

Декан ФІТ

5

ЗАТВЕРДЖУЮ

Тетяна ГОВОРУЩЕНКО

09

2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Відмовостійкі вбудовані системи на програмованій логіці

Назва

Статус дисципліни: вибіркова

Факультет – інформаційних технологій

Кафедра – Комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Форма навчання	Курс	Семестр	Загальне навантаження		Кількість годин						Курсовий проект	Курсова робота	Форма семестрового контролю	
					Аудиторні заняття				Індивідуальна робота студента	Самостійна робота, в т.ч. ІРС			Залік	Іспит
			Кредити ЄКТС	Години	Разом	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні заняття						
ДО		парний	8.0	240	90	36	36	18		150	-	-	+	-
Разом			8.0	240	90	36	36	18		150			1	

Програма складена

Підпис

Лисенком С.М.

Ініціали, прізвище викладача(ів)

Схвалена на засіданні кафедри КІС

Протокол № 1 від 30.08.2024 р.

Зав. кафедри КІС

Підпис

Ірина ЗАСОРНОВА

Ініціали, прізвище

Робоча програма розглянута та схвалена Вченою радою факультету інформаційних технологій

Голова Вченої ради

Підпис

Тетяна ГОВОРУЩЕНКО

Ініціали, прізвище

Хмельницький 2024

ВСТУП

Анотація дисципліни. Дисципліна «Відмовостійкі вбудовані системи на програмованій логіці» є вибірковою і викладається для здобувачів третього (доктор філософії) рівня вищої освіти денної форми навчання спеціальностей галузі інформаційних технологій. При викладанні дисципліни використовуються активні і творчі форми проведення занять, зокрема, методи проблемного навчання.

Метою дисципліни є: 1) ознайомити студентів з теорією відмовостійкості, застосованої до вбудованих систем в наукових дослідженнях і експериментах; 2) надати глибокі знання щодо виявлення вразливостей надійності у вбудованих системах, які необхідні для подальшої наукової та професійної діяльності; 3) ознайомити студентів з теорією проектування відмовостійких вбудованих систем на програмованій логіці, синтезу вбудованих процесорів та ядер, застосування методів відмовостійкості, синтез відмовостійких мереж на чипі, що використовується при розв'язуванні наукових задач; 4) виробити у студентів вміння використовувати набуті знання; 5) навчити здійснювати планування та постановку експерименту і обробку його результатів; 6) підготувати студентів до провадження дослідницької та/або інноваційної діяльності в галузі інформаційних технологій; 7) ознайомити студентів з основами академічної доброчесності при застосуванні відомих методів синтезу відмовостійких систем.

Предмет дисципліни. Відмовостійкі вбудовані системи на програмованій логіці.

Завдання дисципліни. Опанування методами синтезу відмовостійких вбудованих систем на програмованій логіці, проектування, синтез та програмування систем на програмованій логіці, оцінка надійності вбудованих систем, відмовостійкі мережеві системи, мережі на чипі.

Після вивчення дисципліни «Відмовостійкі вбудовані системи на програмованій логіці» докторант має досягти таких результатів навчання:

- синтезувати вбудовані системи на програмованій логіці для різних сфер застосування;
- програмувати вбудовані системи та оцінювати надійність та відмовостійкість таких систем;
- проводити дослідження складних міждисциплінарних проблем різної природи на основі системного аналізу, формалізація системних задач, що мають суперечливі цілі та невизначеності;
- застосовувати методологію наукових досліджень складних міждисциплінарних проблем різної природи, методів формалізації системних завдань, що вирішуються засобами вбудованих систем на програмованій логіці;
- використовувати теоретичні поняття та факти для розв'язання конкретних задач; знання, розуміння та володіння методами забезпечення відмовостійкості вбудованих систем та якісного аналізу результатів їх застосування.

ВІДМОВСТІЙКІ ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ НА ПРОГРАМОВАНІЙ ЛОГІЦІ

Тип дисципліни
Рівень вищої освіти
Мова викладання
Семестр
Кредити ЄКТС
Форми здобуття освіти

Вибіркова
Третій (доктор філософії)
українська
парний
8,0
Очна денна

Результати навчання

Студент, який успішно завершив вивчення дисципліни, повинен: *вміло застосовувати* загальну теорію синтезу вбудованих систем та основні методи забезпечення відмовостійкості вбудованих систем; *обґрунтовувати* необхідність та доцільність синтезу вбудованих систем на прогамованій логіці; *застосовувати* методи відмовостійкості програмних та апаратних систем; *гармонізувати та профілювати* вимоги для вбудованих систем на програмованій логіці; *оцінювати, порівнювати та обирати* ідеї для синтезу вбудованих систем на програмованій логіці для різних сфер застосування, проведення дослідницької та/або інноваційної діяльності в галузі застосування вбудованих систем, а також забезпечення їх відмовостійкості; *застосовувати* мови програмування вбудованих систем

Зміст навчальної дисципліни. Основи синтезу вбудованих систем на програмованій логіці, апаратне програмне забезпечення вбудованих систем, основи відмовостійкості вбудованих систем, відмовостійкі мережеві системи. Мережі на чипі.

Запланована навчальна діяльність: лекції - 36 год., лабораторні заняття – 36 год., практичні заняття – 18 год., самостійна робота - 150 год., разом – 240 год.

Методи навчання: методи проблемного викладання, словесні, наочні (лекції); пояснювально-ілюстративні, проблемного викладання, дослідницькі, частково-пошукові (практичні та лабораторні заняття), проблемного викладання, дослідницькі, частково-пошукові (самостійна робота: індивідуальні завдання).

Форми і методи оцінювання результатів навчання: контрольна робота, захисти лабораторних робіт

Форма семестрового контролю: залік

Навчальні ресурси:

1. Лисенко Сергій, Атаманюк Ольга, Бохонько Олександр. Метод побудови апаратної архітектури для система комп'ютерного зору на основі FPGA. Вісник ХНУ. №2, 2023 (319). С. 360-368. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-319-1-360-368>.
2. LYSENKO, S., & SHPULIAR, Y. (2024). METHOD FOR CREATING SVM CLASSIFIER FOR DATA ANALYSIS ON FPGA. Computer Systems and Information Technologies, (2), 75–81. <https://doi.org/10.31891/csit-2024-2-10>
3. Ігнат'єв, О. В. (2024). Система на кристалі для виконання спеціалізованих обчислень.
4. Bovchaliuk, S., Kolomoets, B., Kolomoets, V., Garashchenko, Y. (2024). Розвиток моделі та структури керуючих пристроїв з паралельною архітектурою. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць, 2(76), 64-66.
5. Штаненко, С. С., Самохвалов, Ю. Я., Толюпа, С. В. (2023). Методичний підхід до відновлення правильного функціонування вбудованих систем на рівні програмованої елементної бази. Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки.
6. Boutros, A., & Betz, V. (2021). FPGA architecture: Principles and progression. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 21(2), 4-29.
7. Elsaid, K., El-Kharashi, M. W., & Safar, M. (2024). An optimized FPGA architecture for machine learning applications. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 174, 155011.
8. Titarenko, L., Kharchenko, V., Puidenko, V., Perepelitsyn, A., & Barkalov, A. (2024). Hardware-Based Implementation of Algorithms for Data Replacement in Cache Memory of Processor Cores. *Computers*, 13(7), 166.
9. Intel Cyclone FPGA series. <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/programmable/cyclone-series.html>.
10. Intel Cyclone V Device Handbook, <https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/hb/cyclone-iv/cyclone5-handbook.pdf>.
11. Електронна бібліотека університету. Доступ до ресурсу: http://lib.khmnmu.edu.ua/asp/php_f/p1age_lib.php.
12. Модульне середовище для навчання MOODLE. Доступ до ресурсу: <https://msn.khmnmu.edu.ua>.

Викладач: доктор техн. наук, професор Лисенко С.М.

1. СТРУКТУРА ЗАЛІКОВИХ КРЕДИТІВ ДИСЦИПЛІНИ

Назва теми	Кількість годин відведених на:			
	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні роботи	СРС
Тема 1. Синтез та програмування систем на програмованій логіці	20	16	8	80
Тема 2. Синтез та програмування відмовостійких вбудованих систем	16	16	8	61
Підсумкове заняття		4	2	9
Години	36	36	18	150
Разом	240 (8.0 кредитів)			

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Зміст лекційного курсу*

№ п/п	Перелік тем лекцій	Години
Тема 1. Синтез та програмування систем на програмованій логіці		
1	Лекція 1. Основи синтезу вбудованих систем [1,7-12]	2
2	Лекція 2. Системи на програмованій логіці [1,3,5,6, 8]	2
3	Лекція 3. SystemC та основи програмування апаратного/програмних систем [2,3]	2
4	Лекція 4. Апаратне програмне забезпечення вбудованих систем [1,7-12].	2
5	Лекція 5. Синтез вбудованих процесорів та ядер. [1,7-12]	2
6	Лекція 6. Синтез вбудованих систем на базі ARM Cortex [1,7-12]	2
7	Лекція 7. Програмування систем на базі ARM Cortex [1,5, 7-12].	2
8	Лекція 8. Методи розробки ОС та систем реального часу на програмованій логіці [3-7]	2
9	Лекція 9. Особливості мереж на мікросхемах та вбудованих SoC [1,2,6,7,10].	2
10	Лекція 10. Побудова вбудованої програмно-апаратної системи на прикладі цифрової камери [2,6,7,10].	2
Тема 2. Синтез та програмування відмовостійких вбудованих систем		
11	Лекція 11. Основи відмовостійкості вбудованих систем [2,6,7,10].	2
12	Лекція 12. Виявлення помилок у вбудованих системах та їх відновлення [1,5,8]	2
13	Лекція 13. Оцінка надійності вбудованих систем: моделі надійності вбудованих систем [2,6,8].	2
14	Лекція 14. Експериментальна оцінка відмовостійкості вбудованих систем [2,6,7,10].	2
15	Лекція 15. Методи забезпечення відмовостійкості: кодування, відновлення за контрольними точками [1,2,6,7,10].	2
16	Лекція 16. Відмовостійкість програмних систем [2,6,7,10].	2
17	Лекція 17. Приклад побудови відмовостійких вбудованих систем [2,6,7,8].	2
18	Лекція 18. Відмовостійкі мережеві системи. Мережі на чипі [2,4,6,7,10].	2
	Разом	36

2.2 Зміст лабораторних занять

Таблиця 4 – Перелік лабораторних занять для докторів філософії

№ п/п	Теми лабораторних робіт	Кіль кість годин
1	Лабораторна робота №1. SystemC як засіб програмування апаратного/програмних систем. [2,3]	4
2	Лабораторна робота №2. Проектування моделей вбудованих систем засобами SystemC. [2,3].	4
3	Лабораторна робота №3. Верифікація моделей вбудованих систем засобами SystemC [2,3]	4
4	Лабораторна робота №4. Розробка відмостійких вбудованих систем. засобами SystemC [2,3].	4
5	Лабораторна робота №5. Вбудовані системи на основі FPGA [1,6,10].	4
6	Лабораторна робота №6. Синтез вбудованих систем на основі Altera Cyclone V5 [1,6,10].	4
7	Лабораторна робота №7. Розробка програмно-апаратних вбудованих рішень засобами Altera Cyclone V5 на прикладі системи обробки зображень в реальному часі. [1,6,10].	4
8	Лабораторна робота №8. Розробка програмно-апаратних вбудованих рішень засобами із застосуванням FPGASoC на основі ARM порцесора [1,6,10].	4
9	<i>Підсумкове заняття.</i>	4
Всього		36

2.3 Зміст практичних занять

Таблиця 5 – Перелік практичних занять для докторів філософії

№ п/п	Теми лабораторних робіт	Кіль- кість годин
1	Практична робота №1. SystemC як засіб програмування апаратного/програмних систем. [2,3]	2
2	Практична робота №2. Проектування моделей вбудованих систем засобами SystemC. [2,3].	2
3	Практична робота №3. Верифікація моделей вбудованих систем засобами SystemC [2,3]	2
4	Практична робота №4. Розробка відмостійких вбудованих систем. засобами SystemC [2,3].	2
5	Практична робота №5. Вбудовані системи на основі FPGA [1,6,10].	2
6	Практична робота №6. Синтез вбудованих систем на основі Altera Cyclone V5 [1,6,10].	2
7	Практична робота №7. Розробка програмно-апаратних вбудованих рішень засобами Altera Cyclone V5 на прикладі системи обробки зображень в реальному часі. [1,6,10].	2
8	Практична робота №8. Розробка програмно-апаратних вбудованих рішень засобами із застосуванням FPGASoC на основі ARM процесора [1,6,10].	2
9	Підсумкове заняття.	2
Всього		18

2.4 Зміст самостійної (індивідуальної) роботи

Самостійна робота студентів денної форми навчання полягає у систематичному опрацюванні програмного матеріалу, підготовці до виконання і захисту практичних та лабораторних робіт, тестування з теоретичного матеріалу, виконанні індивідуальних завдань.

Номер тижня	Вид самостійної роботи	К-ть годин
1	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до ЛР1	8
2	Опрацювання лекційного матеріалу.	8
3	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до захисту ЛР1. Підготовка до ЛР2	8
4	Опрацювання лекційного матеріалу.	8
5	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до захисту ЛР2. Підготовка до ЛР3	8
6	Опрацювання лекційного матеріалу.	8
7	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до захисту ЛР3. Підготовка до ЛР4	8
8	Опрацювання лекційного матеріалу.	8
9	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до захисту ЛР4. Підготовка до ЛР5	8
10	Опрацювання лекційного матеріалу.	8
11	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до захисту ЛР5. Підготовка до ЛР6	8
12	Опрацювання лекційного матеріалу.	8
13	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до захисту ЛР6. Підготовка до ЛР7	9
14	Опрацювання лекційного матеріалу.	9
15	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до захисту ЛР7. Підготовка до ЛР8	9
16	Опрацювання лекційного матеріалу.	9
17	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до захисту ЛР8. Підготовка до ТК	9
18	Опрацювання лекційного матеріалу.	9
	Разом за семестр:	150

Керівництво самостійною роботою та контроль за виконанням індивідуального завдання здійснює викладач згідно з розкладом консультацій у позаурочний час.

3. МЕТОДИ НАВЧАННЯ

Процес навчання з дисципліни ґрунтується на використанні традиційних та сучасних методів. Зокрема, лекції проводяться в основному методами проблемного викладання, словесними, наочними з використанням інформаційних технологій. Лабораторні та практичні заняття проводяться з використанням методів пояснювально-ілюстративних, проблемного викладання, дослідницьких, частково-пошукових з використанням інформаційних технологій і мають за мету – набуття студентами практичних навичок. Самостійна робота передбачає виконання індивідуальних завдань, при розв'язанні яких застосовуються методи проблемного викладання, дослідницькі, частково-пошукові.

4. ФОРМИ І МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Поточний контроль здійснюється під час лабораторних занять, а також у дні проведення контрольних заходів, встановлених робочим планом дисципліни. Семестровий контроль проводиться у формі заліку. При цьому при виведенні остаточної оцінки враховуються результати поточного контролю.

Формами і методами оцінювання результатів навчання є контрольна робота та захисти лабораторних робіт.

Кожний вид роботи з дисципліни оцінюється за чотирибальною шкалою. Семестрова підсумкова оцінка визначається як середньозважена з усіх видів навчальної роботи, виконаних і зданих позитивно з врахуванням коефіцієнта вагомості. Вагові коефіцієнти змінюються залежно від структури дисципліни і важливості окремих її видів робіт. Студент, який набрав позитивний середньозважений бал за поточну роботу і не здав підсумковий контрольний захід (іспит), вважається невстигаючим.

При оцінюванні знань студентів використовуються різні засоби контролю, зокрема: письмова контрольна робота, усне опитування перед допуском до виконання лабораторної роботи – здійснюється на її початку; засвоєння теоретичного матеріалу з тем перевіряється під час проведення лабораторних занять; якість виконання, набуття теоретичних знань і практичних навичок перевіряється шляхом захисту кожної лабораторної роботи згідно з робочою програмою дисципліни.

Письмова контрольна робота проводиться на останньому практичному занятті і включає два теоретичні питання та одну практичну задачу.

Оцінка, яка виставляється за лабораторне заняття, складається з таких елементів: усне опитування студентів перед допуском до виконання лабораторної роботи; знання теоретичного матеріалу з теми; вміння студента обґрунтувати прийняті конструктивні рішення.

При оцінюванні знань студентів викладач керується такими критеріями.

Оцінка "відмінно" А виставляється студенту, який глибоко засвоїв методи розв'язування практичних задач та вмів їх раціонально застосувати. Студент не повинен вагатися при видозміні запитання, повинен робити детальні та узагальнюючі висновки.

Оцінку „добре” В отримує студент за повне засвоєння навчального матеріалу, володіння понятійним апаратом, орієнтування у вивченому матеріалі, свідоме використання знань для вирішення практичних завдань, грамотний виклад відповіді, але у змісті і формі відповіді мали місце окремі неточності (похибки), нечіткі формулювання закономірностей тощо. Відповідь студента повинна будуватись на основі самостійного мислення.

Оцінку „добре” С отримує студент за правильну відповідь з однією-двома суттєвими помилками.

Оцінки "задовільно" D заслуговує студент, який виявив знання основного навчально-програмного матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання та практичної діяльності за професією, що справляється з виконанням практичних завдань, передбачених програмою. Як правило, відповідь студента будується на рівні репродуктивного мислення, студент слабо знає структуру курсу, допускає помилки у відповіді, засвоїв і набув практичних навичок застосування методів розв'язування практичних задач, але припустився неточностей. Вагається при відповіді на видозмінене запитання, разом з тим студент володіє знаннями, що дозволяють йому під керівництвом викладача усунути неточності у відповіді.

Оцінки "задовільно" Е заслуговує студент за неповне опанування програмного матеріалу, але отримані знання і набуті практичні навички застосування технологій розв'язування практичних задач.

Оцінка „незадовільно” FХ виставляється, коли студент має розрізнені, безсистемні знання, не вміє виділяти головне і другорядне, допускається помилок у визначенні понять, перекидає їх зміст, хаотично і невпевнено викладає матеріал, не може використовувати знання при вирішенні практичних завдань.

Як правило, оцінка „незадовільно” F виставляється студенту, який не може продовжити навчання без додаткових знань з курсу.

Кожний вид роботи оцінюється за чотирибальною шкалою. Семестрова підсумкова оцінка визначається як середньозважена з усіх видів робіт.

Структурування дисципліни за видами робіт і оцінювання результатів навчання докторів філософії у семестрі за ваговими коефіцієнтами

Аудиторна робота								Самостійна, індивідуальна робота	Семестровий контроль (залік)
<i>Парний семестр</i>									
Лабораторні роботи:									
1	2	3	4	5	6	7	8	контрольна робота	За рейтингом
ВК: 0,6								0,4	0

Примітка: ВК – ваговий коефіцієнт.

Для переходу від вітчизняної оцінки до оцінки за шкалою ECTS необхідно знайти середньоарифметичну оцінку за вітчизняною шкалою, помножити її на відповідний ваговий коефіцієнт і, додавши всі складові, отримаємо суму балів, які визначають конкретну оцінку ECTS.

Якщо студент отримав негативну оцінку, то він має перездати її в установленому порядку.

Підсумкова семестрова оцінка за національною шкалою і шкалою ЄКТС встановлюється в автоматизованому режимі після внесення усіх оцінок до електронного журналу. Співвідношення вітчизняної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС наведені у табл. 8.

Залік виставляється, якщо середньозважений бал, який отримав студент з дисципліни, знаходиться в межах від 3,00 до 5,00 балів. При цьому за вітчизняною шкалою ставиться «зараховано», а за шкалою ЄКТС – буквене позначення оцінки, що відповідає набраній студентом кількості балів.

Таблиця 8 – Співвідношення вітчизняної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС

Оцінка ЄКТС	Інтервальна шкала балів	Вітчизняна оцінка	
A	4,75–5,00	5	Відмінно – глибоке і повне опанування навчального матеріалу і виявлення відповідних умінь та навиків
B	4,25–4,74	4	Добре – повне знання навчального матеріалу з кількома незначними помилками
C	3,75–4,24	4	Добре – в загальному правильна відповідь з двома-трьома суттєвими помилками
D	3,25–3,74	3	Задовільно – неповне опанування програмного матеріалу, але достатнє для практичної діяльності за професією
E	3,00–3,24	3	Задовільно – неповне опанування програмного матеріалу, що задовольняє мінімальні критерії оцінювання
FX	2,00–2,99	2	Незадовільно – безсистемність одержаних знань і неможливість продовжити навчання без додаткових знань з дисципліни
F	0,00–1,99	2	Незадовільно – необхідна серйозна подальша робота і повторне вивчення дисципліни

7. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ ДОКТОРІВ ФІЛОСОФІЇ

1. Основи синтезу вбудованих систем
2. Системи на програмованій логіці
3. SystemC та основи програмування апаратного/програмних систем
4. Апаратне програмне забезпечення вбудованих систем
5. Синтез вбудованих процесорів
6. Синтез вбудованих ядер
7. Синтез вбудованих систем на базі ARM Cortex
8. Програмування систем на базі ARM Cortex
9. Методи розробки ОС на програмованій логіці
10. Методи розробки систем реального часу на програмованій логіці
11. Особливості мереж на мікросхемах та вбудованих SoC
12. Побудова вбудованої програмно-апаратної системи на прикладі цифрової камери
13. Основи відмовостійкості вбудованих систем
14. Виявлення помилок у вбудованих системах
15. Відновлення вбудованих систем
16. Оцінка надійності вбудованих систем
17. моделі надійності вбудованих систем
18. оцінка відмовостійкості вбудованих систем
19. Методи відмовостійкості: кодування
20. Методи відмовостійкості: відновлення за контрольними точками
21. Відмовостійкість програмних систем
22. Приклад побудови відмовостійких вбудованих систем
23. Відмовостійкі мережеві системи.
24. Мережі на чипі

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Лисенко Сергій, Атаманюк Ольга, Бохонько Олександр. Метод побудови апаратної архітектури для система комп'ютерного зору на основі FPGA. Вісник ХНУ. №2, 2023 (319). С. 360-368. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-319-1-360-368>.
2. LYSENKO, S., & SHPULIAR, Y. (2024). METHOD FOR CREATING SVM CLASSIFIER FOR DATA ANALYSIS ON FPGA. *Computer Systems and Information Technologies*, (2), 75–81. <https://doi.org/10.31891/csit-2024-2-10>
3. Ігнат'єв, О. В. (2024). Система на кристалі для виконання спеціалізованих обчислень.
4. Bovchaliuk, S., Kolomoets, B., Kolomoets, V., Garashchenko, Y. (2024). Розвиток моделі та структури керуючих пристроїв з паралельною архітектурою. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць, 2(76), 64-66.
5. Штаненко, С. С., Самохвалов, Ю. Я., Толюпа, С. В. (2023). Методичний підхід до відновлення правильного функціонування вбудованих систем на рівні програмованої елементної бази. Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки.
6. Boutros, A., & Betz, V. (2021). FPGA architecture: Principles and progression. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 21(2), 4-29.
7. Elsaid, K., El-Kharashi, M. W., & Safar, M. (2024). An optimized FPGA architecture for machine learning applications. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 174, 155011.
8. Titarenko, L., Kharchenko, V., Puidenko, V., Perepelitsyn, A., & Barkalov, A. (2024). Hardware-Based Implementation of Algorithms for Data Replacement in Cache Memory of Processor Cores. *Computers*, 13(7), 166.
9. Intel Cyclone FPGA series. <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/programmable/cyclone-series.html>.
10. Intel Cyclone V Device Handbook, <https://www.intel.com/content/dam/www>

- /programmable/us/en/pdfs/ literature/hb/cyclone-iv/cyclone5-handbook.pdf.
11. Електронна бібліотека університету. Доступ до ресурсу: http://lib.khmnu.edu.ua/asp/php_f/p1age_lib.php.
 12. Модульне середовище для навчання MOODLE. Доступ до ресурсу: <https://msn.khmnu.edu.ua>.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

Електронний університет:

1. Модульне середовище для навчання (розміщені усі необхідні матеріали з дисципліни, в тому числі тестові завдання для поточного та семестрового контролю знань).
2. Електронна бібліотека університету.