



Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



Кафедра конструювання
електронно-обчислювальної
апаратури

Проектування “систем на кристалі”

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність	172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітня програма	Радіоелектронна інженерія
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	1 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити ЄКТС/120 годин (36 годин – лекції, 36 годин – лабораторні, МКР, 48 годин – СРС)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік / модульна контрольна робота
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: старший викладач, Антонюк Олександр Ігорович, o.antonyuk@kpi.ua , моб. +38(066)4424451 Лабораторні: старший викладач, Антонюк Олександр Ігорович, o.antonyuk@kpi.ua , моб. +38(066)4424451
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua ; https://classroom.google.com/c/ODU2NzY2MzUyMjFa ; https://bbb.kpi.ua/b/uy7-y7f-uvf

Програма навчальної дисципліни

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

Опис дисципліни. Під час навчання студенти ознайомляться з основними поняттями та методами розробки систем на кристалі з використанням високорівневого проектування. На лабораторних заняттях студенти навчатимуться проектувати пристрої з вбудованими та синтезованими процесорними ядрами, виконувати їх тестування на відповідність специфікації та аналізувати результати. Передбачено контроль якості отриманих знань у вигляді модульної контрольної роботи.

Предмет навчальної дисципліни: системи на кристалі Cyclone V фірми IntelFPGA та САПР для синтезу цифрових систем Platform Designer.

Мета навчальної дисципліни. Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатності:

- грамотного і правильного застосування досягнень сучасної цифрової техніки (систем на кристалі);
- проводити оцінку та вибір апаратних і програмних засобів цифрової обробки сигналів;
- розробляти проекти для ПЛМ;
- виконувати налагодження та супроводження різноманітних цифрових систем обробки інформації;
- розробляти та реалізовувати заходи по збільшенню надійності пристроїв цифрової обробки сигналів.

Успішне вивчення дисципліни необхідно студентам, щоб отримати:

Фахові компетентності:

- **ФК 9:** Здатність демонструвати і використовувати знання методів та технологій розробки, тестування та застосування інформаційно-вимірювальних, цифрових електронних систем, систем перетворення та передачі даних;
- **ФК 19:** Здатність розробляти та реалізовувати проекти цифрових пристроїв обробки та передачі інформації, на базі сучасних ПЛІС та «систем на кристалі». Обирати ефективну елементну базу для вирішення завдання. Вирішувати комплексні питання створення систем та розробки принципів взаємодії складових частин системи;
- **ФК 20:** Здатність застосовувати сучасні технології проектування електронних та інформаційно-обчислювальних пристроїв, «систем на кристалі» у галузі електроніки, автоматизації та електронних комунікацій. Здатність обирати оптимальну структуру системи. Здатність ефективно тестувати запропоновану структуру системи з метою виявлення недоліків.

Програмні результати навчання:

- **ПРН 19:** Розробляти та налагоджувати в інтегрованих середовищах проектування засоби обробки і передачі інформації на основі «систем на кристалі» та ПЛІС. Оцінювати їх ефективність за допомогою інтегрованих засобів та оціночних модулів, оптимізувати результат за обраними критеріями;
- **ПРН 20:** Здійснювати проектування та налагодження електронних обчислювальних систем різного функціонального призначення. Застосовувати спроектовані системи для вирішення прикладних задач, змінювати архітектуру системи та ефективно поєднувати програмну та апаратну складові системи;

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

Пререквізити: мати базові знання з цифрової електроніки, основ побудови архітектури програмованих логічних матриць та систем проектування для них.

Постреквізити: виконання та захист магістерської дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Лекційні заняття

Розділ 1. Вступ

Тема 1.1 Сучасний стан програмованої логіки.

Тема 1.2 Поява елементної бази, що відповідає вимогам «систем на кристалі».

Тема 1.3 Базові терміни та визначення.

Розділ 2. Архітектура програмного процесорного ядра Nios II та вбудованого ядра ARM.

Тема 2.1 Процесорне ядро Nios II – програмне рішення для ПЛМ. Аналіз архітектури ядра. Вбудоване процесорне ядро ARM.

Тема 2.2 Призначення середовища проектування Platform Designer. Налаштування процесорного ядра Nios II у середовищі Platform Designer.

Тема 2.3 Додавання до процесорного ядра стандартних модулів. Генерація «системи на кристалі».

Тема 2.4 Структура проекту, створеного для «системи на кристалі».

Розділ 3. Розробка програмного забезпечення для процесорного ядра Nios II та вбудованого ядра ARM

Тема 3.1 Середовище розробки програмного забезпечення Intel FPGA Monitor Program. Розробка проекту.

Тема 3.2 Налаштування системної бібліотеки проекту. Структура проекту.

Тема 3.3 Запуск програми процесорним ядром Nios II та ARM. Робота у режимі налагодження програмного забезпечення.

Розділ 4. Проектування систем на кристалі

Тема 4.1 Системна шина AVALON – призначення та реалізація.

Тема 4.2 Паралельний інтерфейс – Avalon-MM.

Тема 4.3 Додавання до системи модулів користувача.

Тема 4.4 Розширення системи команд процесорного ядра Nios II командами користувача. Загальні відомості. Основні типи команд. Налаштування вбудованого ядра ARM.

Тема 4.5 Практичні приклади застосування «систем на кристалі». Структура системи для обробки аудіосигналу.

Тема 4.6 Структура системи для обробки відеосигналу.

Тема 4.7 Проектування «мережі на кристалі». Загальні відомості. Особливості реалізації.

Лабораторні роботи

1. Перші кроки у Platform Designer Tool.
2. Створення власних компонентів у Platform Designer Tool.
3. Ядро ARM. Основи роботи у середовищі Intel FPGA Monitor Program.
4. Налаштування ядра ARM у середовищі Intel FPGA Monitor Program.
5. Обробка аудіо сигналу за допомогою процесорного ядра ARM.
6. Перетворення відеосигналу за допомогою процесорного ядра ARM та Nios II.
7. Робота процесорного ядра ARM з операційною системою Linux.
8. Налаштування користувацьких пристроїв у середовищі Linux.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. В.М. Рябенський, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий. Цифрова схемотехніка. Навчальний посібник. – Львів; «Новий Світ – 2000», 2009. – 736 с.
2. Іванець С. А., Зубань Ю. О., Казимир В. В., Литвинов В. В. Проектування комп'ютерних систем на основі мікросхем програмованої логіки : монографія. Суми : Сумський державний університет. 2013. -313 с.
3. Проектування “систем на кристалі”. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем» спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; Уклад. : О. І. Антонюк, Д. Ю. Лебедев. – Електронні текстові дані (1 файл: 9.55 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 89 с. Гриф надано Методичною радою

КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол No 6 від 24.06.2022 р.)
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49983>

4. Кофанов В. Л., Осадчук О. В., Гаврілов Д. В. Проектування цифрових пристроїв на основі САІР Quartus II. Практикум. Вінниця, ВНТУ, 2009. -164 с.
5. Мова опису апаратури Verilog: [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», спеціалізації «Інформаційно-обчислювальні засоби електронних систем» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. І. Антонюк, Д. Ю. Лебедев. – Електронні текстові дані (1 файл, 2,657Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 59 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського”, Протокол № 05/2018, 21.05.2018
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50037>

Допоміжна література

1. Рябенський В.М., Ушкаренко О.О. MAX+plusII. Основи проектування цифрових пристроїв на ПЛІС.- К.: “Корнійчук”, 2004.
2. Семенець В.В., Хаханова І.В., Хаханов В.І. Проектування цифрових систем з використанням мови VHDL. – Харків: ХНУРЕ, 2003. – 492 с.
1. Леонов С.Ю., Гладких Т.В., Баленко О.І. VHDL-технології проектування електронних пристроїв: навч. посібник - К.: Видавництво «КАФЕДРА», 2014. -423 с.
2. Intel Quartus Prime Standard Edition Handbook. September 2018.
3. Intel Quartus Prime Standard Edition User Guide. Platform Designer. October 2018.
4. Nios V Processor Quick Start Guide. April 2021.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<i>Розділ 1, тема 1.1, тема 1.3</i> Лекція 1 (4 год.) Основні етапи розвитку архітектури програмованої логіки. CPLD та FPGA. Сучасний стан програмованої логіки. Базові терміни та визначення – «система на кристалі», «програмне процесорне ядро». Основні етапи проектування «системи на кристалі». Література: 1, 2. Завдання на СРС – <i>тема 1.2</i> Поява елементної бази, що відповідає вимогам «системи на кристалі» [11, р.9; 12].
2	<i>Розділ 2, тема 2.1</i> Лекція 2 (2 год.). Архітектура процесорного ядра Nios II. Принцип його побудови. Карта пам'яті процесора. Додаткові компоненти – призначення та принципи дії. Налаштування процесорного ядра. Архітектура вбудованого процесорного ядра ARM. Особливості його використання. Література: 7. Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [4, 5, 10].
3	<i>Розділ 2, тема 2.2</i>

	<p>Лекція 3 (2 год.). Середовище проектування SOPC Builder. Розробка проекту. Побудова архітектури процесорного ядра Nios II у середовищі SOPC Builder. Розподіл адресного простору та векторів переривання. Середовище проектування Qsys. Налаштування процесорного ядра ARM у середовищі Qsys.</p> <p>Література: 6, 9.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [10, 13].</p>
4	<p>Розділ 2, тема 2.3</p> <p>Лекція 4 (2 год.). Додавання до процесорного ядра стандартних модулів. Налаштування стандартних модулів. Блоки пам'яті – внутрішні та зовнішні. Паралельні порти. Послідовні порти. Інтерфейс JTAG. Генерація системи на кристалі.</p> <p>Література: 6, 7, 9.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [4, 10, 12, 13].</p>
5	<p>Розділ 2, тема 2.4</p> <p>Лекція 5 (2 год.). Файли що описують систему на кристалі. Структура проекту, створеного для системи на кристалі. Драйвери периферійних пристроїв. Внесення змін до архітектури процесорного ядра.</p> <p>Література: 7, 8, 9.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [5, 10].</p>
6	<p>Розділ 3, тема 3.1</p> <p>Лекція 6 (2 год.). Програмне забезпечення процесорного ядра Nios II. Використання мови C та асемблера. Середовище розробки програмного забезпечення Nios II IDE. Його можливості. Розробка проекту. Особливості програмування процесорного ядра ARM. Середовище Intel FPGA Monitor Program.</p> <p>Література: 7, 8, 9.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [10, 12, 13].</p>
7	<p>Розділ 3, тема 3.2</p> <p>Лекція 7 (2 год.). Призначення системної бібліотеки проекту. Логічні та фізичні ресурси. Налаштування системної бібліотеки проекту. Розробка командного файлу компоновника (лінкер-файлу). Структура проекту.</p> <p>Література: 8, 9.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [10, 12, 13].</p>
8	<p>Розділ 3, тема 3.3</p> <p>Лекція 8 (2 год.). Виконання програми процесорним ядром Nios II. Робота у режимі відлагодження програмного забезпечення. Точки зупину. Пошагове виконання програми. Відстеження внутрішніх змінних. Особливості виконання програми процесорним ядром ARM.</p> <p>Література: 8, 9.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [10, 12, 13].</p>
9	<p>Розділ 4, тема 4.1</p> <p>Лекція 9 (2 год.). Призначення системної шини AVALON. Її реалізація. Внутрішні блоки, що входять до складу системної шини – дешифратори адресу, модулі затримки, блоки керування запитами на переривання.</p>

	<p>Література: 7, 9, 10.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [12, 13].</p>
10	<p>Розділ 4, тема 4.2</p> <p>Лекція 10 (2 год.). Послідовна та паралельна структури системної шини. Їх призначення. Паралельна шина – Avalon-MM. Головні сигнали шини. Способи підключення до шини Avalon-MM. Налаштування затримок шини Avalon-MM.</p> <p>Література: 7, 9, 10.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [12, 13].</p>
11	<p>Розділ 4, тема 4.3</p> <p>Лекція 11 (2 год.). Створення модулів користувача. Налаштування інтерфейсу. Обов’язкові сигнали, їх призначення та типи. Додавання до процесорного ядра модулів користувача.</p> <p>Література: 7, 9, 10.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [6, 13].</p>
12	<p>Розділ 4, тема 4.4</p> <p>Лекція 12 (2 год.). Можливості розширення системи команд процесорного ядра Nios II. Команди користувача - загальні відомості. Основні типи команд – комбінаційні, регістрові, складні. Апаратна реалізація розширеної системи команд. Робота процесорного ядра ARM з операційною системою Linux.</p> <p>Література: 8, 10.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [6, 9].</p>
13	<p>Розділ 4, тема 4.5</p> <p>Лекція 13 (2 год.). Проблемно-орієнтовані “системи на кристалі”. Принципи обробки аудіо сигналу. Перетворення аналогового аудіо сигналу у цифрову послідовність. Аудіокодек – його налаштування.</p> <p>Література: 8, 10.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [3, 5, 14].</p>
14	<p>Лекція 14 (2 год.) Реалізація цифрових фільтрів для обробки аудіо сигналу. Адаптована фільтрація. Структура та реалізація системи для обробки аудіо сигналу.</p> <p>Література: 8, 10.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [3, 5, 14].</p>
15	<p>Розділ 4, тема 4.6</p> <p>Лекція 15 (2 год.) Аналоговий та цифровий відео сигнали. Відеокодек – його призначення та налаштування. Бібліотечні компоненти, які використовуються для обробки відео сигналу. Перетворення кольорового зображення в зображення в монохромне.</p> <p>Література: 8, 10.</p> <p>Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [3, 5, 14].</p>
16	<p>Лекція 16 (2 год.) Фільтри для обробки відеосигналу. Медіанна фільтрація. Детектування фронтів. Структура системи для обробки відео сигналу. Додавання блоків користувача до системи обробки відеосигналу.</p>

	Література: 8, 10. Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [3, 5, 14].
17	Розділ 4, тема 4.7 Лекція 17(2 год.). “Мережі на кристали” – сучасний напрямок реалізації систем. Загальні відомості. Базові архітектури. Особливості реалізації. Література: 7, 9, 10. Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою [14].

Лабораторні заняття

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Перші кроки у Platform Designer Tool.	4
2	Створення власних компонентів у Platform Designer Tool.	4
3.	Ядро ARM. Основи роботи у середовищі Intel FPGA Monitor Program.	4
4.	Налаштування ядра ARM у середовищі Intel FPGA Monitor Program.	4
5.	Обробка аудіосигналу за допомогою процесорного ядра ARM.	4
6.	Перетворення відеосигналу за допомогою процесорного ядра ARM та Nios II.	6
7.	Робота процесорного ядра ARM з операційною системою Linux.	4
8.	Налаштування користувацьких пристроїв у середовищі Linux.	6

6. Самостійна робота студента.

Теми програми, які пропонуються для самостійного вивчення після кожної лекції, а також перелік основних питань та посилання на літературу наведено вище.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- Відвідування лекційних та лабораторних занять є обов’язковою складовою вивчення матеріалу.
- На заняттях звук на телефонах має бути відключений (може бути активований віброрежим); кожен студент повинен мати власний зошит, в якому пише конспект; дозволяється використання студентами ноутбуків, телефонів, планшетів та інших гаджетів для перегляду файлів з навчальним матеріалом, наданим викладачем.
- Необхідною умовою допуску студента до заліку є виконання і захист усіх лабораторних робіт, передбачених програмою. Для виконання лабораторної роботи студент отримує завдання у викладача. Після самостійного виконання завдання до лабораторної роботи, студент пише протокол лабораторної, який містить: дату виконання, прізвище та ім’я студента, назву роботи, мету роботи, відповіді на контрольні питання, приклади виконання опису пристрою та результати його перевірки, висновок, в якому має бути наведений аналіз одержаних результатів. Написаний протокол студент приносить викладачу і захищає лабораторну, для чого необхідно вміти пояснити хід виконання роботи та проведення тестування, а також знати відповіді на теоретичні питання по темі лабораторної. Після успішного захисту лабораторна вважається захищеною.

- У випадку захисту лабораторної раніше визначеного терміну студент отримує за неї один додатковий заохочувальний бал. У випадку захисту лабораторної пізніше визначеного терміну зі студента знімається по одному штрафному балу за кожен тиждень затримки.
- Модульна контрольна робота пишеться студентами самостійно на лабораторних заняттях без застосування допоміжних засобів (мобільні телефони, планшети та ін.).
- У випадку пропущення студентом лабораторної він має отримати допуск у викладача і виконати її у будь-який час, коли буде можливість.
- Усі письмові роботи виконуються студентом самостійно. Для підтвердження факту самостійного виконання будь-якої письмової роботи студент має вміти усно пояснити те, що він написав.

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

Лабораторні роботи

Ваговий бал — 10.

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи:

$$10 \text{ балів} \times 8 = 80 \text{ балів.}$$

Критерії оцінювання:

- | | |
|--|---------|
| • вчасно виконана лабораторна робота | 5 балів |
| • невчасно виконана лабораторна робота | 2 бали |
| • вчасно захищена лабораторна робота | 5 балів |
| • невчасно захищена лабораторна робота | 3 бали |

Модульний контроль

Ваговий бал — 20.

Максимальна кількість балів за всі контрольні роботи:

$$20 \text{ балів} \times 1 = 20 \text{ балів.}$$

Контрольна робота має практичне завдання.

Атестація

Розмір стартової шкали:

$$R_C = \sum \text{П.1} + \text{П.2} = 80 + 20 = 100 \text{ балів.}$$

Розмір шкали рейтингу:

$$R = 100 \text{ балів.}$$

Для отримання оцінки «зараховано» на проміжних атестаціях студент повинен мати:

- I атестація (8 тиждень) — не менше ніж 20 балів;
- II атестація (14 тиждень) — не менше ніж 50 балів.

Залік

Умови допуску до заліку:

1. Захист всіх лабораторних робіт;
2. Хоча б одна атестація з оцінкою «зараховано»;
3. Стартовий рейтинг $r_C \geq 40$ балів.

За залікову роботу студент може отримати щонайбільше 40 балів.

Залікова робота виконується у вигляді одного практичного завдання з проектування цифрового пристрою для оброблення відеопослідовності.

$RD = r_C + r_e$	Оцінка
$95 \leq RD$	Відмінно

$85 \leq RD < 95$	Дуже добре
$75 \leq RD < 85$	Добре
$65 \leq RD < 75$	Задовільно
$60 \leq RD < 65$	Достатньо
$RD < 60$	Незадовільно
$r_c < 40$	Не допущено

Примітка:

RD - рейтингова оцінка студента з дисципліни,
r_c - стартовий рейтинг студента, отриманий
протягом семестру.
r_e - залікові бали.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено старшим викладачем кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури Антонюком Олександром Ігоровичем.

Ухвалено кафедрою конструювання електронно-обчислювальної апаратури (протокол засідання кафедри № 10 від 14.06.2023 р.).

Погоджено Методичною комісією факультету електроніки (протокол № 06\23 від 29.06.2023 р.)
Методичною комісією Радіотехнічного факультету (протокол № 06-23 від 29.06.2023 р.)