

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

**М.П. МАТВІЄНКО**

# **ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА**

*Підручник*



ББК 32.973  
УДК 517.1  
М 33

*Копіювання, сканування, запис на електронні носії і тому подібне будь-якої частини підручника без дозволу видавництва заборонено*

*Рецензенти:*

**А.С. Довбиш** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету;

**В.П. Розен** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

**М.М. Проценко** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного авіаційного університету, м. Київ.

*Рекомендовано Вченою радою Сумського державного університету  
як підручник для студентів вищих навчальних закладів.  
Протокол №6 від 15 листопада 2018р.*

М33 Матвієнко М. П. **Промислова електроніка**. Підручник. — К. :  
Видавництво Ліра-К, 2019. — 633 с.

ISBN

У підручнику розглянуті різні види діодів, транзисторів, симісторів, управляємих тиристорних перемикачів та оптронів; приведена їх елементна база, структура, моделі, характеристики, схеми управління, принципи роботи та промислове застосування. На їх основі: розглянута побудова логічних елементів, комбінаційних пристроїв, елементів із пам'яттю і лічильників; приведена й описана робота генераторів різного промислового призначення, таймерів, однобраторів, формувачів сигналів, перетворювачів рівнів, елементів затримки й індикаторів. Розглянуті різні види електронних датчиків, волоконно-оптичних датчиків, їхнє промислове й перспективне застосування; розглянуті основи програмуємих логічних матриць, програмуємої матричної логіки, та запам'ятовувальних пристроїв; приведені операційні підсилювачі і на їх основі різноманітні перетворювачі, суматори, інтегратори та диференціатори; наведені електронні джерела живлення різного промислового застосування; розглянуті інвертори та транзисторні перетворювачі постійної напруги; твердотілі реле та перетворювачі частоти для управління двигунами; приведені вбудовані й універсальні мікроконтролери та програмовані логічні контролери, наведені мови їх програмування й приклади застосування; розглянуто побудову програмно-технічних комплексів з використанням програмованих логічних контролерів; розглянуті принципи пошуку та ліквідації несправностей; наведені принципи побудови тестів діагностування пристроїв як без пам'яті, так із пам'яттю, а також й процесорних пристроїв і систем.

Підручник призначено для студентів, аспірантів, викладачів і спеціалістів відповідних спеціальностей, а також окремі розділи підручника можуть бути використані студентами коледжів та технічних учбових закладів.

**ББК 32.973**

**УДК 517.1**

ISBN

© Матвієнко М. П., 2019

© «Видавництво Ліра-К», 2019

# Зміст

<b>Передмова</b> .....	3
<b>Розділ 1. Вступ у промислову електроніку</b> .....	13
1.1. Загальні відомості .....	13
1.2. Хронологія розвитку промислової електроніки.....	14
1.3. Класифікація промислових систем.....	17
1.4. Класифікація пристроїв управління з використанням промислової електроніки.....	19
1.5. Принципи автоматизації систем з використанням промислової електроніки.....	21
Контрольні запитання.....	25
Коментарі.....	26
<b>Розділ 2. Твердотілі прості електронні пристрої</b> .....	7
2.1. Загальні відомості .....	27
2.2. Випрямні діоди.....	29
2.3. Магнітодіоди.....	34
2.4. Стабілітрони і стабістори.....	37
2.5. Світлодіоди .....	40
2.6. Лазерні діоди.....	46
2.7. Звичайні фотодіоди.....	53
2.8. Лавині, гетероструктурні та $p-i-n$ -фотодіоди.....	60
2.9. Біполярні транзистори.....	65
2.10. Польові транзистори з управляючим переходом.....	77
2.11. Метал-оксидно польові транзистори.....	81
2.12. Комплементарні метал-оксидно польові пристрої .....	84
2.13. Біполярний транзистор із ізолюваним затвором.....	85
2.14. Звичайні одноперехідні транзистори.....	88
2.15. Програмовані одноперехідні транзистори.....	92
Контрольні запитання.....	96
Коментарі.....	99
<b>Розділ 3. Тиристори</b> .....	100
3.1. Структура, позначення та області застосування.....	100
3.2. Модель тиристора.....	101
3.3. Вмикання тиристора по управляючому входу.....	103
3.4. Перехідні процеси вмикання і вимикання тиристора.....	105
3.5. Характеристики, параметри та часові діаграми .....	107
3.6. Резисторна схема управління тиристором.....	110
3.7. Резисторно - конденсаторна схема управління тиристором.....	112
3.8. Тиристор, як регулятор напруги й потужності.....	113
3.9. Пристрої для перемикання тиристорів.....	115
3.10. Фототиристори.....	117
3.11. Промислове застосування тиристорів.....	120
Контрольні запитання.....	123

Задачі для самостійного розв'язування.....	124
Коментарі.....	124
<b>Розділ 4. Симістори.....</b>	<b>125</b>
4.1. Структура, модель та позначення .....	125
4.2. Характеристики, параметри та часові діаграми .....	126
4.3. Принцип роботи.....	129
4.4. Промислове застосування симісторів.....	132
Контрольні запитання.....	136
Задачі для самостійного розв'язування.....	136
Коментарі.....	136
<b>Розділ 5. Управляємо тиристорні перемикачі.....</b>	<b>137</b>
5.1. Основні свідчення.....	137
5.2. Двоопераційний тиристор.....	137
5.3. Кремнієвий управляємий перемикач.....	138
5.4. Кремнієві двонаправлені перемикачі.....	140
Контрольні запитання.....	142
Коментарі.....	143
<b>Розділ 6. Аналогова схемотехніка.....</b>	<b>144</b>
6.1. Параметри та характеристики операційних підсилювачів.....	144
6.2. Інвертуючі та неінвертуючі операційні підсилювачі .....	145
6.3. Повторювачі напруги.....	149
6.4. Перетворювачі напруги у струм і струму у напругу .....	149
6.5. Компаратори й датчики “вікна” .....	151
6.6. Диференціальні підсилювачі.....	154
6.7. Контрольно-вимірювальні підсилювачі.....	155
6.8. Суматори.....	156
6.9. Інтегратори й диференціатори .....	157
Контрольні запитання .....	159
Задачі для самостійного розв'язування.....	160
Коментарі.....	160
<b>Розділ 7. Оптоелектронна схемотехніка.....</b>	<b>161</b>
7.1. Загальні визначення.....	161
7.2. Області застосування оптронів.....	162
7.3. Елементна база й побудова оптронів.....	163
7.4. Класифікація та система параметрів оптронів .....	164
7.5. Діодні оптрони.....	167
7.6. Транзисторні, тиристорні та резисторні оптрони.....	169
7.7. Спеціальні оптрони.....	174
7.8. Схеми управління світловипромінюванням в оптроні.....	177
7.9. Схеми включення фотоприймачів оптрона.....	180
7.10. Захист оптрона від електричних перенавантажень.....	185
7.11. Включення оптронів на вхід операційних підсилювачів.....	187
7.12. Аналогові оптоелектронні комутатори.....	188
7.13. Промислове застосування оптронів.....	190

Контрольні запитання.....	194
Коментарі.....	195
<b>Розділ 8. Електронні датчики.....</b>	<b>196</b>
8.1. Загальні визначення .....	196
8.2. Класифікація датчиків.....	197
8.3. Безконтактні датчики наближення.....	199
8.4. Характеристика індуктивних датчиків наближення.....	203
8.5. Датчики фотоелектричного типу.....	211
8.6. Ультразвукові датчики.....	225
8.7. Лазерні датчики.....	231
Контрольні запитання .....	245
Коментарі.....	246
<b>Розділ 9. Волоконно-оптичні датчики .....</b>	<b>247</b>
9.1. Історія, тенденції розвитку та актуальність використання .....	247
9.2. Огляд видів і типів волоконно-оптичних датчиків .....	250
9.3. Конструктивні особливості та властивості оптоволокна .....	254
9.4. Волоконно-оптичні випромінювачі та приймачі інформації .....	257
9.5. Оптичні модулятори волоконно-оптичних датчиків.....	267
9.6. Датчики інтенсивності.....	269
9.7. Датчики температури з напівпровідниковим чутливим елементом.....	270
9.8. Енкодери положення.....	271
9.9. Датчики вимірювання швидкості потоку.....	272
9.10. Датчики вимірювання вібрації.....	274
9.11. Датчики струму і напруги.....	275
9.12. Перспективи розвитку та застосування волоконно-оптичних датчиків.....	277
Контрольні запитання .....	280
Коментарі.....	281
<b>Розділ 10. Прості логічні елементи та комбінаційні схеми.....</b>	<b>282</b>
10.1. Діодні та транзисторно-транзисторні логічні елементи .....	282
10.2. Логічні елементи на МОП-транзисторах та КМОП-структурі .....	287
10.3. Логічні елементи з петлею гістерезиса на КМОП-структурі .....	291
10.4. Логічні ключі на КМОП-структурі та КМОП-буфер з трьома станами.....	292
10.5. Дешифратори та шифратори.....	295
10.6. Мультиплексори та демультиплексори.....	299
10.7. Суматори та компаратори.....	307
Контрольні запитання .....	311
Задачі для самостійного розв'язування .....	311
Коментарі.....	312
<b>Розділ 11. Тригери.....</b>	<b>313</b>
11.1. Класифікація тригерів.....	313
11.2. RS-тригери.....	316
11.3. D-тригер.....	321
11.4. T-тригер.....	321

11.5. JK-тригери.....	323
11.6. Двоступінчасті тригери.....	325
11.7. Тригери, які перемикаються по фронту.....	327
11.8. Тестуючі тригери.....	329
11.9. Особливості роботи деяких тригерів.....	331
Контрольні запитання.....	332
Коментарі.....	333
<b>Розділ 12. Регістри й реєстрові файли.....</b>	<b>334</b>
12.1. Загальні визначення.....	334
12.2. Зсувові реєстри.....	335
12.3. Реверсивні реєстри.....	336
12.4. Реєстрові файли.....	336
Контрольні запитання.....	338
Коментарі.....	338
<b>Розділ 13. Лічильники.....</b>	<b>339</b>
13.1. Основні відомості про лічильники.....	339
13.2. Класифікація лічильників.....	339
13.3. Двійкові лічильники.....	340
13.4. Двійково-кодувальні лічильники із задовільним модулем.....	345
13.5. Лічильники із недвійковим кодуванням.....	347
13.6. Поліноміальні лічильники.....	353
Контрольні запитання.....	358
Коментарі.....	358
<b>Розділ 14. Запам'ятовуючі пристрої.....</b>	<b>359</b>
14.1. Постійні запам'ятовуючі пристрої.....	359
14.2. Оперативні запам'ятовуючі пристрої.....	378
Контрольні запитання.....	378
Коментарі.....	378
<b>Розділ 15. Генератори, таймери, одновібратори, елементи затримки, перетворювачі рівнів та елементи індикації.....</b>	<b>379</b>
15.1. Генератори.....	379
15.2. Таймери.....	386
15.3. Одновібратори.....	391
15.4. Елементи затримки.....	394
15.5. Перетворювачі рівнів.....	397
15.6. Елементи індикації.....	401
Контрольні запитання.....	405
Задачі для самостійного розв'язування.....	406
Коментарі.....	406
<b>Розділ 16. Застосування ПЛМ та ПМЛ у промисловій електроніці.....</b>	<b>407</b>
16.1. Структурна та функціональна схеми ПЛМ.....	407
16.2. Схемотехніка застосування ПЛМ.....	413
16.3. Функціональні різновиди ПЛМ.....	417
16.4. Базова структура ПМЛ.....	420
16.5. Функціональні різновиди ПМЛ.....	422

16.6. ПМЛ з поділом кон'юнкторів.....	422
16.7. Використання ПМЛ серії КР 1556.....	423
16.8. ПМЛ серії PAL і PLD.....	426
Контрольні запитання .....	429
Задачі для самостійного розв'язування.....	430
Коментарі.....	431
<b>Розділ 17. Уведення інформації від датчиків та виведення її на виконавчі механізми.....</b>	<b>432</b>
17.1. Уведення інформації від датчиків.....	432
17.2. Виведення інформації на виконавчі механізми.....	437
Контрольні запитання .....	442
Коментарі.....	443
<b>Розділ 18. Твердотілі реле.....</b>	<b>444</b>
18.1. Загальні відомості.....	444
18.2. Класифікація ТТР.....	445
18.3. Функціональна схема, робота та промислове застосування.....	446
Контрольні запитання.....	450
Коментарі.....	450
<b>Розділ 19. Інвертори.....</b>	<b>451</b>
19.1. Основні визначення.....	451
19.2. Однофазні інвертори .....	452
19.3. Інвертори з використанням мостових схем.....	453
19.4. Трифазні інвертори.....	454
19.5. Інвертори синусоїдальної напруги.....	456
Контрольні запитання.....	457
Коментарі.....	457
<b>Розділ 20. Джерела живлення.....</b>	<b>458</b>
20.1. Джерела живлення загального призначення.....	458
20.2. Регульовані джерела живлення .....	464
20.3. Стабілізовані джерела живлення.....	465
20.4. Джерела живлення із множенням напруги.....	473
20.5. Джерела живлення із захистом від закорочення.....	475
Контрольні запитання.....	476
Задачі для самостійного розв'язування.....	477
Коментарі.....	478
<b>Розділ 21. Транзисторні перетворювачі постійної напруги.....</b>	<b>479</b>
21.1. Загальні визначення.....	479
21.2. Понижуючий перетворювач.....	480
21.3. Понижуючий перетворювач .....	481
21.4. Інвертуючий перетворювач .....	482
21.5. Прямохідний перетворювач .....	483
21.6. Двотактний мостовий перетворювач .....	483
21.7. Напівмостовий двотактний перетворювач.....	485
Контрольні запитання.....	485
Задачі для самостійного розв'язування.....	485

Коментарі.....	486
<b>Розділ 22. Перетворювачі частоти для керування двигунами.....</b>	<b>487</b>
22.1. Загальні визначення.....	487
22.2. Перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком.....	488
22.3. Перетворювачі частоти з проміжним контуром постійного струму ...	489
Контрольні запитання.....	505
Коментарі.....	506
<b>Розділ 23. Вбудовані мікроконтролери .....</b>	<b>507</b>
§ 23.1. Загальні відомості .....	507
§ 23.2. Загальний опис мікроконтролерів.....	507
§ 23.3. Основи програмування мікроконтролерів.....	511
§ 23.4. Застосування мікроконтролерів .....	518
Контрольні запитання .....	520
Задачі для самостійного розв'язування .....	521
Коментарі.....	522
<b>Розділ 24. Універсальні мікроконтролери.....</b>	<b>523</b>
§ 24.1. Загальні відомості.....	523
§ 24.2. Універсальні мікроконтролери LOGO!.....	525
§ 24.3. Програмування схем на мікроконтролерах LOGO!.....	527
§ 24.4. Характеристики та параметри мікроконтролера LOGO!.....	531
§ 24.5. Універсальні мікроконтролери ZEN.....	532
Контрольні запитання .....	533
Коментарі.....	534
<b>Розділ 25. Програмовані логічні контролери.....</b>	<b>535</b>
§ 25.1. Загальний опис ПЛК .....	535
§ 25.2. Використання спеціальних модулів та сканерів зв'язку.....	539
§ 25.3. Сигнали уведення/виведення, програмне забезпечення та робочий цикл ПЛК.....	545
§ 25.4. Класифікація ПЛК.....	549
§ 25.5. Загальний опис мов при програмуванні ПЛК.....	557
§ 25.6. Мови програмування ПЛК.....	560
§ 25.7. Промислове використання ПЛК.....	568
Контрольні запитання.....	569
Коментарі.....	570
<b>Розділ 26. Програмно-технологічні комплекси на базі контролерів .....</b>	<b>570</b>
§ 26.1. Основні характеристики та структура ПТК .....	571
§ 26.2. Класифікація ПТК.....	572
§ 26.3. Стандартизація, типізація і відкритість ПТК .....	577
§ 26.4. Характеристики ПТК, блоків уведення/виведення та пультів оператора.....	579
§ 26.5. Динаміка і надійність роботи ПТК.....	580
§ 26.6. Програмне забезпечення та організаційно-економічні фактори впровадження ПТК.....	581
§ 26.7. Особливості вибору і організації ПТК для конкретного об'єкта.....	586



Контрольні запитання .....	587
Коментарі.....	588
<b>Розділ 27. Пошук та ліквідація несправностей.....</b>	<b>589</b>
27.1. Основні визначення.....	589
27.2. Загальні рекомендації для пошуку несправностей.....	590
27.3. Методи пошуку несправностей .....	592
Контрольні запитання .....	601
Задачі для самостійного розв'язування.....	602
Коментарі.....	602
<b>Розділ 28. Діагностування несправностей із використанням тестів.....</b>	<b>603</b>
28.1. Основні визначення тестів.....	603
28.2. Основи тест процедур.....	606
28.3. Тестування комбінаційних пристроїв методом Елдріда .....	609
28.4. Тестування комбінаційних пристроїв методом активізації одновимірного шляху.....	610
28.5. Тестування пристроїв із пам'яттю.....	613
28.6. Тестування процесорних пристроїв.....	623
Контрольні запитання .....	625
Задачі для самостійного розв'язування.....	625
Коментарі.....	626
<b>Література.....</b>	<b>627</b>