

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

С.А. Лупенко, В.В. Пасічник, Є.В. Тиш

КОМП'ЮТЕРНА ЛОГІКА

Навчальний посібник

*За загальною науковою редакцією
доктора технічних наук, професора В.В. Пасічника*

*Рекомендовано Вченою радою
Тернопільського національного технічного університету імені
Івана Пулюя*

Видавництво «Магнолія 2006»

Львів 2024

УДК 004.312.466:16(0758)
ББК 32.973-047.20
Л-55

Відтворення цієї книги або будь-якої її частини заборонено без письмової згоди видавництва. Будь-які спроби порушення авторських прав будуть переслідуватися у судовому порядку.

Гриф надано Міністерством освіти і науки України

Рецензенти:

*Виклюк Я.І. – доктор технічних наук, професор (Буковинський університет);
Марценюк В.П. - доктор технічних наук, професор (Тернопільський державний медичний університет імені І.Я. Горбачевського);
Соколовський Я.І. - доктор технічних наук, професор (Національний лісотехнічний університет України).*

Лупенко С.А.

Л-55 **Комп'ютерна логіка** / С.А. Лупенко, В.В. Пасічник, Є.В. Тиш. – Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2024. – 354 с.

ISBN 978-617-574-109-2

ПП «Магнолія 2006»

Даний навчальний посібник присвячено основам логіки функціонування класичних комп'ютерів як детермінованих цифрових автоматів, а саме, у посібнику розглянуто теорію систем числення, форми подання та кодування чисел в комп'ютерах, операції з числами, поданими у формі з фіксованою комою та у формі з плаваючою комою. Розглянуто логічні основи комп'ютерної техніки, алгебри перемикальних функцій, канонічні форми подання перемикальних функцій, методи мінімізації перемикальних функцій, синтез комбінаційних схем у різних елементарних базисах, основи теорії цифрових автоматів з пам'яттю, методи аналізу та синтезу цифрових автоматів з пам'яттю. Також подано відомості про логіку мікропрограмних комп'ютерних систем.

Посібник адресовано студентам вищих навчальних закладів, зокрема тим, які навчаються за напрямками «Комп'ютерна інженерія» та «Комп'ютерні науки».

© Лупенко С.А., Пасічник В.В.,
Тиш Є.В., 2024

© ПП «Магнолія 2006», 2024
ФОП Марченко Т. В., 2024

ISBN 978-617-574-109-2

ЗМІСТ

Передмова наукового редактора	8
Вступне слово авторів	13
РОЗДІЛ 1. КОМП'ЮТЕРНА ЛОГІКА: ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ФУНДАМЕНТАЛЬНІ МОДЕЛІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ	15
1.1. Поняття «Логіка» та історичні передумови виникнення комп'ютерної логіки	15
1.2. Комп'ютер як інформаційна система. Подання інформації в комп'ютерах	16
1.3. Елементи логіки висловлювань та алгебри логіки	19
1.4. Елементи теорії цифрових автоматів та її практичне застосування	22
<i>Висновки</i>	28
<i>Контрольні запитання</i>	29
РОЗДІЛ 2. ПОДАННЯ ЧИСЛОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ. СИСТЕМИ ЧИСЛЕННЯ	31
2.1. Основи систем числення	31
2.2. Позиційні системи числення	33
2.3. Переведення чисел з однієї системи числення в іншу	36
2.3.1. Переведення цілих чисел з однієї позиційної системи числення в іншу	36
2.3.2. Переведення правильних дробів	38
2.3.3. Переведення неправильних дробів	39
2.4. Двійкова система числення	40
2.5. Двійкова система числення з цифрами 1, $\bar{1}$	41
2.6. Шістнадцяткова та вісімкова системи числення	42
2.7. Вибір системи числення для подання даних у цифрових комп'ютерних системах	45
2.8. Форми подання чисел у комп'ютерних системах	46
2.8.1. Форма подання двійкових чисел із фіксованою комою	47
2.8.2. Подання від'ємних чисел у форматі з фіксованою комою	48
2.8.3. Форма подання чисел з плаваючою комою	49
2.9. Похибки подання чисел	50
<i>Висновки</i>	52
<i>Контрольні запитання та завдання</i>	53
РОЗДІЛ 3. АРИФМЕТИЧНІ ДІЇ З ДВІЙКОВИМИ ТА ДЕСЯТКОВИМИ ЧИСЛАМИ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ	55
3.1. Виконання операцій над двійковими числами	55
3.1.1. Формальні правила двійкової арифметики	55
3.1.2. Додавання двійкових чисел	57
3.1.2.1. Алгебраїчне додавання чисел, які подано у формі з фіксованою комою	57
3.1.2.2. Переповнення розрядної сітки	59
3.1.2.3. Алгебраїчне додавання чисел, які подано у формі з	

плаваючою комою.....	60
3.1.3. Множення двійкових чисел	65
3.1.3.1. Множення чисел, які подано у формі з фіксованою комою, на двійковому суматорі прямого коду.....	67
3.1.3.2. Множення чисел, які подано у формі з фіксованою комою, на двійковому суматорі додаткового коду	68
3.1.3.3. Множення чисел на двійковому суматорі зворотного коду	68
3.1.3.4. Множення чисел, які подано у формі з плаваючою комою	69
3.1.4. Ділення двійкових чисел.....	69
3.1.4.1. Ділення двійкових чисел, які подано у формі з фіксованою комою	69
3.1.4.2. Ділення двійкових чисел, які подано у формі з фіксованою комою на суматорах додаткового коду.....	71
3.1.4.3. Особливості ділення чисел, які подано у формі з плаваючою комою	71
3.2. Виконання арифметичних операцій над десятковими числами.....	72
3.2.1. Подання десяткових чисел в Д-кодах	72
3.2.2. Формальні правила порозрядного додавання десяткових чисел в Д-кодах	73
3.2.3. Подання від'ємних чисел у Д-кодах	76
3.2.4. Множення чисел у Д-кодах.....	77
3.2.5. Ділення чисел у Д-кодах	78
3.2.6. Переведення двійкових чисел у Д-коди та навпаки	78
<i>Висновки</i>	79
<i>Контрольні запитання та завдання</i>	80
РОЗДІЛ 4. ТЕОРІЯ АБСТРАКТНИХ ЦИФРОВИХ АВТОМАТІВ	82
4.1. Основні поняття теорії абстрактних автоматів.....	82
4.2. Методи описування та задавання автоматів	85
4.3. Зв'язок між моделями Мілі та Мура	88
4.4. Мінімізація кількості внутрішніх станів абстрактних автоматів	91
4.4.1. Мінімізація кількості внутрішніх станів повністю визначених автоматів	91
4.4.2. Мінімізація кількості внутрішніх станів частково визначених автоматів	94
4.5. Декомпозиція абстрактних автоматів	99
<i>Висновки</i>	106
<i>Контрольні запитання та завдання</i>	106
РОЗДІЛ 5. ЛОГІЧНІ ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ	109
5.1. Основні поняття алгебри логіки.....	109
5.2. Аналітичне подання функцій алгебри логіки	112
5.2.1. Канонічні форми подання логічних функцій	112
5.2.2. Перехід від табличної форми задавання логічних функцій до їх аналітичних форм записування	118
5.2.3. Алгоритм переходу від довільних формул алгебри логіки до	

ДДНФ та ДКНФ.....	119
5.3. Алгебра Жегалкіна.....	121
5.3.1. Аксиоми алгебри Жегалкіна.....	121
5.3.2. Поліном Жегалкіна.....	122
5.4. Алгебри Шеффера та Пірса.....	125
5.5. Лінійні булеві функції.....	129
5.6. Часові булеві функції.....	130
5.7. Повнота та замкненість булевих функцій.....	131
5.7.1. Функціонально повні системи.....	131
5.7.2. Замкнені класи.....	132
5.7.3. Критерій функціональної повноти системи булевих функцій.....	136
5.7.4. Послаблена функціональна повнота.....	137
5.7.5. Передповні класи.....	138
5.8. Мінімізація функцій перемикачів.....	139
5.8.1. Основні поняття.....	139
5.8.2. Графічний метод мінімізації функцій.....	141
5.8.2.2. Діаграми Вейча.....	145
5.8.3. Метод мінімізації Квайна.....	148
5.8.4. Метод мінімізації Квайна–Мак–Класкі.....	150
5.8.5. Метод невизначених коефіцієнтів.....	155
5.8.6. Метод Блейка–Порецького.....	157
5.8.7. Метод Нельсона.....	158
5.8.8. Метод істотних змінних.....	159
5.8.9. Мінімізація кон'юнктивних нормальних форм.....	161
5.8.10. Мінімізація частково визначених функцій.....	164
5.8.11. Мінімізація логічних функцій в алгебрі Жегалкіна.....	166
5.8.12. Мінімізація в алгебрах Шеффера та Пірса.....	169
5.8.13. Мінімізація систем логічних функцій.....	171
<i>Висновки.....</i>	<i>172</i>
<i>Контрольні запитання та завдання.....</i>	<i>173</i>
РОЗДІЛ 6. КОМБІНАЦІЙНІ СХЕМИ. МЕТОДИ СИНТЕЗУ ТА АНАЛІЗУ КОМБІНАЦІЙНИХ СХЕМ.....	178
6.1. Поняття комбінаційної схеми.....	178
6.2. Логічні елементи.....	179
6.3. Характеристики комбінаційних схем.....	181
6.4. Канонічний метод синтезу комбінаційних схем.....	182
6.5. Синтез комбінаційних схем з урахуванням обмежень на коефіцієнти розгалуження та об'єднання за виходом.....	184
6.5.1. Синтез комбінаційних схем з урахуванням обмежень на $K_{роз}$	184
6.5.2. Синтез комбінаційних схем з урахуванням обмеження на $K_{об}$	185
6.6. Методи аналізу комбінаційних схем.....	186
6.6.1. Аналіз комбінаційних схем методом π -алгоритму.....	187
6.6.2. Аналіз комбінаційних схем методом синхронного моделювання.....	190

6.6.3. Аналіз комбінаційних схем методом асинхронного моделювання.....	191
6.6.3.1. Статичний ризик збою	191
6.6.3.2. Динамічний ризик збою.....	195
6.7. Типові комбінаційні схеми.....	196
6.7.1. Суматори.....	196
6.7.2. Дешифратори та шифратори	200
6.7.3. Мультиплексори та демультиплексори.....	205
6.7.4. Кодоперетворювачі	210
6.7.5. Пристрої порівняння	212
6.7.6. Арифметико-логічні пристрої	213
6.7.7. Матричні помножувачі.....	215
6.7.8. Лінійні комбінаційні схеми.....	216
6.8. Тригери	220
6.8.1. <i>RS</i> -тригер.....	222
6.8.1.1. Асинхронний <i>RS</i> -тригер.....	222
6.8.1.2. Синхронний <i>RS</i> -тригер.....	224
6.8.2. Тактовий <i>D</i> -тригер.....	226
6.8.3. Лічильний <i>T</i> -тригер.....	228
6.8.4. <i>JK</i> –тригер.....	229
6.9. Регістри та лічильники.....	230
6.10. Програмовані логічні матриці	236
<i>Висновки</i>	242
<i>Контрольні запитання та завдання</i>	243
РОЗДІЛ 7. СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ ЦИФРОВИХ АВТОМАТІВ	247
7.1. Основна задача теорії структурного синтезу автоматів	247
7.2. Теорема про структурну повноту	249
7.3. Синтез структурної схеми автомата.....	250
7.4. Синхронізація в цифрових автоматах.....	252
7.5. Канонічний метод структурного синтезу цифрових автоматів	254
7.6. Кодування станів автомата та гонки в автоматах.....	271
7.7. Кодування станів та складність комбінаційної схеми автомата.....	274
7.7.1. Алгоритм кодування абстрактних автоматів, побудованих на <i>D</i> -тригерах	274
7.7.2. Евристичний алгоритм кодування внутрішніх станів абстрактних автоматів	276
7.7.3. Сусіднє кодування логічно суміжних станів абстрактних автоматів.....	282
<i>Висновки</i>	284
<i>Контрольні запитання та завдання</i>	285
РОЗДІЛ 8. МІКРОПРОГРАМНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ	289
8.1. Принцип мікропрограмного керування. Концепція операційного та керуючого автомата	289
8.2. Методи опису алгоритмів та мікропрограм	291
8.2.1. Граф-схема алгоритму	291
8.2.2. Змістовна граф-схема алгоритму.....	294

8.2.3. Логічна схема алгоритму.....	295
8.2.4. Формули переходу	300
8.2.5. Матричні схеми алгоритмів.....	301
8.3. Операційні автомати.....	302
8.3.1. Структурна організація операційних автоматів.....	302
8.3.2. Характеристики операційних автоматів	307
8.3.3. Структурна організація та синтез І-автоматів.....	308
8.3.4. Структурна організація та синтез М-автоматів.....	308
8.3.5. Структурна організація та синтез ІМ-автоматів	311
8.3.6. Операційний S-автомат	314
8.3.7. Синтез операційних автоматів.....	315
8.4. Керуючий автомат.....	317
8.4.1. Синтез керуючого автомата з жорсткою логікою за граф-схемою алгоритму	317
8.4.2. Структурний синтез мікропрограмних автоматів з жорсткою логікою.....	319
8.4.2.1. Структурний синтез автомата Мілі.....	321
8.4.2.2. Структурний синтез автомата Мура	322
8.4.2.3. Синтез керуючого автомата Мура на базі регістра зсуву.....	324
8.4.3. Керуючий автомат з програмованою логікою.....	327
8.4.3.1. Принципи організації керуючих автоматів з програмованою логікою.....	327
8.4.3.2. Адресація мікрокоманд.....	328
8.4.3.3. Кодування мікрооперацій	332
8.4.3.4. Синтез керуючого автомату з програмованою логікою	334
<i>Висновки</i>	339
<i>Контрольні запитання та завдання</i>	341
ВИКОРИСТАНІ ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА	343
ОЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ І ТЕРМІНІВ	345

С.А. Лупенко, В.В. Пасічник, Є.В. Тиш

КОМП'ЮТЕРНА ЛОГІКА

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Керівник видавничого проекту – *В.М. Піча*

Підписано до друку з оригінал-макета.
Формат 70x100/16. Папір друк. №2. Гарнітура Times New Roman
Умовн. друк. арк. 27,5.

ПП “Магнолія 2006”
м. Львів-53, 79053, Україна, тел.+380503701957
e-mail: magnol06@ukr.net

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції: серія ДК № 2534 від 21.06.2006 року,
видане Державним комітетом інформаційної політики,
телебачення та радіомовлення України

Видавець Марченко Т. В.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції: серія ДК № 6784 від 30.05.2019 року,
видане Державним комітетом інформаційної політики,
телебачення та радіомовлення України

Надруковано у друкарні видавця ФОП Марченко Т. В.