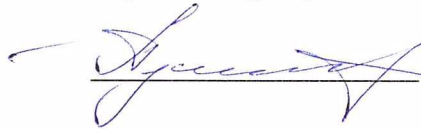


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Львівський національний університет імені Івана Франка  
Факультет електроніки та комп'ютерних технологій  
Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки

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

(протокол № 1/24 від 29.08.2024 р.)

Завідувач кафедри

 Андрій ЛУЧЕЧКО

Силабус з навчальної дисципліни

**“СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА”,**

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

Львів 2024

<b>Назва дисципліни</b>	Сонячна енергетика
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	м. Львів, вул. ген.Тарнавського, 107
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	17 Електроніка та телекомунікації, 171 Електроніка
<b>Викладачі дисципліни</b>	Костик Людмила Василівна, доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри сенсорної та напівпровідникової електроніки
<b>Електронна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:lyudmyla.kostyk@lnu.edu.ua">lyudmyla.kostyk@lnu.edu.ua</a> <a href="https://electronics.lnu.edu.ua/employee/kostyk-l-v">https://electronics.lnu.edu.ua/employee/kostyk-l-v</a>  факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки вул. ген.Тарнавського, 107, лаб. 414
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	<b>В режимі оф-лайн:</b> згідно розкладу в день проведення лекційних/лабораторних занять (корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів, вул. ген.Тарнавського, 107). <b>В режимі он-лайн:</b> на платформі Microsoft Teams (для погодження часу онлайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача).
<b>Сторінка дисципліни</b>	<a href="https://electronics.lnu.edu.ua/course/soniachna-enerhetyka/">https://electronics.lnu.edu.ua/course/soniachna-enerhetyka/</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Сонячна енергетика» є вибірковою дисципліною зі спеціальності 171 «Електроніка» освітньо-професійної програми «Електроніка та комп'ютерні системи», яка викладається у 8 семестрі в обсязі 6 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна «Сонячна енергетика» присвячена методам та засобам перетворення енергії сонячного випромінювання в електроенергію. Включає вивчення фізичних основ сонячної енергетики, особливостей різних типів перетворювачів сонячної енергії, матеріалів для сонячних батарей, тенденцій розвитку сонячної енергетики, сучасних технологічних рішень використання сонячної енергії для

	потреб побуту та виробництва.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	<p><b>Метою дисципліни</b> є сформувавши у студентів розуміння теоретичних і фізичних основ сонячної енергетики, уявлення про перетворювачі сонячної енергії та проблеми пошуку матеріалів для виготовлення високоефективних фотоелектричних та хімічних перетворювачів.</p> <p><b>Цілі дисципліни:</b> Курс “ повинен забезпечити ознайомлення студента із фізичними принципами і методами перетворення сонячної енергії, допомогти опанувати фізичну суть явищ, покладених в основу роботи сучасних перетворювачів сонячної енергії і сформувавши практичні навички роботи з фотоелектричними перетворювачами та вимірювальною апаратурою для вирішення прикладних завдань сучасної сонячної енергетики.</p>
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<p><b>Рекомендована література</b></p> <p><b>Базова:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Курс лекцій/ С.О. Кудря, В.І. Будько. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 387 с.</li> <li>2. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. — 340 с.</li> <li>3. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії: Навчальний посібник. / О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен, О.О. Ситник, А.В. Чернянський . – Черкаси : ЧДТУ, 2007. – 483 с.</li> <li>4. Фотоенергетика: навч. посібник/ Ю.П. Колонтаєвський, Д.В. Тугай, С.В. Котелевець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. –160 с.</li> </ol> <p><b>Допоміжна:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі : навч. посіб. / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, Я. М. Гнатишин. – Львів : Магнолія 2006, 2009. – 188 с.</li> <li>6. Нетрадиційні джерела енергії. Практичні заняття. Навчальний посібник. / Д. В. Риндюк, Т. В. Шелешей, І. С. Беднарська. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022 . – 81с.</li> <li>7. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Навчальний посібник. / І.О. Сінчук, С.М.Бойко, К.І. Лосіна, І.А. Луценко., Г.І. Ткаченко. – Кременчук: Вид-во ППП Щербатих, 2013. – 192 с.</li> <li>8. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Київ.: ТОВ "Віол Принт", – 2008. – 55 с.</li> </ol> <p><b>Методичне забезпечення:</b> Методичні рекомендації до лабораторного практикуму. з курсу «Енергетична електроніка». / Л.В. Костик, Р.М. Лис, І.М. Матвіїшин, Д.П. Слободзян, Л.М. Шпак. Львів, Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка.-2017.-59 с.</p>

--	--

<b>Обсяг КУРСУ</b>	Загальний обсяг 180 год. Аудиторних занять – 96 год.: 48 год. - лекційних занять, 48 год- лабораторних занять. Самостійна робота - 84 год.
<b>Очікувані результати навчання</b>	В результаті вивчення даного курсу студент повинен: <b>знати:</b> фізичні основи і сучасні методи перетворення сонячної енергії, принципи перетворення сонячної енергії бар'єрними напівпровідниковими структурами та фотоелектрохімічними сонячними елементами, проблеми і перспективи розвитку сонячної енергетики. <b>вміти:</b> проаналізувати принципи роботи та побудови фотоелектричних та хімічних перетворювачів, проводити розрахунки відповідних параметрів, інтерпретувати отримані експериментальні результати.
<b>Ключові слова</b>	Сонячні елементи, модулі, напруга холостого ходу, струм короткого замикання, коефіцієнт заповнення (FF), максимальна точка потужності ( $P_{max}$ ), квантова ефективність, фотопанель, інвентор, акумулятор, контролер заряду.
<b>Формат курсу</b>	Очний.
<b>Теми</b>	Див. СХЕМА КУРСУ
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік в кінці семестру.
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких розділів математики і фізики: як «Вища математика», «Твердотільна електроніка», «Фізика твердого тіла», «Напівпровідникова електроніка», «Оптоелектроніка».
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Лекції, презентації, лабораторні роботи, виконання індивідуальних завдань (робота у групі, команді), обговорення, дискусія. Робота в системах Microsoft Teams та Moodle для здійснення модульного контролю, завантаження виконаних лабораторних завдань.
<b>Необхідне обладнання</b>	Джерела живлення постійного струму Б5-47, Б5-49. Мультиметри типу М-838, монохроматор МДР-4, галогенні лампи, джерела живлення, резистори, двохканальний осцилограф С1-79, установка для вивчення ФЕ.

**Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)**

Оцінювання знань студента здійснюється упродовж семестру за 100 бальною шкалою, 60 балів за поточну успішність 20 за модуль і 20 – за залік.

Поточний контроль знань студентів здійснюється під час проведення лабораторних та практичних занять. Модульний контроль проводиться 2 рази впродовж семестру. Семестр закінчується здачею заліку з навчальної дисципліни. Під час семестрового контролю враховуються результати здачі лабораторних і модульних контрольних робіт та письмово-усного заліку.

Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:

- лабораторні роботи: 40% семестрової оцінки (максимальна кількість балів — 40);
- розрахункові завдання: 15% семестрової оцінки (максимальна кількість балів — 15)
- контрольні заміри: 25% семестрової оцінки (максимальна кількість балів — 25);
- залік: 20% семестрової оцінки (максимальна кількість балів — 20).

Загалом упродовж семестру 100 балів

**Академічна доброчесність:** Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. формуванні звітів є підставою для їх незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.

**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.

**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 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 запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат;

	<p>несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.  Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> <p><b>Оцінювання лабораторних робіт та розрахункових завдань</b> (8 лабораторних робіт та 3 розрахункові завдання) відбуваються шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту.</p> <p>Кожна робота оцінюється в діапазоні від 0 до 5 балів (8x5=40 балів + 3x5=15 балів).</p> <p>Бали оцінювання робіт нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <p>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 результатах;</p> <p>3 - 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;</p> <p>1,5-1 - студент не досить добре розуміє теоретичний матеріал, вагається та надає неточні/не конкретні відповіді</p> <p>0 - студент зовсім не підготувався до виконання лабораторної роботи, при допомозі викладача не в змозі виконати жодне завдання лабораторної роботи.</p> <p><b>2 модулі</b></p> <p><b>1 модуль</b> - теоретична частина, що містить 10 питань з лекційного матеріалу (відповіді на кожне оцінюються у 1 бали: 10x1=10 балів).</p> <p><b>2 модуль</b> - складаються з двох частин:</p> <p><b>перша</b> теоретична частина, що містить 5 питань з лекційного матеріалу (відповіді на кожне оцінюються у 2 бали: 5x2=10 балів).</p> <p><b>друга</b> частина, що містить одне розрахункове завдання (виконання оцінюється у 5 балів).</p> <p><b>Залік</b> проводиться у формі тестових завдань у системі Moodle . Містить 40 тестових питань з одним вірним варіантом відповіді.</p> <p>Кожна правильна відповідь приносить 0,5 бала, хибна відповідь — 0 балів</p>
<p><b>Опитування</b></p>	<p>Анкету з метою оцінювання якості курсу буде надано після вивчення курсу.</p>

## СХЕМА КУРСУ

Тиж	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література Ресурси в Інтернеті	Завдання (лабораторна робота), год.	Термін виконання
1	<p><b>Тема 1 Сонячна енергетика. Пряме перетворення сонячної енергії.</b></p> <p>Альтернативна енергетика та відновлювальні джерела енергії. Невідновлювані джерела енергії: вугілля, торф, нафта, природний газ. Сонце як джерело енергії. Основні характеристики сонячного випромінювання. Перетворення сонячної енергії – перспективний шлях розвитку енергетики. Переваги і недоліки сонячної енергетики Сонячна енергетика України Перспективи сонячної енергетики в Україні Способи виробництва електричної енергії з сонячного випромінювання.</p>	Лекція (3 год)	1-7	Вступне заняття. Інструкція з техніки безпеки. Ознайомлення з методичними матеріалами до лабораторних робіт (2 год).	1 тиждень семестру
2.	<p><b>Тема 2. Фізичні основи сонячної фотоенергетики. Електронно-дірковий перехід.</b></p> <p>Зонна структура напівпровідників. Електрони і дірки провідності. Рівень Фермі: Власні та домішкові напівпровідники. Електропровідність напівпровідників. Енергетична схема напівпровідника <math>n</math>-типу та <math>p</math>-типу. Контактні явища у напівпровідниках. Фізичні процеси в електронно-дірковому переході. Висота потенційного бар'єру і контактна різниця потенціалів. ВАХ <math>p</math>-<math>n</math>-переходу. Напівпровідникові діоди. Фізичні фактори, які визначають постійні прями і зворотні струми через діод з <math>p</math>-<math>n</math>-переходом. Інжекція і екстракція неосновних носіїв заряду.</p> <p><b>Тема 3. Поглинання світла напівпровідниками.</b></p> <p>Особливості поглинання світла прямозонними та</p>	Лекція (3 год)	1-4	Дослідження ВАХ фотодіодів, впливу температури на ВАХ (4 год).	2-3 тиждень семестру

3	непрямозонними напівпровідниками. Закон збереження енергії. Фоторезистивний ефект. Фотопровідність напівпровідників. Процеси генерації та рекомбінації нерівноважних носіїв струму. Вплив пасток на фотопровідність. Фоторезистори та їх основні характеристики.	Лекція (3 год)	1-8	Дослідження світлових та анодних характеристик фоторезисторів та вакуумних фотоелементів. (:6 год).	4-5 тиж. семестру
	<b>Тема 3. Фотоелемент на напівпровідниковому <i>p-n</i> переході.</b> Фотоелектричні перетворювачі сонячної енергії. Математична модель сонячного елемента на <i>p-n</i> переході. Умови ефективної роботи сонячних елементів. Будова та принцип роботи фотоелементів. Аналіз роботи фотоелемента. Основні матеріали для отримання сонячних елементів. Новітні технологічні рішення в виробництві фотоелементів.		1-7	Фотоефект на <i>p-n</i> переході. Дослідження світлових ВАХ та світлових характеристик фотоелементів на напівпровідниковому переході. (4 год).	6-7 тиждень семестру
4	<b>Тема 4. Фотовольтаїчний ефект.</b> Основи класифікації перетворювачів сонячної енергії. Механізми формування фотоЕРС. ФотоЕРС Дембера. ФотоЕРС <i>p-n</i> переході. Фотодіоди. ВАХ фотодіодів. Напівпровідникові фотоелементи. Світлові, електричні характеристики.	Лекція (3 год)	1-5		
5	<b>Тема 5. Контакт метал-напівпровідник.</b> Контакт метал-напівпровідник. Запірний шар. Омичний контакт. Діаграма енергетичних зон переходу метал-напівпровідник. Вольтамперна характеристика контакту метал-напівпровідник. Ідеалізована МДН-структура. ФотоЕРС на контакті метал-напівпровідник	Лекція (3 год)	1-4	Дослідження вольтамперних характеристик сонячних батарей. Визначення оптимального опору навантаження та максимальне значення потужності та коефіцієнта заповнення, коефіцієнта корисної дії (ефективність) сонячних батарей (6 год).	8-9 тиждень семестру

6	<p><b>Тема 6. Сонячні перетворювачі енергії на основі бар'єрних структур.</b>  Поняття сонячного оптимуму. Ідеальна ефективність перетворення..  Види сонячних елементів.  Сонячні елементи (СЕ) на основі <i>p-n</i> структур.  Кремнієві монокристалічні сонячні елементи. Кремнієві полікристалічні сонячні елементи. КД СЕ. Конструкції пристроїв. Сонячні термо-фотоелектричні генератори. Оптична селективність. Ефективність СЕ. Втрати в СЕ. Сонячні елементи (СЕ) на бар'єрах Шоткі. СЕ на МДН-структурах. Конструкції пристроїв та їх переваги.</p>	Лекція (3 год)	1-7		тиждень семестру
7	<p><b>Тема 7. Тонкоплівкові сонячні елементи.</b>  <b>Гетеропереходи.</b> Енергетична діаграма гетеропереходу. Особливості фотоЕРС на гетеропереходах. Технології виготовлення високо-ефективних монокристалічних плівкових СЕ. Створення аморфних сонячних перетворювачів. Конструкції пристроїв. Полікристалічні перетворювачі на основі халькогенідів кадмію (CdS/CdTe), можливості їхнього застосування. СЕ на основі <math>CuIn_{1-x}Ga_xS_ySe_{2-y}</math>. Арсенід-галієві СЕ. Тандемні і каскадні СЕ на основі твердих розчинів <math>A^3B^5</math> з аномально високою ефективністю. Проблеми вибору оптичного вікна для СЕ. Сучасні задачі вибору матеріалів СЕ.</p>	Лекція (3 год)	1-6	Дослідження спектральних характеристик фотодіодів та фотоелементів. (4 год).	8 тиждень семестру
8	<p><b>Тема 8. Хімічні перетворювачі сонячної енергії. Органічні сонячні елементи.</b> Фотоелектроліз при використанні напівпровідникових електродів. Електрохімічна комірка. ЕРС фотоелектролізу. Принцип дії та ефективність фотоелектрохімічних сонячних елементів. Плівкові полімерні сонячні панелі.</p>	Лекція (3 год)	1-4		

9	<p><b>Тема 9. Новітні технологічні рішення в виробництві сонячних елементів.</b></p> <p>Сонячні елементи на наночастинках, сенсibiliзованих барвником. Сонячні елементи на квантових точках. Сонячні елементи з надтонким поглиначем. Перовскітові сонячні елементи. Інноваційні панелі на основі перовскитів. Напівпрозорі сонячні елементи.</p>	Лекція (3 год)	1-7	Дослідження світлових характеристик сонячних модулів . Вплив кута нахилу фотомодулів на світлові арактеристики . (4 год).	9 тиждень семестру
10	<p><b>Тема 10. Сонячна теплоенергетика.</b></p> <p>Класифікація систем сонячного теплопостачання Сонячні колектори. Плоский вакуумний колектор. Загальна характеристика вакуумних колекторів Будова трубчастих вакуумних сонячних колекторів. Концентруючі сонячні колектори. Віддзеркалюючий вакуумний сонячний колектор, слідкуючий за Сонцем.</p>	Лекція (3 год)	1-8		
11	<p><b>Тема 11. Технічні засоби фотоенергетики.</b> Загальна характеристика технічних засобів. Сонячні панелі та їх властивості. Фотоелектричні системи, їх класифікація та особливості Основні технічні та економічні показники фотоенергетичного обладнання.</p>	Лекція (3 год)	1-4	Дослідження режиму режимів холостого ходу та короткого замикання сонячного елемента. Дослідження спектральних характеристик сонячного елемента. (4 год).	10-11 тиждень семестру
12	<p><b>Тема 12. Сонячні електростанції.</b></p> <p>Загальні відомості. Основні поняття. Фотоелектричні системи, їх класифікація та особливості. Контролери заряду – розряду. Типи та характеристики контролерів</p>	Лекція (3 год)	1-8	Вплив температури на електричні параметри сонячної батареї . (4 год).	12 тиждень семестру

13	<p><b>Тема 13. Види інверторів сонячних електростанцій.</b> Вибір інвертора. Вплив відхилень напруги на різне електрообладнання. Автономні інвертори напруги. Мережеві інвертори. Гібридні інвертори. Орієнтовний вибір інвертора за потужністю.</p>	Лекція (3 год)	1-8	Розрахунок площі сонячного колектора для забезпечення споживача гарячою водою в кількості $m$ кілограмів на добу із заданою температурою (2 год).	13 тиждень семестру
14	<p><b>Тема 14. Системи акумулювання енергії відновлюваних джерел.</b> Системи акумулювання енергії, відновлюваних джерел. Класифікація акумуляторів енергії. Електрохімічні, теплові, інерційні акумулятори. Пристрої акумулювання, накопичення та збереження енергії. Акумулятори. Накопичення і зберігання електроенергії.</p>	Лекція (3 год)	1-7	Розрахунок отримання електроенергії сонячною батареєю, що складається з $m$ модулів на майданчику, розташованому під кутом $\beta$ до горизонту. (1 год).	14 тиждень семестру
15	<p><b>Тема 15. Воднева енергетика.</b> Характеристика водню як енергоносія. Виробництво водню. Методи зберігання та транспортування. Застосування водню у відновлювальній енергетиці. Комплексне використання відновлювальних джерел енергії та акумуляторів енергії.</p>	Лекція (3 год)	1-8	Розрахунок К.К.Д СМ типу PSM4-150 на Si монокристалічних сонячних елементах залежно від потужності (2 год).	15 тиждень семестру
16	<p><b>Тема 16. Розрахунок продуктивності сонячної електростанції.</b> Географічне положення. Орієнтація і кут нахилу фото панелей. Тип установки і температура. Характеристики обладнання. Експлуатація сонячних батарей. Специфіка підключення сонячних електростанцій до мережі. Деякі застосування фотоенергетичних пристроїв.</p>	Лекція (3 год)	1-7	Підсумкове заняття. Узагальнення проблемних питань. (2 год.)	16 тиждень семестру