



ЕЛЕКТРОДИНАМІКА та ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність	172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітня програма	Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем
Статус дисципліни	Нормативна, Цикл загальної підготовки ЗО 21
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	210 годин (денна: 72 годин – лекції, 18 годин – практичні, 18 годин – лабораторні, МКР, СРС – 102 години)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен/екзаменаційна контрольна робота, модульна контрольна робота
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: асистент Ганах Ілля Ігорович; Практичні: асистент Ганах Ілля Ігорович; Лабораторні: асистент Ганах Ілля Ігорович;
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Електродинаміка та поширення радіохвиль» формує у студентів фундаментальні знання про фізичні процеси, пов'язані з генерацією, передаванням, випромінюванням, поширенням і прийманням електромагнітних хвиль у сучасних телекомунікаційних та радіотехнічних системах.

У межах дисципліни вивчаються базові принципи електродинаміки, рівняння Максвелла, поведінка електромагнітних хвиль в різних середовищах, механізми випромінювання електромагнітної енергії, принципи роботи антен, ліній передачі, хвилеводів, мікросмужкових структур, а також закономірності поширення радіохвиль у земній атмосфері, тропосфері та іоносфері.

Особливе місце в курсі займають питання розрахунку енергетичного балансу радіоліній, узгодження імпедансів радіочастотних блоків, аналізу S-параметрів, а також забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів.

Дисципліна є теоретичною основою для подальшого вивчення спеціалізованих курсів, пов'язаних із проектуванням антенних систем, радіотехнічних пристроїв, бездротових систем керування, мереж мобільного зв'язку, супутникових систем та засобів Інтернету речей (IoT).

Практична складова дисципліни спрямована на формування навичок застосування методів електродинаміки для аналізу та розрахунку параметрів електромагнітних полів, ліній передачі, антен, хвилеводних структур і радіосигналів.

Під час лабораторних занять студенти набувають практичного досвіду дослідження електромагнітних хвиль, проведення вимірювань параметрів сигналів і радіотехнічних систем, оброблення експериментальних даних та оцінювання характеристик реальних телекомунікаційних пристроїв.

Контроль результатів навчання здійснюється через поточне оцінювання, виконання практичних і лабораторних робіт, а також модульний контроль.

Предмет навчальної дисципліни

Предметом навчальної дисципліни є фізичні закономірності процесів у системах електронних комунікацій і радіотехнічних пристроях, методи досліджень та вимірювання параметрів електромагнітних полів, ліній передачі, хвилеводних та антенних систем, закономірності поширення радіохвиль у різних середовищах, а також методи забезпечення ефективного функціонування та електромагнітної сумісності сучасних засобів електронних комунікацій.

Мета навчальної дисципліни

Метою вивчення дисципліни є формування у студентів системного розуміння процесів у телекомунікаційних і радіотехнічних системах з точки зору електродинаміки, набуття навичок аналізу, розрахунку та моделювання процесів поширення електромагнітних хвиль, а також застосування отриманих знань під час розроблення, оптимізації та експлуатації сучасних систем електронних комунікацій.

Компетентності

Загальні компетентності:

ЗК 1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

ЗК 2 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

ЗК 4 Знання та розуміння предметної області та професійної діяльності;

ЗК 6 Здатність працювати в команді;

ЗК 7 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;

ЗК 8 Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми;

ЗК 9 Здатність здійснювати безпечну діяльність;

ЗК 10 Прагнення до збереження навколишнього середовища.

Фахові компетентності:

ФК 1 Здатність розуміти сутність і значення інформації в розвитку сучасного інформаційного суспільства;

ФК 2 Здатність вирішувати стандартні завдання професійної діяльності на основі інформаційної та бібліографічної культури із застосуванням інформаційно-комунікаційних технологій та з урахуванням вимог інформаційної безпеки;

ФК 4 Здатність здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем і процесів з використанням універсальних пакетів прикладних програм;

ФК 5 Здатність використовувати нормативно-правову документацію у сфері інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних і радіотехнічних систем (закони України, технічні регламенти, міжнародні та національні стандарти, рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку тощо);

ФК 7 Готовність до дотримання та забезпечення екологічної безпеки.

Програмні результати навчання

ПРН 1 Аналізувати, аргументувати та приймати рішення під час розв'язання спеціалізованих задач і практичних проблем телекомунікацій та радіотехніки;

ПРН 2 Застосовувати результати пошуку та аналізу інформації для розв'язання професійних якісних і кількісних задач, оцінювати їх значущість та пов'язувати з відповідною теорією;

ПРН 5 Адаптуватися до змін технологій телекомунікаційних і радіотехнічних систем;

ПРН 6 Грамотно застосовувати термінологію галузі під час аналізу, проектування та експлуатації систем;

ПРН 10 Застосовувати міжособистісні навички для командної роботи;

ПРН 12 Застосовувати фундаментальні та прикладні науки для аналізу процесів у телекомунікаційних системах;

ПРН 16 Дотримуватися вимог вітчизняних і міжнародних нормативних документів;

ПРН 17 Знаходити, оцінювати та використовувати інформацію з різних джерел для розв'язання професійних завдань.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни

Пререквізити:

ЗО 14 «Математичний аналіз»,

ЗО 15 «Фізика»,

ЗО 20 «Основи теорії кіл».

Постреквізити:

ПО 4 «Методи обробки даних в інформатиці»,

ПО 7 «Курсовий проєкт з ОК "Конструкторське проектування радіоелектронної апаратури"».

Лекційні заняття

Лекція 1. Мета та задачі курсу "Електродинаміка та поширення радіохвиль". Місце електродинаміки у розв'язку завдань радіотехніки та телекомунікації. Поняття радіоканалу, радіолінії, підхід до виведення основної формули радіозв'язку. Особливості електромагнітного поля (ЕМП) та його складників: електричного та магнітного полів, властивості середовища поширення ЕМП.

Лекція 2. Закон взаємодії електричних зарядів. Градієнт потенціалу. Рівняння Пуассона та Лапласа. Граничні умови електростатики.

Лекція 3. Магнітне поле постійного струму. Закон Біо-Савара. Закон повного струму.

Розв'язок прямої задачі магнітостатики в загальному вигляді. Граничні умови магнітостатики.

Лекція 4. Закон збереження електричного заряду. Система рівнянь Максвелла в диференціальній, інтегральній та комплексній формах. Класифікація середовищ за провідністю.

Лекція 5. Теорема Пойнтінга для миттєвих значень векторів поля. Теорема Пойнтінга у комплексній формі.

Лекція 6. Хвильове рівняння (Рівняння Гельмгольца). Поляризація однорідних плоских хвиль. Особливості поширення однорідних плоских хвиль в різних середовищах.

Лекція 7. Елементарний електричний емітер (диполь Герца, електричний вібратор). Магнітний елементарний емітер. Потужність та опір випромінювання.

Лекція 8. Основні поняття та закони падіння, заломлення та відбивання електромагнітних хвиль. Похиле падіння ЕМХ.

Лекція 9. Загальні поняття: рухома та нерухома хвилі; види швидкості ЕМХ. Структура електромагнітного поля над ідеально провідною поверхнею.

Лекція 10. Структура атмосфери радіохвилі у навколишньому просторі Землі. Особливості поширення. Множник послаблення. Область простору, суттєва для поширення радіохвиль (зони Френеля).

Лекція 11. Поширення радіохвиль над плоскою поверхнею. Поширення радіохвиль над неоднорідною сферичною поверхнею Землі. Особливості організації систем мобільного зв'язку. Особливості організації інформаційних систем технології Інтернету речей (IoT).

Лекція 12. Вплив тропосфери на поширення радіохвиль внаслідок розсіювання в тропосфері.

Поглинання радіохвиль опадами. Молекулярне поглинання.

Лекція 13. Поширення іоносферних радіохвиль. Поширення радіохвиль в однорідному іонізованому газі. Вплив магнітного поля Землі на поширення радіохвиль.

Лекція 14. Системи супутникового зв'язку. Глобальні навігаційні супутникові системи.

- Лекція 15.** Особливості поширення радіохвиль наднизьких, низьких, середніх, високих, надвисоких, ультрависоких частот. Криві поширення радіохвиль.
- Лекція 16.** Основи EMC як науки. Загальні відомості про електромагнітні завади і основні заходи та засоби їх зменшення. Електромагнітне поле як носій інформації. Основні поняття EMC: несприйнятливість та емісія.
- Лекція 17.** Міжнародні та національні установи компетентні з проблеми EMC: IEC, CISPR, UAS, TK 22. Регламентуючі документи в галузі EMC. Стандарти. Технічні звіти. Публікації. Норми – гранично допустимі рівні.
- Лекція 18.** Організація вимірювань та випробувань. Тестування стосовно емісії та несприйнятливості (сприйнятливості). Особливості вимірювальної апаратури для випробувань стосовно емісії та несприйнятливості. Вимірювальний приймач, еквівалент мережі, квазіпіковий детектор, вимірювальні антени. Імітатори кондуктивних завад та у навколишньому середовищі.
- Лекція 19.** Основні види зв'язку між провідниками. Ємнісний зв'язок. Основні поняття. Вплив екрану на ємнісний зв'язок. Індуктивний зв'язок. Загальні положення. Вплив екрану на індуктивний зв'язок. Зв'язок через спільний опір. Дія та ефективність засобів зменшення небажаного впливу у ближній зоні. Особливості різноманітних засобів зменшення небажаного впливу у ближній зоні. Магнітний зв'язок між екраном і розташованим в ньому провідником.
- Лекція 20.** Ефективність екранування. Особливості ближнього і дальнього полів. Ефективність екранування. Основні розрахункові співвідношення для екранів. Особливості застосування різноманітних матеріалів екранів. Вплив неоднорідностей екранів на ефективність екранування.
- Лекція 21.** Види заземлення. Захисна земля; сигнальна земля; корпусна земля; сильна земля; екранна земля; земля, що «шумить»; антенна земля. Реалізація заземлення. Вибір опорної землі.
- Лекція 22.** Теорія лінійної передачі. Основні поняття. Модель із зосередженими елементами. Основні параметри ліній передачі.
- Лекція 23.** Польовий аналіз лінії передачі. Електромагнітний аналіз лінії передачі. Хвильові параметри. Характеристичний імпеданс.
- Лекція 24.** Лінія передачі з навантаженням. Лінія передачі, навантажена на довільний імпеданс. Коефіцієнт відбиття. Коефіцієнт стоячої хвилі.
- Лекція 25.** Узгодження в лініях передачі. Діаграма Сміта. Чвертьхвильовий трансформатор.
- Лекція 26.** Неузгоджені та реальні лінії передачі. Генератор і навантаження: неузгоджені лінії. Лінії передачі з втратами. Перехідні процеси на лініях передач.
- Лекція 27.** Лінії передачі та хвилеводи. Аналіз електромагнітних полів у направляючих структурах. Загальні розв'язки для TEM-, TE- і TM-хвиль.
- Лекція 28.** Основні типи хвилеводів. Плоский хвилевід. Прямокутний хвилевід. Круглий хвилевід.
- Лекція 29.** Коаксіальні та планарні лінії передачі. Коаксіальна лінія. Смужкова лінія (Stripline). Мікросмужкова лінія (Microstrip).

Лекція 30. Поверхневі хвилі та дисперсія. Поверхневі хвилі на заземленій діелектричній пластині. Метод поперечного резонансу. Швидкості хвиль та дисперсія. Підсумок ліній передачі та хвилеводів.

Лекція 31. Аналіз мікрохвильових мереж. Імпеданс та еквівалентні напруга і струм. Матриці імпедансів та адмітансів. Матриця передачі (ABCD-матриця).

Лекція 32. S-параметри та аналіз з'єднань. Матриця розсіювання (S-параметри). Графи потоків сигналів. Розривності і модальний аналіз.

Лекція 33. Збудження хвилеводів. Збудження хвилеводів електричними струмами. Збудження хвилеводів магнітними струмами. Збудження хвилеводів через щілину.

Лекція 34. Узгодження імпедансів і налаштування. Узгодження за допомогою зосереджених елементів (Г-ланки). Налаштування одним шлейфом. Налаштування двома шлейфами. Теорія малих відбитків.

Лекція 35. Широкосмугове узгодження. Біноміальні багатосекційні узгоджувальні трансформатори. Багатосекційні узгоджувальні трансформатори Чебишова. Конічні лінії (експоненціальна, трикутна, Клопфенштейна). Критерій Бодє–Фано.

Лекція 36. Мікрохвильові резонатори, подільники потужності та спрямовані відгалужувачі. Послідовний і паралельний резонансні контури. Резонатори на відрізках лінії передачі. Прямокутні хвилеводні порожнинні резонатори. Циліндричні порожнинні резонатори.

Діелектричні резонатори. Будова резонаторів і коефіцієнт зв'язку. Збурення порожнини

Основні властивості три- і чотирьохпортових мереж. Подільник потужності типу Т-з'єднання. Подільник потужності Вілкінсона. Хвилеводні спрямовані відгалужувачі (Бете, багатощілинний). Квадратний гібрид 90°. Спрямовані відгалужувачі на зв'язаних лініях. Відгалужувач Ланге. Гібрид 180°. Інші типи відгалужувачів.

Лабораторні заняття

1. Опис вхідного інтерфейсу та можливостей програмного середовища моделювання електромагнітних полів CST Studio Suite – 2 г.
2. Моделювання електростатичного поля між двома зарядженими сферами засобами CST Studio Suite – 2 г.
3. Моделювання розподілу електричного поля в мікро смужковій лінії засобами CST Studio Suite – 2 г.
4. Моделювання падіння плоских хвиль засобами CST Studio Suite – 2 г.
5. Вивчення можливостей схемного редактора CST Studio Suite – 2 г.
6. Проектування патч-антени засобами CST Studio Suite – 4 г.
7. Опис вхідного інтерфейсу та можливостей програмного середовища моделювання електромагнітних полів Ansys HFSS – 4 г.

Практичні заняття

1. Передавання інформації та векторні поля.
2. Рівняння Максвелла, статичне поле та постійний струм.

3. Гармонічне поле, комплексна амплітуда, вектор Пойнтінга.
4. Елементарний випромінювач, потужність, КСД.
5. Параметри радіолінії, дБ, дБм, граничні умови.
6. Поверхневі хвилі, низькі антени, формула Шулейкіна–Ван-дер-Поля.
7. Поверхневі хвилі, високі антени, формула Введенського, іоносфера.
8. Розрахунок параметрів радіолінії з урахуванням втрат.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Пілінський, В. В. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль [Електронний ресурс] : В. В. Пілінський, В. Б. Швайченко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2-ге вид., перероб. та доповн. – Електрон. текст. дані (1 файл: 13,62 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 343 с.
<https://ela.kpi.ua/items/2df0ef72-19a8-4865-89d5-420ef55ccb19>
2. Пілінський В. В. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль. Навчальний посібник з грифом НТУУ «КПІ». К.: Кафедра, 2014. -334 с.
3. Позар Д. М. Мікрохвильова техніка. 4-те вид. Нью-Йорк : John Wiley & Sons, 2012. 756 с., розділи 2-7. Pozar D. M. Microwave Technology. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 2012. 756 p.
4. Лунтовський А.О., Мельник І.В. Основи проектування безпроводних комп'ютерних мереж. Навчальний посібник. – К.: «Освіта України», 2011. – 382 с.
5. Срібна І.М., Є.І. Махонін, Власенко Г.М., Кирпач Л.А. Супутникові системи зв'язку і навігації. Навчальний посібник. – К.: ДУТ, 2019. –123 с.
6. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів. Курс лекцій/ Автор і укладач В.В.Пілінський.- К. НТУУ „КПІ”, 2008. – 374 с. Електронна версія 2010.- 17,5 МБ.
7. Іванов В. О., Габрусенко Є. І., Ільницький Л. Я., Щербина О. А – . Електромагнітна сумісність радіоелектронної апаратури./К.: НАУ, 2014. – 312 с.
8. Електродинаміка та поширення радіохвиль. Лабораторний практикум, част. 1 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», освітньої програми «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. М. Бондаренко, Н. О. Бондаренко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,02 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 54 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/43808>

Допоміжна література

7. Іванов В.О., Габрусенко Є.І., Сібрук Л.В., Електродинаміка та пристрої надвисоких частот. – К.: «НАУ-друк», 2009. –312 с.

6. Самостійна робота студента

- ✓ підготовка до лекційних занять з урахуванням матеріалу попередніх лекцій – 36 г;
- ✓ підготовка до лабораторних занять – 9 г;
- ✓ проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях – 18 г;

- ✓ підготовка до практичних занять – 9 г;
- ✓ розв’язок задач – 14 г;
- ✓ підготовка до МКР – 6 г;
- ✓ підготовка до екзамену – 10 г.

Всього – 102

Політика та контроль

Виконання лабораторних робіт

- ✓ Усі лабораторні роботи, передбачені навчальною програмою, мають бути виконані та захищені.
- ✓ Після успішного захисту лабораторної роботи вона вважається зарахованою.

Модульні контрольні роботи

- ✓ Виконуються самостійно під час практичних занять.
- ✓ Заборонено використовувати будь-які додаткові допоміжні засоби, включно з мобільними телефонами, планшетами та ін.

Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

1. Загальні положення

Рейтинг студента з кредитного модуля визначається за 100-бальною шкалою:

стартовий рейтинг RC = 70 балів (робота протягом семестру);

екзаменаційна складова RE = 30 балів.

Підсумковий рейтинг:

$$R = RC + RE \leq 100$$

2. Формування стартового рейтингу (RC = 70 балів)

Стартовий рейтинг формується за результатами виконання навчальних робіт протягом семестру:

	Рейтинг
Вид роботи	Максимум
Лабораторні роботи	42 бали
Практичні роботи	16 бали
Модульна контрольна робота (МКР)	12 балів
Разом	70 балів

2.1. Лабораторні роботи – 42 балів

Виконується 7 лабораторних робіт.

1 лабораторна робота — **6 балів**

Максимум:

$$7 \times 6 = 42 \text{ бали}$$

2.2. Практичні роботи – 16 балів

Виконується 8 практичних робіт.

- 1 практична робота — **2 бали**

- Максимум: $8 \times 2 = 16$ балів

2.3. Модульна контрольна робота - 12 балів

МКР проводиться перед першим календарним контролем і наприкінці семестру.

Максимальна оцінка за МКР — $2 \times 6 = 12$ балів.

3. Екзаменаційний контроль (RE = 30 балів)

На екзамені студент виконує екзаменаційну контрольну роботу (ЕКР).

Максимальна оцінка за ЕКР — 30 балів.

4. Умови допуску до екзамену

До складання екзамену допускаються студенти, які:

- ✓ набрали **35 і більше балів**;
- ✓ виконали всі практичні роботи;
- ✓ склали МКР.

5. Календарний контроль

5.1. Умовою першого позитивного календарного контролю є **складання першої частини МКР**.

5.2. Умовою другого позитивного календарного контролю є **складання другої частини МКР**.

6. Переведення у підсумкову оцінку

Підсумкова оцінка з дисципліни визначається за сумою:

$$R = RC + RE$$

де

RC – стартовий рейтинг (0–70 балів),

RE – результат екзамену (0–30 балів).

Оцінка	
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Є незараховані практичні роботи, МКР або стартовий рейтинг менше 42 балів	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено асистентом кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури, Ганахом Іллею Ігоровичем.

Ухвалено кафедрою конструювання електронно-обчислювальної апаратури (протокол № ____ від)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № _____ від _____)