МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет
Кафедра загальної фізики

Затверджено

на засіданні кафедри загальної фізики
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 30.08.2023 р.)

Завідувач кафедри Василь СТАДНИК

Силабус
з навчальної дисципліни
«Основи радіоелектроніки»,
що викладається в межах
ОПП «Комп'ютерні технології у прикладній фізиці»
ОПП «Нанофізика та наноматеріали»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Львів 2023

Назва дисципліни	Основи радіоелектроніки
Адреса викладання дисципліни	вул. Драгоманова, 19, 79005, м. Львів
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	фізичний факультет, кафедра загальної фізики
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Викладачі дисципліни	лектор: Фтомин Назар Євгенійович, доцент кафедри загальної фізики, к.ф.-м.н., лабораторні заняття проводить доц. Фтомин Н.Є.
Контактна інформація викладачів	nazar.ftomyn@lnu.edu.ua
Консультації з дисципліни відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та лабораторних занять (за попередньою домовленістю). Можливі також он-лайн консультації через електронну пошту, або засобами Microsoft Teams, Zoom.
Сторінка курсу	https://physics.lnu.edu.ua/academics/bachelor/curriculum-it-technologies-in-physics
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Основи радіоелектроніки» є нормативною дисципліною для підготовки бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали, яка викладається в VII семестрі в обсязі 4,5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна «Основи радіоелектроніки» знайомить студентів із методами аналізу радіосигналів, фізичними основами сучасної радіоелектроніки, схемотехнікою, основними дискретними елементами. Їхнє вивчення під час лекційних та лабораторних занять дає змогу опанувати знання з радіоелектроніки, які є фундаментом для різних галузей науки і техніки.
Мета та цілі дисципліни	**Мета:** надати студентам інформацію про основні складові частини радіоелектроніки та їхню роль у сучасному суспільстві; ознайомити студентів з будовою, принципом роботи та основними характеристиками радіоелектронних елементів; **Цілі:** навчити студентів виконувати вимірювання основних параметрів радіоелектронних компонентів в електричних колах; складати схеми найпростіших електронних ланок, обробляти сигнали за допомогою спеціальних комп'ютерних програм.
Література для вивчення дисципліни	**Базова:** 1. Левитський С.М. Основи радіоелектроніки : підручник / С.М. Левитський. – КНУТШ. – К : Київський університет, 2007. – 456 с. 2. Сисоєв В.М. Основи радіоелектроніки : підручник / В.М. Сисоєв. – К. : Техніка, 2001. – 224 с. 3. Борисов О.В. Основи твердотільної електроніки : навч. посіб. / О.В. Борисов; за ред. Ю.І. Якименка. – К. : Освіта України, 2011. – 462 с. 4. Horowitz P. The Art Of Electronic / P. Horowitz, W. Hill. – Cambridge University Press, 2015. – 1225 p. 5. Бучковський І.А. Електроніка. Частина 1. Напівпровідникові прилади / І.А. Бучковський. – Чернівці : Рута, 2006. – 144 с. 6. Kester W. Analog-Digital Conversion / W. Kester. – Analog Devices, 2004. –1138 p. 7. Готра З.Ю. Фізичні основи електронної техніки / З.Ю. Готра, І.Є. Лопатинський, Б.А. Лукіянець, З.М. Микитюк, І.В. Петрович. – Львів : Бескид Біт, 2004. – 880 с.

	8. Корчак Ю. Оптоелектронна інформатика. Том 1. Основні принципи та прилади: навчальний посібник / Ю. Корчак, Ю. Фургала, С. Рихлюк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2016. – 312 с. **Допоміжна:** 1. Болеста І.М. Теорія електромагнітного поля : навчальний посібник / І.М. Болеста. – Львів, ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – 478 с. 2. Кичак, В.М. Основи радіоелектроніки : навчальний посібник / В.М. Кичак, Ю.В. Крушевський, Д.В. Гаврілов. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 368 с. 3. Бобало Ю.Я. Основи теорії електронних кіл / Ю.Я. Бобало, Б.А. Мандзій, П.Г. Стахів, Л.Д. Писаренко, Ю.І. Якименко; За ред. проф. Ю.І. Якименка. – Київ: Видавництво Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, 2011. – 332 с. 4. Любунь З. Радіотехнічні кола і сигнали. Навчально- методичні вказівки / З. Любунь, Ю. Мочульський. – Львів, Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2000. – 50 с. 5. Любунь З. Основи радіоелектроніки. Частина 1. Лабораторний практикум / З. Любунь, Ю. Мочульський. – Львів, Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003. – 74 с. Наукові статті у періодичних виданнях за тематикою дисципліни. **Інформаційні ресурси:** https://uk.wikipedia.org https://www.alldatasheet.com
Тривалість дисципліни	один семестри
Обсяг дисципліни	135 годин, з яких 96 год. аудиторних занять, з них 48 год. лекцій, 48 год. лабораторних занять та 39 год. самостійної роботи
Очікувані результати навчання	***Загальні компетентності (ЗК):*** **ЗК 1.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. **ЗК 2.** Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. **ЗК 9.** Здатність працювати автономно. ***Спеціальні компетентності (СК):*** **СК 5.** Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп’ютерних технологій. **СК 7.** Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. ***Програмні результати навчання (ПРН):*** **ПРН 01.** Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв’язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики. **ПРН 02.** Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів. **ПРН 03.** Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв’язанні практичних проблем прикладної фізики. **ПРН 12.** Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв’язанні екологічних проблем. Після завершення цієї дисципліни студент буде:

	знати: 1. сучасний стан і перспективи розвитку радіоелектроніки; 2. основні поняття, визначення та функціональні можливості елементів радіоелектроніки; 3. характеристики електровимірювальних приладів, правила їхнього ввімкнення; 4. принципи роботи та основні характеристики напівпровідникових приладів, інтегральних мікросхем. **вміти:** 1. застосовувати теоретичні знання на практиці; 2. досліджувати основні характеристики електронних елементів та пристроїв; 3. розраховувати параметри лінійних та нелінійних електричних схем; 4. визначати основні характеристики електровимірювальних приладів, принципи дії та область застосування; 5. використовувати інтернет-ресурси для пошуку інформації з радіоелектроніки.
Ключові слова	сигнал, електричний фільтр, модуляція, транзистори, операційний підсилювач, оптоелектроніка, оптрон, інтегральна мікросхема
Формат дисципліни	очний
Теми	Наведено у табл. 1.
Підсумковий контроль, форма	Підсумковий контроль: іспит в кінці семестру. Форма: письмово-усна.
Пререквізити	Для вивчення дисципліни студенти потребують знань з дисциплін «Електрика і магнетизм», «Математичний аналіз», «Диференціальні та інтегральні рівняння», «Обчислювальна техніка і програмування».
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання дисципліни	лекції, презентації, розповіді, пояснення, дискусія, виконання лабораторних робіт
Необхідне обладнання	персональний комп'ютер, загальновживані комп'ютерні програми і операційні системи, проектор
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: **Поточний контроль:** • лабораторні заняття: 40 % семестрової оцінки; максимальна кількість балів – 40 (10 лабораторних робіт по 4 бали); • виконання лабораторних робіт: 10 % семестрової оцінки; максимальна кількість балів – 10 (10 лабораторних робіт по 1 балу): • захист звітів лабораторних робіт 30 % семестрової оцінки; максимальна кількість балів – 30 (10 лабораторних робіт по 3 балів). • 3 бали – студент повністю володіє матеріалом, має правильно оформлений звіт; • 2 бали – студент добре володіє матеріалом, є незначні помилки, має правильно оформлений звіт; • 1 бал – студент не володіє матеріалом, але має правильно оформлений звіт; • невиконана студентом лабораторна робота оцінюється в 0 балів. • опитування на лекційних заняттях: 10 % семестрової оцінки; мак-

	симальна кількість балів – 10 (5 усних опитувань по 2 бали). • 2 бали – студент повністю володіє матеріалом; • 1 бал – студент частково володіє матеріалом; • 0 балів – студент не володіє матеріалом. **Іспит**, на який виноситься 5 питань по 10 балів кожне – разом 50 балів. • 9, 10 балів – студент повністю володіє матеріалом є незначні неточності; • 5-8 балів – студент частково/повністю володіє матеріалом є грубі/незначні помилки; • 1-4 балів – студент володіє матеріалом на базовому рівні є грубі помилки; • 0 балів – студент не володіє матеріалом; Підсумкова максимальна кількість балів: 100. **Академічна доброчесність** здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману. **Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні заняття дисципліни. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом. **Література**. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих. **Політика виставлення балів**. Враховуються бали, набрані на лабораторних та лекційних заняттях. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях; недопустимість пропусків та запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. **Додаткові бали** можна отримати за результатами **неформального та/або інформального** навчання по тематиці даного курсу. Визнання та зарахування результатів такого навчання відбувається у відповідності до наданих документів про неформальне та/або інформальне навчання. **Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.**
Питання до екзамену	1. Електроніка та її складові частини. 2. Радіохвилі та їхнє генерування, діапазони радіохвиль, напруженість електричного поля передавача з ізотропною антеною. 3. Швидкість передачі інформації. Формула Шеннона. 4. Елементна база радіоелектроніки. Активні та пасивні елементи. Ідеальні і реальні джерела струму та напруги. Теореми Тевенена та Нортона.

	5. Сигнали в електроніці. Їхня класифікація. 6. Ряди Фур'є. Спектри періодичних сигналів. Приклади найпростіших спектрів. 7. Неперіодичні сигнали. Пряме і обернене перетворення Фур'є. Спектр прямокутного імпульсу та його ширина. 8. Кореляція та згортка сигналів. 9. Лінійні стаціонарні кола (системи). Імпульсна та перехідна характеристики електричного кола. 10. Інтеграл суперпозиції (згортка). Частотна характеристика. 11. Комплексні амплітуди струмів та напруг. Фазор. Імпеданс. 12. Закон Ома і правила Кірхгофа в комплексній формі. Комплексна потужність. 13. Децибели в електроніці. Переваги і недоліки відносних одиниць дБ. 14. Чотириполюсники. Визначення та властивості. Параметри чотириполюсників. Фізичний зміст параметрів чотириполюсників. 15. Схеми заміщення чотириполюсників. Режим узгодженого навантаження. 16. Електричні фільтри, їхня класифікація. Амплітудно-частотні та фазово-частотні характеристики фільтрів. 17. RC-фільтри високих і низьких частот. 18. LC- та LR-фільтри. 19. Резонансні та багатоелементні фільтри. 20. Диференціюючі та інтегруючі ланки. 21. Цифрова обробка сигналів. Застосування, переваги та недоліки. Блок-схема цифрової обробки сигналів (ЦОС). 22. Дискретизація та квантування аналогових сигналів. Теорема Шеннона-Найквіста-Уіттакера (Котельникова). 23. Частота Найквіста. Ряд Котельникова. 24. Дискретна згортка та дискретна кореляція. 25. Дискретне перетворення Фур'є. Швидке перетворення Фур'є. 26. Проходження сигналів у часовій і частотній ділянках. Цифрові фільтри: ковзаючого середнього, sinc-фільтр низьких частот. 27. Модуляція сигналу. Види модуляції. 28. Амплітудна модуляція (АМ). Параметри і спектр АМ-сигналу. 29. Частотна модуляція (ЧМ). Параметри і спектр ЧМ-сигналу. 30. Фазова модуляція (ФМ). Порівняння ЧМ і ФМ. 31. Імпульсна та цифрова модуляція. 32. Напівпровідники. Розподіл Фермі-Дірака. Концентрація вільних електронів. Генерація та рекомбінація носіїв. 33. Власна провідність напівпровідників. Рухливість носіїв. 34. Домішкова провідність напівпровідників. 35. Дрейфовий і дифузійний струми. 36. Вольт-амперна характеристика p–n-переходу. Рівняння Шоклі. Зворотній струм. 37. Бар'єрна ємність. Варікапи. Напівпровідникові діоди. Схеми однопівперіодного та двопівперіодного випрямлення змінного струму. Параметричний стабілізатор напруги 38. Біполярні транзистори (БТ). Взаємодія двох p–n-переходів. p–n–p та n–p–n-транзистори. Струми у БТ. 39. Коефіцієнти передачі струму БТ. Схеми вмикання БТ. Вхідна та вихідні статичні та динамічні характеристики транзисторів, включених по схемі зі спільним емітером.

	40. Підсилювач на БТ. Стабілізація робочої точки транзистора. Схема заміщення підсилювача на БТ для змінного струму. Повторювач на БТ. Транзистор Дарлінгтона. 41. Польові транзистори (ПТ). Класифікація ПТ. Будова ПТ з керуючим p–n-переходом та з ізольованим затвором. 42. Вхідні характеристики ПТ. Початковий струм. Порогова напруга. 43. Вихідні характеристики ПТ. Лінійна частина. Ділянка насичення. Опір каналу. Крутизна. 44. Основні схеми на ПТ. Джерело струму. Підсилювач. Витоковий повторювач. Змінний резистор. Аналогові ключі. 45. Операційні підсилювачі. Визначення операційного підсилювача (ОП). Еквівалентна схема. Диференціальний і синфазний сигнали. Ідеальний ОП. 46. Параметри реальних ОП: коефіцієнт підсилення, напруга зміщення, вхідний струм, коефіцієнт послаблення синфазного сигналу. 47. Інвертуючий підсилювач на ОП. Інвертуючий підсилювач на ОП з Т-подібною схемою зворотного зв'язку. 48. Неінвертуючий підсилювач. Повторювач сигналу на ОП. 49. Застосування ОП. Диференціальний підсилювач. 50. Суматор сигналів на ОП. Інструментальний підсилювач на ОП. 51. Компаратор, диференціатор та інтегратор на ОП. 52. Гіратор на ОП. 53. Генератори електричних коливань. Умови збудження генератора. Баланс фаз, баланс амплітуд. 54. Генератори з коливальним контуром: на ПТ, на тунельному діоді. 55. RC-генератори. Міст Віна. Генератори на ОП. 56. Генератори релаксаційних коливань: генератори пилкоподібної напруги, мультивібратор, тригер Шмітта. 57. Оптоелектроніка (ОЕ) та її місце в сучасній науці і техніці. Визначення, складові частини ОЕ. 58. Інжекційна люмінесценція. Випромінювальна рекомбінація. Світлодіоди (СД) з матеріалів $A^{III}B^{V}$. Довжина хвилі випромінювання СД. Ширина спектру. 59. Вольт-амперна характеристика СД. Внутрішня і зовнішня квантова ефективність. Використання гетероструктур. Конструкції СД. Застосування СД. 60. Фотодетектори. Внутрішній і зовнішній фотоефекти. Поглинання світла. Квантова ефективність. 61. Фотодіоди (ФД). Принцип дії, фотодіодний та фотогальванічний режими роботи, схеми вмикання. Основні характеристики та параметри ФД. 62. Оптрони. Переваги оптрона як елемента зв'язку. Коефіцієнт передачі за струмом. Оптопари. Використання оптронів. 63. Оптичні системи зв'язку. Визначення, історія розвитку. Пропускна здатність оптичної системи зв'язку. Структурна схема оптичної системи зв'язку. Типи оптичних систем зв'язку. 64. Оптичні волокна та їх основні параметри. Коефіцієнт загасання оптичного волокна. Багатомодові та одномодові волокна. 65. Міжмодова та хроматична дисперсія в оптичних волокнах. 66. Завади та шуми в електроніці. Спектральна густина потужності шуму. Білий шум. 67. Тепловий шум. Формула Найквіста.

	68. Низькочастотний шум. Сумарна потужність низькочастотного шуму. 69. Дробовий шум. 70. Шуми квантування. Генераційно-рекомбінаційний шум. 71. Шумові параметри: відношення сигнал/шум, коефіцієнт шуму, шумова температура, шумова смуга частот. 72. Методи виділення сигналу на тлі шумів: усереднення, спектральна фільтрація, оптимальний фільтр. 73. Стабілізатори напруги. Означення стабілізаторів класифікація. Основні параметри стабілізаторів. 74. Параметричний стабілізатор напруги. Коефіцієнт стабілізації. Стабілізатор із стабілітроном і емітерним повторювачем. 75. Компенсаційний стабілізатор. 3-контактні стабілізатори в інтегральному виконанні.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості навчальної дисципліни буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Основи радіоелектроніки»

Тиждень	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1, 2	Вступ. Предмет курсу. Опис аналогових та цифрових сигналів	Лекції – 6 год, лаб. заняття – 6 год, самостійна робота – 4 год.	Б: 1, 2, 4; Д: 1	2 тижні
3, 4	Проходження сигналів лінійними системами. Чотириполюсники	Лекції – 6 год, лаб. заняття – 6 год, самостійна робота – 5 год.	Б: 1–4, 6; Д: 3–5	2 тижні
5, 6	Електричні частотні фільтри. Модуляція та демодуляція сигналу	Лекції – 6 год, лаб. заняття – 6 год, самостійна робота – 5 год.	Б: 1–4, 6; Д: 1–5	2 тижні
7, 8	Електричні властивості напівпровідників. Властивості p–n-переходу. Діоди. Діодні схеми	Лекції – 6 год, лаб. заняття – 6 год, самостійна робота – 5 год.	Б: 3–5, 7; Д: 1–5	2 тижні
9, 10	Біполярні та польові транзистори. Прилади на основі транзисторів	Лекції – 6 год, лаб. заняття – 6 год, самостійна робота – 5 год.	Б: 3–5, 7; Д: 1–5	2 тижні
11, 12	Операційні підсилювачі. Генератори коливань	Лекції – 6 год, лаб. заняття – 6 год, самостійна робота – 5 год.	Б: 1–8; Д: 1–5	2 тижні
13, 14	Оптоелектроніка. Світлодіоди. Фотодетектори. Оптрони. Оптичні системи зв’язку	Лекції – 6 год, лаб. заняття – 6 год, самостійна робота – 5 год.	Б: 7, 8; Д: 1–5	2 тижні
15, 16	Шуми в електроніці. Стабілізатри напруги та струму	Лекції – 6 год, лаб. заняття – 6 год, самостійна робота – 5 год.	Б: 1–8; Д: 1–5	2 тижні