

*В. М. Рябенський, В. Я. Жуйков, В. Д. Гулий*

---

---

# **ЦИФРОВА СХЕМОТЕХНІКА**

---

---

**Навчальний посібник**

*Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України  
для студентів вищих навчальних закладів*

Видавництво “Новий Світ-2000”  
Львів — 2020

УДК 621.38.061(075.8)

ББК 32.844я73

Р 98

*Гриф надано Міністерством освіти та науки України  
(лист № 1/4-18-Г-1385 від 25.12.2006 р.)*

**Рецензенти:**

**Кондратенко Ю. П.** — д. т. н., професор Миколаївського державного університету ім. П. Могили;

**Павлов Р. В.** — д. т. н., професор Миколаївського національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова.

**Рябенський В. М., Жуйков В. Я., Гулий В. Д.**

**Р 98** Цифрова схемотехніка: Навч. посібник. — Львів: “Новий Світ-2000”, 2020. — 736 с.

ISBN 978-966-418-067-9

“Новий Світ-2000”

Розглянуто теоретичні основи опису електричних сигналів аналогового, дискретного та цифрового типів, методи мінімізації та перетворення логічних функцій, характеристики завод і корегуючих кодів.

Описано структури базових логічних елементів різних технологій виконання та особливості їх використання у цифрових пристроях. Розглянуто типові комбінаційні пристрої: мультиплексори, дешифратори, компаратори, суматори, арифметично-логічні пристрої, пристрої контролю та ін.

Викладено принципи побудови та функціонування послідовнісних пристроїв (тригерів, регістрів, лічильників) з численними прикладами їх використання.

Розглянуто питання синтезу та аналізу функціонально стійких скінченних автоматів асинхронного та синхронного типів.

Значну увагу приділено пристроям оперативної і постійної пам'яті, використанню їх для побудови комбінаційних пристроїв та мікропрограмних автоматів.

Окремий розділ присвячений пристроям на основі програмованих логічних структур: програмованих логічних матриць, базових матричних кристалів та ін. Викладено особливості їх проектування з використанням САПР MAX+plus II.

Наведено значну кількість практичних схем реалізації різноманітних імпульсних пристроїв на базі цифрових інтегральних схем.

Теоретичний матеріал супроводжується великою кількістю вправ і завдань, пов'язаних з реалізацією конкретних цифрових пристроїв.

Посібник призначений для студентів, що навчаються за напрямом “Електроніка”, може бути корисним студентам суміжних напрямів навчання та фахівцям електронної техніки, які спеціалізуються в галузі розробки, виготовлення й експлуатації цифрових пристроїв та систем.

© Рябенський В. М., Жуйков В. Я.,

Гулий В. Д., 2020

© “Новий Світ-2000”, 2020

ISBN 978-966-418-067-9

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЛМ – арифметично-логічний пристрій

АМ – амплітудна модуляція

АІМ – амплітудно-імпульсна модуляція

БіКМОН – поєднання технологій КМОН з біполярними транзисторними ключами на виході

БМК – базовий матричний кристал

БТ – багатомітерний транзистор

ВІС – велика інтегральна схема

ЕЗЛ – емітерно-зв'язана логіка

ЕП – елемент пам'яті

ЗП – запам'ятовуючий пристрій

ДТЛ – діодно-транзисторна логіка

ДНФ – диз'юнктивна нормальна форма запису логічних функцій

ДДНФ – досконала диз'юнктивна нормальна форма запису логічних функцій

ДКНФ – досконала кон'юнктивна нормальна форма запису логічних функцій

ІМС – інтегральна мікросхема

ІС – інтегральна схема

ІКМ – імпульсно-кодова модуляція

ІЛ – інтегральна інжекційна логіка

КНФ – кон'юнктивна нормальна форма запису логічних функцій

КМОН (CMOS) – комплементарні МОН-структури

ЛЕ – логічний елемент

ЛІЗМОН – МОН структури з лавинною інжекцією заряду

МОН – структура на базі з'єднання метал-окисел-напівпровідник

МС – мікросхема

НВІС – надвелика інтегральна схема

ПЗЗ – прилад з зарядовим зв'язком

ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій

ПКЧ – перетворювач код-частота

ПЛІС – програмована логічна інтегральна схема

ПЛМ – програмована логічна матриця  
ПМД – послідовність максимальної довжини  
ПМЛ – програмована матрична логіка  
ПТП – початкова таблиця переходів скінченного автомата  
ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій  
РПЗП – репрограмований постійний запам'ятовуючий пристрій  
РТЛ – резистивно-транзисторна логіка  
ТТЛ (TTL) – транзисторно-транзисторна логіка  
ТТЛШ – транзисторно-транзисторна логіка з діодами Шоткі  
ФАПЧ – фазове автопідстроювання частоти  
ФД – фазовий детектор  
ФМ – фазова модуляція  
ФІМ – фазо-імпульсна модуляція  
ФНЧ – фільтр нижніх частот  
ЦА – цифровий автомат  
ЦІС – цифрова інтегральна схема  
ЧМ – частотна модуляція  
ЧІМ – частотно-імпульсна модуляція  
ШІМ – широтно-імпульсна модуляція  
CPLD – Complex Programmable Logic Device  
EPROM ( РПЗП) – Electrically Programmable ROM  
PROM (РПЗП) – Programmable Read Only Memory  
FPGA – Field Programmable Gate Array  
Flex – Flexible Logic Element Matrix  
GA (БМК) – Gate Array  
ISP – In-System Programming  
JFET – Junction Field Effect Transistor  
JTAG – Joint Test Action Group  
MESFET – Metal Semiconductor Field Effect Transistor  
PAL (ПМЛ) – Programmable Array Logic  
PLA (ПЛМ) – Programmable Logic Array  
SOC – System on Chip  
SPI – Serial Peripheral Interface

# ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	12
<b>РОЗДІЛ 1. СИГНАЛИ ТА ЇХ ПЕРЕТВОРЕННЯ</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1. Типи сигналів</b> .....	16
1.1.1. Аналогові сигнали .....	16
1.1.2. Імпульси, імпульсні послідовності .....	18
1.1.3. Оцифрування аналогових сигналів .....	25
<b>1.2. Системи числення</b> .....	27
1.2.1. Основні визначення .....	27
1.2.2. Переведення чисел з однієї позиційної системи числення в іншу .....	29
1.2.3. Переведення цілого числа з десяткової системи числення в $P$ -кову .....	31
<b>1.3. Коди та їх характеристика</b> .....	34
1.3.1. Коди з паралельною формою подання інформації ....	34
1.3.2. Послідовні формати передавання даних .....	40
<b>1.4. Форми зображення чисел</b> .....	43
<b>1.5. Виконання арифметичних операцій</b> .....	48
<b>1.6. Основи алгебри логіки</b> .....	54
1.6.1. Основні визначення .....	54
1.6.2. Закони та тотожності алгебри логіки .....	57
1.6.3. Способи задання логічних функцій .....	59
1.6.4. Мінімізація логічних функцій .....	71
<b>1.7. Коди, що знаходять та виправляють помилки</b> .....	78
1.7.1. Особливості кубічної форми подання логічних функцій .....	78
1.7.2. Коди з виявленням і корекцією помилок .....	80
1.7.3. Коди, що коригують поодинокі помилки і виявляють помилки більшої кратності .....	81
1.7.4. Двовимірні коди .....	85
<b>1.8. Завади та їх характеристики</b> .....	86
<i>Контрольні питання</i> .....	94
<i>Вправи і завдання</i> .....	97

<b>РОЗДІЛ 2. СТРУКТУРИ БАЗОВИХ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ....</b>	<b>102</b>
<b>2.1. Характеристика цифрових сигналів .....</b>	<b>102</b>
<b>2.2. Транзисторні ключові схеми .....</b>	<b>105</b>
2.2.1. Ключі на біполярних транзисторах .....	105
2.2.2. Ключі на польових транзисторах .....	115
<b>2.3. Технічні характеристики базових логічних елементів та особливості їх використання .....</b>	<b>121</b>
2.3.1. Транзисторно-транзисторна логіка (ТТЛ) .....	121
2.3.2. Особливості використання мікросхем ТТЛ .....	128
2.3.3. Мікросхеми КМОН-структури .....	134
2.3.4. Особливості експлуатації мікросхем КМОН .....	149
2.3.5. Базові елементи БіКМОН-технології .....	158
2.3.6. Інтегральна інжекційна логіка .....	162
2.3.7. Базові елементи емітерно-зв'язаної логіки (ЕЗЛ) ...	165
2.3.8. Прилади з перенесенням заряду .....	169
2.3.9. Арсенід-галієві логічні елементи .....	172
2.3.10. Логічні ключі, що використовують збіднені MESFETи .....	175
2.3.11. Логічні елементи на основі діодів Шоткі (SDFЛ) ...	177
2.3.12. Буферизована FET-логіка .....	177
<b>2.4. Моделі логічних елементів .....</b>	<b>178</b>
<i>Контрольні питання .....</i>	<i>180</i>
<i>Вправи і завдання .....</i>	<i>183</i>

<b>РОЗДІЛ 3. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ .....</b>	<b>186</b>
<b>3.1. Використання базових логічних елементів .....</b>	<b>186</b>
<b>3.2. Комутатори .....</b>	<b>191</b>
3.2.1. Мультиплексори .....	192
3.2.2. Пристрої зсуву .....	199
3.2.3. Селектори-мультиплексори .....	200
<b>3.3. Кодувальні та декодувальні пристрої .....</b>	<b>201</b>
3.3.1. Дешифратори-демультиплексори .....	208
<b>3.4. Обчислювальні пристрої .....</b>	<b>216</b>
3.4.1. Суматори .....	216
3.4.2. Перемножувачі .....	222
3.4.3. Компаратори .....	223
3.4.4. Арифметично-логічні пристрої .....	226

<b>3.5. Пристрої контролю</b> .....	228
3.5.1. Контроль парності .....	228
3.5.2. Корекція помилок .....	231
3.5.3. Контроль логічних перетворень .....	236
<b>3.6. Буферні елементи</b> .....	237
<b>3.7. Перехідні процеси в логічних схемах</b> .....	239
<i>Контрольні питання</i> .....	246
<i>Вправи і завдання</i> .....	247
<b>РОЗДІЛ 4. ТРИГЕРИ. ТРИГЕРНІ СХЕМИ</b> .....	<b>254</b>
<b>4.1. RS-тригери</b> .....	255
<b>4.2. Загальна характеристика тригерних схем</b> .....	262
<b>4.3. D-тригери</b> .....	267
<b>4.4. JK-тригери</b> .....	277
<b>4.5. T- та TV-тригери</b> .....	285
<b>4.6. Несиметричні тригери</b> .....	288
<b>4.7. Синхронізація в цифрових схемах</b> .....	290
4.7.1. Способи синхронізації та особливості їх використання .....	290
4.7.2. Узгодження вхідних сигналів .....	297
4.7.3. Синхронізатори .....	299
4.7.4. Практичні проблеми проектування синхронних цифрових схем .....	303
<i>Контрольні питання</i> .....	306
<i>Вправи і завдання</i> .....	307
<b>РОЗДІЛ 5. СКІНЧЕННІ АВТОМАТИ</b> .....	<b>315</b>
<b>5.1. Загальна характеристика скінченних автоматів</b> .....	315
<b>5.2. Автомати Мілі і Мура</b> .....	319
5.2.1. Закони функціонування автоматів .....	319
5.2.2. Способи опису роботи автоматів .....	322
5.2.3. Еквівалентні перетворення автоматів .....	326
<b>5.3. Основи аналізу цифрових автоматів</b> .....	328
5.3.1. Аналіз автоматів з D-тригерами .....	328
5.3.2. Особливості аналізу скінченних автоматів з JK-тригерами .....	336

<b>5.4. Синтез скінченних автоматів</b> .....	341
5.4.1. Основи синтезу скінченних автоматів .....	341
5.4.2. Синтез асинхронних імпульсних автоматів .....	369
5.4.3. Особливості синтезу синхронних автоматів .....	371
5.4.4. Використання теореми Шеннона у синтезі скінченних автоматів на основі JK-тригерів .....	375
<i>Контрольні питання</i> .....	377
<i>Вправи і завдання</i> .....	377
<b>РОЗДІЛ 6. ЛІЧИЛЬНИКИ ІМПУЛЬСІВ</b> .....	<b>384</b>
<b>6.1. Типи лічильників та особливості їх роботи</b> .....	384
6.1.1. Загальна характеристика лічильників .....	384
6.1.2. Асинхронні лічильники .....	385
6.1.3. Лічильники з довільним модулем рахунку .....	391
6.1.4. Синхронні лічильники .....	395
<b>6.2. Серійні мікросхеми лічильників та їх використання</b> ....	401
6.2.1. Лічильники ТТЛ .....	401
6.2.2. Лічильники КМОН .....	412
<b>6.3. Галузі використання лічильників</b> .....	419
<b>6.4. Скінченні автомати на основі лічильників</b> .....	429
<i>Контрольні питання</i> .....	431
<i>Вправи і завдання</i> .....	432
<b>РОЗДІЛ 7. РЕГІСТРИ</b> .....	<b>438</b>
<b>7.1. Загальне поняття про регістри</b> .....	438
<b>7.2. Регістри пам'яті</b> .....	439
<b>7.3. Конвеєрні пристрої</b> .....	449
<b>7.4. Регістри зсуву</b> .....	450
<b>7.5. Приклади мікросхем регістрів та особливості їх використання</b> .....	458
7.5.1. Паралельні регістри .....	458
7.5.2. Регістрові файли .....	462
7.5.3. Послідовні регістри .....	463
<b>7.6. Напрямки (галузі) використання регістрів</b> .....	474
7.6.1. Забезпечення обміну інформацією у послідовному форматі .....	474



7.6.2. Регістрові лічильники імпульсів (розподільувачі) ...	476
7.6.3. Лічильники Джонсона .....	481
7.6.4. Поліноміальні пристрої кодування та фільтрації ...	488
7.6.5. Системи контролю цифрової апаратури .....	491
7.6.6. Використання реєстрів для обчислення контрольної суми .....	492
<i>Контрольні питання</i> .....	495
<i>Вправи і завдання</i> .....	497
<b>РОЗДІЛ 8. ЗАПАМ'ЯТОВУЮЧІ ПРИСТРОЇ</b> .....	<b>500</b>
<b>8.1. Постійні запам'ятовуючі пристрої</b> <b>(принципи побудови, типи, характеристики)</b> .....	<b>500</b>
8.1.1. Одновимірні ПЗП .....	500
8.1.2. Двовимірне декодування в ПЗП .....	506
8.1.3. Мікросхеми ПЗП .....	509
<b>8.2. Репрограмовані ПЗП</b> .....	<b>512</b>
8.2.1. Принципи побудови репрограмованих ПЗП .....	512
8.2.2. Мікросхеми РПЗП .....	517
8.2.2.1. Паралельні EEPROM .....	517
8.2.2.2. Послідовні EEPROM .....	521
8.2.2.3. EEPROM із трипровідною послідовною шиною .....	529
8.2.3. Флеш-пам'ять .....	533
8.2.3.1. Основи побудови флеш-пам'яті .....	533
8.2.3.2. Мікросхеми флеш-пам'яті .....	537
<b>8.3. Використання ПЗП</b> .....	<b>550</b>
8.3.1. Використання ПЗП як універсальних комбінаційних схем .....	550
8.3.2. ПЗП як нелінійні функціональні перетворювачі .....	554
8.3.3. Перетворювачі кодів для матричних індикаторів .....	554
8.3.4. Використання ПЗП для реалізації складних способів модуляції .....	555
8.3.5. Використання ПЗП у генераторах періодичних послідовностей .....	558
8.3.6. Використання ПЗП у скінченних мікропрограмних автоматах .....	561
<b>8.4. Оперативні запам'ятовуючі пристрої</b> .....	<b>567</b>
8.4.1. Статичні ОЗП .....	568

8.4.2. Динамічні ОЗП (DRAM) .....	572
8.4.3. Використання ОЗП .....	576
8.4.3.1. Використання ОЗП як інформаційного буфера ....	580
<i>Контрольні питання</i> .....	585
<i>Вправи і завдання</i> .....	586

**РОЗДІЛ 9. ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПРИБОРІВ НА БАЗІ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ (ПЛІС) ..... 589**

<b>9.1. Основи побудови структур простих ПЛІС</b> .....	589
9.1.1. ПЛМ (програмовані логічні матриці) .....	590
9.1.2. ПМЛ (програмована матрична логіка) .....	592
9.1.3. Мікросхеми програмованої макрологіки .....	594
9.1.4. БМК (базові матричні кристали) .....	594
<b>9.2. Сучасні ПЛІС</b> .....	595
<b>9.3. Основні параметри ПЛІС</b> .....	598
<b>9.4. Основи проектування цифрових пристроїв на ПЛІС в САПР МАХ+plus II</b> .....	605
9.4.1. Загальний опис САПР МАХ+plus II .....	605
9.4.2. Початок роботи із САПР МАХ+plus II .....	607
9.4.3. Реалізація простих логічних пристроїв на базі ПЛІС .....	611
9.4.4. Використання стандартних мікросхем в МАХ+plus II .....	650
9.4.5. Використання нестандартних елементів в МАХ+plus II .....	657
<i>Контрольні питання</i> .....	667

**РОЗДІЛ 10. ІМПУЛЬСНІ ПРИБОРІВ НА БАЗІ ЦИФРОВИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ ..... 669**

<b>10.1. Пристрої формування імпульсів</b> .....	669
10.1.1. Пристрої часових перетворень на основі логічних елементів .....	669
10.1.2. Використання зовнішніх RC-ланок .....	671
10.1.3. Пристрої перетворення форми імпульсів .....	683
<b>10.2. Одновібратори</b> .....	684
10.2.1. Одновібратори на основі логічних елементів .....	685

## **Зміст**

---

10.2.2. Спеціалізовані мікросхеми одновібраторів .....	688
10.2.3. Одновібратори на основі інтегрального таймера КР1006ВИ1 .....	690
10.2.4. Одновібратори на основі тригерів .....	693
<b>10.3. Генератори прямокутних імпульсів .....</b>	<b>695</b>
10.3.1. Мультивібратори на основі логічних елементів ...	698
10.3.2. Мультивібратори на основі тригерів .....	702
10.3.3. Мультивібратори на основі мікросхем одновібраторів .....	704
10.3.4. Мультивібратори на основі таймера КР1006ВИ1 ...	705
10.3.5. Кварцові генератори .....	708
<b>10.4. Універсальні генераторні мікросхеми .....</b>	<b>714</b>
10.4.1. Мікросхема К1108ПП1 та її використання .....	714
10.4.2. Генератор із системою ФАПЧ К564ГГ .....	719
<i>Контрольні питання .....</i>	<i>723</i>
<i>Вправи і завдання .....</i>	<i>725</i>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>733</b>

## ВСТУП

*Ера цифрової напівпровідникової електроніки розпочалась у 60-ті роки минулого століття з появою резистивно-транзисторної логіки (РТЛ), розробленої американською фірмою Fairchild. Під час використання РТЛ виявилися переваги цифрової форми обробки сигналів, але недоліки цієї технології стали причиною витіснення РТЛ більш надійною діодно-транзисторною логікою (ДТЛ). Остання у вітчизняній практиці була реалізована в серії “Логіка Т” та інших. Досить швидко їй на зміну прийшла транзисторно-транзисторна логіка (ТТЛ) як надійніша і як така, що має значно кращі масо-габаритні показники. Авторство ТТЛ належить фірмі Silvania, проте масового використання ТТЛ інтегральні схеми (ІС) набули після створення стандартних серій. Першу масову стандартну серію 74xx розробила фірма Texas Instrument. Технічні характеристики різних серій ТТЛ розкрили широкий простір у розвитку цифрової схемотехніки, що своєю чергою привело до подальшого зростання вимог до логічних елементів (ЛЕ) на біполярних транзисторах, а також до схемотехніки на їх основі.*

*Наприкінці 60-х років з’явилися ЛЕ на польових транзисторах. Спочатку використовувались р-МОН- і n-МОН-технології, які мали значні переваги порівняно з біполярною, завдяки чому й почали використовуватись у виготовленні великих інтегральних схем (ВІС). За ними досить швидко з’явилась КМОН-технологія, ЛЕ якої у статичних режимах практично не споживали електроенергію (розробник – фірма RCA). Перші КМОН ІС мали низькі робочі частоти, були досить чутливими до статичної електрики і мали несумісні з ТТЛ рівні логічних сигналів. Але низька потужність споживання робила застосування КМОН ЛЕ привабливими в апаратурі з батарейним живленням, що і спонукало до їх розвитку.*

*Протягом 70-х років основні напрями розвитку ІС на біполярних і польових транзисторах інтенсивно розвивались. Було розроблено більш розвинуті ТТЛ ІС на транзисторах Шоткі (ТТЛШ), з’явилися й інтенсивно розвивались ІС емітерно-зв’язаної логіки (ЕЗЛ), розвивалась інжекційна логіка (ІЛ – інтеграль-*

на інжекційна логіка) та інші. Розвиток інтегральної схемотехніки відбувався на якісному рівні – узгоджувались рівні вхідних і вихідних сигналів, покращувалась заводостійкість, підвищувались робочі частоти, але КМОН ІС значно відставали за частотними властивостями від ЛЕ на біполярних транзисторах.

У 80-ті роки вперше з'явилась серія КМОН ІС (74НС), яка за своїми частотними властивостями не поступалась ЛЕ на біполярних транзисторах. Пізніше були випущені ще досконаліші, з більшими робочими частотами, більш технологічні серії, що призвело до використання КМОН-технологій для виготовлення мікроконтролерів, однокристальних ЕОМ, програмованих логічних матриць (ПЛМ), які в останньому десятиріччі витіснили з практики дискретні компоненти невисокого рівня інтеграції.

Сучасний рівень електронної техніки значною мірою визначається розвитком технологій елементів цифрової схемотехніки. Зменшення розміру дискретного транзистора і збільшення площі використовуваних кремнієвих пластин дають можливість забезпечувати схемотехнічну реалізацію алгоритмів досить високої складності. Це дало поштовх у розвитку комп'ютерної техніки, телекомунікацій, мікропроцесорної техніки для управління складними технологічними процесами, побутової електроніки, пристроїв енергетичної електроніки. Поряд з розвитком технологій інтенсивно вдосконалюються програмні засоби, які значно полегшують завдання проектування і моделювання складних електронних пристроїв на базі мікроконтролерів, однокристальних ЕОМ, ПЛМ та ін.

Оволодіння цими досягненнями можливе лише на основі знань фундаментальних основ побудови пристроїв та алгоритмів цифрової електроніки, базових алгоритмів функціонування цифрових систем й умінь грамотно і коректно їх використовувати у взаємозв'язку.

Запропонована книга призначена для вивчення основ цифрової схемотехніки, її базових алгоритмів, різноманітних аспектів їх використання для розв'язання практичних задач.

У першому розділі посібника розглянуто аналогові, дискретні та цифрові сигнали, системи числення, коди, завади та їх ха-

рактики. Як базовий математичний апарат для опису та моделювання цифрових пристроїв використовують булеву алгебру.

Другий розділ присвячений опису базових ЛЕ та особливостей їх використання у цифрових ІС. Розглянуто ЛЕ ТТЛ, КМОП-, Бі КМОП-технологій виготовлення, особливості схемотехніки, основні статичні та динамічні характеристики. Окрім ЛЕ названих технологій, розглянуті ЕЗЛ, І ІЛ, арсенід-галієві ЛЕ та ін.

У розділі 3 викладено принципи побудови та використання комбінаційних пристроїв (КП): комутаторів, дешифраторів, суматорів, перемножувачів, компараторів, арифметично-логічних пристроїв, пристроїв контролю та ін.

Тригери як елементарні елементи пам'яті, асинхронні та синхронні скінченні автомати Мілі та Мура на їх основі описано в розділах 4 – 5.

У розділах 6 та 7 розглянуто питання структурно-функціональної організації лічильників та регістрів, схемотехніку найбільш уживаних їх видів, наведено описи серійних мікросхем цього типу, показано приклади їх використання.

У 8 та 9 розділах йдеться про особливості застосування постійних та оперативних запам'ятовуючих пристроїв та програмованих логічних інтегральних структур (ПЛІС) для реалізації КП і скінченних автоматів. Описано САПР МАХ+plus II, яку використовують для проектування цифрових пристроїв на основі ПЛІС.

Імпульсні пристрої на базі цифрових ІС розглянуто у розділі 10.

Теоретичний матеріал посібника супроводжується численними прикладами з наведеними розв'язуваннями. Приклади доповнюють та конкретизують теоретичні відомості, тому засвоєння їх обов'язкове.

Наприкінці кожного розділу подано контрольні питання, а також вправи і завдання, розв'язання яких буде свідченням засвоєння матеріалу розділу.

Навчальний посібник написано на основі досвіду викладання відповідного курсу за програмами бакалаврської, інженерної та магістерської підготовки студентів напряму “Електроніка” в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут” та Миколаївському національному університеті кораблебудування ім. адм. Макарова.

## **Вступ**

---

*Автори висловлюють щирю подяку асист. Буряку В.С. та інж. Козиненко О. І. за надану допомогу у створенні посібника.*

*Відгуки та побажання щодо змісту навчального посібника просимо надсилати на адресу видавництва.*