

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

М.П. МАТВІЄНКО

ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ

Підручник



Київ 2018

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».

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 № 10 від 20 квітня 2017 р.

Матвієнко М. П.

М33 Проектування цифрових пристроїв : Підручник. – К. :
Видавництво Ліра-К, 2018. – 364 с.

ISBN 978-617-7605-59-0

Для опанування принципами проектування у підручнику викладено логічні, алгоритмічні, автоматні та схемотехнічні основи проектування цифрових пристроїв (ЦП). Розглянуто схемотехнічне проектування різних логічних елементів, алгоритмічне проектування комбінаційних пристроїв і ЦП із пам'яттю, проектування ЦП з використанням теорії автоматів і матричних логічних структур, інтегрованих ЦП й перетворювачів інформації, у тому числі і їхнє перспективне проектування для побудови надсучасних ЦАП і АЦП. Розглянуто підвищення завадостійкості при проектуванні ЦП, контроль і їх діагностування у процесі функціонування, а також наведено різні методи проектування самокоректувальних ЦП.

Підручник призначено для студентів, аспірантів, викладачів відповідних спеціальностей. Він може бути корисним для працівників промисловості та наукових установ.

УДК 517.1

ISBN 978-617-7605-59-0

© Матвієнко М. П., 2018
© Видавництво Ліра-К, 2018

ЗМІСТ

Передмова.....	3
Розділ 1. Визначення проектування ЦП	
§ 1.1. Що розуміють під цифровим проектуванням?	5
§ 1.2. Рівні проектування ЦП.....	6
§ 1.3. Роль програмування у проектуванні ЦП.....	7
Контрольні запитання	9
Коментарі.....	9
Розділ 2. Теоретичні основи проектування ЦП	
§ 2.1. Логічні основи проектування ЦП	10
§ 2.2. Кодувальні основи проектування самокоректувальних ЦП.....	20
Контрольні запитання	27
Задачі для самостійного розв'язування	28
Коментарі.....	28
Розділ 3. Проектування логічних елементів ЦП	
§ 3.1. Логічні сигнали й елементи.....	29
§ 3.2. Типи логічних елементів.....	31
§ 3.3. Діодні логічні елементи	32
§ 3.4. Діодно-транзисторні логічні елементи	33
§ 3.5. Транзисторно-транзисторні логічні елементи	34
§ 3.6. Транзисторно-транзисторні логічні елементи з діодами й транзисторами Шотткі	37
§ 3.7. Емітерно-зв'язні логічні елементи	38
§ 3.8. Інтегрально-інжекційні логічні елементи	41
§ 3.9. Логічні елементи на МОН-транзисторах	42
§ 3.10. Логічні елементи на КМОН-структурі	44
§ 3.11. Логічні ключі на КМОН-структурі	45
§ 3.12. Логічний елемент з петлею гістерезису на КМОН-структурі	46
§ 3.13. КМОН-буфер з трьома станами	47
§ 3.14. Типи вихідних каскадів у логічних елементах	48
§ 3.15. Швидкодія логічних елементів.....	52
§ 3.16. Логічні рівні й запас завадостійкості	52
§ 3.17. Коефіцієнт розгалуження по виходу	53
§ 3.18. Загальні рекомендації з проектування невикористаних входів	55
§ 3.19. Типові ситуації проектування ЦП з використанням інтегральних мікросхем	57
Контрольні запитання	59
Задачі для самостійного розв'язування	59
Коментарі.....	59
Розділ 4. Проектування стандартних комбінаційних ЦП	
§ 4.1. Проектування дешифраторів і шифраторів.....	60
§ 4.2. Проектування мультиплексорів і демультиплексорів.....	63

§ 4.3. Проектування суматорів та арифметико-логічних пристроїв	66
§ 4.4. Проектування компараторів.....	71
Контрольні запитання.....	72
Коментарі.....	72
Розділ 5. Проектування нестандартних комбінаційних ЦП	
§ 5.1. Проектування одновихідних пристроїв на логічних елементах.....	73
§ 5.2. Проектування пристроїв на мультиплексорах	75
§ 5.3. Проектування багатовихідних пристроїв на логічних елементах.....	77
§ 5.4. Проектування багатовихідних пристроїв на дешифраторах	79
Контрольні запитання.....	80
Задачі для самостійного розв'язування	81
Коментарі.....	81
Розділ 6. Проектування тригерів	
§ 6.1. Класифікація тригерів	82
§ 6.2. Проектування RS-тригерів	84
§ 6.3. Проектування D-тригера	87
§ 6.4. Проектування T-тригера.....	88
§ 6.5. Проектування JK-тригера.....	89
§ 6.6. Проектування двоступінчастих тригерів.....	90
§ 6.7. Проектування тригерів, які перемикаються по фронту	92
§ 6.8. Проектування тестуючих тригерів.....	93
§ 6.9. Проектування часу передустановлення й затримки у синхронних тригерах	94
§ 6.10. Особливості проектування деяких тригерів.....	95
Контрольні запитання.....	96
Коментарі.....	96
Розділ 7. Проектування регістрів і регістрових файлів	
§ 7.1. Загальні визначення	97
§ 7.2. Проектування зсувових регістрів	98
§ 7.3. Проектування реверсивних регістрів.....	98
§ 7.4. Проектування регістрових файлів.....	99
Контрольні запитання.....	100
Коментарі.....	100
Розділ 8. Проектування лічильників	
§ 8.1. Основні відомості про лічильники	101
§ 8.2. Класифікація лічильників	101
§ 8.3. Проектування двійкових лічильників.....	102
§ 8.4. Проектування двійково-кодovаних лічильників із задовільним модулем	105
§ 8.5. Проектування лічильників з недвійковим кодуванням	106
§ 8.6. Проектування поліноміальних лічильників	111
Контрольні запитання.....	114
Коментарі.....	114
Розділ 9. Проектування ПЗП	
§ 9.1. Основи функціонування ПЗП	115
§ 9.2. Проектування ПЗП для реалізації довільних комбінаційних логічних функцій	115
§ 9.3. Проектування внутрішньої структури ПЗП	116

§ 9.4. Проектування імпульсного живлення ПЗП.....	118
§ 9.5. Серійні ПЗП.....	119
Контрольні запитання	124
Коментарі.....	124
Розділ 10. Статичні та динамічні ОЗП	
§ 10.1. Статичні ОЗП.....	125
§ 10.2. Динамічні ОЗП.....	127
Контрольні запитання	130
Коментарі.....	130
Розділ 11. Проектування перетворювачів інформації ЦП	
§ 11.1. Проектування цифро-аналогових перетворювачів.....	131
§ 11.2. Проектування аналого-цифрових перетворювачів	134
Контрольні запитання	137
Коментарі.....	137
Розділ 12. Проектування допоміжних елементів ЦП	
§ 12.1. Проектування елементів затримки.....	138
§ 12.2. Проектування формувачів тривалості цифрових сигналів.....	140
§ 12.3. Проектування різницевих перетворювачів і детекторів станів.....	141
§ 12.4. Проектування високочастотних генераторів	142
§ 12.5. Проектування високочотчних генераторів.....	143
§ 12.6. Проектування низькочастотних генераторів	146
§ 12.7. Проектування таймерів	147
§ 12.8. Проектування одинвібраторів	150
§ 12.9. Проектування синхронізаторів.....	152
§ 12.10. Проектування «арбітрів» станів	153
§ 12.11. Проектування елементів індикації	154
§ 12.12. Проектування перетворювачів рівнів	157
§ 12.13. Проектування невикористаних входів, нарощування входів, яких не вистачає і зменшення навантаження на виходах логічних елементів в інтегральних мікросхемах	159
Контрольні запитання	161
Задачі для самостійного розв'язування	162
Коментарі.....	162
Розділ 13. Проектування тактових і синхронних сигналів ЦП	
§ 13.1. Загальні відомості та основні принципи	163
§ 13.2. Проектування тактових сигналів	165
§ 13.3. Розрахунок параметрів тактових сигналів	167
§ 13.4. Проектування структури та елементів системи тактування.....	168
§ 13.5. Проектування фазності тактування	170
§ 13.6. Проектування усунення розфазування тактових сигналів	172
Контрольні запитання	175
Коментарі.....	175
Розділ 14. Інтерфейс JTAG та його використання при проектуванні ЦП.	
§ 14.1. Основні визначення інтерфейсу JTAG.....	176
§ 14.2. Периферійне сканування ВІС.....	176

§ 14.3. Використання інтерфейсу <i>JTAG</i> для тестування ВІС.....	178
§ 14.4. Розширення інтерфейсу <i>JTAG</i> при проектуванні ВІС.....	180
Контрольні запитання.....	181
Коментарі.....	181
Розділ 15. Методи підвищення завадостійкості ЦП при проектуванні	
§ 15.1. Загальні визначення.....	182
§ 15.2. Види імпульсних завад і запобігання їм.....	184
§ 15.3. Проектування передачі логічних сигналів по довгих лініях.....	185
§ 15.4. Методи підвищення імпульсної завадостійкості інтегральних мікросхем.....	187
§ 15.5. Методи зменшення завад у шинах джерел живлення.....	190
§ 15.6. Використання екранів для зменшення імпульсних завад.....	192
Контрольні запитання.....	193
Коментарі.....	193
Розділ 16. Проектування ЦП з контролем функціонування та автоматичним діагностуванням	
§ 16.1. Основні визначення.....	194
§ 16.2. Проектування контролю ЦП із використанням мажоритарних елементів.....	194
§ 16.3. Проектування контролю ЦП із використанням mod 2.....	195
§ 16.4. Проектування контролю ЦП із використанням кодів Хеммінга.....	197
§ 16.5. Проектування ЦП із застосуванням засобів автоматичного діагностування.....	199
Контрольні запитання.....	203
Задачі для самостійного розв'язування.....	203
Коментарі.....	203
Розділ 17. Проектування уведення, передавання та виведення інформації у ЦП	
§ 17.1. Проектування уведення інформації від контактних датчиків.....	204
§ 17.2. Використання оптронів при проектуванні зв'язку та передавання інформації.....	204
§ 17.3. Проектування уведення інформації від датчиків з використанням оптронів.....	208
§ 17.4. Проектування виведення інформації та керування виконавчими механізмами.....	210
§ 17.5. Проектування комутації аналогових сигналів і підключення їх до операційних підсилювачів.....	212
Контрольні запитання.....	214
Коментарі.....	215
Розділ 18. Проектування ЦП з використанням теорії автоматів	
§ 18.1. Основні визначення.....	216
§ 18.2. Проектування ЦП з використанням <i>RS</i> -тригерів.....	220
§ 18.3. Проектування ЦП з використанням <i>D</i> -тригерів.....	222
§ 18.4. Проектування ЦП з використанням <i>JK</i> -тригерів.....	225
§ 18.5. Проектування ЦП з використанням коду «1 із <i>N</i> ».....	225
Контрольні запитання.....	228
Задачі для самостійного розв'язування.....	228
Коментарі.....	228
Розділ 19. Проектування самокоректувальних ЦП	
§ 19.1. Загальний підхід до виправлення помилок при проектуванні.....	229
§ 19.2. Класифікація методів корекції помилок у ЦП.....	230
§ 19.3. Методи корекції помилок при проектуванні синхронних комбінаційних ЦП.....	231

§ 19.4. Методи корекції помилок при проектуванні синхронних ЦП з пам'яттю	233
Контрольні запитання	239
Коментарі.....	239
Розділ 20. Загальні визначення, класифікація та місце програмованої логіки при проектуванні сучасних ЦП	
§ 20.1. Загальні визначення.....	240
§ 20.2. Класифікація спеціалізованих програмованих ІС	241
§ 20.3. Місце програмованої логіки при проектуванні сучасних ЦП.....	242
Контрольні запитання	243
Коментарі.....	243
Розділ 21. SPLD-прості програмовані логічні пристрої	
§ 21.1. Структурна та функціональна схеми ПЛМ.....	244
§ 21.2. Схемотехніка проектування ЦП на ПЛМ.....	248
§ 21.3. Функціональні різновиди ПЛМ при проектуванні ЦП	251
§ 21.4. Базова структура ПМЛ.....	254
§ 21.5. Функціональні різновиди ПМЛ при проектуванні.....	254
§ 21.6. ПМЛ з поділом кон'юнкторів.....	254
§ 21.7. Проектування ЦП з використанням ПМЛ серії КР 1556.....	255
§ 21.8. Проектування з використанням ПМЛ серії PAL і PLD.....	254
Контрольні запитання	260
Задачі для самостійного розв'язування	260
Коментарі.....	261
Розділ 22. CPLD-складні програмовані логічні пристрої	
§ 22.1. Структура CPLD	262
§ 22.2. Функціональні блоки CPLD	263
Контрольні запитання	268
Коментарі.....	268
Розділ 23. FPGA-програмовані користувачами вентильні матриці	
§ 23.1. Загальні відомості.....	269
§ 23.2. Архітектура та основні блоки FPGA	272
§ 23.3. Проектування ресурсів пам'яті у FPGA	279
§ 23.4. Помножувачі та блоки ЦОС у FPGA	284
§ 23.5. Програмовані аналогові та аналого-цифрові схеми в FPGA.....	286
§ 23.6. Конфігурація програмованих мікросхем.....	292
Контрольні запитання	294
Коментарі.....	294
Розділ 24. Програмовані системи на кристалі	
§ 24.1. Загальні відомості.....	295
§ 24.2. IP-блоки, блокове й платформене проектування	295
§ 24.3. Типи програмованих систем на кристалі	297
§ 24.4. Ядра процесорів	300
§ 24.5. Шинні системи.....	304
§ 24.6. Системи на кристалі мікроконтролерного типу	305
Контрольні запитання	310
Коментарі.....	310

Розділ 25. Базові матричні кристали	
§ 25.1. Основні відомості	311
§ 25.2. Класифікація БМК	312
§ 25.3. Компонентний склад БК БМК	315
§ 25.4. Параметри БМК	316
§ 25.5. Проектування БМК та МАВІС	317
Контрольні запитання.....	318
Коментарі.....	319
Розділ 26. Програмовані логічні контролери	
§ 26.1. Загальні відомості	320
§ 26.2. Загальний опис ПЛК.....	320
§ 26.3. Використання спеціальних модулів та сканерів зв'язку для проектування ЦП.....	323
§ 26.4. Типи ПЛК та їх застосування	326
§ 26.5. Загальний опис, сумісність та застосування мов при програмуванні ПЛК	328
§ 26.6. Мова сходових схем при програмуванні ПЛК за стандартом IEC 61131-3	330
Контрольні запитання.....	333
Коментарі.....	333
Розділ 27. Вбудовані мікроконтролери у ЦП	
§ 27.1. Загальні відомості	334
§ 27.2. Загальний опис мікроконтролерів.....	334
§ 27.3. Основи програмування мікроконтролерів.....	337
§ 27.4. Застосування мікроконтролерів при проектуванні ЦП.....	341
Контрольні запитання.....	342
Задачі для самостійного розв'язування	343
Коментарі.....	343
Розділ 28. Методи й засоби автоматизованого проектування ЦП	
§ 28.1. Загальний опис процесу проектування	344
§ 28.2. Вибір елементної бази для реалізації проекту	346
§ 28.3. Реалізація проектів на кристалах з програмованою логікою	347
§ 28.4. Інструментарій для проектування ЦП	348
§ 28.5. Вибір САПР	349
§ 28.6. Етапи проектування з використанням САПР.....	350
Контрольні запитання.....	353
Коментарі.....	353
Список літератури	354