

УДК 621.382.2/.3 (075.8)  
ББК 32.844.1я73  
С92

Гриф надано Міністерством  
освіти і науки України  
(протокол від 7 квітня 2003 р.  
№ 1/11-1366)

Автори: *В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков, А. А. Зорі, В. М. Співак, Т. О. Терещенко*

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. *А. А. Щерба* (Національний технічний університет України «КПІ») і канд. техн. наук, проф. *Ю. Є. Кулешов* (Київський національний університет технологій та дизайну)

Редактор *В. С. Зацарний*

**Схемотехніка** електронних систем: У 3 кн. Кн. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. — 2-ге вид., допов. і переробл. — К.: Вища шк., 2004. — 366 с.: іл.

ISBN 966-642-192-5 (кн. 1)

ISBN 966-642-193-3

Викладено основи аналогової схемотехніки на транзисторах та інтегральних мікросхемах, описано різні типи підсилювачів і генераторів. Розглянуто імпульсні пристрої, формувачі прямокутних імпульсів, мульти- та одновібратори, блокінг-генератори, інформаційні перетворювачі, кодувальні та декодувальні пристрої. Крім того, у другому виданні (1-ше вид. — 2002 р.) додатково висвітлено причини і методи розрахунку нелінійних спотворень, дрейф нуля, кодувальні пристрої, імпульсні джерела живлення.

Для студентів технічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

УДК 621.382.2/.3 (075.8)  
ББК 32.844.1я73

ISBN 966-642-192-5 (кн. 1)  
ISBN 966-642-193-3

© В. Я. Жуйков, В. І. Бойко,  
А. А. Зорі, В. М. Співак, 2002  
© В. І. Бойко, А. М. Гуржій,  
В. Я. Жуйков, А. А. Зорі,  
В. М. Співак, Т. О. Терещенко,  
2004, зі змінами

## ЗМІСТ

Передмова	9
Вступ	14
<b>АНАЛОГОВА СХЕМОТЕХНІКА</b>	
<b>Розділ 1. Підсилювальні пристрої</b>	<b>18</b>
1.1. Електронні системи, підсистеми і вузли	18
1.2. Основні компоненти електронних пристроїв	19
1.3. Підсилювальні пристрої. Основні визначення	21
1.4. Класифікація і структурна схема підсилювачів	22
1.5. Основні технічні показники підсилювачів	23
<b>Розділ 2. RC-Підсилювачі напруги на біполярних і польових транзисторах</b>	<b>28</b>
2.1. Підсилювач напруги на біполярному транзисторі за схемою зі спільною базою	28
2.2. Підсилювач напруги на біполярному транзисторі за схемою зі спільним емітером	32
2.3. Підсилювач напруги на біполярному транзисторі за схемою зі спільним колектором	41
2.4. Підсилювач напруги на польовому транзисторі за схемою зі спільним витокom	46
2.5. Підсилювач напруги на польовому транзисторі за схемою зі спільним стоком	49
<b>Розділ 3. Частотні характеристики RC-підсилювачів звукових частот</b>	<b>54</b>
3.1. Звукові частоти, характерні області звукових частот	54
3.2. Характеристики підсилювачів напруги в області середніх звукових частот	57
3.3. Низькі звукові частоти	58
3.4. Робота підсилювача в області високих звукових частот	61
3.5. Логарифмічні амплітудно-частотні характеристики. Методики і приклади розрахунків	64

<b>Розділ 4. Підсилювачі потужності</b>	<b>87</b>
4.1. Узгодження джерела сигналу з навантаженням. Класифікація підсилювачів потужності	87
4.2. Однотактні підсилювачі потужності	89
4.3. Частотні характеристики підсилювачів потужності	95
4.4. Двотактні підсилювачі потужності	101
4.5. Підсилювачі потужності без трансформаторів	103
<b>Розділ 5. Вплив температури на характеристики і параметри транзисторних підсилювачів. Нелінійні спотворення каскадів</b>	<b>106</b>
5.1. Вплив температури на характеристики біполярних транзисторів. Основні причини температурної нестабільності каскадів	106
5.2. Температурна стабілізація і компенсація каскадів	109
5.3. Причини нелінійних спотворень. Вхідні динамічні й наскрізна характеристики каскаду	113
5.4. Методи розрахунку нелінійних спотворень	119
<b>Розділ 6. Зворотні зв'язки у підсилювачах</b>	<b>122</b>
6.1. Загальні поняття і класифікація зворотних зв'язків	122
6.2. Вплив зворотного зв'язку на основні параметри підсилювача	123
6.3. Вплив зворотного зв'язку на вхідний і вихідний опори підсилювача	126
6.4. Практичні схеми підсилювальних каскадів зі зворотними зв'язками	131
6.5. Стійкість підсилювачів зі зворотними зв'язками	133
<b>Розділ 7. Підсилювачі постійного струму. Дрейф нуля і способи його зменшення</b>	<b>136</b>
7.1. Призначення й основні характеристики підсилювачів. Підсилювачі на несівній частоті	136
7.2. Підсилювачі з безпосередніми зв'язками	139
7.3. Дрейф нуля підсилювачів. Основні причини і способи його зменшення	144
7.4. Паралельно-балансові й диференціальні каскади підсилювачів	147
<b>Розділ 8. Аналогові мікроелектронні структури. Операційні підсилювачі в інтегральному виконанні</b>	<b>150</b>
8.1. Класифікація аналогових інтегральних мікросхем, елементи їх схемотехніки, взаємні компоненти, вихідні каскади	150
8.2. Напруга зсуву, вхідні струми та їхні температурні дрейфи	154
8.3. Операційні підсилювачі. Еквівалентна схема підсилювача	160
8.4. Експериментальне визначення основних параметрів операційних підсилювачів	163

<b>Розділ 9. Побудова вирішальних структур на базі операційних підсилювачів. Лінійні та нелінійні функціональні перетворювачі</b>	<b>168</b>
9.1. Операційні підсилювачі з інвертуванням і без інвертування сигналу	168
9.2. Суматори, інтегратори і диференціатори на базі підсилювачів	172
9.3. Схеми установки нуля і частотної корекції підсилювачів	176
9.4. Схеми логарифмування й антилогарифмування	177
9.5. Помножувачі й подільники напруг, випрямлячі та детектори сигналів	181
<b>Розділ 10. Вибірні (селективні) підсилювачі</b>	<b>185</b>
10.1. Характеристики паралельного і послідовного коливальних контурів	187
10.2. Вибірні підсилювачі LC-типу	193
10.3. Загальні положення теорії вибірних RC-систем	198
10.4. Подвійний T-подібний міст. Основні характеристики і параметри	199
10.5. Принципові схеми вибірних RC-підсилювачів	204
<b>Розділ 11. Генератори періодичних коливань LC-типу</b>	<b>209</b>
11.1. Методи аналізу умов збудження генераторів	209
11.2. LC-Генератор на польовому транзисторі з контуром у колі затвора	212
11.3. Енергетичний розрахунок. Визначення усталеного режиму генератора	215
11.4. LC-Генератори на біполярних транзисторах	220
<b>Розділ 12. RC-Генератори</b>	<b>226</b>
12.1. Загальні положення теорії RC-генераторів	226
12.2. RC-Генератори з фазообертальними на 180° ланками	227
12.3. RC-Генератор з нульовим фазообертачем	231
12.4. RC-Генератори підвищеної стабільності	235
<b>ІМПУЛЬСНІ ПРИСТРОЇ</b>	
<b>Розділ 13. RC-Ланки під час імпульсного впливу</b>	<b>240</b>
13.1. Імпульси, класифікація, характеристика, параметри	240
13.2. Проходження імпульсів через RC-ланки. Диференційні й розділові ланки	242
13.3. Фіксатори рівня в диференційних RC-ланках	249
13.4. Інтегрувальні RC-ланки	252
<b>Розділ 14. Формувачі прямокутних імпульсів</b>	<b>257</b>
14.1. Обмежувачі на діодах послідовного і паралельного типів	257
14.2. Лінійні моделі транзисторів у режимі великого сигналу	262
14.3. Розрахунки транзисторних ключів	267
14.4. Транзисторний підсилювач-обмежувач	271
14.5. Динамічні характеристики транзисторних ключів	272

<b>Розділ 15. Мульти- й одновібратори.</b>	
<b>Генератори лінійно змінюваної напруги, блокінг-генератори</b> 279	
15.1.	Транзисторний мультивібратор, принцип дії, розрахунок періоду коливань 279
15.2.	Регулювання частоти, термостабілізація і поліпшення форми вихідної напруги мультивібратора 285
15.3.	Транзисторний одновібратор. Принцип дії, осцилограми, розрахунки 288
15.4.	Загальна характеристика і принципи побудови генераторів 292
15.5.	Автоколивальні генератори на транзисторах. Генератори в режимі очікування на транзисторах та операційних підсилювачах 294
15.6.	Автоколивальний блокінг-генератор. Блокінг-генератор у режимі очікування. Синхронізація блокінг-генератора 303
<b>Розділ 16. Кодувальні пристрої.</b>	
<b>Аналого-цифрові й цифровоаналогові перетворювачі</b> 312	
16.1.	Кодування часових інтервалів і напруг 312
16.2.	Аналого-цифрові перетворювачі. Основні характеристики і параметри 316
16.3.	Цифроаналогові перетворювачі. Структура, основні характеристики і параметри 320
16.4.	Пристрій вибірки збереження 325
<b>Розділ 17. Імпульсні джерела живлення, елементна база силових електроніки і перспективи розвитку</b> 327	
17.1.	Структурні схеми й основні проблеми імпульсних джерел електроживлення 327
17.2.	Схемотехніка основних блоків імпульсних джерел електроживлення 331
17.3.	Силові напівпровідникові елементи 345
17.4.	Тенденції розвитку електронних компонентів 355
<b>Список рекомендованої літератури</b> 363	

## ПЕРЕДМОВА

Електроніка — галузь сучасної фізики та електротехніки. Вона займається вивченням і використанням явищ, приладів і систем, основою яких є проходження електричного струму у вакуумі, газі та твердому тілі, дослідження, розробка електронних засобів і систем та принципів їх використання. Обмін інформацією в електронних системах відбувається за допомогою сигналів, носіями яких можуть бути різні фізичні величини — струми, напруги, магнітні стани, світлові хвилі. Розрізняють аналогові (безперервні) і дискретні сигнали. Є два типи дискретних сигналів: перший отримано за рівнем або за часом дискретизації безперервних сигналів, другий — у вигляді набору кодових комбінацій знаків.

Перевагами цифрових пристроїв і систем порівняно з аналоговими є підвищена завадостійкість, висока надійність, можливість тривало зберігати інформацію без її втрати, економічна й енергетична ефективність, сумісність з інтегральною технологією, висока технологічність і повторюваність, а недоліками — мала швидкодія та точність.

Основа розвитку електроніки — безперервне ускладнення функцій. На сучасному етапі стає неможливим вирішувати нові завдання старими електронними засобами з використанням існуючої елементної бази. Виникають об'єктивні умови для подальшого удосконалення елементної бази. Основними факторами є підвищення надійності, зменшення габаритних розмірів, маси, вартості та споживаної потужності.

Важливе завдання вищої освіти — правильна орієнтація майбутнього фахівця на стадії вивчення фундаментальних і професійно-орієнтованих дисциплін фаху, де поєднується як глибина важливих фізичних процесів, так і їхній розумний обсяг. Більшість випущених підручників і навчальних посібників з аналогової та цифрової схемотехніки або присвячені викладу лише окремих розділів цієї дисципліни, або дають

загальні відомості з основних розділів чи недостатньо відображають тенденції розвитку сучасної електроніки. У пропонованому підручнику автори зробили спробу ліквідації зазначених вище недоліків.

Підручник складається з трьох книг: перша книга — «Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої», друга — «Цифрова схемотехніка», третя — «Мікропроцесори та мікроконтролери».

**Перша книга — «Аналогова схемотехніка та аналогові пристрої»** містить 12 розділів з аналогової схемотехніки та 5 розділів з імпульсних пристроїв, у яких розглянуто такі питання:

основні компоненти електронних систем, підсистем і вузлів, підсилювачі;

RC-підсилювачі напруги на біполярних і польових транзисторах за різними схемами підключення зі спільними емітером, базою, колектором, стоком, витоком;

частотні характеристики RC-підсилювачів звукових частот, робота підсилювача в області низьких, середніх та високих частот; логарифмічні амплітудно-частотні характеристики, приклади розрахунків;

узгодження джерела сигналу з навантаженням, класифікація одно- і двотактних підсилювачів потужності та підсилювачів без трансформаторів;

наскрізні характеристики каскадів, вплив температури на характеристики біполярних транзисторів, причини та методи розрахунку нелінійних спотворень;

класифікація паралельних і послідовних зворотних зв'язків: за струмом і напругою, жорстких і гнучких, їхній вплив на схемні функції, показники роботи, умови стійкості системи;

підсилення постійного струму, способи зменшення дрейфу нуля, підсилювачі на несівній частоті, з безпосередніми зв'язками, паралельні балансові та диференціальні схеми;

класифікація аналогових мікроелектронних структур, операційні підсилювачі на інтегральних мікросхемах, елементи їх схемотехніки;

побудова вирішальних структур на базі операційних підсилювачів, лінійні та нелінійні функціональні перетворювачі, суматори, інтегратори, диференціатори, частотна корекція, логарифмування, помножувачі, подільники, випрямлячі, детектори;

загальні положення теорії селективних підсилювачів різних типів;

LC-генератори періодичних коливань на польових і біполярних транзисторах;

основи теорії RC-генераторів з різними типами фазообертачів і без них;

проходження імпульсів через ланки інтегрування, диференціювання, розділові; фіксатори рівня;

формувачі прямокутних імпульсів, ключі, обмежувачі, моделі великого сигналу;

мульти- та однобібратори; регулювання частоти, термостабілізація і поліпшення форми вихідної напруги схем; генератори лінійно змінюваної напруги, блокінг-генератори в автоколивальному режимі та режимі очікування;

аналіз кодувальних пристроїв, АЦП та ЦАП, пристрої вибірки збереження;

імпульсні джерела живлення, елементна база силової електроніки та перспективи розвитку.

**Друга книга — «Цифрова схемотехніка»** — охоплює 12 розділів, у яких розглянуто такі питання:

математичні основи цифрової схемотехніки, системи числення, коди, двійкова арифметика та форми подання чисел;

теоретичні основи синтезу цифрових автоматів та алгебра логіки;

аналіз методів мінімізації булевих функцій, методи Карно — Вейча, Квайна, Мак-Клаксі;

класифікація логічних елементів цифрових пристроїв (базові логічні елементи);

синтез комбінаційних схем, мульти- та демультимплексори, суматори, шифратори, дешифратори, компаратори, перетворювачі кодів;

асинхронні, синхронні тригерні елементи, RS-, D-, JR-тригери;

синтез цифрових автоматів, регістри зсуву, лічильники, цифрові фазообертачі;

логічні розширювачі, перетворювачі рівнів, таймери;

статичні, динамічні оперативні та мікросхеми постійних запам'ятовувальних пристроїв;

проекування логічних схем, перехідні процеси, гонки, одно- та двофазова синхронізація;

застосування цифрових інтегральних мікросхем, завади і завадостійкість, монтаж цифрових інтегральних мікросхем.

**Третя книга — «Мікропроцесори та мікроконтролери»** — складається з 9 розділів, у яких розглянуто такі питання:

загальні принципи побудови мікропроцесорних систем, організація шин, поняття про архітектуру мікропроцесорів та основні принципи побудови мікропроцесорних систем, основи програмування мовою асемблер;

однокристалні 8- та 16-розрядні мікропроцесори, відомості про систему команд мікропроцесора i8086;



старші моделі однокристальних універсальних мікропроцесорів (i80286, i386, i486, архітектура мікропроцесорів *Pentium*);

системи пам'яті: класифікація постійних та оперативних запам'ятовувальних пристроїв, побудова модулів пам'яті, принципи організації стекової та кеш-пам'яті;

інтерфейс пристроїв введення-виведення — паралельний та послідовний інтерфейс, контролер клавіатури та індикації, програмовний таймер, контролер прямого доступу до пам'яті, контролер переривань;

архітектура, функціональні можливості та система команд однокристальних мікроконтролерів з *CISC* архітектурою, розширення можливостей, приклад застосування для керування двигуном постійного струму;

однокристальні мікроконтролери з *RISC* архітектурою: *PIC*-контролери, *AVR*-мікроконтролери;

сигнальні мікропроцесори обробки даних у форматі з фіксованою та плаваючою комою, їхні характеристики і функціональні можливості;

нейронні обчислювачі та їхні функції, основи побудови нейронних мереж, алгоритми навчання, апаратна реалізація.

У підручнику в стислому вигляді та доступній формі викладено всі розділи програми підготовки бакалаврів, інженерів та магістрів напряму «Електроніка» спеціальності «Електронні системи» і «Фізична та біомедична електроніка» згідно з вимогами державного стандарту України. Це може підвищити ефективність не лише аудиторних занять, а й самостійної роботи студентів. Матеріал скомпонований так, що кожний наступний розділ є логічним продовженням попереднього.

У результаті вивчення курсу студенти засвоюють принципи функціонування, вибору, практичної реалізації пристроїв та систем електроніки різного призначення, методи їх аналізу і розрахунку за заданими статичними й динамічними параметрами та принципи розробки систем керування електронними системами. Студент має знати: принципи побудови та функціонування пристроїв аналогової і цифрової схемотехніки; принципи вибору методів аналізу і розрахунку електронних пристроїв із заданими характеристиками; принципи побудови і функціонування мікропроцесорних та мікроконтролерних систем, а також уміти: розрахувати електронні ланки; узагальнити динамічні показники електронних пристроїв; виконати розрахунки різних електронних пристроїв з організацією банку даних, розробити структурні та принципові схеми, а також програмне забезпечення мікропроцесорних систем керування пристроями електроніки.

Підручник написано на основі досвіду викладання дисциплін згідно з програмами підготовки бакалаврів, інженерів та магістрів напрямку «Електроніка» в Національному технічному університеті України «КПІ», Донецькому національному технічному університеті та Дніпродзержинському державному технічному університеті.

Курс забезпечується основними дисциплінами: математика, фізика, теоретичні основи електротехніки, твердотіла електроніка.

Автори висловлюють вдячність співробітникам кафедр «Промислова електроніка» Київського НТУУ «КПІ», «Електронна техніка» Донецького НТУ і «Електроніка та автоматика» Дніпродзержинського ДТУ за допомогу під час підготовки оригіналу-макета та обговорення навчального матеріалу, а також доценту В. Ф. Сенько за підготовку матеріалів до розділів 17.1, 17.2.

Автори щиро вдячні рецензентам за цінні зауваження та рекомендації щодо вдосконалення окремих розділів рукопису, які вони врахували під час його доопрацювання, що сприяло поліпшенню змісту підручника.

## ВСТУП

Промисловий розвиток електроніки має два напрями.

1. Інформаційний, до якого належать електронні засоби та системи вимірювання, контролю і керування різними технологічними процесами на виробництві, в наукових дослідженнях, біології, медицині. Підсилювачі сигналів, генератори напруг, струмів, потужності різної форми і частоти, логічні схеми, лічильники, індикаторні пристрої — все це пристрої та системи інформаційної електроніки, яка ґрунтується на використанні інтегральних мікросхем.

2. Силевий (енергетичний) напрям — пов'язаний з перетвореннями змінного та постійного струмів для потреб електроенергетики, металургії, хімії, електротяги транспорту тощо. Основними видами електронних систем є випрямлячі, інвертори, перетворювачі частоти, керовані перетворювачі.

Електронні системи за способом формування і передавання сигналів керування поділяють на два класи — аналогові (безперервні) й дискретні (переривчасті), які, у свою чергу, поділяють на імпульсні, релейні та цифрові.

Аналогові електронні пристрої і системи призначені для приймання, перетворення та передавання електричного сигналу, який змінюється за законом безперервної (аналогової) функції. В електронній системі аналогового типу кожному конкретному значенню реальної фізичної величини на вході давача відповідає однозначне, цілком визначене значення обраного електричного параметра постійного або змінного струму. Це може бути напруга або струм на ділянці електричного кола, частота, фаза та ін. При цьому як сама фізична величина, так і її електричний еквівалент, набуваючи нескінченне число значень, можуть бути визначені у будь-який довільний момент часу та змінюватися в одному і тому самому масштабі часу. Слід зазначити, що електричний еквівалент несе в собі повну інформацію про реальний процес, хоча в загаль-

ному випадку моменти, коли реальна величина набуде певного значення та коли з'явиться її електричний еквівалент, можуть не збігатися, тобто між цими моментами може існувати деяка затримка. Переваги — теоретично максимальною досяжні точність та швидкодія, простота системи, недоліки — низька завадостійкість та нестабільність параметрів, зумовлені значною залежністю властивостей пристрою від зовнішніх дестабілізуювальних факторів, наприклад температури, часу (старіння елементів), дії зовнішніх полів та ін., великі спотворення під час передавання на значні відстані, труднощі при тривалому зберіганні результатів, низька енергетична ефективність.

Дискретні електронні пристрої призначені для приймання, перетворення та передавання електричних сигналів, одержаних унаслідок квантування (процес заміни безперервного сигналу його значеннями в деяких точках) за часом або (та) за рівнем заданої аналогової функції. Тому сигнали, що в них діють, пропорційні обмеженому числу обраних за певним законом значень реальної фізичної величини, відображеної у вигляді різних параметрів імпульсів або перепадів напруг (струмів) (амплітуди, тривалості фронту та спаду імпульсів, тривалості імпульсу, періоду та частоти проходження імпульсів, тривалості паузи тощо). У дискретних електронних системах використовується лише частина інформації про реальну фізичну величину, тобто в процесі подання інформації виникають часткові її втрати. Перевагами є також те, що імпульсна та середня потужності визначають через шпаруватість, тому за великої шпаруватості можна отримати істотно перевищення потужності в імпульсі, що сприяє поліпшенню показників маси та габаритних розмірів; у режимі ключа розсіювання потужності мінімальне, що підвищує коефіцієнт використання приладу; властивості дискретних приладів менше залежать від нестабільності параметрів використаних приладів; завадостійкість приладів вища, оскільки зменшується проміжок часу, коли завада може вплинути на сигнал; застосовується однотипна елементна база, що сприяє підвищенню надійності, забезпечує дешевизну.

За типом квантування дискретні сигнали ДЕС поділяють на імпульсні, релейні та цифрові. Імпульсні електронні системи реалізують квантування початкового сигналу. В процесі імпульсної модуляції форма імпульсів вихідної послідовності залишається незмінною. Поширені амплітудно-імпульсна, широтно-імпульсна, фазово-імпульсна модуляції. Релейні системи реалізують квантування початкового сигналу за рівнем та перетворюють його на ступеневу функцію, висота кожного із рівнів пропорційна деякій наперед заданій величині.

Найвірогідніше, що в недалекому майбутньому цифрова електроніка займе провідне місце на ринку електронних пристроїв та систем. Нині цифрові персональні комп'ютери і контролери (ЕОМ) практично витіснили аналогові електронні обчислювальні машини, які були створені раніше. Те саме відбувається з апаратурою радіозв'язку, радіомовлення і телебачення (телевізорами, радіоприймачами, відеомагнітофонами, пристроями, що записують звук, фотоапаратурою).

Однак повністю витіснити аналогову техніку цифрова в принципі не зможе, тому що фізичні процеси, від яких електронна система отримує інформацію, мають аналогову природу, в цьому випадку необхідні на вході та виході аналого-цифрові та цифроаналогові пристрої.

Промисловий розвиток електроніки майже за сто років свого існування налічує чотири покоління, що характеризується подальшою мікромініатюризацією електронних компонентів, пристроїв та систем на базі застосування великих інтегральних схем (ВІС) та надвеликих інтегральних схем (НВІС). Деякі функціональні блоки роблять в одній інтегральній схемі, яка є готовим електронним пристроєм або системою приймання, перетворення або передавання інформації. Такі електронні пристрої дають змогу повністю забезпечити необхідний алгоритм обробки початкової інформації та істотно підвищити надійність їх функціонування. Компактність монтажу електронних пристроїв четвертого покоління становить близько 1000 ел./см<sup>3</sup> і більше (для порівняння електронні пристрої третього покоління – 50 ел./см<sup>3</sup>). Застосування інтегральних схем у сучасних електронних системах істотно підвищує надійність систем і зменшує їхні вартість, масогабаритні розміри та питому потужність.

# АНАЛОГОВА СХЕМОТЕХНІКА

- Розділ 1*  
Підсилювальні пристрої
- Розділ 2*  
RC-Підсилювачі напруги на біполярних і  
польових транзисторах
- Розділ 3*  
Частотні характеристики  
RC-підсилювачів звукових частот
- Розділ 4*  
Підсилювачі потужності
- Розділ 5*  
Вплив температури на характеристики і  
параметри транзисторних підсилювачів.  
Нелінійні спотворення каскадів
- Розділ 6*  
Зворотні зв'язки у підсилювачах
- Розділ 7*  
Підсилювачі постійного струму. Дрейф  
нуля і способи його зменшення
- Розділ 8*  
Аналогові мікроелектронні структури.  
Операційні підсилювачі в інтегральному  
виконанні
- Розділ 9*  
Побудова вирішальних структур на базі  
операційних підсилювачів. Лінійні та  
нелінійні функціональні перетворювачі
- Розділ 10*  
Вибірні (селективні) підсилювачі
- Розділ 11*  
Генератори періодичних коливань  
LC-типу
- Розділ 12*  
RC-Генератори

СХЕМОТЕХНІКА  
електронних систем