

**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**

**“ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА”,**  
**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>	Технічна електродинаміка
<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, автоматизація та електронні комунікації, 171 Електроніка
<b>Викладачі дисципліни</b>	Кравець Ігор Богданович, к.т.н., доцент Лучечко Андрій Петрович, д.ф.-м.н., доцент
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:igor.kravets@lnu.edu.ua">igor.kravets@lnu.edu.ua</a> <a href="https://electronics.lnu.edu.ua/employee/kravets-igor-bohdanovych/">https://electronics.lnu.edu.ua/employee/kravets-igor-bohdanovych/</a> <a href="mailto:andriy.luchechko@lnu.edu.ua">andriy.luchechko@lnu.edu.ua</a> <a href="https://electronics.lnu.edu.ua/employee/luchechko-a-p/">https://electronics.lnu.edu.ua/employee/luchechko-a-p/</a>
<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/tekhnichna-elektrodynamika-171-elektronika-ta-komp-iuterni-systemy/">https://electronics.lnu.edu.ua/course/tekhnichna-elektrodynamika-171-elektronika-ta-komp-iuterni-systemy/</a> Технічна електродинаміка   Загальне   Microsoft Teams
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Технічна електродинаміка» є нормативною дисципліною зі спеціальності 171 «Електроніка» освітньо-професійної програми «Електроніка та комп'ютерні системи», яка викладається в 4 семестрі в обсязі 4,5 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою – ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна «Технічна електродинаміка» присвячена електромагнітним явищам та хвильовим процесам, які лежать в основі сучасної електроніки. Включає вивчення математичного апарату теорії електромагнітного поля, фундаментальних та практичних аспектів електродинаміки на основі рівнянь Максвелла, особливостей поширення електромагнітних хвиль у різних середовищах та системах.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	<b>Метою дисципліни</b> є формування у студентів цілісної картини електромагнітних явищ, розуміння ними електричних та магнітних властивостей середовищ, необхідних для практичного використання; вивчення теоретичних основ та методів розрахунку, моделювання

	<p>електромагнітних полів та явищ в різних середовищах та системах.</p> <p><b>Цілі дисципліни:</b>  ознайомити студентів з елементами математичного апарату та основними законами електродинаміки, рівняннями Максвелла, основами електро- і магнітостатики, енергією електромагнітного поля, загальними властивостями гармонічного електромагнітного поля, поширенням електромагнітних хвиль, напрямлювальними системами та резонаторами, фізичними явищами при поширенні радіохвиль;  надати знання теорій та методів в об’ємі необхідному для розв’язання спеціалізованих та практичних задач у галузі професійної діяльності.</p>
<p><b>Література для вивчення дисципліни</b></p>	<p><b>Рекомендована література</b></p> <p><b>Базова:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Болеста І.М. Теорія електромагнітного поля: навчальний посібник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – 478 с.</li> <li>2. Теорія поля : підручник / А.І. Рубан, Ю.Г. Гогоці, О.Г. Гусак. – Суми : Сумський державний університет, 2023. – 279 с</li> <li>3. Технічна електродинаміка: навч. пос. / В.М. Горев; Міністерство освіти і науки України, Нац. техн. у-т “Дніпровська політехніка”. – Дніпро : НТУ “ДП”, 2019. – 91 с.</li> <li>4. Фіалковський О.Т., Дочкін А.Г., Бондаренко Т.Г. Технічна електродинаміка. Навчальний посібник. - Київ, ДУТ, 2018. – 159 с.</li> <li>5. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль: навч. посіб. / В.В. Пілінський. – К.: Національний технічний університет України “КПІ”, 2014. – 336 с.</li> <li>6. Мелков Г. А., Прокопенко О. В. Мікрохвильова електродинаміка та електроніка: Навчальний посібник. – 2-е вид., перероб. та доп. – К.: Факультет радіофізики, електроніки та комп’ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2017. – 272 с.</li> </ol> <p><b>Допоміжна:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Фізика. Електрика і магнетизм : навчальний посібник / Ю. О. Шкурдода, О. О. Пасько, І. О. Шпетний. – Суми: Сумський державний університет, 2022. – 172 с.</li> <li>8. Прикладна електродинаміка інформаційних систем: навч. посіб. / А. С. Андрущак, З. Ю. Готра, О. С. Кушнір. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 304 с.</li> </ol>

	<p>9. Інститут електродинаміки НАН України. Науково-прикладний журнал «Технічна електродинаміка». <a href="https://techned.org.ua/">https://techned.org.ua/</a></p> <p>10. Mei Song Tong, Xiao Yu Li / Co-simulations of Microwave Circuits and High-Frequency Electromagnetic Fields. – Springer, Singapore. 2024, – 445 p. <a href="https://doi.org/10.1007/978-981-99-8307-0">https://doi.org/10.1007/978-981-99-8307-0</a></p> <p>11. Prabir K. Basu, Hrishikesh Dhasmana / Electromagnetic Theory. – Springer, Cham. 2023, – 224 p. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-031-12318-4">https://doi.org/10.1007/978-3-031-12318-4</a></p> <p><b>Методичне забезпечення:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Методичні рекомендації до лабораторного практикуму з курсу «Технічна електродинаміка» (електронна версія).</li> <li>2. Лучечко А.П., Лис Р.М. Теорія електромагнітного поля. Приклади розв’язування типових задач. // Львів, Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. -2024. -84 с.</li> </ol>
<b>Обсяг курсу</b>	<p>Загальний обсяг 135 год.  Аудиторних занять – 64 год.:  32 год. – лекційних занять, 32 год. – лабораторних занять.  Самостійна робота – 71 год.</p>
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>В результаті вивчення даного курсу студент повинен:</p> <p><b>знати:</b> основи математичного апарату, який використовується для опису скалярних та векторних полів; рівняння Максвелла як основні рівняння електромагнітного поля; загальні властивості електростатичного і магнітостатичного полів, стаціонарного електромагнітного поля; електромагнітні хвилі, явища на плоских межах та дифракцію хвиль; напрямлювальні електромагнітні хвилі і системи, об’ємні резонатори.</p> <p><b>вміти:</b> використовувати елементи математичного апарату для розв’язування практичних задач електродинаміки; формувати математичні моделі та обирати раціональні методи розрахунку електромагнітних полів; визначати принципи дії та область застосування пристроїв для поширення електромагнітної енергії.</p> <p>Після вивчення курсу здобувачі набудуть таких компетентностей і програмних результатів:</p> <p><b>ЗК1.</b> Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p><b>ЗК2.</b> Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності</p> <p><b>ФК1.</b> Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів</p>

	<p>для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки.</p> <p><b>ФК6.</b> Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у приладах, пристроях та системах електроніки за допомогою аналітичних методів, засобів моделювання, дослідних зразків та результатів експериментальних досліджень.</p> <p><b>ФК7.</b> Здатність застосовувати творчий та інноваційний потенціал в синтезі інженерних рішень і в розробці конструкцій пристроїв та систем електроніки.</p> <p><b>ФК8.</b> Здатність вирішувати інженерні задачі в галузі електроніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації електронних приладів, пристроїв та систем.</p> <p><b>ПР1.</b> Описувати принцип дії за допомогою наукових концепцій, теорій та методів та перевіряти результати при проектуванні та застосуванні приладів, пристроїв та систем електроніки.</p> <p><b>ПР2.</b> Застосовувати знання і розуміння диференційного та інтегрального числення, алгебри, функціонального аналізу дійсних і комплексних змінних, векторів та матриць, векторного числення, диференційних рівняння в звичайних та часткових похідних, ряду Фур'є, статистичного аналізу, теорії інформації, чисельних методів для вирішення теоретичних і прикладних задач електроніки.</p> <p><b>ПР3.</b> Знаходити рішення практичних задач електроніки шляхом застосування відповідних моделей та теорій електродинаміки, аналітичної механіки, електромагнетизму, статистичної фізики, фізики твердого тіла.</p> <p><b>ПР16.</b> Застосовувати розуміння теорії стохастичних процесів, методи статистичної обробки та аналізу даних при розв'язанні професійних завдань.</p>
<b>Ключові слова</b>	Електродинаміка, рівняння Максвелла, електромагнітне поле, електростатика, поляризація та намагніченість середовищ, хвильові явища, поширення електромагнітних хвиль, пристрої НВЧ діапазону, радіохвилі, антени.
<b>Формат курсу</b>	Очний.
<b>Теми</b>	Див. СХЕМА КУРСУ
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Іспит в кінці семестру.
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують знань з дисциплін «Фізичні основи електроніки», «Вища математика», «Теорія ймовірності й математична статистика».

<p><b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b></p>	<p>Лекції, презентації, лабораторні роботи, практичні задачі, виконання індивідуальних завдань (робота у групі, команді), обговорення, дискусія. Робота в системі Microsoft Teams.</p>
<p><b>Необхідне обладнання</b></p>	<p>Персональні комп'ютери (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3 (4 ядра), 8 ГБ оперативної пам'яті, 50 ГБ вільного місця на диску). Онлайн-доступ до TEAMS та мережі INTERNET. Цифрові осцилографи (Rigol DS1054Z), аналізатор електричних схем (Zeenko NanoVNA-H), макетні плати. Програмне забезпечення: COMSOL Multiphysics та/або MATLAB (Online (basic) or trial version), Excel та/або Origin (trial version)</p>
<p><b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b></p>	<p>Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• лабораторні роботи: 16 % семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 16);</li> <li>• самостійні роботи: 4 % семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 4)</li> <li>• контрольна робота: 10 % семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 10)</li> <li>• контрольні заміри (модулі): 20% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 20);</li> <li>• іспит: 50% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 50).</li> </ul> <p>Загалом упродовж семестру 100 балів</p> <p><b>Академічна доброчесність:</b> Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Виявлення ознак академічної недоброчесності при виконанні лабораторних робіт, розв'язуванні практичних задач та формуванні звітів є підставою для їх незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> <p><b>Відвідування занять</b> 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</p>

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, розв'язуванні практичних задач, модулів), самостійній роботі та бали за іспит. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторних занять; недопустимість пропусків та запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.

**Оцінювання лабораторних робіт** (8 лабораторних робіт) відбувається шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту.

Кожна робота оцінюється в діапазоні від 0 до 2 балів ( $8 \times 2 = 16$  балів).

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

2 – 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;

1,5 – 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;

1,0 – студент не досить добре розуміє теоретичний матеріал, вагається та надає неточні/не конкретні відповіді на запитання по темі, 50 % від поставлених завдань реалізує самостійно;

0,5 – студент погано розуміє теоретичний матеріал та використані підходи у лабораторній роботі, при допомозі викладача може реалізувати та пояснити 25 % від поставлених в роботі завдань;

0 – студент зовсім не підготувався до виконання лабораторної роботи, при допомозі викладача не в змозі виконати жодне завдання лабораторної роботи.

**Самостійні роботи** – в кінці кожного з чотирьох занять (3-6) студенти, для закріплення матеріалу, виконують одне завдання з тих, що були розглянуті на занятті, кожне оцінюється в 1 бал ( $4 \times 1 = 4$  балів).

Критерії:

1 б – хід представлених обчислень та результат правильні;  
0,5 б – хід представлених обчислень - правильний, результат - хибний;  
0 б – хід представлених обчислень неправильний, результат хибний.

**Підсумкова контрольна робота** складається з 5-ти розрахункових завдань, кожне оцінюється у 2 бали ( $5 \times 2 = 10$  балів).

Критерії:

2 б – хід представлених обчислень та результат правильні;  
1 б – хід представлених обчислень - правильний, результат - хибний;  
0 б – хід представлених обчислень неправильний, результат хибний.

**Контрольні заміри (модулі)** проводяться у формі відкритих тестових завдань (2 модулі по 10 балів кожен, включають 10 питань).

Кожна правильна відповідь оцінюється в 1 бал, частково-правильна – в 0,5 балів, хибна відповідь – 0 балів

**Іспит** (екзаменаційний білет) складається з двох частин: практична частина, що містить два завдання згідно тем лабораторного практикуму (виконання кожного завдання оцінюється у 10 балів:  $2 \times 10 = 20$  балів); друга – теоретична частина, що містить три питання з лекційного матеріалу (відповіді на кожне оцінюються у 10 балів:  $3 \times 10 = 30$  балів).

Критерії:

Бали за виконання практичного завдання	Критерії оцінювання
9–10	Завдання виконано повністю. Студент може пояснити отриманий результат.



	6–8	Завдання виконано повністю. Однак, студент не може повністю пояснити отриманий результат.
	3–5	Завдання виконано менше, ніж на 50 %. Студент не може повністю пояснити отриманий результат.
	1–2	Завдання виконано менше, ніж на 25 %. Студент не може взагалі пояснити отриманий результат.
	0	Завдання не виконано.
	<b>Бали за відповідь на одне теоретичне питання</b>	<b>Критерії оцінювання</b>
	9–10	Відповідь, в якій навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, яка містить аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом.
	6–8	Відповідь, в якій відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни.
	3–5	Відповідь, в якій основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння.
	1–2	Відповідь, яка засвідчує, що навчальний матеріал не засвоєно. Відсутність чіткого і логічного формулювання.
	0	Відповідь відсутня.
<b>Питання до іспиту</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Умова квазістаціонарності системи.</li> <li>2. Приклади систем, в яких не виконується умова квазістаціонарності.</li> <li>3. Історичні аспекти електрики і магнетизму.</li> <li>4. Фундаментальні аспекти застосування теорії Максвелла.</li> <li>5. Практичні аспекти застосування теорії Максвелла</li> <li>6. Криволінійні координати. Коефіцієнти Ламе.</li> <li>7. Полярні, циліндричні та сферичні координати.</li> <li>8. Скалярні та векторні величини і функції.</li> <li>9. Рівняння силових ліній векторного поля.</li> <li>10. Математичний апарат теорії електромагнітного поля.</li> </ol>	

11. Градієнт, дивергенція, ротор: означення та фізичний зміст.
12. Другі похідні векторних полів.
13. Соленоїдальне та потенціальне поле.
14. Узагальнена теорема Гаусса.
15. Теорема Стокса.
16. Роторні рівняння Максвелла та їх фізичний зміст.
17. Теорема про циркуляцію вектора напруженості магнітного поля.
18. Рівняння Максвелла для зарядів та їх фізичний зміст.
19. Теорема Остроградського-Гаусса для зарядів.
20. Закон збереження заряду.
21. Струм зміщення.
22. Телеграфні рівняння для напруженостей електричного та магнітного полів.
23. Стаціонарна, квазістаціонарна та хвильова моделі електромагнітного поля.
24. Швидкість поширення електромагнітної хвилі.
25. Рівняння зв'язку для векторів електромагнітного поля.
26. Лінійні та нелінійні середовища.
27. Ізотропні та анізотропні середовища.
28. Діелектрична ( $\epsilon$ ) та відносна діелектрична ( $\epsilon_r$ ) проникність.
29. Магнітна ( $\mu$ ) та відносна магнітна ( $\mu_r$ ) проникність.
30. Класифікація середовищ за величиною  $\epsilon_r$  та  $\mu_r$ .
31. Умова провідності середовищ.
32. Умова діелектричності середовищ.
33. Поляризація середовищ. Дипольний момент.
34. Вектор поляризації. Діелектрична сприйнятливість.
35. Намагніченість середовищ. Магнітний момент атома.
36. Вектор намагніченості. Магнітна сприйнятливість.
37. Густина потужності електромагнітного поля.
38. Потужність сторонніх сил.
39. Швидкість зміни енергії електромагнітного поля.
40. Математичне формулювання теореми Умова-Пойтінга. Вектор Умова-Пойтінга.
41. Електромагнітна енергія в об'ємі.
42. Густина енергії електромагнітного поля.
43. Електростатичне середовище.
44. Рівняння Пуассона та Лапласа для електростатичного середовища.
45. Електричний диполь. Потенціал диполя.
46. Зв'язані заряди. Дивергенція вектора поляризації.
47. Ємність провідника.

	<p>48. Електрична індукція біля поверхні провідника.</p> <p>49. Електростатична енергія ізольованого провідника.</p> <p>50. Стаціонарне електромагнітне поле.</p> <p>51. Магнітостатичний потенціал.</p> <p>52. Рівняння Максвелла для стаціонарного електромагнітного поля.</p> <p>53. Розмагнічувальний фактор.</p> <p>54. Магнітне поле лінійного струму.</p> <p>55. Закон Біо-Савара-Лапласа.</p> <p>56. Векторний потенціал поля постійного струму.</p> <p>57. Енергія магнітного поля провідника (через векторний потенціал).</p> <p>58. Метод комплексних амплітуд. Роторні рівняння Максвелла в комплексній формі.</p> <p>59. Комплексна діелектрична проникність. Тангенс кута діелектричних втрат.</p> <p>60. Хвильові рівняння для електромагнітного поля.</p> <p>61. Поширення електромагнітних хвиль у різних середовищах.</p> <p>62. Хвильові явища на межі двох середовищ. Граничні умови.</p> <p>63. Основи випромінювання електромагнітних хвиль.</p> <p>64. Загальні питання поширення радіохвиль.</p> <p>65. Особливості поширення радіохвиль різних діапазонів.</p> <p>66. Антени різних діапазонів радіохвиль.</p> <p>67. Плоскі електромагнітні хвилі.</p> <p>68. Лінії передачі.</p> <p>69. Загальні властивості хвиль у напрямних системах.</p> <p>70. Хвилеводи та об'ємні резонатори.</p> <p>71. Поширення електромагнітних хвиль у діелектричних хвилеводах.</p> <p>72. Пристрої НВЧ діапазону.</p> <p>73.</p>
<b>Опитування</b>	Анкету з метою оцінювання якості курсу буде надано після вивчення курсу.

### СХЕМА КУРСУ

Тиж	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в Інтернеті	Завдання (лабораторна робота), год.	Термін виконання
1	<b>Тема 1. Історичні аспекти розвитку електрики та магнетизму.</b> Поняття про електромагнітне поле.	Лекція (2 год)	1-11	Вступне заняття. Математичний	1 тиждень семестру

	Підходи до опису полів. Силкові лінії. Практичне використання електромагнітних явищ.			технічної електродинаміки. (2 год)	
2	<b>Тема 2. Елементи математичного апарату технічної електродинаміки.</b> Скалярні і векторні величини та функції. Похідна поля – градієнт. Оператор Набла. Дивергенція та ротор вектора.	Лекція (2 год)	1-11	Градієнт скалярного поля. Дивергенція та ротор векторного поля. (2 год)	2 тиждень семестру
3	<b>Тема 3. Скалярні та векторні поля.</b> Потенціальне та соленоїдальне поле. Другі похідні векторних полів. Потік векторного поля. Теорема Остроградського-Гауса. Циркуляція векторного поля по замкнутому контуру. Теорема Стокса.	Лекція (2 год)	1-11	Розрахунок параметрів електричного поля. (2 год)	3 тиждень семестру
4	<b>Тема 4. Рівняння Максвелла – основні рівняння електромагнітного поля.</b> Емпіричні закони електромагнетизму. Струми зміщення. Роторні рівняння Максвелла. Дивергенція векторів електричної та магнітної індукції. Закон збереження заряду.	Лекція (2 год)	1-11	Розрахунок параметрів магнітного поля. (2 год)	4 тиждень семестру
5	<b>Тема 5. Енергія електромагнітного поля.</b> Закон Джоуля-Ленца. Баланс енергії електромагнітного поля. Електрична та магнітна енергії. Густина енергії електромагнітного поля. Локалізація та рух енергії.	Лекція (2 год)	1-11	Задачі технічної електродинаміки на основі рівнянь Максвелла. (2 год)	5 тиждень семестру
6	<b>Тема 6. Електростатичне поле.</b> Електростатичний потенціал. Силкові лінії та екіпотенціальні поверхні. Рівняння Пуасона і Лапласа. Система точкових зарядів, диполь. Провідники у електростатичному полі. Ємність. Електростатична	Лекція (2 год)	1-11	Розрахунок енергії електромагнітного поля. (2 год)	6 тиждень семестру

	енергія ізольованої зарядженої області. Власна і взаємна енергії системи провідників.				
7	<b>Тема 7. Стаціонарне електромагнітне поле.</b> Магнітостатика. Розмагнічуючий фактор, магнітне екранування. Магнітне поле постійного струму. Векторний потенціал магнітного поля. Магнітне поле та енергія лінійного струму.	Лекція (2 год)	1-11	Електростатичне поле. Рівняння Пуассона та Лапласа (2 год)	7 тиждень семестру
8	<b>Тема 8. Загальні властивості гармонічного електромагнітного поля.</b> Метод комплексних амплітуд. Комплексні проникності. Система рівнянь монохроматичного поля. Хвильовий характер електромагнітного поля	Лекція (2 год)	1-11	Підсумкова контрольна робота (2 год)	8 тиждень семестру
9	<b>Тема 9. Хвильові явища на межі двох середовищ. Граничні умови.</b> Класифікація середовищ за величиною їх параметрів. Поляризація і намагніченість середовищ. Поширення електромагнітних хвиль у різних середовищах.	Лекція (2 год)	1-11	Лабораторна робота № 1 Середовище MatLab для розв'язування задач технічної електродинаміки. (2 год)	9 тиждень семестру
10	<b>Тема 10. Основи випромінювання електромагнітних хвиль.</b> Випромінювання електромагнітної енергії. Електродинамічні потенціали. Запізнюючі потенціали. Діаграма спрямованості випромінювача. Поле елементарного електричного випромінювача та його аналіз. Елементарний магнітний випромінювач.	Лекція (2 год)	1-11	Лабораторна робота № 2 Розрахунки хвильових рівнянь електродинаміки в MatLab. (2 год)	10 тиждень семестру
11	<b>Тема 11. Плоскі електромагнітні хвилі.</b> Хвилі у необмеженому середовищі. Загасання хвиль. Поляризація хвиль. Відбивання і заломлення хвиль. Поширення хвиль	Лекція (2 год)	1-11	Лабораторна робота № 3 Числові методи розв'язання задач технічної	11 тиждень семестру

	крізь оптично густе середовище. Дифракція електромагнітних хвиль.			електродинаміки в MatLab. (2 год)	
12	<b>Тема 12. Напрямувальні електромагнітні хвилі.</b> Напрямувальні властивості діелектричного шару. Класифікація напрямкувальних систем. Рівняння Максвелла для напрямкувальних хвиль. Магнітні та електричні хвилі. Поперечні електромагнітні хвилі. Дисперсія напрямкувальних хвиль. Групова швидкість і передача енергії.	Лекція (2 год)	1-11	Лабораторна робота № 4 Середовище COMSOL MultiPhysics для оцінювання електромагнітних полів. (2 год)	12 тиждень семестру
13	<b>Тема 13. Напрямувальні системи. Об'ємні резонатори.</b> Прямокутний хвилевід, круглий хвилевід: E- і H – хвилі. Подвійні зв'язані системи: TEM – хвилі. Коаксіальна лінія. Характеристичний опір. Загальні властивості об'ємних резонаторів. Поле прямокутного резонатора. Поле циліндричного резонатора.	Лекція (2 год)	1-11	Лабораторна робота № 5 Моделювання електростатичного поля між двома зарядженими сферами. Визначення ємності.	13 тиждень семестру
14	<b>Тема 14 Основи поширення радіохвиль.</b> Поширення хвиль у вільному просторі. Ідеальний радіозв'язок. Заломлення та відбивання радіохвиль на межі двох середовищ. Поширення поверхневих радіохвиль. Зони Френеля.	Лекція (2 год)	1-11	Лабораторна робота № 6 Моделювання магнітного поля дводрової лінії. Визначення індуктивності. (2 год)	14 тиждень семестру
15	<b>Тема 15. Поширення радіохвиль різних діапазонів. Антени.</b> Характеристика поширення, властивості та застосування. Антени та їх основні параметри. Узгодження антен. Діаграма спрямованості,	Лекція (2 год)	1-11	Лабораторна робота № 7 Вимірювання передаточної характеристики простору за допомогою векторного аналізатора. (2 год)	15 тиждень семестру

	смуга пропускання. Коефіцієнт стоячої хвилі.				
16	<b>Тема 16.</b> Особливості поширення хвиль в середовищі з відбиванням. Завмирання та загасання радіо-сигналу. Завмирання Релея. Ефект Доплера. Смуга когерентності та час когерентності. Частотний діапазон ISM та бездротові технології комунікації.	Лекція (2 год)	1-11	Лабораторна робота № 8 Узгодження антен використовуючи векторний аналізатор. (2 год).	16 тиждень семестру