

А.Г. Сосков, Ю.П. Колонтаєвський

ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

За редакцією
доктора технічних наук, професора
А.Г. Соскова

Затверджено
Міністерством освіти і науки України як підручник
для студентів вищих навчальних закладів,
які навчаються за напрямом
«Електротехніка та електротехнології»

Друге видання

Київ «Каравела» 2017

УДК 621.38(075.8)
ББК 31.2
К 45

Гриф надано
Міністерством освіти і науки України
(лист № 1/11 – 13724 від 10.09.2013 р.)

Рецензенти:

Батигін Ю.В., доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри фізики Харківського національного
автомобільно-дорожнього університету;

Жемеров Г.Г., доктор технічних наук, професор кафедри
промислової і біомедичної електроніки Національного технічного
університету «Харківський політехнічний інститут»;

Кононов Б.Т., заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор кафедри електротехнічних
систем комплексів озброєння і військової техніки
Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба.

К 45 Сосков А.Г., Колонтаєвський Ю.П.

Промислова електроніка: Підручник. / За ред. А.Г. Соскова. –
К.: Каравела, 2017. – 536 с.

ISBN 978-966-2229-76-9

Розглянуто принцип дії, характеристики, параметри та області застосування електронних напівпровідникових приладів; побудову та роботу пристроїв інформаційної електроніки: підсилювачів напруги змінного та постійного струмів, імпульсних і цифрових пристроїв, виконаних на основі дискретних елементів та інтегральних мікросхем; пристроїв енергетичної електроніки: вентилях ведених мережею та автономних перетворювачів; наведено методики розрахунку основних вузлів електронних пристроїв та відомості про новітні тенденції розвитку приладів і схемотехніки електроніки.

Теоретичні положення підкріплено прикладами виконання практичних завдань. Для забезпечення можливості формування завдань для курсових та контрольних робіт підручник містить десять розрахунково-графічних робіт по сто варіантів кожна.

Для студентів, які навчаються за напрямками «Електротехніка та електротехнології» і «Електромеханіка». Може бути корисним неспеціалістам у галузі електроніки для самоосвіти.

УДК 621.38(075.8)
ББК 31.2

© Сосков А.Г., Колонтаєвський Ю.П., 2017

ISBN 978-966-2229-76-9

© Видавництво «Каравела», 2017

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	9
ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ	17
1.1. Напівпровідники. Загальні відомості	17
1.2. Фізичні основи роботи електронно-діркового переходу (<i>p-n</i> переходу)	20
Контрольні запитання	23
РОЗДІЛ 2. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПРИЛАДИ ТА ЇХ СТИСЛА ХАРАКТЕРИСТИКА	24
2.1. Класифікація напівпровідникових приладів	24
2.2. Напівпровідникові резистори	24
2.3. Напівпровідникові діоди.	26
2.3.1. Принцип дії, будова. Статичні характеристики.	26
2.3.2. Динамічний режим роботи випрямних діодів.	33
2.4. Біполярні транзистори.	36
2.4.1. Будова та принцип дії біполярного транзистора	36
2.4.2. Основні схеми вмикання і статичні характеристики біполярного транзистора	39
2.4.3. Біполярний транзистор як активний чотириполосник (<i>h</i> - параметри).	44
2.4.4. Основні режими роботи біполярного транзистора	47
2.4.5. Складені транзистори.	50
2.4.6. Одноперехідний транзистор.	51
2.5. Уніполярні (польові) транзистори.	52
2.5.1. Загальні відомості.	52
2.5.2. Польові транзистори з керуючим <i>p-n</i> переходом.	53
2.5.3. СІТ - транзистори.	56
2.5.4. Польові транзистори з ізольованим затвором (МДН – транзистори)	57
2.5.5. Біполярні транзистори з ізольованим затвором (БПІЗ)	61
2.6. Динамічні режими роботи транзисторів.	67
2.7. Перемикаючі напівпровідникові прилади (тиристоры)	71
2.7.1. Диністори.	71
2.7.2. Триністор (керований діод)	74
2.7.3. Динамічні характеристики тиристора.	78
2.7.4. Спеціальні типи тиристорів (симістор, фототиристор, двоопераційний тиристор, оптронний тиристор)	80
2.7.5. Електростатичні тиристори.	85
2.7.6. Запірний тиристор з МОН-керуванням.	86
2.8. Силкові напівпровідникові модулі.	87
2.9. Інтегральні мікросхеми	91

2.9.1. Загальні відомості	91
2.9.2. Гібридні ІМС	93
2.9.3. Напівпровідникові ІМС	94
2.9.4. Призначення і параметри ІМС. Тенденції їхнього розвитку.	94
2.10. Сучасний стан і тенденції розвитку керованих силових напівпровідникових приладів	99
Контрольні запитання	107
РОЗДІЛ 3. ПІДСИЛЮВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ.	
ПІДСИЛЮВАЧІ ЗМІННОГО СТРУМУ	109
3.1. Загальні відомості про підсилювачі та їх класифікація	109
3.2. Основні параметри і характеристики підсилювачів	111
3.3. Принципи побудови підсилювачів	113
3.4. Основні режими (класи) роботи підсилювачів	114
3.5. Кола зміщення підсилювальних каскадів	116
3.6. Температурна стабілізація підсилювачів	118
3.7. Каскади попереднього підсилення	119
3.7.1. Каскад попереднього підсилення на біполярному транзисторі з СЕ.	119
3.7.2. Підсилювальний каскад з СК (емітерний повторювач)	124
3.7.3. Підсилювальний каскад з СБ.	126
3.8. Каскади попереднього підсилення на польових транзисторах	127
3.8.1. Підсилювальний каскад з СВ	128
3.8.2. Підсилювальний каскад з СС	129
3.8.3. Зворотні зв'язки в підсилювачах	130
3.9. Багатокаскадні підсилювачі	135
3.9.1. Багатокаскадні підсилювачі з резистивно-ємнісними міжкаскадними зв'язками	135
3.9.2. Багатокаскадні підсилювачі з трансформаторними зв'язками	138
3.9.3. Безтрансформаторні вихідні каскади підсилення	142
3.9.4. Вибіркові підсилювачі	144
Контрольні запитання	145
РОЗДІЛ 4. ПІДСИЛЮВАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	146
4.1. Загальні відомості	146
4.2. Підсилювач прямого підсилення	147
4.3. Балансні ППС	149
4.4. Диференціальний ППС	150
4.5. Підсилювачі з подвійним перетворенням	152
4.6. Операційні підсилювачі (ОП)	152
4.6.1. Загальні відомості	152
4.6.2. Інвертувальний підсилювач	159
4.6.3. Неінвертувальний підсилювач	161
4.6.4. Перетворювач струму у напругу	162
4.6.5. Інвертувальний суматор	163
4.6.6. Неінвертувальний суматор	163

4.6.7. Інтегрувальний підсилювач (інтегратор)	164
4.6.8. Диференціювальний підсилювач (диференціатор)	165
4.6.9. Компаратори (схеми порівняння)	166
4.6.10. Підсилювач змінного струму на ОП з однополярним живленням	167
4.6.11. Збільшення потужності вихідного сигналу ОП	167
4.6.12. Прецизійний випрямляч	168
Контрольні запитання	169
РОЗДІЛ 5. ІМПУЛЬСНІ ПРИСТРОЇ	170
5.1. Загальні відомості про імпульсні пристрої. Параметри імпульсів	170
5.2. Електронні ключі та найпростіші схеми формування імпульсів	173
5.3. Мультивібратори	176
5.3.1. Загальні відомості	176
5.3.2. Мультивібратор з колекторно-базовими зв'язками в автоколивальному режимі	177
5.3.3. Мультивібратор на ОП	182
5.3.4. Одновібратор з колекторно-базовими зв'язками (чекаючий мультивібратор)	183
5.3.5. Одновібратор на ОП	185
5.4. Блокінг – генератори	187
Контрольні запитання	191
РОЗДІЛ 6. ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ	192
6.1. Алгебра логіки	192
6.2. Реалізація простих логічних функцій. Логічні елементи	194
Контрольні запитання	199
РОЗДІЛ 7. ТРИГЕРИ	200
7.1. Загальні відомості про тригери та їх призначення	200
7.2. Тригер на біполярних транзисторах (симетричний тригер з лічильним запуском)	200
7.3. Тригери на логічних елементах	203
7.3.1. <i>RS</i> -тригер	204
7.3.2. Тригер <i>D</i> -типу (<i>D</i> -тригер)	206
7.3.3. Тригер <i>T</i> -типу (<i>T</i> -тригер)	207
7.3.4. <i>JK</i> -тригер	207
Контрольні запитання	208
РОЗДІЛ 8. ЦИФРОВІ МІКРОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ	209
8.1. Поняття про цифрові мікроелектронні пристрої	209
8.2. Реалізація складних логічних функцій	209
8.3. Дешифратори	212
8.4. Мультиплексори	214
8.5. Лічильники імпульсів	214
8.6. Регістри	219
8.7. Цифро-аналогові (ЦАП) і аналого-цифрові (АЦП) перетворювачі	220

8.7.1. Будова і робота ЦАП	220
8.7.2. АЦП	224
8.8. Мультивібратори і одновібратори на логічних елементах і тригерах . .	227
8.9. ІМС таймера К1006ВИ1 (555)	231
8.10. Мікропроцесорні пристрої	233
8.10.1. Загальні положення. Децо з історії процесорів	233
8.10.2. Особливості роботи і використання мікропроцесорів Двійкова система числення. Структура мікропроцесорної системи .	236
8.10.3. Структура мікропроцесора	240
8.10.4. Запам'ятовувальні пристрої. Загальні відомості.	241
8.10.5. Запам'ятовувальні пристрої для зберігання оперативної інформації (ОЗП)	242
8.10.6. Запам'ятовувальні пристрої для зберігання постійної інформації (ПЗП)	243
8.10.7. Алгоритм. Способи представлення алгоритму	245
8.10.8. Завдання і виконання програм МПП	245
8.10.9. Шістнадцяткова система числення	247
8.10.10. Асемблер	248
8.10.11. Програмовані логічні контролери	250
8.10.12. Мікроконтролери	253
8.10.13. Структура мікроконтролера	256
8.10.14. Зіставлення основних етапів створення пристроїв керування на основі цифрових автоматів з жорсткою логікою і програмованих	258
Контрольні запитання	259
РОЗДІЛ 9. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ. ВИПРЯМЛЯЧІ.	262
9.1. Загальні відомості та класифікація	262
9.2. Експлуатаційні параметри і характеристики випрямлячів	264
9.3. Робота однофазного двопівперіодного випрямляча з нульовим виводом на активне навантаження	267
9.4. Робота однофазного мостового випрямляча на активне навантаження	270
9.5. Трифазні випрямлячі	272
9.5.1. Схема Міткевича	273
9.5.2. Схема Ларіонова	275
9.6. Згладжувальні фільтри	278
9.6.1. Основні поняття про фільтри	278
9.6.2. Робота однофазних двопівперіодних випрямлячів на активно-емнісне навантаження	280
9.6.3. Робота однофазних двопівперіодних випрямлячів на активно-індуктивне навантаження	284
9.6.4. Деякі особливості роботи фільтрів	288
9.7. Зовнішні характеристики випрямлячів	289

9.8. Стабілізатори напруги	291
9.8.1. Параметричні стабілізатори	291
9.8.2. Компенсаційні стабілізатори	293
9.9. Стабілізатори струму	296
9.10. Керовані випрямлячі	299
9.10.1. Методи і пристрої регулювання напруги постійного струму	299
9.10.2. Однофазний двопівперіодний керований випрямляч з нульовим виводом	309
9.10.3. Робота керованого випрямляча на активно-індуктивне навантаження	311
9.11. Системи імпульсно-фазового керування (СІФК)	313
9.11.1. Загальні положення	313
9.11.2. СІФК з горизонтальним керуванням	314
9.11.3. СІФК з вертикальним керуванням	316
9.12. Побудова типових вузлів СІФК з вертикальним керуванням.	318
9.12.1. Генератор лінійно змінюваної напруги (ГЛН)	318
9.12.2. Вузол порівняння (ВП)	321
9.12.3. Імпульсний підсилювач потужності	322
9.12.4. Приклади реалізації СІФК	323
9.13. СІФК з цифровим керуванням	326
Контрольні запитання	328
РОЗДІЛ 10. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ.	
РЕГУЛЯТОРИ (ПЕРЕРИВАЧІ) ЗМІННОГО СТРУМУ	331
10.1. Загальні відомості і класифікація	331
10.2. Однофазні регулятори змінного струму	333
10.3. Трифазні регулятори змінного струму	340
10.4. Схеми запуску керованих напівпровідникових приладів у регуляторах напруги	346
Контрольні запитання	358
РОЗДІЛ 11. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ. ІНВЕРТОРИ.	
ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ	360
11.1. Автономні інвертори	360
11.1.1. Призначення та класифікація	360
11.1.2. Однофазний інвертор струму	361
11.1.3. Півмостовий однофазний інвертор напруги	364
11.1.4. Інвертори напруги на повністю керованих напівпровідникових приладах	367
11.1.5. Резонансні інвертори	375
11.1.6. Випрямлячі з багатократним перетворенням	377
11.2. Інвертори, ведені мережею	378
11.3. Приклади застосування інверторів із використанням мікроелектронних пристроїв.	381
11.4. Перетворювачі частоти	385

Контрольні запитання	388
РОЗДІЛ 12. ВПЛИВ ВЕНТИЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА	
МЕРЕЖУ. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ	389
12.1. Загальні відомості про електромагнітну сумісність	389
12.2. Коефіцієнт потужності вентильних перетворювачів та основні шляхи його підвищення	391
12.3. Некеровані джерела реактивної потужності	396
12.4. Керовані джерела реактивної потужності	401
12.4.1. Принцип керування параметрами змінного струму у чотириквadrантних перетворювачах з імпульсною модуляцією	401
12.4.2. Регулювання неактивної потужності	407
12.4.3. Регульований повний опір	411
12.4.4. Комбінований фільтр змінного струму.	413
Контрольні запитання	416
ПРАКТИКУМ	418
Вправи	418
V1. Попередній (ескізний) розрахунок підсилювача низької частоти	419
V2. Остаточний розрахунок каскаду попереднього підсилення ПНЧ, виконаного за схемою з СЕ.	428
V3. Розрахунок та аналіз роботи підсилюючих каскадів на операційних підсилювачах (ОП)	442
V4. Побудова та аналіз роботи комбінаційних логічних пристроїв	448
V5. Розрахунок імпульсних пристроїв та побудова лічильників імпульсів	453
V6. Розрахунок однофазного випрямляча малої потужності	462
V7. Застосування інтегральних стабілізаторів напруги	474
V8. Розрахунок однофазного регулятора змінної напруги	483
V9. Розрахунок однофазного мостового автономного інвертора напруги.	492
V10. Розрахунок знижувального імпульсного регулятора постійної напруги	504
Додаток А. Зміст пояснювальної записки до розрахунку електронного пристрою	520
ПІСЛЯМОВА	522
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	523
ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ	526
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	528

ПЕРЕДМОВА

Цей підручник створено на основі багаторічного досвіду викладання авторами дисциплін «Промислова електроніка», «Електроніка і мікросхемотехніка» та «Мікропроцесорна техніка» на кафедрі теоретичної і загальної електротехніки Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова для студентів, які навчаються за напрямками «Електротехніка та електротехнології» і «Електромеханіка».

У пропонованому підручнику подано новітні досягнення у розвитку приладів і схемотехніки електроніки, та наряду з теорією, що викладена у доступній формі, міститься значна кількість прикладів розрахунку найбільш розповсюджених електронних пристроїв, а також майже 1000 варіантів завдань для самостійної роботи студентів.

Оскільки дане видання орієнтоване на неспеціалістів власне з електроніки, то основна увага у ньому приділяється роз'ясненню принципів будови та функціонування електронних приладів та схемотехнічних прийомів, що застосовуються при створенні типових електронних пристроїв.

Метою викладання є знайомство тих, хто навчається, з фізичними основами, будовою та параметрами електронних напівпровідникових приладів, набуття ними навичок побудови і аналізу схем електронних пристроїв, застосування таких пристроїв при вирішенні виробничих завдань.

Наслідком навчання повинно бути вміння грамотно формулювати технічні завдання на розробку електронних пристроїв для вирішення конкретних завдань за фахом та забезпечувати заявки на сучасне електронне устаткування, вміння експлуатувати електронне технологічне устаткування та проектувати найпростіші електронні пристрої.

Автори висловлюють глибоку вдячність рецензентам цього підручника проф. д.т.н. Батигіну Ю.В., проф. д.т.н. Жемерову Г.Г. та проф. д.т.н. Кононову Б.Т. за критичні зауваження та цінні пропозиції.

Автори підручника:

Сосков Анатолій Георгійович, професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри теоретичної і загальної електротехніки Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова.

Колонтасвський Юрій Павлович, доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної і загальної електротехніки Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова.

ВСТУП

Електроніка – це галузь науки і техніки, що вивчає:

- фізичні явища, пов'язані зі зміною концентрації і переміщенням заряджених часток у вакуумі, газі та твердих тілах;
- електричні характеристики та параметри електронновакуумних, іонних та напівпровідникових приладів;
- властивості пристроїв і систем, у яких застосовуються електронновакуумні, іонні та напівпровідникові прилади.

Перший з цих напрямів складає основу фізичної електроніки, другий і третій – технічної електроніки.

У свою чергу, технічна електроніка має чотири головних напрямки: радіоелектроніка, промислова електроніка, ядерна та біологічна електроніка.

- Радіоелектроніка пов'язана з радіотехнікою, бо є основою радіозв'язку, телебачення, радіолокації, радіоуправління, радіонавігації, радіоастрономії.

- **Промислова електроніка** пов'язана із застосуванням електронних пристроїв у різних галузях промисловості і обслуговує ці галузі пристроями контролю, керування, вимірювання, перетворювання електричної енергії, а також технологічним обладнанням.

- Ядерна електроніка пов'язана з процесами отримання, вивчення та використання елементарних часток.

- Біологічна електроніка охоплює використання електронних пристроїв у біологічних дослідженнях, особливо в медицині (медична електроніка).

Специфіка окремих галузей технічної електроніки полягає у особливостях використання електронних пристроїв, їхніх схем та технічних характеристик. Так, наприклад, схеми й характеристики випрямлячів у потужних енергетичних установках відрізняються від схем та характеристик випрямлячів радіотехнічних пристроїв.

Слід зазначити, що в наш час прогрес практично в усіх галузях науки і техніки багато у чому зумовлений успіхами електроніки. Тому знання основ технічної електроніки необхідні інженерові будь-якої спеціальності.

Особливо важливо уявляти можливості сучасної електроніки для вирішення наукових та технічних завдань у тій чи іншій галузі. Багато

задач керування, вимірювання, інтенсифікації технологічних процесів, що виникають у різних галузях техніки, можуть бути успішно вирішені спеціалістами, знайомими з основами електроніки.

Промислова електроніка, якою ми будемо займатися надалі, має три складові: інформаційна електроніка, енергетична електроніка, електронна технологія.

- **Інформаційна електроніка** складає основу електронно-обчислювальної та інформаційно-вимірювальної техніки, а також пристроїв автоматики. До неї належать електронні пристрої одержання, опрацювання та зберігання інформації, пристрої керування різними об'єктами та технологічними установками: пристрої, що оброблюють інформацію, представлену у вигляді електричних сигналів (неперервних або дискретних).

- **Енергетична електроніка** пов'язана з питаннями перетворення електричної енергії та пристроями і системами перетворення електричної енергії середньої і великої потужності. Сюди належать перетворювачі змінного струму в постійний (випрямлячі), постійного струму в змінний (інвертори), перетворювачі частоти, регулятори і т. п.

- **Електронна технологія** забезпечує використання електронних пристроїв у технологічних цілях. Це, наприклад, застосування високо-частотного генератора для сушіння деревини, нагріву, плавлення та зварювання металів, приготування їжі (НВЧ-піч) тощо.

Розвиток сучасної промислової електроніки нерозривно пов'язаний з досягненнями **мікроелектроніки**, яка, в свою чергу, базується на інтегральній технології. Остання дозволила отримувати вузли електронних пристроїв, перш за все інформаційної електроніки, в мікровиконанні – у вигляді інтегральних мікросхем.

Питаннями побудови електронних пристроїв на інтегральних мікросхемах займається **мікросхемотехніка**.

Дисципліна «Промислова електроніка» орієнтована на засвоєння знань зі застосування електронних пристроїв у різних галузях промисловості за їхньої побудови переважно на інтегральних мікросхемах.

Вона тісно пов'язана з електротехнічними дисциплінами, що вивчаються Вами у вузі, і базується на курсах вищої математики, фізики, теоретичних основ електротехніки, електричних вимірювань.

У свою чергу, ця дисципліна є базисом для вивчення основ обчислювальної техніки, автоматики, перетворювальної техніки, автоматизованого електроприводу та інших спеціальних дисциплін

Якщо подивитись на історію розвитку електроніки, то, насамперед, зазначимо, що успіхи, досягнуті електронікою, історично значною мірою пов'язані з розвитком радіотехніки. Обидві ці галузі техніки розвивалися у тісному взаємозв'язку. Електронновакуумні та напівпровідникові електронні прилади є основними елементами радіотехнічних пристроїв і визначають найважливіші показники радіоапаратури. З іншого боку, необхідність вирішення багатьох проблем радіотехніки ставила перед електронікою ряд завдань, вирішення яких сприяло винаходу нових та удосконаленню існуючих електронновакуумних та напівпровідникових приладів, схемотехнічних рішень.

Електронні пристрої широко використовуються у радіозв'язку, телебаченні, запису та відтворенні звуку, радіолокації та інших галузях радіоелектроніки. У той же час без них неможливо уявити сучасне обладнання або виробу в автоматичній і телемеханіці, провідному зв'язку, атомній та ракетній техніці, астрономії, метеорології, машинобудуванні, вимірвальній техніці, в медицині і т. ін.

Прогрес електроніки сприяв виникненню та розвитку кібернетики - науки, що займається питаннями управління та зв'язку в машинах і живих організмах. Він забезпечив створення швидкодіючих обчислювальних машин, без широкого застосування яких неможливе використання космосу за допомогою штучних супутників землі, ракет, космічних кораблів та автоматичних міжпланетних станцій.

Електроніка стала могутнім засобом автоматизації та контролю виробничих процесів. Виключно велику роль відіграє вона при створенні роботизованих комплексів, що сприяють зменшенню використання ручної праці у виробництві та підвищенню якості продукції, що випускається.

Таким чином, тенденція розвитку техніки сьогодні така, що частка електронних вузлів у інформаційних пристроях автоматички безперервно зростає. Цьому значною мірою сприяло широке впровадження інтегральної технології, що дала змогу на одному кристалику напівпровідника малої площі (тисячні частки – декілька квадратних міліметрів) виготовляти складні функціональні вузли різного призначення.

В останні роки освоєно випуск **великих інтегральних мікросхем (ВІМС)**. Кількість елементів кожної ВІМС коливається від десятків одиниць до сотень тисяч і сягає кількох мільярдів у надвеликих мікросхемах.

Типові функціональні мікровузли дозволяють зібрати потрібний

електронний блок без детального розрахунку окремих каскадів. І лише в тому випадку, коли типові інтегральні схеми не дозволяють вирішити якогось конкретного завдання, до них додаються вузли на дискретних елементах, що потребує проведення відповідних розрахунків.

Значно підвищився інтерес до оптоелектроніки, де, крім електричних сигналів, використовуються і світлові. Тепер багато пристроїв, створення яких за допомогою засобів чистої електроніки викликає значні труднощі, відносно просто можуть бути реалізовані за допомогою засобів оптоелектроніки.

Стисло розглянемо історію електроніки.

Фундамент для виникнення і розвитку електроніки було закладено працями фізиків у XVIII - XIX ст.

Перші у світі дослідження електричних розрядів у повітрі були здійснені Бенджаменом Франкліном у 1747-1753 роках (саме тим Франкліном, який у 1754 році запропонував план об'єднання англійських колоній у Північній Америці, що на його основі пізніше було утворено державу США, а у 1775 році брав участь у написанні Декларації незалежності і тепер зображений на стодоларовій банкноті США). Це він дав назви: «батарея», «конденсатор», «провідник», «заряд», «розряд»; довів електричну природу блискавки; створив теорію статичної електрики, єдиним недоліком якої на наш час є лише те, що носії заряду у ній мають позитивний заряд; винайшов блискавковідвід, вперше встановлений у 1760 році у місті Філадельфія.

Подібні дослідження здійснили також російські академіки М.В. Ломоносов і Г.В. Ріхман (один з перших, коли не перший, хто перетворив електрику на точну науку, створивши перший у світі електричний вимірювальний прилад – електрометр для вимірювання статичної електрики).

Важливою подією було відкриття електричної дуги академіком В.В. Петровим у 1802 році. Дослідження проходження електричного струму в розріджених газах проводили у минулому столітті в Англії – Крукс, Д. Томсон, Тоунсенд, Астон, а також у Німеччини – Гейслер, Гітторф, Плюккер та інші вчені.

Одним з найперших електронних приладів можна вважати фоторезистор із селену, винайдений в США У. Смітом в 1873 році. Тоді ж А.Н. Лодигін винайшов перший у світі електровакуумний прилад – лампу розжарювання. Дещо пізніше, таку ж лампу створив і удосконалив відомий американський винахідник Едісон. Електрична дуга була

вперше використана для освітлення Б.С. Якобі у 1846 році.

У 1874 році німецький вчений К.Ф. Браун відкрив ефект односторонньої провідності контакту метал - напівпровідник (селен).

Виходячи з теорії електромагнітного поля Дж. К. Максвела, що була теоретичним обґрунтуванням і тріумфом ідей та дослідів Майкла Фарадея, який на основі електродинаміки Андре-Марі Ампера відкрив явище електромагнітної індукції, Генріх Герц у 1886 році відкрив електромагнітні хвилі.

У 1887 році також Герц відкрив фотоелектричний ефект, а дослідження цього явища, що їх проводив із 1888 року, А.Г. Столетов (він відкрив основні закони фотоэффекту), поклали початок розвитку фотоелектронних приладів.

Термоелектронну емісію (одну з основ електронно-вакуумних приладів) було відкрито у 1884 році Едісоном, але сам він, нічого не знаючи про електрон, який був відкритий Дж. Дж. Томсоном лише 1897 року, не міг пояснити це явище. Детальні дослідження термоелектронної емісії провів у 1901 році Річардсон.

1895 року уперше здійснено дальній безпровідний зв'язок А.С. Поповим, а роком пізніше – італійцем Дж. Марконі (щоправда, суперечка за першість у цьому продовжується до цього часу).

Використання електронних приладів у радіотехніці розпочалось з того, що в 1904 році англійський вчений Дж. А. Флемінг застосував двоелектродну лампу-діод із розжареним катодом, раніше винайдену Едісоном (але він не знайшов для неї практичного застосування), для випрямлення (детектування) високочастотних коливань у радіоприймачі.

Важливим винаходом було створення у 1905 році Хелом у США газонаповненого діода – газотрона.

У 1906 році американський інженер Л. де Форест ввів у лампу керуючу сітку, тобто створив перший триод. Майже одночасно те ж саме здійснив Лібен у Німеччині.

У 1907 році професор Петербурзького технологічного інституту Б.Л. Розінг запропонував використання електронно-променевої трубки для приймання телевізійних зображень і у наступні роки здійснив експериментальне підтвердження своїх ідей. Це надає нам право визнавати Б.Л. Розінга одним з основоположників сучасного телебачення.

У 1913 році німецький вчений Мейснер застосував триод для генерування електричних коливань.

У Росії перші тріоди для приймання радіосигналів виготовили у 1914-1916 роках незалежно один від одного Н.Д. Папалексі і М.А. Бонч-Бруєвич.

У 1918 році була створена Нижньогородська радіолабораторія, в якій під керівництвом М.А. Бонч-Бруєвича розроблялись потужні генераторні й малопотужні лампи. Активну участь у цих роботах брали Б.А. Остроумов, А.М. Кугушев, А.А. Нікітін, А.А. Остряков та багато інших вчених.

У 1918-1919 роках Бонч-Бруєвич опублікував теорію тріода, що мала велике значення для розрахунків та проектування електронних ламп (подібні праці в той же час незалежно опублікував німецький вчений Баркгаузен).

Поряд з вакуумними електронними лампами у Нижньогородській радіолабораторії під керівництвом В.П. Вологдіна були створені потужні ртутні випрямлячі.

У 1922 році співробітник Нижньогородської радіолабораторії Лосєв відкрив можливість генерування і підсилення електричних коливань за допомогою напівпровідникового детектора. На жаль, це відкриття не отримало тоді належного розвитку.

У 1921 році Хелл запропонував магнітрон, а у 1930 – пентод, що став однією з найбільш розповсюджених ламп. Тоді ж Л.А. Кубецький винайшов фотоелектронні помножувачі (аналогічні прилади у США винайшов Фарнсворт).

Перші успішні експерименти із телевізійними передавальними електронними трубками (до речі, за глибокої несхвали приборчників електромеханічного телебачення) проводив Б.П. Грабовський – син відомого українського письменника П.А. Грабовського: у 1928 році в Ташкенті вперше передано й прийнято рухоме зображення за допомогою повністю електронних засобів.

У 30-х роках подібними експериментами з передавальними трубками також займались А.П. Константинов, С.І Катаєв, П.В. Шмаров, П.В. Тимофєєв.

До речі, телевізор, виконаний на основі електромеханічної системи передачі зображення, широко загалу вперше продемонстрував шотландський винахідник Джон Берд 27 січня 1926 року. В СРСР перша експериментальна телепередача відбулася у квітні 1931 року у Москві. А перші регулярні телепередачі розпочато у 1934 році в Німеччині.

Перший селеновий випрямляч виготовив німецький вчений Прессер

у 1932 році.

Першу електронну обчислювальну машину (на лампах-триодах) було створено у США у 1946 році.

Але всі ці епохальні відкриття та успіхи можна вважати лише попередніми кроками у створенні теорії електроніки, електронних приладів та схмотехнічних прийомів, оскільки справжня революція в електроніці розпочалася у 1948 році – після винайдення американськими вченими, співробітниками Bell Laboratories Д. Бардінім, У. Браттейном і У. Шеклі транзистора.

Більше того, дехто вважає, що розвиток електроніки власне тільки з цього й розпочався! І таке твердження не позбавлене сенсу з огляду на те, якими темпами почали розвиватися електронні технологія, прилади, схмотехніка. Досить звернути увагу на те, що після недовготривалого періоду існування пристроїв на дискретних транзисторах вже у 1965 році Відлар (фірма Fairchild, США) запропонував операційний підсилювач в інтегральному виконанні, а в 1971 році з'явився перший мікропроцесор (фірма Intel, США).

Поєднання інтегральних аналогових та цифрових пристроїв у сукупності з комп'ютерними технологіями (на основі мікропроцесорів) відкрило подальші найширші перспективи у розвитку і застосуванні електроніки.

Успіхи енергетичної електроніки пов'язані з розвитком силових напівпровідникових електронних приладів. Це – створення силового діоду (10 А, 200 В) у 1954 році, винахід у 1956 році тиристора, а далі СІТ- і IGBT-транзисторів та двоопераційних тиристорів у середині 70-х років.

Розвиток високих технологій в області силової електроніки призвів у кінці 1980-х рр. до створення нової елементної бази, що отримала назву «розумні силові інтегральні схеми» (англ. Smart Power Integrated Circuits) або «інтелектуальні силові інтегральні схеми» (ICIC). За сутністю ICIC є електронними модулями, що об'єднують в одному кристалі (або корпусі) як силові електронні компоненти, наприклад, силові транзистори, так і схеми керування, захисту, діагностики стану модуля, а також різні інтерфейси.

Сучасний стан елементної бази промислової електроніки та тенденції її розвитку розглянуто у другому розділі підручника.

Бажаємо Вам успіху у вивченні дисципліни!