггеров.....	334
<i>17.8.1. Триггеры с управлением (запуском) или по фронту или по срезу тактового импульса</i>	<i>334</i>
<i>17.8.2. Триггеры типа ведущий/ведомый (триггеры с динамическим управлением)</i>	<i>337</i>
Выводы по теме	338
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	340

Лекция 18

Тема: счетчики; регистры; сумматоры	342
18.1. Счетчики со сквозным переносом	343
18.2. Асинхронный счетчик по модулю 10	345
18.3. Синхронные счетчики	346
18.4. Вычитающие счетчики.....	348
18.5. Асинхронный трехразрядный счетчик по модулю 8	348
18.6. Самоостанавливающиеся счетчики	349
18.7. Регистры	350
<i>18.7.1. Последовательные регистры сдвига.....</i>	<i>352</i>
<i>18.7.2. Параллельные регистры сдвига</i>	<i>354</i>
<i>18.7.3. Классификация регистров.....</i>	<i>356</i>
18.8. Арифметические устройства. Сумматоры	357
<i>18.8.1. Двоичное сложение</i>	<i>357</i>
<i>18.8.2. Сложение в разряде единиц (полусумматор)</i>	<i>359</i>
<i>18.8.3. Полные сумматоры.....</i>	<i>361</i>
<i>18.8.4. 3-х разрядный сумматор</i>	<i>362</i>
Выводы по теме	363
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	364

Лекция 19

Тема: запоминающие устройства. Схемотехника запоминающих устройств	367
---	-----

19.1. Принципы работы ОЗУ. ЗУ с произвольной выборкой (ЗУПВ)	369
19.2. Постоянные запоминающие устройства (ПЗУ)	373

Лекция 20

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

20.1. Схемотехника ЗУ	378
20.1.1. Статические ОЗУ на биполярных транзисторах	379
20.1.2. Статические ОЗУ на основе полевых транзисторах	380
20.1.3. Динамические ОЗУ	382
20.2. Постоянные ЗУ (ПЗУ; ROM -Read – Only Memory)	384
20.2.1. Масочные ПЗУ	385
20.2.2. Прожигаемые ПЗУ (однократно программируемые ППЗУ)	386
20.2.3. Перепрограммируемые ПЗУ (стираемое ППЗУ - ErasablePROM, EPROM; ППЗУ)	387
Выводы по теме	389
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	392

Лекция 21

Тема: сопряжение цифровых и аналоговых устройств

Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП)

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)	395
21.1. Цифроаналоговые преобразователи	396
21.2. Общая структурная схема ЦАП	398
21.3. Основная схема простого ЦАП	399
21.4. Цифроаналоговый преобразователь лестничного типа ...	400
21.5. Сопряжение цифровых и аналоговых устройств. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)	402
21.5.1. Базовая структурная схема аналого-цифрового преобразователя (АЦП)	404

Лекция 22

Тема: сопряжение цифровых и аналоговых устройств

Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП)

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)

(продолжение лекции 21)	406
21.5.2. Структурная схема АЦП с динамической компенсацией	406

21.5.3. Интегрирующий АЦП	407
21.5.4. АЦП последовательного приближения	409
21.6. Характеристики АЦП и ЦАП	411
Выводы по теме	415
Задания и вопросы для самоконтроля по теме	416
Список литературы	418
часть 1 «Схемотехника аналоговых устройств»	418
Основная литература:	418
Дополнительная литература:	418
часть 2 “Схемотехника цифровых устройств”	419
Основная литература	419
Дополнительная литература:	419
Глоссарий	420
часть 1 «Схемотехника аналоговых устройств»	420
часть 2 «Схемотехника цифровых устройств»	427