

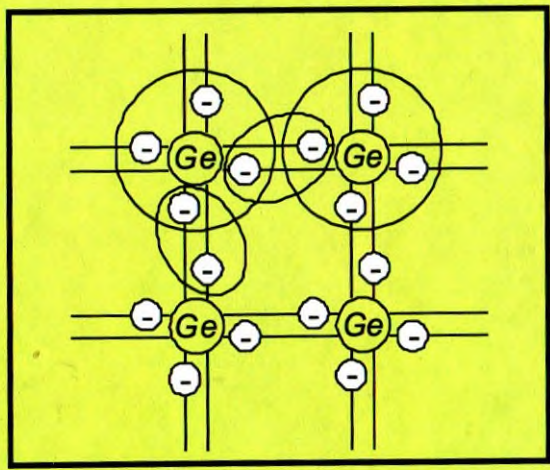
621.38

С 66

А.Г. СОСКОВ, Ю.П. КОЛОНТАЄВСЬКИЙ

# ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Підручник



ВИДАВНИЦТВО "КАРАВЕЛА"

**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»*

**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 978-966-222-976-9**

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: вентильних 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 978-966-222-976-9**

© 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 чотириполюсник ( <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 (БТІЗ).....	61
2.6. Динамічні режими роботи транзисторів.....	67
2.7. Перемикаючі напівпровідникові прилади (тиристри).....	71
2.7.1. Диністри.....	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 тиристри.....	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
<b>РОЗДІЛ 3. ПІДСИЛЮВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ.</b>	
<b>ПІДСИЛЮВАЧІ ЗМІННОГО СТРУМУ.....</b>	<b>109</b>
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 СВ.....	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
<b>РОЗДІЛ 4. ПІДСИЛЮВАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....</b>	<b>146</b>
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 (Oil).....	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
<b>РОЗДІЛ 5. ІМПУЛЬСНІ ПРИСТРОЇ.....</b>	<b>170</b>
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 автоколебальному 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
<b>РОЗДІЛ 6. ЛОГІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ.....</b>	<b>192</b>
6.1. Алгебра логіки.....	192
6.2. Реалізація простих логічних функцій. Логічні елементи.....	194
Контрольні запитання.....	199
<b>РОЗДІЛ 7. ТРИГЕРИ.....</b>	<b>200</b>
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
<b>РОЗДІЛ 8. ЦИФРОВІ МІКРОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ.....</b>	<b>209</b>
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. Дещо 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
<b>РОЗДІЛ 9. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ. ВИПРЯМЛЯЧІ.....</b>	<b>262</b>
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-ємнісне 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
<b>РОЗДІЛ 10. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ.</b>	
<b>РЕГУЛЯТОРИ (ПЕРЕРИВАЧІ) ЗМІННОГО СТРУМУ.....</b>	<b>331</b>
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
<b>РОЗДІЛ 11. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ. ІНВЕРТОРИ.</b>	
<b>ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ.....</b>	<b>360</b>
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
<b>РОЗДІЛ 12. ВПЛИВ ВЕНТИЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА</b>	
<b>МЕРЕЖУ. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ.....</b>	<b>389</b>
12.1. Загальні відомості про електромагнітну сумісність.....	389
12.2. Коефіцієнт потужності вентильних перетворювачів та основні шляхи його підвищення.....	391
12.3. 1 Ієрархія джерел реактивної потужності.....	396
12.4. Керовані джерела реактивної потужності.....	401
12.4.1. Принцип керування параметрами змінного струму у чотири квадранти їх перетворювачів 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
<b>ПРАКТИКУМ.....</b>	<b>418</b>
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 (011).....	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
<b>ПІСЛЯМОВА.....</b>	<b>522</b>
<b>РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>523</b>
<b>ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ.....</b>	<b>526</b>
<b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....</b>	<b>528</b>