


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет електроніки та комп'ютерних технологій
Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки

Затверджено
на засіданні кафедри сенсорної та
напівпровідникової електроніки
факультету електроніки та
комп'ютерних технологій
Львівського національного
університету імені Івана Франка

(протокол № 1/24 від 29.08.2024р.)

Завідувач кафедри

 Андрій ЛУЧЕЧКО

Силабус з навчальної дисципліни
“МІКРОЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ”,
що викладається в межах освітньо-професійної програми
“Електроніка та комп'ютерні системи” першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальності
171 Електроніка

Назва дисципліни	Мікроелектронні пристрої
Адреса викладання дисципліни	м. Львів, вул. ген. Тарнавського, 107
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації, 171 Електроніка
Викладачі дисципліни	Карпін Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри сенсорної та напівпровідникової електроніки
Контактна інформація викладачів	oleksandr.karpin@lnu.edu.ua https://electronics.lnu.edu.ua/employee/karpin-o-o/ факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки вул. ген. Тарнавського, 107, лаб. 411
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	В режимі оф-лайн: згідно розкладу в день проведення лекційних/лабораторних занять (корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів, вул. ген. Тарнавського, 107). В режимі он-лайн: на платформі Microsoft Teams (для погодження часу онлайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача).
Сторінка дисципліни	https://electronics.lnu.edu.ua/course/mikroelektronni-prystroi/ Мікроконтролери Microsoft Teams
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Мікроелектронні пристрої” є вибірковою дисципліною зі спеціальності “Електроніка та комп'ютерні системи”, яка викладається в 6 семестрі в обсязі 7.5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою – ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна “Мікроелектронні пристрої” присвячена основам проектуванню, програмуванню та розробці електронних пристроїв на основі мікроконтролерів. Охоплює фундаментальні концепції та принципи роботи з апаратним та програмним забезпеченням сучасних мікроконтролерів, а також вивченню їх архітектури та периферії. Детально розглянуто сімейство мікроконтролерів PSoC: їх будову та принципи роботи з ними.

<p>Мета та цілі дисципліни</p>	<p>Метою дисципліни є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок з проектування, програмування та розробки електронних пристроїв на основі мікроконтролерів.</p> <p>Цілі дисципліни: ознайомити студентів з типовими архітектурами мікроконтролерів, їхніми характеристиками та принципами роботи; навчити студентів принципам проектування, програмування та розробки електронних пристроїв на основі мікроконтролерів; сформуванати навички використання мікроконтролерів для розв'язання певних завдань в області електроніки; розвинути навички програмування мікропроцесорних систем; підготувати студентів до самостійної роботи з розробки та застосування мікроконтролерів.</p>
<p>Літератури для вивчення дисципліни</p>	<p>Рекомендована література</p> <p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Мікропроцесори та мікроконтролери [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Мікро- та наноелектроніка» спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Д. Д. Татарчук, Ю. В. Діденко. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,82 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 238 с 2. Mixed-Signal Embedded Systems Design. A Hands-on Guide to the Cypress PSoC / Edward H. Currie. - Springer Cham, 2021, https://doi.org/10.1007/978-3-030-70312-7 - 891 с. 3. Computer Organization and Design. The Hardware/Software Interface: RISC-V Edition / John L. Hennessy, David A. Patterson. – Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2018. – 1665 с. 4. PSoC 4 Architecture Technical Reference Manual (TRM) [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-PSoc_4100_4200_Family_PSoC_4_Architecture_TRM-AdditionalTechnicalInformation-v09_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c7d0d8da4017d0f909c7c7d7d 5. PSoC3, PSoC 4, and PSoC 5LP Digital Design Best Practices [Електронний ресурс] – Режим доступу:

	<p>https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-AN81623_PSoC_3_PSoC_4_and_PSoC_5LP_Digital_Design_Best_Practices-ApplicationNotes-v07_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c7cdc391c017d0726b5b94b78</p> <p>6. PSoC 4 Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://documentation.infineon.com/psoc4/</p> <p>7. PSoC 4 BLE Architecture Technical Reference Manual (TRM) [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-PSoC_4_BLE_Architecture_TRM-AdditionalTechnicalInformation-v05_00-EN.pdf?fileId=8ac78c8c7d0d8da4017d0f90cf907ddc</p> <p>Допоміжна:</p> <p>8. Computers as Components. Principles of Embedded Computing System Design / Marilyn Wolf. - Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2017. – 570 с.</p> <p>9. The Art of Electronics / Paul Horowitz, Winfield Hill R. - Cambridge University Press, 2015. – 1225 с.</p> <p>10. PSoC6 Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://documentation.infineon.com/psoc6/docs/rkg1651145413836</p> <p>11. ARM Cortex M Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.arm.com/products/silicon-ip-cpu?families=cortex-m&showall=true</p> <p>Методичне забезпечення:</p> <p>12. Інструкції до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Мікроелектронні пристрої» (електронні версії).</p>
<p>Обсяг курсу</p>	<p>Загальний обсяг 225 год. Аудиторних занять – 96 год.: 48 год. – лекційних занять, 48 год. – лабораторних занять. Самостійна робота – 129 год.</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p>В результаті вивчення даного курсу студент повинен:</p> <p>знати: структуру, функціональне призначення, принципи побудови та логіку роботи мікроконтролерів; типові архітектури, сучасну елементну базу та класифікацію мікроконтролерів; особливості функціонування мікроконтролерів на базі</p>

	<p>RISC-V, ARM Cortex M та Intel 8051 мікропроцесорів; мови програмування та програмне забезпечення, що використовується при проектуванні мікроконтролерів; принципи роботи в середовищі розробки PSoC Creator 4.4; апаратну та програмну частини мікроконтролерів PSoC 4; периферію та основні інтерфейси передачі даних в мікроконтролерах; основні аспекти розробки надійних вбудованих систем; особливості застосування мікроконтролерів в різних галузях.</p> <p>вміти: проектувати, програмувати та розробляти електронні пристрої на основі мікроконтролерів для різних задач; читати структурні та принципові схеми пристроїв на основі мікроконтролерів; працювати з сучасними інструментами та програмними засобами для розробки та дослідження мікроконтролерних систем; реалізовувати ввід, обробку та вивід інформації в мікроконтролерах в різних режимах їх роботи; проектувати та тестувати програмне забезпечення електронних пристроїв на основі мікроконтролерів; описувати системні вимоги до мікроконтролерів; презентувати та аналізувати результати роботи електронних пристроїв на основі мікроконтролерів.</p>
Ключові слова	Мікроелектронні пристрої, Мікроконтролер, система на кристалі, вбудована система, PSoC 4, PSoC4 BLE, PSoC 6, PSoC 3, PSoC 5, ARM Cortex-M, RISC-V, Intel 8051, середовище розробки IDE PSoC Creator 4.4, канал зв'язку Bluetooth
Формат курсу	Очний
Теми	Див. СХЕМА КУРСУ
Підсумковий контроль, форма	Залік в кінці семестру.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують знань з дисциплін "Архітектура комп'ютерів і програмування", "Матеріали та компоненти сучасної електроніки", "Цифрова обробка сигналів", "Напівпровідникова електроніка".
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	<p>Лекції, презентації, лабораторні роботи, виконання індивідуальних завдань (робота в групі, команді), обговорення, дискусія.</p> <p>Робота в системах Microsoft Teams та Moodle для здійснення модульного контролю, завантаження виконаних лабораторних завдань.</p>

<p style="text-align: center;">Необхідне обладнання</p>	<p>Персональні комп'ютери (мінімальні характеристики: процесор 1.3 ГГц 32-bit (x86) або Intel 64/AMD64 64-біт процесор, 1 ГБ оперативної пам'яті, 2 ГБ вільного місця на диску).</p> <p>Онлайн-доступ до TEAMS та MOODLE.</p> <p>CY8CKIT-042 PSoC™ 4 Pioneer Kit (CY8CKIT-042)</p> <p>Bluetooth Low Energy 5.3 Compliant Pioneer Kit (CY8CKIT-042-BLE-A)</p> <p>Програмне забезпечення: PSoC Creator™ 4.4</p>
<p style="text-align: center;">Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою.</p> <p>Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • лабораторні роботи: 40% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 40); • модуль 1: 20% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 20); • модуль 2: 20% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 20); • індивідуальне завдання: 20% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 20). <p>Загалом упродовж семестру 100 балів.</p> <p>Академічна доброчесність: очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Виявлення ознак академічної недоброчесності при виконанні лабораторних робіт, формуванні звітів та захисті індивідуальних завдань є підставою для їх незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої</p>

літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.

Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при поточному контролі (виконання лабораторних робіт, модулів), самостійній роботі та бали підсумкового заліку. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторних занять; недопустимість пропусків та запізень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

Оцінювання лабораторних робіт (8 лабораторних робіт) відбуваються шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту.

Кожна робота оцінюється в діапазоні від 0 до 5 балів ($8 \times 5 = 40$ балів).

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

5 – студент в повному обсязі володіє теоретичним матеріалом, має повне розуміння розглянутої теми, самостійно реалізує 100 % від поставлених завдань для виконання роботи, надає правильні відповіді на запитання по темі роботи та описі отриманих результатів;

4 студент достатньо розуміє теоретичний матеріал, самостійно реалізує 75 % від поставлених для виконання роботи завдань, однак присутні неточності та незначні помилки у відповідях на запитання по отриманих результатах;

3 студент не досить добре розуміє теоретичний матеріал, вагається та надає неточні/не конкретні відповіді на запитання по темі, 50 % від поставлених завдань реалізує самостійно;

1-2 студент погано розуміє теоретичний матеріал та використані підходи у лабораторній роботі, при допомозі викладача може реалізувати та пояснити 25 % від поставлених в роботі завдань;

0 студент зовсім не підготувався до виконання лабораторної роботи, при допомозі викладача не в змозі виконати жодне завдання лабораторної роботи.

	<p>Модульний контроль складається із 5-ти запитань, кожне оцінюється у 4 бали (5x4=20 балів).</p> <p>Критерії:</p> <p>4 – відповідь вірна і повна; 3 – відповідь вірна але неповна (75%); 2 – відповідь вірна але неповна (50%); 1 – відповідь частково вірна; 0 – відповідь невірна.</p> <p>Оцінювання індивідуального завдання відбувається за результатом представлення студентом своїх індивідуальних проектів викладачу та іншим студентам. Кожна робота оцінюється в діапазоні від 0 до 20 балів. Бали оцінювання нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <p>15-20 – студент в повному обсязі володіє теоретичним матеріалом, має повне розуміння розглянутої теми, демонструє оригінальний підхід та креативність у вирішенні певної задачі; 10-14 студент достатньо розуміє теоретичний матеріал, є логічна послідовність у викладенні матеріалу; 5-9 студент не досить добре розуміє теоретичний матеріал, вагається та надає неточні/не конкретні відповіді на запитання по темі, але оформлення роботи має чітку та логічну структуру, включно з використанням таблиць, діаграм, рисунків, тощо; 1-5 студент погано розуміє теоретичний матеріал та використані підходи, нема логічної послідовності у викладеному матеріалі; 0 студент зовсім не підготувався до виконання індивідуального завдання.</p>
<p>Питання до Модуля 1</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Що таке мікроконтролер? Наведіть типову структурну та функціональну схему мікроконтролера? 2. Наведіть ознаки за якими можна класифікувати мікроконтролери? 3. В чому основна ідея законів Мура та масштабування Деннарда (Dennard scaling), чи вони ще актуальні, та за рахунок чого відбувається розвиток мікроконтролерів сьогодні? 4. Що таке RISC та CISC? До якої архітектури належать Intel 8051, Cortex M0 (PSoC4) та RISC-V (поясніть свою відповідь)?

	<ol style="list-style-type: none"> 5. Наведіть класифікацію процесорів сімейства ARM та особливості їх системи команд. 6. В яких режимах може працювати ядро ARM Cortex M та як організована робота з регістрами? 7. Як організована пам'ять та керування периферією в мікроконтролерах що належить до сімейства ARM Cortex M (наприклад PSoC4)? 8. Наведіть базову архітектуру PSoC4 та опишіть її основні компоненти. 9. Чим відрізняється опитування від переривання. Наведіть приклад C-коду. Поясніть де краще який метод застосовувати. 10. При роботі з перериваннями в PSoC використовуються наступні терміни – nested interrupt controller, wakeup interrupt controller, CY_ISR, isr_Start, isr_StartEx, level-triggered interrupt, non-maskable interrupt. Що вони означають? 11. Як організована пам'ять в PSoC4? Що таке DMA? Наведіть типову блок діаграму мікроконтролера з DMA. 12. Що таке SRSS в PSoC4? З яких компонентів складається та яке їх призначення? 13. Як організовано GPIO в мікроконтролерах сімейства PSoC? 14. Як організовано система тактової частоти в мікроконтролерах PSoC4? 15. Які основні режими виконання команд в мікроконтролері PSoC4 та їх призначення? 16. Які основні режими роботи PSoC4 (power modes) та їх призначення? 17. Що таке Watchdog Timer та як він працює? 18. Які можливості PSoC4 для захисту проєктів користувача від несанкціонованого доступу або копіювання? 19. Що таке Timer в PSoC4 та які його основні режими роботи? 20. Що таке Counter в PSoC4 та які його основні режими роботи? 21. Що таке PWM в PSoC4 та які його основні режими роботи?
<p align="center">Питання до Модуля 2</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Що таке CBS в PSoC4 та які його основні можливості? 2. Що таке UDB в PSoC4 та які його основні можливості?

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Що таке Precision Reference в PSoC4 та які його основні можливості? 4. Що таке SAR ADC в PSoC4 та які його основні можливості? 5. Що таке Low-Power Comparator в PSoC4 та які його основні можливості? 6. Що таке CTBm в PSoC4 та які його основні можливості? 7. Що таке LCD Direct Drive в PSoC4 та які його основні можливості? 8. Що таке CapSense в PSoC4 та які його основні можливості? 9. Що таке Temperature Sensor в PSoC4 та які його основні характеристики? 10. Як організовано програмування та відлагодження в мікроконтролерах PSoC4? 11. Як відбувається програмування FLASH пам'яті в PSoC? 12. Що таке GAP, GATT, Profile в Bluetooth? Як це реалізовано в PSoC4-BLE? 13. Що таке GAP ролі в Bluetooth? Поясніть поняття GAP Peripheral, GAP Central, GAP Broadcaster, GAP Observer 14. Що таке GATT ролі і які саме визначені в Bluetooth? Що таке GATT Database (DB)? 15. Що таке надійність вбудованої системи та як вона вимірюється? Покажіть як змінюється надійність апаратної частини і програмного забезпечення в часі. 16. Поясніть принцип використання надлишковості в програмному та апаратному забезпеченні для підвищення надійності системи. 17. Наведіть архітектуру ARM Cortex-M4 Dual Core Lock Step (DCLS) та поясніть принцип роботи. 18. Наведіть базову архітектуру RISC-V та опишіть її основні розширення (набори команд)? 19. Порівняйте RISC-V та ARM Cortex M0 (PSoC4). 20. Як організована обробка переривань в RISC-V? 21. В яких режимах може працювати RISC-V та як організована робота з регістрами та пам'яттю?
Опитування	Анкету з метою оцінювання якості курсу буде надано після вивчення курсу.

СХЕМА КУРСУ

Тиж	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності заняття	Література. Ресурси в інтернеті	Завдання (лабораторна робота), год	Термін виконання
1	Тема 1. Вступ в мікроконтролери. Поняття мікроконтролер, інтегральні мікросхеми, закони Мура та масштабування Деннарда (Dennard scaling), історія розвитку мікропроцесорів та мікроконтролерів.	Лекція (3 год)	1-3, 8	Лабораторна робота №1. Створення, відлагодження та виконання проектів у інтегрованому середовищі PSoC Creator. (6 год)	1-2 тиждень семестру
2	Тема 2. Мікроконтролери та їх класифікація. Типова структурна та функціональна схема мікроконтролера, класифікація мікроконтролерів.	Лекція (3 год)	1-3		
3	Тема 3. Архітектура мікроконтролера PSoC4. Мікроконтролери на основі ARM Cortex-M, архітектура та мікроархітектура PSoC4, розташування виводів, організація пам'яті, основні характеристики.	Лекція (3 год)	2, 4, 6	Лабораторна робота №2. Розробка проектів у середовищі PSoC Creator з використанням функцій в коді програми. (6 год)	3-4 тиждень семестру
4	Тема 4. Система обробки переривань в PSoC4. Опитування та переривання, приклади C-коду, архітектура контролера переривань в PSoC4.	Лекція (3 год)	2, 4, 6		
5	Тема 5. PSoC4 системні ресурси. Призначення, характеристики та архітектура підсистеми системних ресурсів (SRSS), система роботи з тактовою частотою (clock system), режими	Лекція (3 год)	2, 4, 6	Лабораторна робота №3. Апаратні, програмні та комбіновані керуючі сигнали. (6 год)	5-6 тиждень семестру

	пониженого енергозбереження				
6	Тема 6. PSoC4 порти вводу-виводу. Призначення, характеристики та архітектура портів вводу-виводу, аналогової та цифрової шини.	Лекція (3 год)	2, 4, 6		
7	Тема 7. Система прямого доступу до пам'яті (DMA) в PSoC4 та PSoC5. Призначення, принципи роботи та архітектура DMA в PSoC4 та PSoC5, приклади використання при побудови вбудованих систем	Лекція (3 год)	2, 4-6	Лабораторна робота №4. Розробка проектів у середовищі PSoC Creator з використанням масивів даних в коді програми. (6 год)	7-8 тижень семестру
8	Тема 8. Мікроконтролери на основі RISC-V. Архітектура RISC-V, система команд, організація пам'яті, основні характеристики та особливості мікроконтролерів на його основі RISC-V.	Лекція (3 год)	3		
9	Тема 9. PSoC4 цифрові блоки. Архітектура цифрової системи в PSoC4, компоненти SBC, UDB, Timer, Counter, PWM, LCD Direct Drive	Лекція (3 год)	2, 4-6	Лабораторна робота №5. Виведення інформації на LCD-дисплей. (6 год)	9-10 тижень семестру
10	Тема 10. PSoC4 аналогові блоки. Архітектура аналогової системи в PSoC4, компоненти Reference, SAR ADC, AMUX, Comparator, CTBm, Temperature Sensor, CapSense.	Лекція (3 год)	2, 4-6		
11	Тема 11. PSoC4 блок для вимірювання ємності (CapSense). Архітектура, основні параметри та принципи роботи компоненти	Лекція (3 год)	2, 4-6	Лабораторна робота №6. Переривання та режими пониженого споживання в	11-12 тижень семестру

	вимірювання ємності (CapSense) в PSoC4. Вимоги до розробки сенсора та налаштування алгоритмів.			мікроконтролері PSoC4. (6 год)	
12	Тема 12. Бездротовий зв'язок Bluetooth та його особливості в мікроконтролерах PSoC4 BLE . Історія та специфікації Bluetooth, архітектура мікроконтролера PSoC4200-BLE та його характеристики, компонента BLE, її основні параметри та принципи роботи	Лекція (3 год)	7		
13	Тема 13. Мікроконтролерна система передачі даних по BLE на базі PSoC4-BLE. Створення проектів з бездротовим зв'язком BLE в системі набору CY8CKIT-042-BLE PSoC 4 Pioneer Kit. Організація передачі даних по каналу Bluetooth між смартфоном (ПК) та PSoC4-BLE. Приклад складної системи на PSoC4-BLE.	Лекція (3 год)	7	Лабораторна робота №7. Аналогово - цифрове та цифро – аналогове перетворення в системі набору CY8CKIT-042 PSoC 4 Pioneer Kit. (6 год)	13-14 тиждень семестру
14	Тема 14. Надійність вбудованих систем. Поняття надійності, доступності та безпечності вбудованих систем, особливості апаратного та програмного забезпечення, принцип надлишковості та інші методи підвищення надійності вбудованих систем, архітектура ARM Cortex-M4 Dual Core Lock Step (DCLS)	Лекція (3 год)	8		
15	Тема 15. Архітектура RISC-V. Архітектура та	Лекція (3 год)	3	Лабораторна робота №8.	

	історія RISC-V, система команд та організація пам'яті. Порівняння архітектури ARM та RISC-V			Бездротовий зв'язок BLE в системі набору CY8CKIT-042-BLE PSoC 4 Pioneer Kit. (6 год)	
16	Тема 16. Мікроконтролери на основі RISC-V. Основні характеристики та особливості мікроконтролерів на його основі RISC-V. Обробка переривань в RISC-V та основні режими роботи.	Лекція (3 год)	3		15-16 тиждень семестру