

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНИКА**

Фізико-технічний факультет  
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
Цифрова схемотехніка**

Освітня програма Комп'ютерна інженерія  
Галузь знань 12 Інформаційні технології  
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 12 від "30" червня 2023 р.

Івано-Франківськ – 2023 рік

## **Зміст**

1. Загальна інформація
2. Анотація до курсу
3. Мета та цілі курсу
4. Компетентності
5. Результати навчання
6. Організація навчання курсу
7. Система оцінювання курсу
8. Політика курсу
9. Рекомендована літератури

## 1. Загальна інформація про викладача і дисципліну

<b>Назва дисципліни</b>	Комп'ютерна схемотехніка
<b>Рівень вищої освіти</b>	Перший рівень вищої освіти
<b>Викладач</b>	Доктор технічних наук, професор, Когут Ігор Тимофійович
<b>Контактний телефон викладача</b>	(0342) 59-60-07
<b>E-mail викладача</b>	igor.kohut@pnu.edu.ua
<b>Формат дисципліни</b>	Семестровий
<b>Обсяг дисципліни</b>	9 кредитів
<b>Посилання на сайт дистанційного навчання</b>	<a href="http://www.d-learn.pnu.edu.ua">http://www.d-learn.pnu.edu.ua</a>
<b>Консультації</b>	Відповідно до графіку індивідуальних консультацій, який розміщений на інформаційному стенді кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки

## 2. Анотація до курсу

Дисципліна “Комп'ютерна схемотехніка” належить до переліку обов'язкових навчальних дисциплін з циклу професійної підготовки за освітнім рівнем “бакалавр”, що пропонуються в рамках циклу загальної і професійної підготовки студентів за освітньою програмою “Комп'ютерна інженерія”. Вона забезпечує формування у студентів науково-дослідницьких професійно-орієнтованих компетенцій.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є базові схемотехнічні підходи, що стосуються створення елементної бази для побудови компонентів комп'ютерних пристроїв і систем, основою яких є інтегральні схеми (ІС). Для їх створення найбільш придатною на даний час вважається КМОН - технологія, оскільки пристрої на їх основі володіють мінімальною споживаною потужністю порівняно з іншими відомими технологіями і достатньо високою швидкодією, завдяки сучасним суб- і нанометровим топологічним розмірам елементів. Для розуміння принципів побудови цифрових компонентів ІС, необхідні знання з їх проектування як на високому рівні, функціонально-логічному так і на рівні КМОН - транзисторів. Оскільки цей рівень є основою для проектування топологій ІС, параметричної оптимізації реальних компонентів та елементів, виготовлення кристалів реальних ІС. Для їх проектування, дослідження і моделювання використовуються сучасні апаратно-програмні засоби – системи автоматизованого проектування і моделювання (САПР). Тому метою цього курсу є також формування у студентів практичних навиків комп'ютерного проектування і моделювання елементної бази цифрових ІС, зокрема, на основі КМОН - технологій, використання САПР як інструментарію інтерактивних досліджень в процесі створення і оптимізації цифрових ІС. Це є особливістю даного курсу. Ці знання необхідні також для проектування цифрових ІС з використанням зовнішнього програмування – програмовані логічні ІС (ПЛІС), матричні ІС та ін.

Силабус навчальної дисципліни “Комп'ютерна схемотехніка” складений відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів спеціальності 123 “Комп'ютерна інженерія”.

### 3. Мета та цілі курсу

**Мета:** сформувати у студентів:

- сучасні практично-прикладні уявлення та знання із комп'ютерної схемотехніки щодо побудови і проектування компонентів комп'ютеризованих пристроїв і систем на основі КМОН ІС.

- особливості вибору типів інтегральних приладних структур для цифрових пристроїв;

- уявлення про базові маршрути маршрутів проектування ІС;

- особливості автоматизованого проектування, моделювання і дослідження схематичних рішень з реалізації елементів цифрових КМОН ІС;

- уявлення про методологію схемотехнічного моделювання елементної бази КМОН ІС з врахуванням впливу міжелементної ізоляції в пакеті прикладних програм TopSpice, параметричну оптимізацію приладних елементів ІС за критеріями оптимальні електричні, часові і температурні характеристики.

**Завдання:** ознайомлення із науковими положеннями, що лежать в основі функціонування елементної бази комп'ютерних засобів і систем та мереж; маршрутами проектування компонентів комп'ютерних засобів на основі інтегральних схем; формування вміння аналізувати та проектувати логічні і комбінаційні елементи цифрових ІС; отримання практичного досвіду з проектування, моделювання та параметричної оптимізації елементів приладних структур ІС.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:

- склад, функціонування і класифікацію комп'ютерних систем та їх компонентів;

- технічних характеристик, конструктивних особливостей, призначення і правил експлуатації програмно-технічних засобів комп'ютерних систем та мереж зокрема, САПР, для проектування елементної бази на основі ІС;

- методологію проведення експериментів, використання даних та моделювання в САПР;

- сучасні підходи і маршрути автоматизованого проектування і моделювання приладних структур ІС;

- взаємозв'язок між конструктивно-технологічними елементами приладних інтегральних структур із їх схемотехнічною реалізацією;

**вміти:**

- розв'язувати задачі аналізу та проектування компонентів комп'ютерних засобів на основі ІС.

- аналізувати і вибирати типи інтегральних приладних структур для створення ІС оптимальними принципом співвідношення ціна/параметри ІС:

- працювати в сучасних системах автоматизованого проектування і моделювання приладних елементів ІС;

- проектувати та моделювати та аналізувати базові логічні бібліотечні елементи ІС;

- проектувати та моделювати комбінаційні логічні елементи ІС спеціалізованого (для дослідження елементної бази) призначення;

- проводити параметричну оптимізацію схемотехнічних рішень.

#### 4. Компетентності

##### Загальні компетентності

ЗК3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК7. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

##### Спеціальні (фахові) компетентності

Р5. Здатність використовувати засоби і системи автоматизації проектування до розроблення компонентів комп'ютерних систем та мереж, Інтернет додатків, кіберфізичних систем тощо.

Р12. Здатність ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу програмно-технічних засобів, комп'ютерних та кіберфізичних систем, мереж та їхніх компонентів шляхом використання аналітичних методів і методів моделювання.

Р13. Здатність вирішувати проблеми у галузі комп'ютерних та інформаційних технологій, визначати обмеження цих технологій.

#### 5. Програмні результати навчання

Н1. Знати і розуміти наукові положення, що лежать в основі функціонування комп'ютерних засобів, систем та мереж.

Н3. Знати новітні технології в галузі комп'ютерної інженерії.

Н7. Вміти розв'язувати задачі аналізу та синтезу засобів, характерних для спеціальності.

Н9. Вміти застосовувати знання технічних характеристик, конструктивних особливостей, призначення і правил експлуатації програмно-технічних засобів комп'ютерних систем та мереж для вирішення технічних задач спеціальності.

Н13. Вміти ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу комп'ютерних систем та їх компонентів.

#### 6. Організація навчання курсу

Обсяг курсу					
Вид заняття			Загальна кількість годин		
лекції			44		
семінарські заняття / практичні / <u>лабораторні</u>			46		
самостійна робота			180		
Ознаки курсу					
Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)		Нормативний/ вибірковий	
5	123 Комп'ютерна інженерія	3		Нормативний	
Тематика курсу					
Тема	Форма заняття, год.	Література	Кількість годин	Вага оцінки (макс.	Термін виконання

				оцінка)	
<b>Змістовий модуль 1</b>					
<b>Тема 1.</b> Вступ до предмету «Компютерна схемотехніка» Інтегральні схеми – основа комп'ютерної схемотехніки. Ознаки класифікації ІС.	Лекція	1-3	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 2.</b> Типи структур інтегральних схем, їх властивості. Вибір типів ІС для комп'ютерної схемотехніки за співвідношенням «ціна / параметри».	Лекція	1-3	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 3.</b> Форми представлення інформації. Основні поняття. Сигнали. Види сигналів, їх параметри. Вимірювання часових і амплітудних характеристик сигналів.	Лекція	2	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 4.</b> Логічні основи побудови елементної бази цифрових ІС. Основні поняття і визначення Булевої алгебри. Форми подання Булевої інформації. Основні тотожності. Моделі і параметри логічних елементів.	Лекція	2	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 5.</b> Серії ІС та логічних елементів. Типи вихідних каскадів цифрових ІС. Базові властивості і характеристики цифрових ІС.	Лекція	2	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 6.</b> МОН-транзистори – основа для побудови елементної бази цифрових ІС. Конструктивно-топологічні і електричні характеристики МОН-транзисторів. Часові і енергетичні параметри передачі сигналів МОН-транзисторами. Логічні	Лекція	4	2	50	Згідно розкладу

операції і таблиці істинності. Логічні рівні і квантування сигналів.					
<b>Тема 7.</b> КМОН - інвертор як основа для побудови базових логічних елементів цифрових ІС. Приладна структура і схематична топологія КМОН -інвертора. Амплітудно-передавальні характеристики логічних елементів, часові діаграми їх функціонування.	Лекція	4	4	50	Згідно розкладу
<b>Тема 8.</b> Набори цифрових логічних елементів з функціями І, АБО, НЕ, комбіновані. Умовні графічні позначення. Математичний і табличний опис функцій, таблиці істинності.	Лекція	2,3	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 9.</b> Специфічні елементи цифрової схемотехніки на основі КМОН - інверторів: підсилювачі і формувачі імпульсних сигналів, формувачі і перетворювачі (зсувачі) рівнів сигналів, регульовані схеми затримки сигналів, виділення фронтів імпульсів, керовані кільцеві генератори.	Лекція	4	4	50	Згідно розкладу
<b>Тема 10.</b> Принципи побудови цифрових комбінаційних схем на основі КМОН - транзисторних структур. Шифратори і дешифратори, комбінаційні схеми на їх основі.	Лекція	2,6	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 11.</b> Прохідні ключі на основі КМОН - транзисторних структур. Проектування на їх основі елементів цифрових ІС з керованими виходами та комбінаційних логічних елементів.	Лекція	6	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 12.</b> Типи і схемотехніка	Лекція	6	2	50	Згідно

виходів цифрових КМОН ІС. Логічні виходи. Виходи з трьома станами. Відкриті виходи. Програмовані виходи.					розкладу
<b>Тема13.</b> КМОН схемотехніка тригерних пристроїв. Класифікація тригерів. Тактування тригерів. Використання тригерів.	Лекція	1	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 14.</b> КМОН схемотехніка регістрів і лічильників.	Лекція	2,3	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 15.</b> Запам'ятовуючі пристрої. Класифікація, організація і структури запам'ятовуючих пристроїв. Режими зберігання інформації в ЗП.	Лекція	4	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 16.</b> Комірки статичних і динамічних запам'ятовуючих елементів в схемотехніці КМОН і ПМОН.	Лекція	1,6,9	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 17.</b> Проблеми і перспективи запам'ятовуючих пристроїв. Перспективні ЗП (ферроелектричні, магніто-резистивні, полімерно-ферроелектричні)	Лекція	1,6	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема18.</b> Мікропроцесорні системи. Структура і функціонування мікропроцесорних систем.	Лекція	1,5,4	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 19.</b> Мікроконтролери. Структура і функціонування мікроконтролерів.	Лекція	1,5	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 20.</b> КМОН схемотехніка інтерфейсних схем. Шинні формувачі і буферні регістри.	Лекція	1,3	2	50	Згідно розкладу
<b>Тема 21.</b> FPGA, ПЛІС – програмовані користувачами вентильні матриці. Властивості і можливості.	Лекція	1,3	2	50	Згідно розкладу

Програмовані елементи.					
<b>Тема 22.</b> БМК- програмовані користувачем базові матричні кристали. Етапи проектування матричних ІС.	Лекція	1,2	2	50	Згідно розкладу
<b>Модульний контроль 1</b>			2	50	Згідно розкладу
<b>Практичний модуль</b>					
<b>Лабораторна робота №1</b> в САПР Top Spice. Вивчення оболонки, бібліотеки елементної бази і графічного схемотехнічного редактора ІС в САПР Top Spice.	Лаб. робота	7,10	4	50	Згідно розкладу
<b>Лабораторна робота №2.</b> Дослідження електрофізичних параметрів МОН – транзисторів із їх передавальних та вихідних ВАХ залежно від конструктивно–топологічних параметрів. МОН - транзистор як ключовий елемент цифрових ІС. Таблиця істинності та параметри швидкодії при передачі сигналів.	Лаб. робота	7,10	4	50	Згідно розкладу
<b>Лабораторна робота №3.</b> Опис цифрових сигналів в САПР Top Spice. Моделювання, побудова і оптимізація АПХ і часових характеристик КМОН – інверторів. Дослідження впливу ємності навантаження на часові параметри КМОН-інвертора.	Лаб. робота	7,10	4	50	Згідно розкладу
<b>Лабораторна робота №4.</b> Моделювання і оптимізація АПХ і часових характеристик логічних КМОН елементів на прикладі схеми ЗАБО-НЕ залежно від топологічних розмірів і ємнісного навантаження. Складання	Лаб. Робота	7,10	4	50	Згідно розкладу

електричної схеми. Опис вхідних сигналів. Складання таблиці істинності.					
<b>Лабораторна робота №5.</b> Комп'ютерне моделювання і дослідження комбінаційних схем на основі логічних елементів 2АБО-НЕ, 2І-НЕ. Складання електричної схеми на КМОН - транзисторах, математичного виразу виконуваної функції, таблиці істинності.	Лаб. робота	7,10	4	50	Згідно розкладу
<b>Лабораторна робота №6.</b> Комп'ютерне моделювання і дослідження елементів цифрових ІС з регульованою затримкою сигналів з використанням інтегруючих РС-кіл.	Лаб. робота	7,10	4	50	Згідно розкладу
<b>Лабораторна робота №7.</b> Комп'ютерне моделювання і дослідження елементів цифрових ІС з виділенням фронтів з регульованою тривалістю сигналів з використанням диференціюючих РС-кіл.	Лаб. робота	7,10	2	50	Згідно розкладу
<b>Лабораторна робота №8.</b> Комп'ютерне моделювання дослідження і генераторів імпульсів. Логічно керовані кільцеві генератор імпульсів – як інструментарій оцінки параметрів КМОН цифрових ІС.	Лаб. робота	7,10	4	50	Згідно розкладу
<b>Лабораторна робота №9.</b> Комп'ютерне моделювання і дослідження елементів статичних пам'ятовуючих пристроїв. 6-ти транзисторна комірка пам'яті на основі КМОН - транзисторів.	Лаб. робота	7,10	4	50	Згідно розкладу
<b>Лабораторна робота №10.</b> Комп'ютерне моделювання і	Лаб. робота	7,10	2	50	Згідно розкладу

дослідження цифрових інтегральних формувачів (перетворювачів) рівнів сигналів з низького до високого та з високого до низького.					
<b>Лабораторна робота №11.</b> Комп'ютерне моделювання і дослідження функціонування інтегральних тригерів D-типу на основі КМОН-транзисторних структур.	Лаб. робота	7,10	4	50	Згідно розкладу
<b>Лабораторна робота №12.</b> Комп'ютерне моделювання і дослідження принципів побудови і функціонування цифрових елементів КМОН ІС з керованим виходом і трьома станами.	Лаб. робота	7,10	4	50	Згідно розкладу
<b>Самостійна робота</b>					
<b>Тема 1.</b> Ознайомлення з сучасною базовою технологією формування приладних КМОН - структур цифрових ІС. Результати моделювання базових кроків на прикладі формування інтегрального КМОН-інвертора. Взаємозв'язок «інтегральна структура – схемотехнічне рішення – топологія».	Самостійна робота	4,11	10	50	Згідно розкладу
<b>Тема 2.</b> Проблеми автоматизованого проектування і верифікації топологій цифрових КМОН ІС. Автоматизоване проектування планів топологій кристалів ІС, схем зовнішнього інтерфейсу ІС. Автоматизована генерація топологій елементів	Самостійна робота	1,8,11	20	50	Згідно розкладу

приладних структур КМОН ІС за заданим описом їх конструктивних параметрів в САПР.					
<b>Тема 3.</b> Периферійні інтегральні приладні структури цифрових КМОН ІС. Схеми захисту від статичної електрики. Моделювання проходження сигналів через інтегральні контактні площадки, транзисторні структури елементів схем захисту від статичної електрики.	Само- стійна робота	1,11	10	50	Згідно розкладу
<b>Тема 4.</b> Інтегральні схеми та елементи статичної пам'яті на КМОН - структурах. Їх схемотехніка, часові діаграми, функціонування.	Само- стійна робота	1,8	20	50	Згідно розкладу
<b>Тема 5.</b> Інтегральні схеми та елементи динамічної пам'яті на КМОН - структурах. Принцип запам'ятовування інформації. Їх схемотехніка, регенерація інформації, функціонування.	Само- стійна робота	1	20	50	Згідно розкладу
<b>Тема 6.</b> Інтегральні схеми та елементи FLASH – пам'яті. Схемотехніка. Принципи запису, зчитування і зберігання інформації.	Само- стійна робота	1, 2	20	50	Згідно розкладу
<b>Тема 7.</b> Побудова і комп'ютерне моделювання інтегральних елементів дешифраторів на КМОН - структурах для статичних схем пам'яті.	Само- стійна Робота	4,5	20	50	Згідно розкладу
<b>Тема 8.</b> Вивчення схемотехніки, побудова і комп'ютерне моделювання інтегральних елементів	Само- стійна робота	6,8	20	50	Згідно розкладу

двонаправлених вхідів/ виходів для багаторозрядних статичних схем пам'яті.					
<b>Тема 9.</b> Двонаправлені ключі на основі інтегральних КМОН - структур. Їх використання в цифрових ІС для схем керування. Проектування цифрових логічних КМОН - схем на основі двонаправлених ключів. Порівняльне схемотехнічне моделювання елементів цифрових ІС на основі традиційної схемотехніки та двонаправлених КМОН-ключів.	Само- стійна робота	6	20	50	Згідно розкладу
<b>Тема 10.</b> Програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС). Програмування і проектування мікро- процесорних пристроїв на основі ПЛІС.	Само- стійна робота	1,4	20	50	Згідно розкладу
Контроль самостійної роботи	2		2	100	Тиждень КСР
<b>Підсумковий контроль (екзамен)</b>				100	Згідно розкладу

## 7. Система оцінювання курсу

<b>Загальна система оцінювання курсу</b>
<p><i>Поточний контроль</i> здійснюється під час проведення лекційних, лабораторних, індивідуальних занять і має на меті перевірку знань студентів з окремих тем навчальної дисципліни та рівня їх підготовленості до виконання конкретної роботи. Оцінки у національній шкалі («відмінно» - 5, «добре» - 4, «задовільно» - 3, «незадовільно» - 2), отримані студентами, виставляються у журналах обліку відвідування та успішності академічної групи.</p> <p><i>Модульний контроль</i> (сума балів за окремих змістовий модуль) проводиться (виставляється) на підставі оцінювання результатів знань студентів після вивчення матеріалу з логічно завершеної частини дисципліни – змістового модуля.</p> <p>Завданням модульного контролю є перевірка розуміння та засвоєння певного матеріалу (теми), вироблення навичок проведення розрахункових робіт, вміння вирішувати конкретні ситуативні задачі, самостійно опрацьовувати тексти, здатності осмислювати зміст даної частини дисципліни, уміння публічно чи письмово подати певний матеріал.</p> <p><i>Семестровий (підсумковий) контроль</i> проводиться у формі екзамену.</p>

*Екзамен* – форма підсумкового контролю, яка передбачає перевірку розуміння студентом теоретичного та практичного програмного матеріалу з усієї дисципліни, здатності творчо використовувати здобуті знання та вміння, формувати власне ставлення до певної проблеми тощо.

**Шкала оцінювання: національна та ECTS**

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
80-89	B	добре	
70-79	C		
60-69	D		
50-59	E	задовільно	
26-49	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	
0-25	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

## 8. Політика курсу

Студент зобов'язаний відвідувати заняття відповідно до встановленого розкладу, не запізнюватися, мати відповідний зовнішній вигляд. У разі відсутності через хворобу надається відповідна довідка.

Пропущена лекція відпрацьовується студентом самостійно і оформляється як короткий конспект за темою заняття.

Пропущена лабораторна робота виконується студентом самостійно вдома або в комп'ютерному класі, результати оцінюються викладачем.

У випадку, якщо студент приймав участь у програмі мобільності, можливе врахування отриманих оцінок в іншому навчальному закладі за умови відповідності навчальних планів.

### Політика академічної поведінки і етики

Студент повинен бути толерантним і поважати думку інших.

Заперечення повинні формулюватися тільки в коректній формі.

Плагіат та академічна недобросовісність несумісні з принципами діяльності ВНЗ.

Не допускається підказування та списування під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного чи підсумкового контролю.

Не допускається користування телефонами та будь-якими іншими електронними засобами під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного, чи підсумкового контролю.

## 9. Рекомендована літератури

### Основна

1. Матвієнко М.П., Розен В.П. Комп'ютерна схемотехніка. Навчальний посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2020. – 192 с.
2. Рябенький В.М. Цифрова схемотехніка: Навч. посібник / Рябенький В.М. Жуйков В.Я., Гулий В.Д. - Львів: "Новий світ-2000", 2009 - 736 с.
3. Бабич М.П., Жуков І.А. Комп'ютерна схемотехніка. К. МК- Прес, 2004.-670с.
4. Etienne Sicard, Sonia Delmas Bendhia Deep-Submicron Circuit Design.- Simulator in hands.Salt Lake City, Utah 84109, USA -2003 ([www.brookscole.com](http://www.brookscole.com)), 737 p.
- 5.С.Мурога. Системное проектирование сверхбольших интегральных схем. В двух книгах. М.-Мир.-1986г.
- 6.Rabaev J.M. Digital Integrated Circuits: A Design Perspective. – Prentice Hall, 1997. –734 p.
- 7.Когут І.Т. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з комп'ютерної схемотехніки. ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника».Івано-Франківськ, 2019. –102с.

### Допоміжна

8. Злобін, Г. Г. Архітектура та апаратне забезпечення ПЕОМ: Навч. посіб. / Григорій Григорович Злобін, Роман Євстахович. Рикалюк. – К. : Каравела, 2006. – 304 с.
9. Бойко В.І. Схемотехніка електронних систем: у 3 кн. кн. 2 Цифрова схемотехніка: підручник / Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я. та ін. 2-е вид., допов. і перероб. - К.: Вища шк., 2004. - 423 с.
10. САПР TopSpice.([www.penzar.com](http://www.penzar.com))
11. Лінк опису ППП MicroWind-3. <https://www.microwid.org>

**Викладач**

**Когут І.Т.**