Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра
радіоінженерії

[RE-255] НВЧ РАДІОІНЖЕНЕРІЯ



Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	G - Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G5 - Електроніка, електронні комунікації, приладобудування та радіотехніка
Освітня програма	172Мп IKP - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 49260)172Мн IKP - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 49261)G5Мп IKPI - Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія (ЄДЕБО id: 83619)
Статус дисципліни	Нормативна
Форма здобуття вищої освіти	Очна
Рік підготовки, семестр	1 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	6 кред. (Лекц. 30 год, Практ. 14 год, Лаб. 44 год, СРС. 92 год)
Семестровий контроль/контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекц.: Василенко Д. О., Практ.: Василенко Д. О.,
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Кредитний модуль узагальнює знання по окремим елементам радіотехнічного пристрою і формує здатність обирати найбільш ефективні елементи для приймально-передавальних пристроїв, зокрема цифрових антенних решіток, які працюють в різних частотних діапазонах, та здатність проводити інженерні розрахунки основних характеристик елементів приймально-передавальних пристроїв як системи.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі програмні компетентності та результати навчання за освітньою програмою (див. на сайті https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/opfiles/172_oppm_ikri_2023.pdf):

Фахові компетентності

ФК 15 Здатність використовувати типові та розробляти власні програмні продукти, орієнтовані на розв’язок задач проектування та розрахунку складових частин радіотехнічних систем для оптимізації досліджуваних об’єктів.

ФК 16 Здатність оцінювати та максимізувати ефективність, пропонувати та проектувати складні радіотехнічні надвисокочастотні телекомунікаційні системи, враховуючи характеристики окремих НВЧ компонентів та зв’язки між ними

ФК 18 Здатність проєктувати та експлуатувати радіоелектронні НВЧ підсистеми наземних та бортових сегментів супутникових систем.

Програмні результати навчання

ПРН 20 Дотримуватись принципів побудови та способів інженерної реалізації телекомунікаційних радіосистем. Уміти оцінювати та вимірювати характеристики, проєктувати надвисокочастотні складові частини наземних та бортових сегментів сучасних інформаційно-комунікаційних систем

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

Міждисциплінарні зв’язки: Пристрої НВЧ, Антени, Антенні системи

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Вступ. Структурна схема трансивера. Зміст кредитного модуля.

Тема 2. Багатополюсники НВЧ та їх характеристики. Хвильові матриці розсіювання та передачі

Тема 3. Лінії передачі трансиверів.

Тема 4. Підсилювачі потужності ЦАР.

Тема 4.1. Основні параметри і характеристики підсилювачів потужності цифрових антенних решіток (ЦАР): смуга частот, коефіцієнт підсилення, КСВН по входу і виходу, P1db, P3db, PAE, IP3, ACPR, EVM, …

Тема4.2. Класи підсилювачів, що використовуються в ЦАР. Основні технології (GaAs, GaN, LDMOS, …) виконання підсилювальних модулів, області застосування кожної технології. Приклади сучасних транзисторів для підсилювачів потужності, аналіз їх параметрів і характеристик.

Тема 4.3 Моделі НВЧ транзисторів

Тема 5. Основні схеми підсумовування потужності, їх ефективність і стійкість до виходу з ладу окремих підсилювальних модулів.

Тема 6. Пристрої роботи передавача і приймача на одну антену. Системи захисту МШП

Тема 7. Шум. Параметри і характеристики МШП в їх вплив на коефіцієнти шуму приймача ППМ.

Тема 8. Змішувачі. Типи змішувачів, їх параметри і характеристики.

тема 9. Схеми побудови приймача. Вибір проміжних частот.

Тема 10. Параметри і характеристики АЦП. Поняття oversampling/undersampling. Коефіцієнт шуму АЦП.

Рекомендований перелік лабораторних робіт

Основні теми лабораторних робіт у вигляді компьютерного практикуму:

- Інтерфейс програми AWR DESIGN ENVIRONMENT. Побудова простих НВЧ схем у програмі. Узгодження. Оптимізація

- Моделювання системи підсумовування потужності. Оцінка втрат при відмові окремих підсилювачів.

- Моделювання активних пристроїв НВЧ в AWR DESIGN ENVIRONMENT (на прикладі діодного змішувача)

- Моделювання підсилювачів потужності НВЧ в AWR DESIGN ENVIRONMENT із застосуванням моделей транзисторів компанії Wolfspeed

- Моделювання активних пристроїв НВЧ в AWR DESIGN ENVIRONMENT. LOAD PULL

- Основи системного дизайну в AWR DESIGN ENVIRONMENT. Модуль VSS

4. Навчальні матеріали та ресурси

1. Bahl I. J. Fundamentals of RF and Microwave Transistor Amplifiers / I. J. Bahl. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. – 671 с.

2. Colantonio P. High Efficiency RF and Microwave Solid State Power Amplifiers / P. Colantonio, F. Giannini, E. Limiti., 2009. – 498 с.

3. Egan W. Practical RF system design / William F. Egan. – New York: John Wiley and Sons, Inc., 2000. – 386 с.

4. Gilmore R. Practical RF circuit design for modern wireless systems/ / R. Gilmore, L. Besser. – Boston: Artech House, 2003. – 569 с

5. Kester WA, Engineeri AD. Data conversion handbook. Newnes; 2005.

6. McClaning K. Radio receiver design / Kevin McClaning., 2000. – 778 с

7. Application note.Design With PIN Diodes [Електронний ресурс] // Skyworks. – 2021. – Режим

доступу до ресурсу:
https://www.skyworksinc.com/-/media/SkyWorks/Documents/Products/1-100/Design_With_PIN_Diodes_200312E.pdf.

8. Understanding AC Behaviors of High Speed ADCs [Електронний ресурс] // Analog Devices. – 2023. – Режим доступу до ресурсу:
https://www.analog.com/en/technical-articles/understanding-ac-behaviors-of-high-speed-adcs.html.

9. Pozar D. M. Microwave Engineering (Third edition) / David M. Pozar., 2005. – 700 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)
1	Тема 1. Вступ. Структурна схема трансивера. Зміст кредитного модуля. Тема 2. Багатополюсники НВЧ та їх характеристики. Хвильові матриці розсіювання та передачі Література: [1], 18-31
2	Тема 2. Багатополюсники НВЧ та їх характеристики. Хвильові матриці розсіювання та передачі Література: [1], 18-31 Тема 3. Лінії передачі трансиверів. Література: [9], 91-161
3	Тема 4.1. Основні параметри і характеристики підсилювачів потужності цифрових антенних решіток (ЦАР): смуга частот, коефіцієнт підсилення, КСВН по входу і виходу, P1db, P3db, PAE, IP3, ACPR, EVM, … Література: [2], 1-44, [1], 33-59 Тема4.2. Класи підсилювачів, що використовуються в ЦАР. Основні технології (GaAs, GaN, LDMOS, …) виконання підсилювальних модулів, області застосування кожної технології. Приклади сучасних транзисторів для підсилювачів потужності, аналіз їх параметрів і характеристик. Література: [2], 49-82, [1], 185-208
4	Тема4.2. Класи підсилювачів, що використовуються в ЦАР. Основні технології (GaAs, GaN, LDMOS, …) виконання підсилювальних модулів, області застосування кожної технології. Приклади сучасних транзисторів для підсилювачів потужності, аналіз їх параметрів і характеристик. Література: [2], 49-82 Тема 4.3 Моделі НВЧ транзисторів Література: [1], 91-123
5	Тема 5. Основні схеми підсумовування потужності, їх ефективність і стійкість до виходу з ладу окремих підсилювальних модулів. Література: [2], 369-428
6	Тема 6. Пристрої роботи передавача і приймача на одну антену. Системи захисту МШП Література: [7]
7	Тема 7. Шум. Параметри і характеристики МШП в їх вплив на коефіцієнти шуму приймача ППМ. Література: [6], 443-539
8	Тема 8. Змішувачі. Типи змішувачів, їх параметри і характеристики. Література: [4], 433-507 Тема 9. Схеми побудови приймача. Вибір проміжних частот. Література: [6], 639-753
9	Тема 9. Схеми побудови приймача. Вибір проміжних частот. Література: [6], 639-753 Тема 10. Параметри і характеристики АЦП. Поняття oversampling/undersampling. Коефіцієнт шуму АЦП. Література: [8]

Лабораторні роботи (комп’ютерний практикум)

Основні завдання циклу комп’ютерних практикумів полягає у отриманні досвіду практичного використання програми AWR DESIGN ENVIRONMENT, формуванні умінь виконувати розрахунок системних характеристик приймально-передавальних пристроїв у AWR DESIGN ENVIRONMENT.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Інтерфейс програми AWR DESIGN ENVIRONMENT. Побудова простих НВЧ схем у програмі. Узгодження. Оптимізація	4
2	Моделювання системи підсумовування потужності. Оцінка втрат при відмові окремих підсилювачів.	6
3	Моделювання активних пристроїв НВЧ в AWR DESIGN ENVIRONMENT (на прикладі діодного змішувача)	6
4.	Моделювання підсилювачів потужності НВЧ в AWR DESIGN ENVIRONMENT із застосуванням моделей транзисторів компанії Wolfspeed	6
5	Моделювання активних пристроїв НВЧ в AWR DESIGN ENVIRONMENT. LOAD PULL	8
6	Основи системного дизайну в AWR DESIGN ENVIRONMENT. Модуль VSS	6

6. Самостійна робота здобувача

В кредитному модулі передбачено виконання ДКР. Основна ціль ДКР навчити студента обирати найбільш ефективні елементи для приймально-передавальних пристроїв і виконувати розрахунок системних характеристик приймально-передавальних пристроїв . За заданими загальними характеристиками студент має підібрати основні елементи приймально-передавального тракту, які при роботі в системі забезпечать задані характеристики. Підтвердженням правильності вибору є розрахунок link budget всієї системи в AWR DESIGN ENVIRONMENT

Приклад завдання на ДКР:

Обрати компоненти для НВЧ частини приймально-передавального модуля, яка складається з таких компонентів: попередній підсилювач, подільник потужності, підсилювачі потужності, суматор, елемент, що забезпечує одночасну роботу передавача і приймача на одну антену, захисний пристрій приймача, МШУ. Необхідно розрахувати RF link budget для коефіцієнта підсилення на передачу і прийом, коефіцієнта шуму та рівня гармонік на прийом для системи, яка забезпечує такі характеристики:

- діапазон робочих частот 3.1-3.4 ГГц;

- вихідна потужність на антені 62.5 дБм;

- вхідна потужність на антені -80 дБм;

- потужність сигналу на виході НВЧ частини ППМ 0 дБм;

- коефіцієнт шуму 3 дБ;

- рівень третьої гармоніки на виході НВЧ частини ППМ -80 дБ по відношенню до основної гармоніки.

Контрольні роботи

В кредитному модулі передбачено проведення однієї модульної контрольної роботи. Метою проведення МКР є перевірка знання студентами основних характеристик складових приймально-передавального модулю і здатності оцінити вплив характеристик окремих

компонентів на характеристики всієї системи.

Приблизний перелік питань на модульну контрольну роботу:

- Суматори потужності НВЧ. Ефективність системи при відмінностях в комплексному коефіцієнті підсилення окремих підсилювачів

- Суматори потужності НВЧ. Узгоджені і реактивні схеми складання потужності. Особливості кожної із схем при виході з ладу окремих підсилювачів.

- Основні параметри і характеристики змішувачів. Вплив IP3 змішувача на загальні характеристики ППМ.

- Основні параметри і характеристики змішувачів. Вплив P1db змішувача на загальні характеристики ППМ.

- Основні технології виробництва потужних транзисторів. Пояснити, як параметри і характеристики ППМ зумовлюють вибір технології виробництва потужних транзисторів.

- Основні характеристики АЦП. Пояснити, як характеристики АЦП впливають на крефіцієнт шуму приймача

- Основні характеристики АЦП. Максимально досяжні характеристики АЦП на нинішньому етапі розвитку електроніки. Пояснити технології UNDERSAMPLING та OVERSAMPLING.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Відвідування лекційних, практичних та лабораторних занять - згідно «Положенню про організацію освітнього процесу КПІ ім. Ігоря Сікорського.» . Мінімум раз на тиждень викладач проводить консультації з різних питань кредитного модулю. На консультаціях викладач може надавати допомогу з вивчення матеріалу занять, які були з тих чи інших причин пропущені студентами і мають опановувати їх самостійно.

У будь-якому випадку студентам рекомендується відвідувати усі види занять, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання домашніх завдань, контрольних та розрахункових робіт.

Пропущені контрольні заходи

Результат для студента, який не з’явився на контрольний захід, є нульовим. При пропуску контрольного заходу з поважної причини студенту надається можливість виконати його (написати МКР, відпрацювати лабораторну роботу) в присутності викладача. Якщо пропуск стався без поважної причини, особливо що стосується лабораторної роботи, то питання її відпрацювання вирішується з викладачем при погодженні з керівництвом кафедри.

Оголошення результатів контрольних заходів

Результати виконання МКР оголошуються кожному студенту окремо . При спілкуванні наживо, за бажанням студента, він може отримати пояснення, в яких можна побачити свою оцінку за певними критеріями оцінювання.

Захист виконаного ДКР проходить у формі співбесіди з викладачем. Під час захисту студент зобов’язаний вміти пояснити отримані результати та відповісти на головні теоретичні питання

за темами розділів. Результати захисту оголошуються студенту у його присутності або в дистанційній формі спілкування та супроводжуються певними коментарями та зауваженнями стосовно помилок. (Дистанційна форма спілкування в системі Zoom , Telegram, Skype, Google Meets з відео та звуком).

Результати за виконану лабораторну роботу виставляються по закінченню її виконання та захисту.

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 «Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»». Детальніше: https://kpi.ua/code.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 «Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: https://kpi.ua/code.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури проведення та/або оцінювання контрольних заходів, та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов’язково аргументовано, пояснивши, з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

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

Рейтинг студента (РС) з кредитного модуля складається з балів, які він отримує за:

1) виконання домашньої контрольної роботи

2) виконання модульної контрольної роботи;

3) виконання і захист 6 лабораторних робіт (комп’ютерних практикумів)

Система рейтингових балів РС та критерії оцінювання

РС складається з балів, одержаних за виконання таких робіт:

1. Виконання домашньої контрольної роботи (ДКР):

- безпомилкове розв’язання завдання	16
- розв’язання з неістотними помилками	12
- розв’язання з помилками	9
- незадовільне або несвоєчасне виконання	0
Максимальна сума балів за ДКР	16

2. Оформлення і захист кожної з 6 звітів про виконання лабораторної роботи (комп’ютерного практикуму) надають такі рейтингові бали:

- оформлення звіту відповідно до вимог і повна відповідь на захисті в терміни до 2 тижнів після закінчення роботи	12
- оформлення звіту з порушеннями або неповна відповідь в терміни не пізніше ніж 2 тижня після закінчення робіт	9
- захист пізніше ніж через 2 тижня після закінчення робіт	7
- незадовільна відповідь	0
Максимальна сума балів за 6 КП	72

3. Модульна контрольна робота (МКР) надає такі рейтингові бали:

- безпомилкове розв’язання завдання	12
- розв’язання з неістотними помилками	9
- розв’язання з помилками	7
- незадовільне виконання або відсутність під час контролю без поважних причин	0
Максимальна сума балів за МКР	12

Максимальний РС в семестрі складає:

РС = 16 +72 +12 = 100 балів.

Умови позитивної проміжної атестації

Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент має одержати не менше ніж 25 балів.

Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації (14 тиждень) студент має одержати не менше ніж 40 балів.

Умови допуску до заліку:

1. Виконання ДКР.

2. Виконання та захист усіх лабораторних робіт (комп’ютерних практикумів);

Для отримання заліку з кредитного модуля «автоматом» потрібно мати рейтинг не менше 60 балів

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити оцінку в системі ECTS, виконують залікову контрольну роботу. Оцінка за контрольну роботу (РК) сумується з оцінкою за ДКР і така оцінка є остаточною.

Система рейтингових балів РК та критерії оцінювання

Завдання контрольної роботи складається з двох з переліку, що наданий у методичних

рекомендацій до засвоєння кредитного модуля.

Кожне питання оцінюється максимум у 42 бали.

Відповідь на кожне теоретичне питання по кожній частині дисципліни надає такі бали:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації)	42
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності)	34
- неповна відповідь (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки)	26
- незадовільна відповідь	0

Максимальний РК складає:

РК = 16+42+42= 100 балів.

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	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

...

Опис матеріально-технічного та інформаційного забезпечення дисципліни

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):
Складено Василенко Д. О.;
Ухвалено кафедрою РІ (протокол № 06/2026 від 10.06.2026)
Погоджено методичною комісією факультету/ННІ (протокол № 06/2026 від 24.06.2026)