



# Проектування мікро- та наноелектронних пристроїв

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### • Реквізити навчальної дисципліни

|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рівень вищої освіти                         | <i>Другий (магістерський)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Галузь знань                                | <i>17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Спеціальність                               | <i>176 Мікро- та наносистемна техніка</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Освітня програма                            | <i>Мікро- та наносистемна техніка</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Статус дисципліни                           | <i>Нормативна</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Форма навчання                              | <i>очна(денна)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Рік підготовки, семестр                     | <i>I курс, осінній семестр</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Обсяг дисципліни                            | <i>7 кредитів ЄКТС (210 год: лекцій – 72 год, лабораторних робіт – 36 год, самостійна робота студента – 102 год)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи     | <i>Екзамен/МКР</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Розклад занять                              | <i><a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a></i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Мова викладання                             | <i>Українська</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лектор: к.т.н, доц. Вунтесмері Юрій Володимирович, <a href="mailto:yv-ee@i111.kpi.ua">yv-ee@i111.kpi.ua</a><br>к.т.н, доц. Казміренко Віктор Анатолійович, <a href="mailto:vk-ee@i111.kpi.ua">vk-ee@i111.kpi.ua</a><br>Лабораторні: к.т.н, доц. Вунтесмері Юрій Володимирович, <a href="mailto:yv-ee@i111.kpi.ua">yv-ee@i111.kpi.ua</a><br>к.т.н, доц. Казміренко Віктор Анатолійович, <a href="mailto:vk-ee@i111.kpi.ua">vk-ee@i111.kpi.ua</a> |
| Розміщення курсу                            | Google classroom                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

### • Програма навчальної дисципліни

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

Кредитний модуль «Проектування мікро- та наноелектронних пристроїв» (далі – «ПМЕ») відноситься до циклу професійної підготовки магістрів, є підсумковим у циклі професійної підготовки магістрів.

Здобуті знання, навички та досвід є основою для виконання дипломних проектів та магістерських дисертацій.

**Метою** кредитного модуля є формування у студентів системного підходу до розв'язання завдань схемотехнічного проектування електронних пристроїв; обізнаності у розмаїтті сучасних методів проектування електронних пристроїв; навичок самостійно добирати оптимальні конструкції та елементну базу для розв'язання прикладних задач.

**Предметом** дисципліни є найпоширеніші схеми реалізації аналогових та цифрових функціональних вузлів, методики їх проектування, у тому числі з використанням засобів автоматизованого проектування та мов опису апаратури.

Дисципліна формує **загальні та фахові компетентності**:

- ЗК1 – Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- ЗК2 – Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово;
- ЗК6 – Здатність генерувати нові ідеї (креативність);

- ФК3 – Здатність аналізувати та синтезувати мікро- та нанoeлектронні системи різного призначення;
- ФК4 – Здатність розробляти, обґрунтовано вибирати і використовувати сучасні методи обробки та аналізу сигналів в мікро- і нанoeлектронних приладах та системах;
- ФК5 – Здатність аргументувати вибір методів розв'язання складних задач і проблем мікро- та наносистемної техніки, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення
- ФК6 – Здатність користуватися сучасними системами пошуку та аналізу науково-технічної інформації, проводити патентний пошук і дослідження та здійснювати захист інтелектуальної власності;
- ФК10 – Здатність демонструвати і використовувати знання методів та технологій розробки, тестування та застосування інформаційно-вимірювальних, мікроконтролерних систем, систем обробки, відображення та передачі даних, включаючи біомедичні системи;
- ФК11 – Здатність до участі у розробці та удосконаленні наукової, проектно-конструкторської, технологічної, метрологічної та організаційно-управлінської документації;
- ФК13 – Здатність до системного мислення, розв'язання задач розробки, оптимізації та оновлення конструктивних елементів мікроелектроніки та структурних блоків приладів фізичного та біомедичного призначення.

Програмні результати навчання:

- ПРН1 – Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах;
- ПРН3 – Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення;
- ПРН4 – Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері мікро- та нанoeлектроніки, для розв'язування складних задач професійної діяльності;
- ПРН6 – Розробляти вироби та компоненти мікро- та наносистемної техніки, враховуючі вимоги до їх характеристик, технологічні та ресурсні обмеження; використовувати сучасні інструменти автоматизації проектування;
- ПРН7 – Розв'язувати задачі синтезу та аналізу приладів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки;
- ПРН20 – Проводити проектування, випробування, експериментальні та теоретичні дослідження властивостей матеріалів, наноструктур та технологій, компонентів та пристроїв мікро- та наносистемної техніки, включаючи електронні біомедичні системи.

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

Вивчення «ПМЕ» ґрунтується на знаннях та навичках, здобутих під час вивчення кредитних модулів з дисциплін «Теорія електронних кіл», що надає знання та навички аналізу електронних кіл, «Схемотехніка», що надає знання про складові електронних схем та навички їх аналізу, «Твердотільна електроніка», що надає знання про елементну базу електроніки, «Інформатика», «Персональні комп'ютери та основи програмування». що надають базові знання щодо інформаційних систем та навички роботи з ПК для використання прикладних програм та оформлення конструкторської документації.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

| Назви розділів і тем                                                                                      | Кількість годин |              |             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|-------------|-----|
|                                                                                                           | Всього          | у тому числі |             |     |
|                                                                                                           |                 | Лекції       | Лабораторні | СРС |
| 1                                                                                                         | 2               | 3            | 4           | 5   |
| <b>Розділ 1. Проектування та конструювання аналогових функціональних пристроїв</b>                        |                 |              |             |     |
| <i>1.1 Операційні підсилювачі</i>                                                                         | 14              | 2            | 6           | 6   |
| <i>1.2 Аналогові функціональні елементи мікроелектронних пристроїв на операційних підсилювачах</i>        | 62              | 32           | 10          | 20  |
| <i>1.3 Індуктивні елементи мікроелектронних пристроїв</i>                                                 | 10              | 4            | 2           | 4   |
| <i>1.4 Проблеми компоновки та електромагнітної сумісності аналогових функціональних пристроїв.</i>        | 4               | 2            |             | 2   |
| <b>Модульна контрольна робота</b>                                                                         | 4               |              |             | 4   |
| <b>Разом за розділом 1</b>                                                                                | 94              | 40           | 18          | 36  |
| <b>Розділ 2. Моделювання та проектування цифрових пристроїв з використанням мов опису апаратури (HDL)</b> |                 |              |             |     |
| <i>2.1 Вступ до мов опису апаратури</i>                                                                   | 6               | 4            |             | 2   |
| <i>2.2 Основи синтаксису Verilog</i>                                                                      | 18              | 6            | 4           | 8   |
| <i>2.3 Проектування цифрових вузлів мікроелектронних пристроїв</i>                                        | 52              | 18           | 10          | 24  |
| <i>2.4 Реалізація проектів цифрових вузлів мікроелектронних пристроїв у ПЛІС</i>                          | 16              | 4            | 4           | 8   |
| <b>Разом за розділом 2</b>                                                                                | 92              | 32           | 18          | 42  |
| <b>Екзамен</b>                                                                                            | 24              |              |             | 24  |
| <b>Всього:</b>                                                                                            | 210             | 72           | 36          | 102 |

### 4. Навчальні матеріали та ресурси

#### Інформаційні ресурси

1. Персональна web-сторінка В. А. Казміренка <http://ee.kpi.ua/~vk>.
2. Персональна web-сторінка Ю. В. Вунтсмері <http://ee.kpi.ua/~yv>.
3. Електронний кампус КПІ.

#### Рекомендована література

##### Базова

1. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. — 2-ге вид., допов. і переробл. — К.: Вища шк., 2004. — 366 с.: іл.
2. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 2. Цифрова схемотехніка: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. — 2-ге вид., допов. і переробл. — К.: Вища шк., 2004. — 423 с.: іл.
3. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 3. Мікропроцесори та мікроконтролери: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. — 2-ге вид., допов. і переробл. — К.: Вища шк., 2004. — 399 с.: іл.

4. Кучеренко М., Щерба А. Комп'ютерні технології в електроніці та електротехніці (2003). ІВЦ "Видавництво "Політехніка"" НТУУ "КПІ". 50 с.
5. М.М. Прищеп, В.П. Погребняк. Мікроелектроніка. Елементи мікросхем. Київ, "Вища школа" 430 с.
6. VERILOG. Практика проектування цифрових пристроїв на ПЛІС : Навч. посіб. / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко ; Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова. - Миколаїв : Іліон, 2007. - 324 с.

Допоміжна

1. M. Kaufman. Handbook of Electronics Calculations for Engineers and Technicians. McGraw-Hill, 1979 - Electronic apparatus and appliances - 550 pages.
2. J. F. Wakerly. Digital Design: Principles and Practices. Prentice Hall, 1990 - Digital integrated circuits - 716 pages
3. C. Maxfield. The Design Warrior's Guide to FPGAs. Newnes, 2004, 542 p.
4. A. Peyton, V. Walsh. Analog Electronics with Op-amps: A Source Book of Practical Circuits Cambridge University Press, Aug 12, 1993 - 281 pages.
5. S. Soclof. Analog Integrated Circuits. Prentice-Hall, 1985 - Linear integrated circuits - 508 pages.

### 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.    | Вступ до проектування та конструювання мікроелектронної апаратури<br>Література: основна: 1-6; додаткова: 1-5,10<br>Завдання на СРС:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2.    | Вступ <ul style="list-style-type: none"> <li>● Структура сучасного електронного пристрою, границя розділу між цифровою та аналоговою частинами, граничні умови на таких границях.</li> <li>● Застосування аналогових функціональних пристроїв в системах автоматизованого керування. Аналогові обчислення.</li> <li>● Особливості інтегральної технології аналогових пристроїв, порівняно з технологією печатних плат.</li> <li>● Особливості проектування аналогових пристроїв для різних діапазонів частот. Зосереджені, розподілені та комбіновані пристрої.</li> </ul> Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br>Завдання на СРС: |
| 3.    | Операційний підсилювач – базовий елемент аналогових функціональних пристроїв <ul style="list-style-type: none"> <li>● Ідеальний ОП. Схеми включення ОП.</li> <li>● Внутрішня схемотехніка ОП. Класифікація ОП.</li> <li>● Модель ОП. Параметри ОП.</li> <li>● Корекція частотної характеристики ОП.</li> <li>● Однополярне живлення ОП.</li> </ul> Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br>Завдання на СРС:                                                                                                                                                                                                                         |

| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4.    | <p>Джерела стабільної напруги та струму</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Джерела опорної напруги</li> <li>● Генератори стабільного струму</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                                                                                                                                                                                              |
| 5.    | <p>Узгоджуючі підсилювачі (бустери)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Каскади з високим вхідним опором</li> <li>● Каскади з малим вхідним опором</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                                                                                                                                                                                        |
| 6.    | <p>Аналогові суматори</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Інвертуючі суматори</li> <li>● Неінвертуючі суматори</li> <li>● Різницеві суматори</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС: складність алгоритмів сортування</p>                                                                                                                                                                                             |
| 7.    | <p>Аналогові інтегратори та диференціатори</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Інвертуючі інтегратори</li> <li>● Інвертуючі інтегратори з високим вхідним опором</li> <li>● Неінвертуючі інтегратори</li> <li>● Інвертуючі диференціатори</li> <li>● Неінвертуючі диференціатори</li> <li>● Диференціатори на основі інтегратора</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                          |
| 8.    | <p>Логарифмічні та анти логарифмічні підсилювачі</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Логарифмічні підсилювачі з діодними зворотніми зв'язками</li> <li>● Логарифмічні підсилювачі з транзисторними зворотніми зв'язками</li> <li>● Логарифмічні підсилювачі з термокомпенсацією</li> <li>● Елементарні АЛП</li> <li>● АЛП з термокомпенсацією</li> <li>● АЛП на основі ЛП</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p> |
| 9.    | <p>Схеми помноження та ділення</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Аналоговий помножувачі</li> <li>● Помножувач на основі ЛП-АЛП</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                                                                                                                                                                                                          |

| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10.   | <p>Активні випрямлювачі</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Однополуперіодні АВ струму</li> <li>● Однополуперіодні АВ напруги</li> <li>● Двохполуперіодні АВ</li> <li>● Прецизійні двохполуперіодні АВ</li> <li>● Прецизійні АВ з високим вхідним опором</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                            |
| 11.   | <p>Амплітудні детектори</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Піковий детектор</li> <li>● Детектор розмаху сигналу</li> <li>● Детектор абсолютних значень</li> <li>● Детектор екстремумів</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                                                                                             |
| 12.   | <p>RC-генератори синусоїдальних коливань</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● RC-генератор з мостом Віна-Робінсона</li> <li>● RC-генератор з потрійною схемою фазового зсуву</li> <li>● RC-генератор з подвійним Т-мостом</li> <li>● RC-генератор трифазних сигналів</li> <li>● Генератори з кварцовою стабілізацією</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p> |
| 13.   | <p>Модулятори</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Балансні (амплітудні) модулятори</li> <li>● Модулятор на основі випрямлювачів – суматорів</li> <li>● Імпульсні модулятори</li> <li>● Схеми частотної модуляції</li> <li>● Фазові маніпулятори</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                                     |
| 14.   | <p>Пристрої виборки-зберігання</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ПВЗ на основі аналогового інтегратора</li> <li>● ПВЗ на двох операційних підсилювачах</li> <li>● ПВЗ з компенсацією статичної похибки</li> <li>● ПВЗ з компенсацією комутаційних похибок</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                         |

| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15.   | <p>Конвертори опоры (гіратори)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Конвертори від`ємних опорів</li> <li>● Конвертори додатних опорів</li> <li>● Конвертори типу опоры (гіратори)</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 16.   | <p>Підсилювачі потужності</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ПП класу «А»</li> <li>● ПП класу «В»</li> <li>● ПП класу «АВ»</li> <li>● ПП класу «D»</li> <li>● Широкополосні підсилювачі</li> <li>● Ізолюючі підсилювачі</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 17.   | <p>Аналогові схеми порівняння</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Аналогові компаратори</li> <li>● Аналогові таймери</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 18.   | <p>Фільтри</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Загальні відомості про фільтри</li> <li>● Види апроксимації АЧХ</li> <li>● Синтез фільтрів на операційних підсилювачах. Ланки першого порядку</li> <li>● Ланки фільтрів другого порядку (схеми Рауха та Салена-Кі)</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                                                                                                                                                                                                |
| 19.   | <p>Індуктивні елементи аналогової схемотехніки</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Властивості котушок індуктивності</li> <li>● Характеристики та проектування котушок індуктивності</li> <li>● Застосування котушок індуктивності (контурні котушки, котушки зв`язку, варіометри, дроселі)</li> <li>● Печатні та інтегральні індуктивності.</li> <li>● Характеристики сердечників котушок та трансформаторів.</li> <li>● Проектування трансформаторів.</li> <li>● Застосування трансформаторів.</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p> |

| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 20.   | <p>Проблеми компоновки та електромагнітної сумісності аналогових функціональних пристроїв.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Принципи компоновки печатних плат</li> <li>● Принципи компоновки інтегральних пристроїв.</li> <li>● Шуми, завади, інтермодуляційні завади.</li> <li>● Розв'язки</li> <li>● Екранування</li> </ul> <p>Література: основна: 1-3; додаткова: 5-7.<br/>Завдання на СРС:</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 21.   | <p>Причини та історія створення мов опису апаратури.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Висока складність цифрових схем, складність та недоцільність аналізу на рівні ключів.</li> <li>● Рівні абстракції при описанні цифрових схем.</li> <li>● Забезпечення аналізу і синтезу описаної апаратури.</li> <li>● Огляд найпоширеніших HDL: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Verilog.</li> <li>○ VHDL.</li> <li>○ Інші HDL.</li> </ul> </li> <li>● Набір засобів для проектування засобами HDL: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ редактори,</li> <li>○ аналізатори синтаксису та синтезальності,</li> <li>○ компілятори (синтезатори),</li> <li>○ часові аналізатори,</li> <li>○ симулятори.</li> </ul> </li> </ul> <p>Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br/>Завдання на СРС: історія виникнення та розвитку мов HDL.</p> |
| 22.   | <p>Поняття про імітаційне моделювання.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Модельний час, події, моделювання по часу та подіях.</li> <li>● Опис паралельних процесів.</li> </ul> <p>Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br/>Завдання на СРС: моделювання паралельних подій.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 23.   | <p>Основи синтаксису Verilog.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Лексика мови, конструкції симулятора.</li> <li>● Структура програми, поняття про модуль, декларація та екземпляр модуля, порти, параметри.</li> </ul> <p>Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br/>Завдання на СРС: інтерфейс Verilog-65, -2000</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 24.   | <p>Основи синтаксису Verilog.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Кола, регістри, абстрактні типи даних, константи.</li> <li>● Оператори: арифметичні, логічні, порозрядні.</li> </ul> <p>Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br/>Завдання на СРС: опис символічних та рядкових констант</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |



| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)                                                                                                                                                                                                                        |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 25.   | <p>Основи синтаксису Verilog.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Керуючі конструкції.</li> <li>● Блокуючі та неблокуючі присвоювання.</li> <li>● Засоби синхронізації, події.</li> <li>● Чотиризначний алфавіт моделювання.</li> </ul> <p>Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br/>Завдання на СРС: багатозначні алфавіти</p>    |
| 26.   | <p>Проектування цифрових схем засобами HDL.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Структурний та поведінковий опис.</li> <li>● Вбудовані примітиви та примітиви користувача.</li> <li>● Схеми з пам'яттю.</li> </ul> <p>Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br/>Завдання на СРС: інтерфейси вбудованих примітивів</p>              |
| 27.   | <p>Функціональна верифікація проекту.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Типи тестів.</li> <li>● Проблема повноти тестів.</li> <li>● Тестуюча програма, генератор стимулів, реєстратор реакцій.</li> <li>● Керуючі конструкції.</li> </ul> <p>Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br/>Завдання на СРС: програмний інтерфейс</p> |
| 28.   | <p>Синтезабельність проекту.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Критерії синтезу та обмеження.</li> <li>● Повторне використання ядер.</li> <li>● Правила опису синтезабельних модулів.</li> <li>● RTL-опис.</li> </ul> <p>Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br/>Завдання на СРС: блоки інтелектуальної власності</p>          |
| 29.   | <p>Синтезабельний опис комбінаційних вузлів</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Мультиплексори.</li> <li>● Дешифратори.</li> <li>● Компаратори.</li> <li>● Типові помилки опису комбінаційних елементів.</li> </ul> <p>Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br/>Завдання на СРС: директиви синтезу</p>                            |
| 30.   | <p>Тригери</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● D-тригер, варіанти.</li> <li>● Регістри.</li> <li>● Latch.</li> </ul> <p>Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br/>Завдання на СРС: малопоширені варіанти тригерів</p>                                                                                                              |

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| № з/п | Назва теми лекції та перелік основних питань<br>(перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)                                                                                                                                                                                                                                |
| 31.   | Регістри <ul style="list-style-type: none"> <li>● Регістри зсуву.</li> <li>● Лічильники.</li> </ul> Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br>Завдання на СРС: різновиди переносів                                                                                                                                                                      |
| 32.   | HDL-опис цифрових автоматів <ul style="list-style-type: none"> <li>● Автомати Мілі та Мура</li> </ul> Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br>Завдання на СРС: дерево переходів                                                                                                                                                                       |
| 33.   | Моделі пам'яті <ul style="list-style-type: none"> <li>● Модуль пам'яті.</li> <li>● Двопортова пам'ять.</li> </ul> Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br>Завдання на СРС: FIFO                                                                                                                                                                       |
| 34.   | Синхронізація у системах з кількома тактовими генераторами <ul style="list-style-type: none"> <li>● Передача керуючого сигналу.</li> <li>● Передача коду на шині.</li> <li>● Буфери.</li> <li>● Протоколи обміну з підтвердженнями.</li> </ul> Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br>Завдання на СРС: промислові стандарти шин                      |
| 35.   | Поняття про ПЛІС <ul style="list-style-type: none"> <li>● Узагальнена блок-схема ПЛІС.</li> <li>● Структура елементарної комірки.</li> <li>● Спеціалізовані елементи.</li> </ul> Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br>Завдання на СРС: історія розвитку ПЛІС                                                                                       |
| 36.   | Особливості програмування ПЛІС <ul style="list-style-type: none"> <li>● Обмеження швидкості поширення сигналів та навантаження.</li> <li>● Оптимізація розташування проекту в кристалі та з'єднань.</li> <li>● Аналіз часових та температурних параметрів.</li> </ul> Література: основна: 4-6; додаткова: 4.<br>Завдання на СРС: вбудовані ресурси ПЛІС |

### **Лабораторні заняття**

Мета циклу лабораторних робіт: отримання практичних навичок моделювання та проектування аналогових функціональних вузлів у системі SPICE та цифрової апаратури засобами мов HDL. Особливу увагу слід звернути на закріпленні якісного стилю опису та документування та критичній оцінці результатів тестування.

| №  | Назва лабораторної роботи                                    | Кількість годин |
|----|--------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. | Проектування і моделювання аналогового сумуючого інтегратора | 4               |

|       |                                                                                             |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.    | Проектування і моделювання конвертора типу опору                                            | 4  |
| 3.    | Проектування і моделювання аналогового фільтра другого порядку                              | 4  |
| 4.    | Інтерфейс симулятора, відображення модельного часу, величин, керування процесом моделювання | 2  |
| 5.    | Проектування керованого генератора частоти                                                  | 4  |
| 6.    | Проектування і моделювання мультиплексора                                                   | 2  |
| 7.    | Проектування і моделювання тригерів                                                         | 4  |
| 8.    | Проектування і моделювання комбінаційної схеми                                              | 4  |
| 9.    | Проектування і моделювання синхронної схеми                                                 | 4  |
| 10.   | Реалізація проекту у ПЛІС                                                                   | 4  |
| Разом |                                                                                             | 36 |

## 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента включає підготовку до лекційних занять у обсязі 0,3-0,5 год на кожну годину лекцій, та підготовку до лабораторних робіт у обсязі близько 1–1,5 години. Протягом цього часу студент має опрацювати методичні вказівки до роботи та ознайомитися із завданням до виконання.

Також на самостійне опрацювання виносяться такі питання:

| № з/п | Назва теми, що виносяться на самостійне опрацювання | Кількість годин СРС |
|-------|-----------------------------------------------------|---------------------|
| 1     | Історія виникнення та розвиток мов опису апаратури  | 2                   |
| 2     | Історія виникнення та розвиток ПЛІС                 | 2                   |

## 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог:

- відвідування лекційних та лабораторних занять є обов'язковим;
- методичні матеріали розміщуються на персональній сторінці викладача та у Google Classroom, для зв'язку використовується електронна пошта та telegram-група;
- до захисту надається робочий проект, студент демонструє роботу, пояснює роботу, відповідає на уточнюючі питання;
- індивідуальні завдання (МКР та ДКР) подаються на перевірку за розкладом, призначеним викладачем;
- невчасний захист завдання штрафується зниженням оцінки на 1 бал за тиждень запізнення (не застосовується протягом дії воєнного стану);
- помилки в індивідуальних завданнях, поданих на перевірку до встановленого терміну, можуть бути виправлені без зниження оцінки;
- усі роботи мають бути оригінальними і виконуватися самостійно.

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

*Поточний контроль: захист лабораторних робіт, контрольні роботи*

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

*Семестровий контроль: екзамен*

*Умови допуску до семестрового контролю: зарахування усіх лабораторних робіт.*

Протягом семестру виконується

- 10 лабораторних робіт;
- 2 контрольні роботи.

Кожна лабораторна робота оцінюється за п'ятибальною шкалою, де 5 – найвища оцінка. За несвоєчасне виконання та захист лабораторної роботи оцінка знижується на 1 бал (не застосовується під час воєнного стану). Кожна контрольна робота оцінюється за п'ятибальною шкалою, де 5 – найвища оцінка. Таким чином, максимальний рейтинг за виконання робіт у семестрі може становити  $(10 + 2) \times 5 = 60$  балів. Таким чином, максимальний рейтинг за виконання робіт у семестрі становить 60 балів

$$\tilde{R}_{\text{сем}} = R_{\text{сем}} \cdot$$

Екзаменаційний білет містить 4 питання. Відповідь на кожне питання оцінюється за п'ятибальною шкалою, де 5 – найвища оцінка. Нормуванням, оцінка за відповідь на екзамені приводиться до 40 балів

$$\tilde{R}_{\text{екз}} = \frac{40}{20} R_{\text{екз}}$$

Рейтинг за всіма видами робіт обчислюється додаванням оцінки за семестр та оцінки за відповідь на екзамені.

$$R = \tilde{R}_{\text{сем}} + \tilde{R}_{\text{екз}}$$

Таким чином, максимальний рейтинг за всіма видами робіт становить  $R = 100$  балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

| Кількість балів           | Оцінка       |
|---------------------------|--------------|
| 100-95                    | Відмінно     |
| 94-85                     | Дуже добре   |
| 84-75                     | Добре        |
| 74-65                     | Задовільно   |
| 64-60                     | Достатньо    |
| Менше 60                  | Незадовільно |
| Не виконані умови допуску | Не допущено  |

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Перелік питань на екзамен ([аналогова частина](#), [цифрова частина](#)).

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Склали** доцент каф. ЕІ, к.т.н., доцент Вунтесмері Ю. В.

доцент каф. ЕІ, к.т.н., доцент Казміренко В. А.

**Ухвалено** кафедрою електронної інженерії (протокол № 31 від 21 червня 2023 р.)

**Погоджено** Методичною комісією ФЕЛ (протокол № 06/23 від 29 червня 2023 р.)