



Проектування СКС на ПЛІС

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>123 Комп'ютерна інженерія</i>
Освітня програма	<i>ОПП Системне програмування і спеціалізовані комп'ютерні системи</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>5 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів (150 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>РГР / екзамен</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н, с.н.с. Тесленко Олександр Кирилович, akirill766@ukr.net teslenko@scs.kpi.ua Лабораторні: к.т.н, доц. Клятченко Ярослав Михайлоаич, k_yaroslav@ukr.net
Розміщення курсу	Лекції - на кафедральній системі дистанційного навчання https://scs-kpi.pp.ua/ , Лабораторні – бібліотека НТУУ https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41626

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Предмет дисципліни. Вивчення кредитного модуля «Проектування СКС на ПЛІС» дозволяє сформувати у студентів компетенції, необхідні для розв'язання практичних задач професійної діяльності, пов'язаної з розробленням, вдосконаленням та дослідженням спеціалізованих комп'ютерних пристроїв та систем з використанням технологій ПЛІС

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- проектувати спеціалізовані комп'ютерні пристрої та системи з використанням сучасної елементної бази, насамперед програмованих логічних інтегральних середовищ (ПЛІС);
- аналізувати ефективність проектних рішень спеціалізованих комп'ютерних пристроїв та систем.
- використання сучасних САПР ПЛІС для проектування СКС.

Згідно з вимогами навчальної дисципліни студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

знання:

- причин застосування технології ПЛІС для створення СКС;
- основ архітектури сучасних ПЛІС;
- переваг та недоліків технологій CPLD та FPGA;
- суть та напрямків застосування технології скануючи комірок для виробництва та дослідження СКС;
- особливості проектування в універсальному базисі FPGA;
- основних характеристик сучасних САПР ПЛІС;
- перспектив розвитку методів проектування СКС.

уміння:

- організувати лабораторні комплекси для дослідження СКС;
- створювати та налагоджувати проекти спеціалізованих пристроїв в САПР ПЛІС;
- визначати можливості мінімізації логічних функцій в універсальному базисі

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Кредитний модуль "«Проектування СКС на ПЛІС»" базується на кредитних модулях «Архітектура комп'ютерів», «Комп'ютерні мережі», «Комп'ютерна схемотехніка»

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1 Огляд особливостей сучасних технологій проектування та виробництва комп'ютерних систем.

Тема 2. Основи архітектури ПЛІС.

Тема 3. Особливості та переваги інтерфейсу JTAG для розробки та дослідження спеціалізованих мікросхем та пристроїв.

Тема 4. Огляд поширених серій мікросхем ПЛІС.

Тема 5. Особливості проектування СКС на основі ПЛІС.

Тема 6 Особливості системи автоматизації проектування схем на основі ПЛІС

Тема 7. Засоби ефективного застосування ПЛІС для створення проектів спеціалізованих КС..

Тема 8 Інтернет реконфігуровна логіка (IRL) як перспективний напрямок дослідження та розробки СКС

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Тарасенко В.П. Сучасні ситуативно-методологічні аспекти створення спеціалізованих комп'ютерних систем/ В.П. Тарасенко, А.О. Мельник // Наукові вісті НТУУ "КПІ", 1997, -№1, -С.18-21
2. Палагін А.В., Опанасенко В.Н. Реконфигурируемые вычислительные системы. К. Просвіта, 2006, 295 с..
3. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем на ПЛІС. Лабораторний практикум. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; Я.М. Клятченко, О.В. Тарасенко-Клятченко, О.К. Тесленко. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 54 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 7 від 13.05.2021 р.) за поданням Вченої ради факультету прикладної математики (протокол №10 від 29.03.2021 р.) <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41626>
4. В.П. Тарасенко, О.К. Тесленко. Реалізація основних арифметичних операцій над залишками на одномірних каскадах конструктивних модулів. Керуючі системи й машини, 2003, № 3(185), С.29-42
5. В.П.Тарасенко, О.К.Тесленко Реалізація операцій в скінчених полях на одновимірному каскаді конструктивних модулів.//Системні дослідження та інформаційні технології №2, 2006. с. 7-
6. Тесленко О.К., Бондарчук М.Ю. ОЦІНКА КІЛЬКОСТІ МОЖЛИВИХ ПІДСТАНОВОК НА КІНЦЕВИХ АВТОМАТАХ //Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Безпека соціально-економічних процесів в кіберпросторі», Київ, 27 березня 2019 р., КНТУ, с.220-221

Додаткова література

1. Teslenko O.K & Bondarchuk M.Y. (2020) "Implementation of arbitrary bitness permutations in one of the classes of linear structures". Herald of Advanced Information Technology, Vol. 3, No. 1, 2020, pp. 406-417
2. The Problems and Advantages of Using Non-separable Block Codes. Klyatchenko, Y., Tarasenko-Klyatchenko, O., Tarasenko, G., Teslenko, O. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologiethis link is disabled, 2022, 134, pp. 271–278

Інформаційні ресурси

3. Data Book Altera. (<http://www.altera.com>)
4. The Programmable Logic Data Book Xilinx (<http://www.xilinx.com>,
5. Programmable Logic Data Book and Design Guide. Actel (<http://www.actel.com>)
6. Стандарт блочних криптографічних перетворень США, AES. [Електронний ресурс] <http://www.enlight.ru/crypto/algorithms/rijndael/rijndael00.htm>»

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальна дисципліна охоплює 27 годин лекцій та 18 годин лабораторних занять, а також виконання модульної контрольної роботи

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СРС)
1	Огляд особливостей сучасних технологій проектування та виробництва комп'ютерних систем. Основні етапи проектування мікросхем та апаратури для комп'ютерних систем. Аналіз особливостей розробки та виготовлення спеціалізованих комп'ютерних систем. Технології однокристальних ЕОМ та ПЛІС. Роль технології ПЛІС в виготовленні спеціалізованих мікросхем. Завдання на СРС: проаналізувати спільні риси та відмінності на етапах розробки, виготовлення та експлуатації апаратури та програмного забезпечення.
2	Основи архітектури ПЛІС. Структура програмованих логічних матриць (PLA). Структура програмованих матриць логіки (PAL). Структура комплексних програмованих логічних пристроїв (CPLD). Структура програмованих користувачем вентиляльних матриць (FPGA). Блоки введення – виведення. Завдання на СРС: проаналізувати методи налагодження універсальних чіпів в спеціалізовані пристрої
3	Особливості та переваги інтерфейсу JTAG для розробки та дослідження спеціалізованих мікросхем та пристроїв. Ідея граничного сканування та її сучасний розвиток. Огляд структурної схеми інтерфейсу, система команд. Використання інтерфейсу JTAG для дослідження СКС. Використання інтерфейсу як універсального засобу для введення біт-потоків налагодження ПЛІС. Завдання на СРС: проаналізувати можливості інтерфейсу JTAG для тестування чіпів та пристроїв.
4	Огляд поширених серій мікросхем ПЛІС. Основні параметри та порівняльна характеристика серій мікросхем ПЛІС, які випускаються провідними фірмами світу. Системи на кристалі. Завдання на СРС: проаналізувати переваги та недоліки використання чіпів CPLD та FPGA для реалізації цифрових пристроїв.
5	Особливості проектування СКС на основі ПЛІС. Опис, синтез та моделювання проекту. Цільова бібліотека синтезу. Особливості проектування на основі ПЛІС CPLD та FPGA. Функціональна декомпозиція як метод мінімізації витрат на проект. Приклади проектування спеціалізованих пристроїв на основі функціональної декомпозиції. Завдання на СРС: проаналізувати особливості спільної декомпозиції булевих функцій.

6	Особливості систем автоматизації проектування схем на основі ПЛІС. Структура САПР ПЛІС. Функціональне призначення основних складових частин. Порівняльна характеристика САПР ПЛІС провідних фірм. Критерії вибору засобів проектування. Завдання на СРС: ознайомитись із особливостями опису LUT FPGA мовою VHDL.
7	Інтернет реконфігуровна логіка (IRL) як перспективний напрямок дослідження та розробки СКС. Загальні принципи побудови та розробки реконфігурованих структур на базі ПЛІС. Структурна схема організації IRL . Апаратні об'єкти. Існуючі досягнення та проблеми. Завдання на СРС: проаналізувати суть та напрямки реалізації персональних суперкомп'ютерів.

ЛАБОРАТОРНІ ЗАНЯТТЯ

Основні завдання циклу лабораторних занять робіт є набуття студентами практичних навичок створювати спеціалізовані обчислювальні пристрої на ПЛІС з використання САПР та допоміжного обладнання.

№ з/п	Назва лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)	Кількість ауд. годин
1.	Вивчення особливостей роботи з САПР WebPACK ISE. Створення проєкту та завантаження його на ПЛІС	2
2	Створення спеціалізованого пристрою на ПЛІС для управління рідкокристалічним дисплеєм	2
3	Створення спеціалізованого пристрою на ПЛІС для управління портом VGA	4
4	Створення спеціалізованого пристрою на ПЛІС для генерування звукових ефектів	4
5	Створення спеціалізованого пристрою на ПЛІС для спільного одночасного управління VGA, PS/2 портами та звуком	6

Самостійна робота студента

Самостійна робота студента охоплює такі складники як підготування до лабораторних занять, зокрема: електронних коротких інформаційних звітів у вказаний викладачем термін, виконання домашньої контрольної роботи (Додаток).

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Академічна доброчесність. Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>. Усі письмові роботи перевіряються на наявність плагиату. Списування під час контрольних робіт чи завдань заборонені (в т. ч. із використанням мобільних пристроїв).

Норми етичної поведінки. Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Інклюзивне навчання. Засвоєння знань та умінь в ході вивчення дисципліни бути доступним для більшості осіб з особливими освітніми потребами, окрім здобувачів з серйозними вадами

зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

Навчання іноземною мовою. У ході виконання завдань студентам може бути рекомендовано звернутися до англомовних джерел.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів оцінювання. Студент може підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами. Студенти мають право аргументовано оскаржити результати контрольних заходів, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного.

Неформальна/інформальна освіта. Порядок визнання результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті здобувачами, які навчаються в КПІ ім. Ігоря Сікорського, регулюється «Положенням про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті» (https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/%D0%9D%D0%B5%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC_%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC.pdf) та наказом «Про особливості визнання результатів навчання в умовах правового режиму воєнного стану» (https://document.kpi.ua/files/2022_HOH-164.pdf)

7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Семестровий контроль проводиться у вигляді екзамену. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система та університетська шкала.

Поточний контроль: звітування виконаних лабораторних робіт, ДКР.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен – два теоретичні запитання

Рейтингова система оцінки успішності студентів кредитного модуля

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- виконання та захист 5 лабораторних робіт;
- виконання ДКР;
- відповідь на екзамені.

1. Лабораторні роботи

Ваговий бал – 9. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює 9 бали x 5 = 45 балів.

Позначимо R1 – кількість балів, які студент одержав на протязі семестру за виконання лабораторних робіт.

2. ДКР

Максимальна кількість балів за контрольну роботу дорівнює 15 балів.

Критерії оцінювання.

Відповідь правильна та прокоментована r2 = 12 балів

Відповідь правильна, але не прокоментована r2 = 10 балів

Відповідь не правильна, але коментар вказує на механічну помилку (наприклад, помилку в обчисленнях) r2 = 8 балів

Відповідь не правильна, але коментар вказує на не значну логічну помилку – 6 балів
0 балів в інших випадках.

Позначимо R_2 – кількість балів, які отримав студент за виконання контрольної роботи.

Заохочувальні бали за:

участь у модернізації лабораторних робіт, виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни надається від 5 до 10 заохочувальних балів.

Позначимо $R_{шз}$ –кількість заохочувальних балів

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_C = 45 + 15 = 60 \text{ балів.}$$

Екзаменаційна складова шкали дорівнює 40% від R, а саме:

$$R_E = R_C \frac{0,4}{1-0,4} = 40 \text{ балів}$$

Таким чином, рейтингова шкала з дисципліни складає $R = R_C + R_E = 100$ балів.

Стартовий рейтинг студента $r_C = R_1 + R_2 + R_{шз}$

Необхідною умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг (r_C) не менше 40 % від R_C , тобто 24 бали. В іншому разі студент повинен виконати додаткову роботу та підвищити свій рейтинг.

Екзаменаційний білет складається з 2 питань. Максимальна кількість балів за кожне питання – 20.

Для отримання студентом відповідних оцінок (ЄКТС та традиційних) його рейтингова оцінка RD переводиться згідно з таблицею:

$RD = r_C + r_E$	Традиційна оцінка
$95 \leq RD$	відмінно
85...94	добре
75...84	
65...74	задовільно
60...65	
$RD \leq 59$	незадовільно
$r_C < 24$	не допущений

8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *Методичні вказівки на виконання ДКР та приклад завдання наведені в додатку;*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри СПіСКС., к.т.н., с.н.с Тесленком О.К.

Ухвалено кафедрою СПСКС (протокол №6 від 03.01.24)

Погоджено Методичною комісією ФПМ (протокол №6 від 26.01.2024)

ДОДАТОК

Контрольна робота Реалізація довільних логічних функцій на універсальних блоках FPGA методом декомпозиції.

1) Визначення варіантів декомпозиції.

Проблема - побудова функцій більшої розрядності за допомогою функцій меншої розрядності. Диз'юнктивні нормальні форми (ДНФ) в принципі вирішують дану проблему. Недолік - функція АБО в більшості випадків має значно більшу розрядність ніж функція, яку реалізує ДНФ. Результат - транспортування термів. По другому в CPLD і не можливо, оскільки CPLD орієнтовані на ДНФ.

Метод декомпозиції дозволяє вийти за межі ДНФ, що характерно для FPGA.

Нехай

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множина змінних логічної функції

$X_1 = \{x_{y1}, x_{y2}, \dots, x_{yp}\}$ $X_2 = \{x_{z1}, x_{z2}, \dots, x_{zq}\}$ $X_3 = \{x_{u1}, x_{u2}, \dots, x_{us}\}$

$\{x_{y1}, x_{y2}, \dots, x_{yp}, x_{z1}, x_{z2}, \dots, x_{zq}, x_{u1}, x_{u2}, \dots, x_{us}\} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$

Тобто $X_1, X_2, X_3 \subset X$, $X_1 \cap X_2 = \emptyset$, $X_1 \cap X_3 = \emptyset$, $X_3 \cap X_2 = \emptyset$,

$p+q+s=n$, $p, s > 0$.

Не розподільна декомпозиція

$$f(X) = f_2(f_{11}(X_1, X_2), f_{12}(X_1, X_2), \dots, f_{1r}(X_1, X_2), X_2, X_3) \quad (1)$$

Якщо $q=0$ - розподільна декомпозиція

$$f(X) = f_2(f_{11}(X_1), f_{12}(X_1), \dots, f_{1r}(X_1), X_3) \quad (2)$$

З точки зору зменшення кількості аргументів логічних функцій декомпозиції (1,2) мають практичний сенс, якщо $r < p$. Не розподільна декомпозиція може мати сенс при умові зменшення значення r в порівнянні з розподільною декомпозицією.

2) Визначення умов існування розподільних декомпозицій логічних функцій.

Прийmemo наступні позначення

Нехай $a = \langle a_1, a_2, \dots, a_p \rangle$ - кортеж (впорядкований набір) значень змінних, із X_1 , A - множина таких кортежів.

Позначимо $f(a, X_3)$ – функція – нащадок функції $f(X)$, якщо аргументи із X_1 є компонентами вектора a . На множині векторів A існує відношення еквівалентності по рівності між окремими нащадками: $f(a_1, X_3) = f(a_2, X_3)$, тобто два кортежі вважаються еквівалентними, якщо вони породжують однакові нащадки функції $f(X)$. Це відношення розбиває множину A на класи еквівалентності. Кількість класів еквівалентності K_a будемо називати коефіцієнтом розподільної декомпозиції. Очевидно, що r не може бути меншим за $\lceil \log_2 K_a \rceil$ ($\lceil x \rceil$ - найближче більше ціле від x). Таким чином розподільна декомпозиція має сенс з точки зору зменшення кількості аргументів функцій, якщо $K_a \leq 2^{(p-1)}$. Якщо $K_a > 2^{(p-1)}$, то $r = p$ і декомпозиція не має сенсу по зменшенню кількості аргументів та називається тривіальною. Цікаві явища виникають при $p \gg s$. Кількість різних функцій від s змінних – 2^{2^s} . Це значення є межею для коефіцієнта розподільної декомпозиції, тобто $K_a \leq 2^{2^s}$. Декомпозиції при $K_a = 2^{2^s}$ вважаються тривіальними в тому сенсі, що вони мають місце для будь якої функції алгебри логіки, але якщо $p > 2^s$, то відбувається зменшення кількості аргументів функцій, з цієї точки зору такі тривіальні декомпозиції можуть мати сенс. Наприклад, будь яка функція із чотирьох змінних може бути подана як суперпозиція двох функцій від трьох змінних. Дійсно – розклад Шеннона по одній змінній для функції із чотирьох змінних.

3) Визначення умов існування не розподільних декомпозицій логічних функцій.

Прийmemo наступні визначення та позначення.

Кортеж значень змінних $c_i = \langle c_1, c_2, \dots, c_s \rangle$ із X_2 і множина таких векторів C .

Розглянемо довільний кортеж нащадок $f(X_1, c_i, X_3)$. Нехай K_{c_i} – коефіцієнт декомпозиції цього кортежу по відділенню змінних із X_1 . Тоді коефіцієнт спільної не розподільної декомпозиції дорівнює $\max(K_{c_i})$. Доведення очевидне та розділяється на 2 етапи. На першому із них показується про неможливість побудови функції з меншим коефіцієнтом. На другому – показується приклад побудови з таким коефіцієнтом.

Звідси виникає питання – чи може не розподільна декомпозиція в принципі, з точки зору реалізації на FPGA, більш ефективною чим розподільна. Відповідь однозначна – так, може, але для окремих логічних функцій, оскільки LUT FPGA реалізують довільну функцію від фіксованої кількості змінних (в сучасних FPGA – від 4 змінних). А при розподілі змінних може виявитись, що деякі входні LUT остаються не використаними.

1	1	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	1	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Необхідно реалізувати цю функцію наступним чином

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8) = f_2(f_{11}(x_3, x_4, x_5, x_1, x_2), \dots, f_{1r}(x_3, x_4, x_5, x_1, x_2), x_1, x_2, x_6, x_7, x_8,) \quad (3)$$

$$X_1 = \{ x_3, x_4, x_5 \} \quad X_2 = \{ x_1, x_2 \} \quad X_3 = \{ x_6, x_7, x_8 \}$$

Для знаходження коефіцієнту декомпозиції подамо функцію по Табл.1 шляхом переформатування таблиці 1 так, щоб унаочнити декомпозицію дочірніх функцій $f(X_1, c_i, X_3)$ (Табл. 2).

Із Табл. 2 випливає, що на кортежі $\langle 0, 0 \rangle$ значень змінних із X_2 коефіцієнт декомпозиції $K_{\langle 0, 0 \rangle} = 2$ (є дві дочірні функції, позначені $d1$ та $d2$), які не сумісні між собою та поглинають інші. На кортежі $\langle 0, 1 \rangle$ значень змінних із X_2 коефіцієнт декомпозиції $K_{\langle 0, 1 \rangle} = 4$ (є чотири дочірні функції, позначені $e1, e2, e3$ та $e4$), які не сумісні між собою та поглинають інші. Аналогічно $K_{\langle 0, 1 \rangle} = 2$, $K_{\langle 1, 1 \rangle} = 4$. При цьому дочірні функції, які мають подвійні позначення в Табл. 2, можуть поглинатись (відповідно до визначатись) по різному. Крім того, в результаті створення мінімального списку дочірніх функцій можуть бути до визначені значення далеко не на всіх кортежах змінних із X_3 . До визначення на таких кортежах може здійснюватися по інших критеріях оптимізації, не порушуючи умов поглинання. Таким чином може існувати декілька варіантів оптимального для декомпозиції до визначення функції по Табл. 1. Один із таких варіантів подано в Табл. 3. В результаті маємо наступне значення коефіцієнта не розподільної декомпозиції - $\max(K_{c_i}) = 4$, звідки $r=2$, тобто існує наступне подання функції від 8 змінних:

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8) = f_2(f_{11}(x_3, x_4, x_5, x_1, x_2), f_{12}(x_3, x_4, x_5, x_1, x_2), x_1, x_2, x_6, x_7, x_8).$$

Таким чином задана функція від 8 змінних при заданому розбитті множини змінних реалізується за допомогою двох функцій від п'яти змінних та функції від 7 змінних, тобто можливе деяке зменшення кількості аргументів.

Таблиця 2.

X2		X3							x5	X1				
x2	x1	x8	x7	x6	0	0	0	0	1		1	1	1	x4
					0	1	0	1	0		1	0	1	x3
					d1/d2	d1	d1	d1/d2	d1/d2		d2	d2	d1/d2	
0	0	0	0	0	*	*	*	*	*	1	1	*		
0	0	0	0	1	*	1	1	*	*	0	0	*		
0	0	0	1	0	*	0	0	*	*	0	0	*		
0	0	0	1	1	*	0	0	*	*	0	0	*		
0	0	1	0	0	*	0	0	*	*	0	0	*		
0	0	1	0	1	*	1	1	*	*	1	1	*		
0	0	1	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*		
0	0	1	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*		
					e1	e2	e2	e1-e4	e3	e4	e4	e1-e4		
0	1	0	0	0	*	*	*	*	1	1	1	*		
0	1	0	0	1	1	0	0	*	1	0	0	*		
0	1	0	1	0	0	0	0	*	0	1	1	*		
0	1	0	1	1	0	0	0	*	1	0	0	*		
0	1	1	0	0	0	0	0	*	0	1	1	*		
0	1	1	0	1	0	1	1	*	1	1	1	*		
0	1	1	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*		
0	1	1	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*		
					g1	g1	g1	g1/g2	g2	g2	g2	g1/g2		
1	0	0	0	0	*	*	*	*	1	1	1	*		
1	0	0	0	1	1	1	1	*	0	0	0	*		
1	0	0	1	0	0	0	0	*	0	0	0	*		
1	0	0	1	1	0	0	0	*	0	0	0	*		
1	0	1	0	0	0	0	0	*	0	0	0	*		
1	0	1	0	1	1	1	1	*	1	1	1	*		
1	0	1	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*		
1	0	1	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*		
					h1	h1	h2	h1-h4	h3	h4	h4	h1-h4		
1	1	0	0	0	*	*	*	*	1	1	1	*		
1	1	0	0	1	1	1	0	*	1	1	0	*		
1	1	0	1	0	0	0	0	*	0	0	1	*		
1	1	0	1	1	0	0	0	*	1	1	0	*		
1	1	1	0	0	0	0	0	*	0	0	1	*		
1	1	1	0	1	0	0	1	*	1	1	1	*		
1	1	1	1	0	*	*	*	*	*	*	*	*		
1	1	1	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*		

Розглянемо визначення функцій f_{11} , f_{12} та f_2 . В Табл. 4 показано кодоване ідентифікаторами визначення функцій f_{11} та f_{12} . Для одержання булевого подання цих функцій необхідно вибрати будь яке кодування ідентифікаторів двох розрядними двійковими кодами. При цьому однакові ідентифікатори однієї строчки таблиці кодуються однаково. Наприклад, виберемо наступне кодування ідентифікаторів:

$d1=00, d2=01, e1=00, e2=01, e3=10, e4=11, g1=00, g2=01, h1=00, h2=01, h3=10, h4=11$.

Таблиця 3.

X2		X3											x5	X1
x2	x1	x8	x7	x6									x4	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	x3	
0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1		
					d2	d1	d1	d2	d2	d2	d2	d2		
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1		
0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0		
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
					e1	e2	e2	e4	e3	e4	e4	e4		
0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0		
0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1		
0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0		
0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1		
0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1		
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
					g1	g1	g1	g2	g2	g2	g2	g2		
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0		
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
					h1	h1	h2	h4	h3	h4	h4	h4		
1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0		
1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1		
1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0		
1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1		
1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1		
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		

Тоді функції f_{11} та f_{12} будуть задані Табл. 5 та Табл. 6, а функція f_2 – Табл. 7.

Необхідно відзначити, що для кортежів $\langle 0,0 \rangle$ та $\langle 1,0 \rangle$ значень змінних із X_2 коефіцієнти декомпозиції дорівнюють 2, тому функція f_2 на відповідних наборах змінних може приймати будь-яке значення (позначено символом «-» в Табл. 7, що дає додаткові можливості по оптимізації, включаючи подальшу декомпозицію).

Таблица 4.

		0	0	0	0	1	1	1	1	x5	X1
X2		0	0	1	1	0	0	1	1	x4	
x2	x1	0	1	0	1	0	1	0	1	x3	
0	0	d2	d1	d1	d2	d2	d2	d2	d2		
0	1	e1	e2	e2	e4	e3	e4	e4	e4		
1	0	g1	g1	g1	g2	g2	g2	g2	g2		
1	1	h1	h1	h2	h4	h3	h4	h4	h4		

Таблица 5

		0	0	0	0	1	1	1	1	x5	X1
X2		0	0	1	1	0	0	1	1	x4	
x2	x1	0	1	0	1	0	1	0	1	x3	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	1	0	0	0	1	1	1	1	1		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	1	0	0	0	1	1	1	1	h4		

Таблица 6

		0	0	0	0	1	1	1	1	x5	X1
X2		0	0	1	1	0	0	1	1	x4	
x2	x1	0	1	0	1	0	1	0	1	x3	
0	0	1	0	0	1	1	1	1	1		
0	1	0	1	1	1	0	1	1	1		
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1		
1	1	0	0	1	1	0	1	1	1		

Таблиця 7

X2		X3			0	0	1	1	f12
x2	x1	x8	x7	x6	0	1	0	1	f11
0	0	0	0	0	0	1	-	-	
0	0	0	0	1	1	0	-	-	
0	0	0	1	0	0	0	-	-	
0	0	0	1	1	0	0	-	-	
0	0	1	0	0	0	0	-	-	
0	0	1	0	1	1	1	-	-	
0	0	1	1	0	0	0	-	-	
0	0	1	1	1	0	0	-	-	
0	1	0	0	0	0	0	1	1	
0	1	0	0	1	1	0	1	0	
0	1	0	1	0	0	0	0	1	
0	1	0	1	1	0	0	1	0	
0	1	1	0	0	0	0	0	1	
0	1	1	0	1	0	1	1	1	
0	1	1	1	0	0	0	0	0	
0	1	1	1	1	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	1	-	-	
1	0	0	0	1	1	0	-	-	
1	0	0	1	0	0	0	-	-	
1	0	0	1	1	0	0	-	-	
1	0	1	0	0	0	0	-	-	
1	0	1	0	1	1	1	-	-	
1	0	1	1	0	0	0	-	-	
1	0	1	1	1	0	0	-	-	
1	1	0	0	0	0	0	1	1	
1	1	0	0	1	1	0	1	1	
1	1	0	1	0	0	0	0	0	
1	1	0	1	1	0	0	1	1	
1	1	1	0	0	0	0	0	1	
1	1	1	0	1	0	1	1	1	
1	1	1	1	0	0	0	0	0	
1	1	1	1	1	0	0	0	0	

6) Суть контрольного завдання.

Загальні положення. Завдання складається з трьох частин. В першій частині по заданій восьми розрядній функції та заданому розбиттю множини змінних X на підмножини X_1 , X_2 , X_3 необхідно визначити коефіцієнт декомпозиції та значення r . В другій частині необхідно визначити функції $f_2, f_{11}, \dots, f_{1r}$. В третій частині по результату декомпозиції $f_2(f_{11}(X_1, X_2), f_{12}(X_1, X_2), \dots, f_{1r}(X_1, X_2), X_2, X_3)$ формується таблиця функції та порівнюється із заданою

7) Таблиці функцій.

Таблиця 8

				0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	x4
				0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	x3
				0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	x2
x8	x7	x6	x5	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	x1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	0	0	*	*	0	
0	0	0	1	0	*	0	*	*	0	*	0	0	0	*	*	*	*	*	
0	0	1	0	0	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	0	*	*	0	
0	0	1	1	0	0	*	*	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	*	
0	1	0	0	0	0	0	*	0	*	0	0	0	0	*	*	0	0	0	
0	1	0	1	0	0	0	0	*	*	0	*	0	0	0	0	0	0	*	
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0	*	0	0	*	0	
0	1	1	1	*	0	0	*	*	0	0	1	0	0	*	1	*	1	1	
1	0	0	0	*	1	*	1	1	*	1	*	1	1	*	1	*	1	*	
1	0	0	1	*	*	1	1	1	1	1	1	*	1	*	*	*	1	*	
1	0	1	0	1	*	*	1	1	1	1	*	*	1	1	*	1	1	*	
1	0	1	1	1	1	1	1	1	*	1	1	*	*	*	1	*	*	*	
1	1	0	0	*	1	1	1	*	1	*	1	*	1	1	1	*	1	*	
1	1	0	1	1	1	*	1	1	1	1	1	*	*	*	*	1	*	*	
1	1	1	0	1	*	1	1	1	1	*	*	1	1	1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	*	*	1	*	1	*	*	1	*	

8) Приклад варіанту завдань

П.І.Б	Таблиця функції	множина X_1	множина X_2	множина X_3
Іваненко Іван Іванович	Таблиця 8	{x2,x3,x4,x6}	{x1}	{x5,x7,x8}

9) Вимоги до оформлення

Звіт подається в роздрукованому вигляді та повинен містити

1. Титульний лист
2. Таблицю заданої функції та задане розбиття множини аргументів на підмножини X_1 , X_2 , X_3 .
3. Таблиці аналогічні табл.2 та табл. 3 та формулу реалізації заданої функції методом декомпозиції при заданих множинах X_1 , X_2 , X_3
4. Результат визначення функцій в таблицях, аналогічних табл. 4 – табл. 7
5. Таблицю значень $f_2(f_{11}(X_1, X_2), f_{12}(X_1, X_2), \dots, f_{1r}(X_1, X_2), X_2, X_3)$ в форматі таблиці заданої функції $f(X)$.
6. Висновки