

[RE-273] ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СТІЙКІСТЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ЗАХИЩЕНІСТЬ



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	Всі ОП
Статус дисципліни	Вибіркова (Ф-каталог)
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	Доступно для вибору починаючи з 3-го курсу, весняний семестр
Обсяг дисципліни	4 кред. (Лекц. 18 год, Практ. год, Лаб. 36 год, СРС. 66 год)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Залік
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	
Розміщення курсу	https://do.ipi.kpi.ua/course/view.php?id=2703

Програма навчальної дисципліни

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

Електромагнітна сумісність радіоелектронної техніки - її властивість виконувати функціональні, соціальні завдання в умовах дії на неї електричних, магнітних, електромагнітних полів в будь-яких частотних діапазонах і різних конфігурацій, які, переважно, непередбачені схемотехнікою та конструкцією апарату. Проблема ускладнюється екстремальним електромагнітним перевантаженням сучасного оточуючого середовища (ефіру) у широкому діапазоні частот електромагнітних хвиль (наприклад, так звані промислові завади), недосконалістю радіозасобів (схемні,

конструкційні, технологічні недоліки), низьким енергетичним коефіцієнтом корисної дії (біля 10 %) сучасних гаджетів. Задача забезпечення ЕМС має не менше значення, ніж досягнення високої її функціональності, забезпечення необхідного рівня надійності або подальшої мініатюризації; ця задача має комплексний характер. Проблема забезпечення ЕМС радіоелектронної техніки стосується майже всіх існуючих напрямів сучасної радіоелектроніки.

Мета дисципліни- отримання студентом надійних і глибоких компетенцій зі створення методології, способів, прийомів інженерних рішень для апаратури з мінімізацією паразитних завад великого спектру частот, форми, потужності від електричних, магнітних, електромагнітних полів.

Результат навчання – отримання промисловістю, суспільством технічних спеціалістів високої кваліфікації, здатних створювати досконалу сучасну завадостійку електронну техніку.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Міждисциплінарні зв'язки обумовлені місцем дисципліни «Електромагнітна стійкість та інформаційна захищеність радіоелектронної техніки» у програмі підготовки фахівців в галузі електроніки та телекомунікації. Вона базується на загальній підготовці студентів з фізики, математики, радіотехніки. Дисциплінами професійного спрямування, що передують її вивченню, є «Електродинаміка та поширення радіохвиль», «Основи теорії кіл», «Сигнали та процеси в радіотехніці», «Елементи НВЧ-техніки та антени».

Дисципліна «Електромагнітна сумісність та інформаційна захищеність радіоелектронної техніки» забезпечує вивчення дисциплін другого рівня (магістерського) вищої освіти ступеня «Комп'ютерні мережі та засоби телекомунікацій», «Захист інформації в телекомунікаційних системах» та ін.

3. Зміст навчальної дисципліни

Зміст дисципліни вміщено в тандем «лекція-лабораторні(практичні)» заняття, оскільки лекційний матеріал нерозривно пов'язаний із завданням і темами лабораторних (практичних) занять.

Завдання лабораторних (практичних) занять подвійне : з одного боку-закріплення теоретичних знань, що отримані на лекціях, з іншого-розв'язання практичних задач досягнення необхідного рівня електромагнітної сумісності конкретних радіоприладів, що надійно забезпечує якісне функціонування гаджетів в умовах «агресивної» дії зовнішніх та внутрішніх завад (паразитних радіозавад).

Назва розділів тем	Кількість годин								
	Всього	у тому числі			1	2	3	4	5
		Лекції	Лаб. (прак.)	СРС					
РОЗДІЛ 1. Електромагнітні завади та інформаційна захищеність.									
Тема 1.1. Вступ.Структура дистипліни. Навколишня електромагнітна обстановка	9	2	1	6					
Тема 1.2. Допустимі норми випромінювання і сприйнятливості РЕЗ до радіозавад	9	1	1	7					
Разом за розділом 1	18	3	2	13					
Розділ 2. Дія завад на РЕЗ.									
Тема 2.1. Дія внутрішніх шумів.	7	1	3	3					
Тема 2.2. Працездатність і шуми цифрових електронних систем.	19	2	3	14					

Разом за розділом 2	26	3	6	35
Розділ 3. Екранування.				
Тема 3.1. Характеристики електромагнітних полів. Поширення в просторі полів. Механізми взаємодії поля з екранами.	27	3	6	18
Тема 3.2. Ефективність та коефіцієнт Екранування. Частотна властивість екранів. Реакція екрану, її частотна характеристика.	20	3	7	10
Тема 3.3. Магнітні та немагнітні екрани. Види екранування. Багатошарові екрани. Особливості екранування електричних і магнітних полів.	22	2	7	13
Разом за розділом 3	69	8	20	41
Розділ 4. Електромагнітна та інформаційна сумісності цифрових електронних засобів.				
Тема 4.1 Розрахунок рівнів імпульсних завад у колах паразитних зв'язків цифрових засобів.	12	2	4	6
Тема 4.2 Екранування полів Імпульсних завад.	16	2	4	10
Разом за розділом	28	4	8	16
Контрольна робота	3			3
Залік	20			20
Всього годин	184	18	36	128

4. Навчальні матеріали та ресурси

Рекомендована література :

Базова

1. Зінковський Ю.Ф.,Клименко В.Г. Електромагнітна,інформаційна захищеність та сумісність електронних апаратів : Навчальний посібник / Допущено Міністерством освіти та науки України для студентів вищих навчальних закладів. – Житомир : ЖІТІ,1999,-374 с.
2. Шокало В.М. ,Правда В.І.,Усін В.А.,Вунтесмері В.С.,Грецьких Д.В. Електродинаміка та поширення радіохвиль . Ч.2. Випромінювання та поширення електромагнітних хвиль: Підручник для студентів ВНЗ. / За заг. ред. В.М. Шокало та В.І. Правди. - Харків: ХНУРЕ; Колегіум, 2010. - 435 с.

Допоміжна

- 3.Князев А.Д.,Кечнев Л.Н., Петров Б.В. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учётом электромагнитной совместимости. – М. : Радио и связь,1989. - 222 с.
4. Бадалов А.А.,Михайлов А.С. Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС.Справочник.- М.: Радио и связь,1990.-272с.
5. Zinkovsky Y.F., Klimenko V.G.,Pilinskij V.V. Design Procedure of Elektromagnetik Fields Shielding Effectvness-Fourteenth. International Wroclaw symposium and Exhibition Elektromagnetik Compatibiliti,1998.
6. ДСТУ 3396. 0-96 Захист інформації .Технічний захист інформації. Основні положення. - К. : Держстандарт України, 1996. - 14 с.

7. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації рішення № 844 від 23.12.2014 р. Про затвердження Переліку радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв. (Із змінами № 78 від 2018, № 94 від 2019, № 391 від 2020 , № 125 від 2021).

8. Норми (вимоги) частини восьмої статті 30 Закону України "Про радіочастотний ресурс України" №94 від 26 лютого 2019 р.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№ Назва теми лекції та перелік основних питань (Перелік дидактичних засобів. Завдання на СРС).

Розділ 1. Електромагнітні завади та інформаційна захищеність.

Тема 1.1. Системність поняття електромагнітної сумісності: електромагнітне оточення та завади джерела, рецептори завад. Нормування рівнів завад (енергетика та частота). Власні та зовнішні джерела завад радіоелектронних засобів; шуми радіоелементів та пристроїв. Інформаційний захист комп'ютерних мереж. Інформаційні характеристики (ентропійні значення) випадкових факторів EMC.

Завдання на самостійну роботу : національні та міжнародні регламентні документи щодо електромагнітного та інформаційного захисту від непередбаченого втручання.

Література :/1,6,7,8/.

Тема 1.2. Допустимі норми випромінювання завад і сприйнятливості до них РЕЗ.

Пристрої-джерела індустриальних радіозавад. Ефекти, що визначають EMC радіоелектронної техніки.

номенклатура параметрів і класифікація технічних характеристик EMC РЕЗ. Кондуктивні завади ЦТЗ (ЕОМ). Нормування сприйнятливості до радіозавад; параметри сприйнятливості.

Завдання на самостійну роботу : методологія експериментальної оцінки енергетичного та частотного стану електромагнітних полів оточуючого середовища.

Література : /1,2,4,7,8/

Розділ 2. Дія завад на РЕЗ.

Тема 2.1. Дія внутрішніх шумів.

Шуми пасивних елементів. Шумові характеристики напівпровідників, підсилювачів. Шуми дискретизації, квантування.

Завдання на самостійну роботу : ефективна напруга теплових шумів ; поняття « білого » шуму.

Література : /1,2/.

Тема 2.2. Працездатність і шуми цифрових електронних систем.

Види та джерела флуктуаційних шумів в радіоапаратурі. Шуми в антенах і вхідних ланках ефірного та кабельного телебачення. Шуми цифрових електронних систем з імпульсно-кодуючою модуляцією. Забезпечення електромагнітного та інформаційного захисту комп'ютерних мереж.

Завдання на самостійну роботу : джерела внутрішніх шумів і фонів цифрового телебачення та апаратури магнітного запису.

Література : /1,3/.

Розділ 3. Екранування.

Тема 3.1. Механізми взаємодії поля з екранами.

Механізмами взаємодії електромагнітного поля з екранами є : поглинання, відбиття, ефект електромагнітної індукції ; ефективна глибина проникнення поля ; принцип компенсації полів. Хвильові опори полів. Близьке та дальнє поля, залежність рівня електричного та магнітного (ближніх , дальнього) полів від джерела. Опори поля на низький та високих частотах. Поширення поля в діелектрику та металі. Електричні опори магнітних і немагнітних матеріалів. Рівняння Максвела в диференціальній формі. Щільність струму зміщення. Матеріальні рівняння електродинаміки.

Завдання на самостійну роботу : рівняння Максвела в інтегральній формі; магнітне поле в середовищі; Основний закон електромагнітної індукції.

Література : /1.2/

Тема 3.2. Ефективність екранів ; коефіцієнт екранування.

Використання рівнянь Максвела при взаємодії поля з плоским екраном . Рішення рівнянь для електричної та магнітної складових поля. Ефективність та коефіцієнт екранування, їх частотні характеристики. Реакція екрана, її залежність від частоти (на низьких та високих частотах). Одиниці виміру коефіцієнта екранування.

Завдання на самостійну роботу : циліндричні та сферичні екрани ;основні тригонометричні гіперболічні функції ; співвідношення між одиницями виміру « децибел » та « непер » .

Література : /1,2,3/

Тема 3.3. Магнітні та немагнітні екрани .

Металеві екрани - характеристики немагнітних і магнітних матеріалів , їх частотні характеристики; область низьких частот. Порівняльні характеристики немагнітних і магнітних екранів, їх можливості в механізмах відбиття та поглинання електромагнітної енергії полів. Багатошарові екрани , принципи дії, їх ефективність та коефіцієнт екранування. Електродинамічна модель дії трьохшарового екрану. Складений полі матеріальний екран. Матеріали багатошарових екранів.

Завдання на самостійну роботу : скласти формулу ефективності трьохшарового екрану; технологія виготовлення складених електромагнітних екранів.

Література : /1.5/

Розділ 4. Електромагнітна та інформаційна сумісність цифрових електронних засобів.

Тема 4.1. Розрахунок імпульсних завад в колах паразитних зв'язків цифрових засобів.

Еквівалентні схеми контурів паразитних зв'язків імпульсних завад . Завади у вхідних колах інтегральних мікросхем. Завадостійкість логічного елементу. Амплітудно-часові характеристики логічних елементів ТТЛ. Імпульсні завади в колах ємнісних паразитних зв'язків. Варіанти заземлення екранованого з'єднання. Еквівалентна схема ємнісного зв'язку екранованого кола.

Завдання на самостійну роботу : спектральний склад прямокутного імпульса ; основні положення понять "Ряд Фур'є" та "Інтеграл Фур'є".

Література : /2/.

Тема 4.2. Екранування полів імпульсних завад.

Комплексний коефіцієнт передачі металевого немагнітного екрану різних геометричних форм-плоского, циліндричного, сферичного для різних частот. Використання спектрального методу перетворень Фур'є та операторного методу перетворень Карсона (Лапласа).

Коефіцієнт передачі імпульсних магнітних полів прямокутних корпусів – екранів. Напруженість імпульсного магнітного поля в залежності від амплітудно – часових параметрів поля завад, їх залежність від конструкційних характеристик корпусів – екранів.

Завдання на самостійну роботу : зворотнє перетворення Фур'є ; метод перетворення Карсона (Лапласа) ; електромагнітна сумісність інтерфейсів РЕЗ та ЦТВ.

Література : /1.2/.

Лабораторні заняття (або частково практичні заняття в режимі дистанційного навчання).

Заняття 1. Оцінка сприйнятливості телевізійної антени до завади від системи запалювання автомобіля. Пропозиція потрібної конструкції та радіотехнічні параметри завадостійкої антени.

Заняття 2. Допустима нестабільність частоти генератора стрічкової розгортки телевізійного приймача з імпульсною синхронізацією.

Заняття 3. Забезпечення електромагнітної сумісності десятирозрядного двійкового лічильника, зібраного на логічних мікросхемах на друкованій платі (фольгований склотекстоліт).

Заняття 4. Визначення характеристик імпульсної завади в апаратурі під дією грозового розряду блискавки. Визначення параметрів завади в колі живлення підсилювача на мікросхемі.

Заняття 5 . За критерієм EMC розрахувати розміри блоків і варіанти конструкцій цифрових схем за критерієм мінімальної довжини інтерфейсних ліній.

Заняття 6. Реалізація контуру заземлення з синфазною завадою. Співвідношення між диференціальними напругою сигналу та завади від синфазної завади.

Заняття 7. Імпульсна дія вузькосмугової та широкосмугової завади (люмінесцентна лампа та двигун внутрішнього згоряння) на підсилювач комп'ютера.

Заняття 8. Вплив на підсилювач низької частоти електромеханічного підсилювача, як джерела магнітного поля. Вибір і розрахунок ефективності захисту від дії магнітного поля.

Заняття 9. Взаємний вплив низькочастотних потужних сигналів і високочастотних низько потужних сигналів, що одночасно передаються кабельними лініями зв'язку.

Заняття 10. Оцінка ефективності кабельного заземлення. Визначення опору заземлення. Умова виникнення завади на проводах кабельного каналу.

Заняття 11. Використання фільтрів низької частоти для подавлення завад у приймачу (діапазон частот 2 – 30 МГц).

Заняття 12. Захист входу приймача (робоча смуга 2 -30 МГц) від дії телевізійного передавача (діапазон УВЧ).

Заняття 13. Створення фільтру верхніх частот (ФВЧ) (багатоланкового), частота зрізу 1 МГц, з заданою АЧХ.

Заняття 14. Створення смугового (батервортівського) фільтру з середньою частотою 15 МГц (смуга пропускання 3 МГц з затуханням 3 дБ).

Заняття 15. Вимірювання в галузі електромагнітної сумісності.

Заняття 16. Практичний відбір пар « джерело завади – рецептор завади » за ознаками амплітуди (енергетика) та частоти , а також шляхів їх поширення в сучасній радіоапаратурі.

Заняття 17. Знаходження коефіцієнтів поширення плоскої електромагнітної хвилі.

Заняття 18. Електродинамічні характеристики вакуума та магнітодіелектричного середовища. Характеристичний (хвильовий) опір, коефіцієнт згасання.

Заняття 19. Засоби вимірювання рівнів електромагнітних полів радіочастотного діапазону, що забезпечують отримання інформації щодо призначення приладу, його робочого діапазону частот, вимірюваного параметру, діапазону вимірювання та величини похибки виміру.

Заняття 20. Національні (Україна) норми випромінювання промислових завад (у тому числі стільникової телефонії).

Для виконання кожної лабораторної (практичної) роботи необхідний матеріал лекції. Весь курс дисципліни умовно поділений на 4 розділи ; відповідно всі лекційні та лабораторні (практичні) заняття поділено наступним чином та наведено в таблиці нижче:

лабор прак, лекц	1, 2	3, 4	5, 6	7, 8	9, 10	11, 12	13, 14	15, 16	17, 18
1	розділ1								
2									
3		розділ2							
4									
5				розділ 3					
6									
7									
8								розділ 4	
9									

6. Самостійна робота студента

В самостійну роботу студента входять матеріали (питання), які сформульовані як завдання студенту в кожній темі лекційних занять .

Перевірка виконання студентом матеріалів, що віднесені до самостійної роботи, перевіряються викладачем підчас лекційних занять.

Програмою дисципліни передбачена контрольна робота, яка надається студентам на 10-му тижні занять. Контрольна робота містить чотири питання для кожного студента, які формуються зі 9-ти тем програми дисципліни. Рекомендований об'єм письмової відповіді сягає 4-4,5 сторінок аркуша розміром А 4 (кегель 12). Термін виконання контрольної роботи становить 2 тижня після його видачі. Виконана студентом контрольна робота оцінюється (максимально) 20ма балами. Результати виконання контрольної роботи повідомляються студентам через один тиждень після здачі виконаної роботи.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

На початку семестру створюється в Telegram - чат з дисципліни для оперативної взаємодії "студент - викладач". Усі студенти обов'язково мають бути присутніми в чаті ;

- Відвідування лекцій та лабораторних / практичних / занять є обов'язковими ;
- Питання студентів до лектора на заняттях є бажаними;
- Усі виконані контрольні завдання мають бути надані викладачеві на перевірку у вказані терміни ; за несвоєчасну здачу відповідей на роботу знімається 3 бали;
- Заохочувальні бали студенту надаються за :

а) активну участь на лекційних заняттях (питання до лектора, відповіді на запитання, пропозиції, зауваження тощо) ;

б) відсутність пропусків занять без поважних причин ;

в) якісне виконання контрольної роботи ;

г) участь у студентських наукових конференціях ;

д) продуктивна самостійна робота (СРС) ;

е) представлення Деканату або куратора навчальної групи.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

- Контрольну роботу за умови вірності виконання та вчасної здачі відповіді 20 балів;
- Відсутність пропусків занять (без поважних причин) – 10 балів;
- Активну участь на заняттях – 10 балів ;
- Студентських наукових конференціях – 10 балів.

Семестровий контроль : залік.

Умови допуску до семестрового контролю : зарахування усіх видів робіт з дисципліни.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо

Менше 60
Не виконані умови допуску

Незадовільно
Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік запитань:

1. Електромагнітна та інформаційна захищеність радіоелектронних елементів і пристроїв, системні властивості.
2. Пристрої-джерела та рецептори електромагнітних індустриальних та радіозавад.
3. Модель процесів системної взаємодії радіоприладів і систем.
4. Вплив електромагнітних завад і шумів на працездатність РЕА.
5. Шляхи поширення завад у радіоапаратурі.
6. Екранування завад, принципи та механізми.
7. Параметри електромагнітної сумісності, гармоніки, спектри завад.
8. Сприйнятливість до непередбачених електромагнітних полів приймальних пристроїв, перехресні спотворення, інтермодуляція.
9. Стрибок постійної та змінної напруги як джерело завади.
10. Механізм поглинання електромагнітної енергії екраном.
11. Коефіцієнт реакції екрана.
12. Ефективність електромагнітного екрана.
13. Комплексний коефіцієнт екранування (в неперах і децибелах).
14. Рішення рівнянь Максвелла у випадках плоского та циліндричного екранів.
15. Частотні характеристики коефіцієнта екранування.
16. Магнітні та немагнітні екрани.
17. Принцип дії багатошарових екранів.
18. Характеристики та параметри хвильових режимів екранування.
19. Забезпечення електромагнітної сумісності цифрових технічних засобів.
20. Електромагнітна сумісність інтерфейсів.
21. Екранування імпульсних завад цифрової техніки.
22. Електромагнітна сумісність ліній колективного користування, магістральних каналів загального користування, інтерфейсів РЕЗ і локальних комп'ютерних мереж.
23. Ймовірнісний характер задач електромагнітного, інформаційного захисту та сумісності РЕА.
24. Внутрішні шуми радіо компонентів як фактор формування завадового середовища.

Перелік запитань за тематикою практичних занять:

1. Електромагнітна обстановка оточуючого середовища (сучасний стан).
2. Національні та міжнародні документи електромагнітної та інформаційної захищеності.
3. Допустимі норми випромінювання завад. Нормування електромагнітних полів за сприйнятливостю РЕА до індустриальних завад.
4. Працездатність та шуми цифрових схем.
5. Забезпечення електромагнітного та інформаційного захисту комп'ютерних мереж та супутникових систем зв'язку.
6. Структура полів. Сферичні та плоскі хвилі.
7. Джерела електричних і магнітних полів. Залежність напруженості полів від відстані від джерела.
8. Вплив паразитних параметрів ліній друкованої плати, мікросхеми.
9. Характеристики екранів.
10. Електромагнітна індукція, ефективна глибина проникнення.
11. Матеріали багатошарових екранів.
12. Частотні характеристики багатошарових екранів.
13. Різниця в діях передньої та задньої граней екрану.
14. Приклади особливостей екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів.
15. Розрахунок імпульсних завад при наявності кіл паразитних індуктивних, ємнісних і омичних

зв'язків.

16. Заземлення РЕЗ.

17. Екранування надвисокочастотних полів.

18. Особливості екранування електростатичних і магнітостатичних плів.

Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни

Навчальна дисципліна передбачає використання інструментів, обладнання та програмного забезпечення, розміщеного у лекційних та навчальних аудиторіях, а також спеціалізований комп'ютерний клас.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено [Новосад А. А.](#);

Ухвалено кафедрою ПРЕ (протокол № 06/2024 від 27.06.2024)

Погоджено методичною комісією факультету/ННІ (протокол № 06-2024 від 28.06.2024)