



Генерація, модуляція та кодування сигналів (ПО-05)

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	"Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія"
Статус дисципліни	Обов'язкова (нормативна) (цикл професійної підготовки)
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс (повний термін навчання), 2 курс (прискорений термін навчання) осінній семестр
Обсяг дисципліни	Загальна кількість: (4.0 кредити) 120 год. Лекційних занять: 18 год. Практичних занять: 18 год. Лабораторних занять (комп'ютерних практикумів): 18 год. Самостійна робота студентів: 66 год.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	ТКР, МКР (5); РГР, ДЗ, ДКР (5), індивідуальні завдання до комп'ютерних практикумів, залік (5)
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: старший викладач Павлов Олег Ігорович (pavlov.oleg1@ill.kpi.ua) Практичні: старший викладач Павлов Олег Ігорович (pavlov.oleg1@ill.kpi.ua) Лабораторні: старший викладач Павлов Олег Ігорович (pavlov.oleg1@ill.kpi.ua)
Розміщення курсу	http://dtsp.kiev.ua , https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=6574

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна дисципліни «Генерація, модуляція та кодування сигналів» (далі — ГМКС) відноситься до дисциплін циклу професійної підготовки фахівців першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 172 "Електронні комунікації та радіотехніка", є обов'язковою (нормативною) і за ОПП "Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія".

Метою навчальної дисципліни ГМКС є формування у студентів компетентностей в частині аналізу і синтезу процесів перетворення радіотехнічних сигналів в радіотехнічних системах, які

застосовуються для ефективного передавання інформації радіо та провідними каналами зв'язку, а також використання сигналів та процесів їх обробки для радіолокації, радіокерування, телеметрії, радіонавігації, дистанційного зондування тощо.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

ЗНАННЯ (результат вивчення явищ і закономірностей об'єктивного світу, який, який можна логічно або фактично обґрунтувати, і емпірично або практично перевірити):

- призначення та структури сучасних радіотехнічних та телекомунікаційних систем, процесів, які в них відбуваються;
- класифікація методів генерування сигналів та їх основні властивості;
- класифікація методів кодування сигналів та їх основні властивості;
- класифікація методів модуляції сигналів та їх основні властивості;
- зв'язок між сигналами керування, радіосигналами та представленням модульованих сигналів в основній смузі частот;
- моделі вузькосмугових сигналів, аналітичний сигнал, комплексна обвідна, квадратурні складові та квадратурна обробка сигналів;
- часові та спектральні характеристики сигналів з різними видами модуляції.

НАВИКИ (здатність до діяльності, "навченість виконувати дії", сформована шляхом повторення дії і доведення її до автоматизму):

- синтез гармонічних коливань різними методами;
- синтез шумоподібних коливань з різними статистичними характеристиками;
- синтез коливань складної форми;
- кодування цифрових сигналів при АЦП аналогових сигналів;
- кодування бінарних цифрових сигналів;
- кодування РСМ сигналів;
- моделювання та дослідження процесів passband модуляції аналогових сигналів керування;
- моделювання та дослідження процесів baseband та passband модуляції цифрових сигналів керування.

УМІННЯ (опанований спосіб виконання дії, який забезпечується сукупністю придбаних знань та навичок, і який створює можливість виконання дії не тільки в звичних умовах, але і в таких, що змінилися):

- синтезу гармонічних, шумоподібних та функціональних сигналів;
- кодування сигналів аналогового та цифрового джерела;
- обчислення часових та спектральних характеристик baseband та passband модульованих сигналів при різних методах модуляції шляхом зведення їх до сукупності відомих випадків;
- застосування опанованих методів та розрахунків для оцінки змін властивостей сигналів під час їх перетворення радіоелектронними пристроями;
- аналіз і оцінка результатів модельного дослідження характеристик основних сигналів для створення пристроїв із заданими параметрами.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати програмні компетентності (коло питань, в яких наявна добра обізнаність) та результати навчання за освітньо-професійною програмою «Інформаційна та комунікаційна радіоінженерія» (див. на сайті <https://osvita.kpi.ua/op>), в тому числі, але не виключно (за ОПП, введеною в дію з 2024/2025 навч. року наказом ректора КПІ ім. Ігоря Сікорського від 10.06. 2024 р. № НОД/434/2024):

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК 2 — Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 7 — Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Фахові компетентності (ФК)

ФК 4 — Здатність здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем і процесів з використанням універсальних пакетів прикладних програм (фактична ФК за суттю питань, що вивчаються та підходів, які застосовуються).

ФК 19 — Здатність застосовувати та аналізувати різні типи модуляції та кодування сигналів у каналах радіозв'язку сучасних інфокомунікаційних радіочастотних системах.

ФК 20 — Здатність вибирати параметри випадкового сигналу та оптимізувати канал зв'язку за необхідним критерієм при наявності шумів та завад, проводити інженерні розрахунки основних характеристик випадкових сигналів та пристроїв для їх обробки.

Програмні результати навчання (ПРН)

ПРН 13 — Застосовувати фундаментальні і прикладні науки для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах (фактичний ПРН за суттю питань, що вивчаються та підходів, які застосовуються);

ПРН 27 — Вибирати параметри модуляції та застосовувати методи завадостійкого та ефективного кодування інформаційних та комунікаційних радіосистем (нормативний ПРН за розділом 5 ОПП).

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

2.1. Вивчення навчальної дисципліни ГМКС ґрунтується на компетенціях, набутих під час вивчення наступних навчальних дисциплін: «Вища математика» (теми "Диференціювання та інтегрування функцій", "Функціональні ряди", "Диференціальні рівняння", "Перетворення Фур'є", "Теорія ймовірностей", "Теорія функцій комплексної змінної"), «Фізика» (теми "Електростатика", "Електромагнетизм"), «Матеріали та компоненти радіоелектронної апаратури» чи «Схемотехніка. Частина 1. Електронна компонентна база» (тема "Характеристики електронних та напівпровідникових приладів"), «Схемотехніка. Частина 2. Аналогова схемотехніка» (теми "Елементарні підсилювачі на біполярному та польовому транзисторі", "Робота транзистора в нелінійному режимі"), «Основи теорії кіл» (теми "Колівальні контури", "Зв'язані контури", "Схемні функції"), «Основи теорії телекомунікації і радіотехніки. Частина 2. Сигнали і процеси в радіотехніці».

2.2. Компетенції, набуті під час вивчення ГМКС, використовуються під час вивчення подальших дисциплін спеціальності 172 "Електронні комунікації та радіотехніка", таких як «Проектування приймальних пристроїв НВЧ», «Електромагнітна сумісність», «Мобільні телекомунікаційні системи», «Кодування та шифрування сигналів», а також під час виконання дипломного проектування.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ. Процеси генерування, кодування та модуляції сигналів в радіотехніці

Тема 00.1. Вступ. Процеси генерування, кодування та модуляції сигналів в радіотехніці [1—4]; [1, стор. 5-9, 15-17]; [2, стор. 5-13, 21-24, 282-300]; [5, 6]:

- Мета і завдання дисципліни ГМКС. Програма дисципліни.
- Структурні схеми основних функціональних складових типової системи (каналу) радіозв'язку (передавача та приймачів прямого підсилення та супергетеродинного).
- Основні (типові) радіотехнічні процеси перетворення сигналів на прикладі каналу радіозв'язку.
- Проблеми завадостійкості та електромагнітної сумісності радіотехнічних систем.

Тема 00.2. Генерація та генератори коливань. Терміни та основні параметри [7—21]:

- Типи генераторів сигналів.
- Генератори аналогових сигналів.
- Генератори векторних сигналів.
- Генератори сигналів довільної форми (ARB).
- Основні характеристики генератора сигналів.

- Фазовий шум та джиттер.
- Побічні випромінювання.
- Стабільність частоти.
- Точність рівня та час встановлення рівня.
- Величина вектора помилки (EVM).
- Потужність сусіднього каналу (ACP).
- Узгодження імпедансу (VSWR).

Розділ 1. Генерування сигналів

Тема 01.1. Аналогові методи генерування гармонічних коливань [4, §24.1—§24.8, стор. 3—170], [2, §9.1-§9.11, стор. 270-299], [3, §14.4-§14.5, стор. 364-382]:

- Коротка характеристика методів аналізу нелінійних автоколивальних систем [4, §24.1, стор. 5—8]; [2, §9.1, стор. 270—273].
- Виникнення коливань в автогенераторі [4, §24.2, стор. 8—25]; [2, §9.2, стор. 273—276].
- Стаціонарний режим автогенератора [4, §24.3, стор. 25—34]; [2, §9.3, стор. 276—279].
- М'який і жорсткий режими роботи генераторів [4, §24.4, стор. 34—54]; [2, §9.4, стор. 279—280].
- Вплив вищих гармонік на частоту й амплітуду коливань генератора. Стабільність частоти коливань на виході генератора [4, §24.5, стор. 54—69].
- Перехідний режим генератора синусоїдних коливань. Метод повільно змінюваних амплітуд [4, §24.6, стор. 69—96].
- Метод фазової площини [4, §24.7, стор. 96—127]; [2, §9.7, стор. 285—289].
- Деякі схеми автогенераторів гармонічних коливань [4, §24.8, стор. 127—159]; [2, §9.5, стор. 280—282].

Тема 01.2. Цифрові методи генерування гармонічних коливань [22—49]:

- Метод ЛРППК 2 порядку.
- Метод ПЦС.
- Поліноміальний метод.
- Метод CORDIC.
- Оцінювання SINAD, ENOB, SNR, THD, THD+N, SFDR.

Тема 01.3. Цифрові методи генерування сигналів з ЛЧМ [22—49]:

- Керування параметрами ГК в методі ЛРППК 2 порядку.
- Керування параметрами ГК в методі ПЦС.
- Керування параметрами ГК в поліноміальному методі.
- Керування параметрами ГК в методі CORDIC.

Тема 01.4. Цифрові методи генерування шумоподібних сигналів [50—65]:

- Конгруентний метод.
- Метод XORSHIFT.
- Методи MWC та SWC.
- Метод Ziggurat.
- Метод Мерсенна.
- Метод Фібоначі.
- Перетворення ЗРА.
- Оцінювання ACF.
- Оцінювання PDF.
- Оцінювання PSD.
- Криптографічні методи та криптографічна стійкість ПВП.
- Тести на випадковість.

Тема 01.5. Цифрові методи генерування сигналів довільної форми [48—49]:

- Налаштування LookUp table в методі ПЦС.
- Лінійна інтерполяція табличних даних.
- Сплайн інтерполяція табличних даних.

Розділ 2. Кодування сигналів при їх перетвореннях та передачі в baseband

Тема 02.1. Поняття про кодування даних та сигналів [70—100]:

- Загальне тлумачення коду та кодування.
- Код та кодування в теорії обробки даних та їх представлення.
- Код та кодування в комп'ютерному програмуванні та керуванні апаратними пристроями.

- Код та кодування в теорії стиснення даних з втратами та без втрат.
- Код та кодування в криптографії.
- Код та кодування в теорії передачі даних.
- Код та кодування в математиці та інформатиці.

Тема 02.2. Кодування аналогових сигналів при їх перетвореннях і форматуванні [70—100]:

- лінійний двійковий код, двійково-додатковий код, двійково-десятковий код та 7-сегментний код при АЦП сигналів.
- Кодування по А- та по μ - закону при АЦП мовлення.
- PCM, DPCM, APCM, ADPCM, DM.
- Pulse Modulation. PAM, PWM, PDM, PPM.
- Спектральне кодування сигналу, кодування підсмуг, адаптивне перетворююче кодування.
- Модельне кодування джерела. Лінійне кодування із прогнозуванням (ЛКП).

Тема 02.3. Кодування цифрових сигналів при їх передачі в baseband (line coding) [70—100]:

- Типи лінійних кодів. Polar, Uni-polar, Bipolar.
- Основні форми імпульсів. NRZ, RZ, Manchester Line Code.
- Phase encoded.
- Multilevel binary.
- Duobinary Signaling, Coding and Decoding.

Тема 02.4. Кодування даних при їх модуляції (binary encoding & symbol mapping) [70—100]:

- Кодування бінарних даних за кодом Грея при їх відображенні на фазове сузір'я.
- Відображення символів на фазове сузір'я при BPSK, QPSK, M-PSK, 16-QAM, 32-QAM.

Розділ 3. Аналогові методи модуляція сигналів в baseband та passband

Тема 03.1. Амплітудна модуляція (AM) аналогових сигналів в passband. AM-DSB-FC, AM-DSB-SC, AM-SSB-FC, AM-SSB-SC [1, §7.1—§7.8, стор. 334—389]:

- Тональна AM (DSB-FC). Подання сигналів у часовій та частотній областях. Векторні діаграми [1, §7.1, стор. 336—345].
- Енергетичні характеристики коливань з AM [1, §7.2, стор. 345—349].
- Коливання з AM довільним сигналом [1, §7.3, стор. 349—357].
- Квадратичний модулятор [1, §7.3, стор. 357—358].
- Квадратичний детектор [1, §7.3, стор. 358—359].
- Балансна (двосмугова) модуляція з придушенням носійного коливання (DSB-SC) [1, §7.4, стор. 359—361].
- Балансний модулятор [1, §7.4, стор. 361—361].
- Синхронне (когерентне) детектування коливань із двосмуговою модуляцією [1, §7.4, стор. 361—367].
- Квадратурна амплітудна модуляція (KAM, QAM) [1, §7.5, стор. 367—369].
- Односмугова модуляція (OM, SSB) [1, §7.6, стор. 369—381].
 - Опис сигналів з OM в частотній області [1, §7.6, стор. 370—372].
 - Опис сигналів з односмуговою модуляцією в часовій області [1, §7.6, стор. 372—379].
 - Метод генерування сигналів з односмуговою AM, оснований на фазовій дискримінації [1, §7.6, стор. 379—379].
 - Демодуляція коливань з односмуговою AM [1, §7.6, стор. 379—381].
- Односмугова AM з неповним (частковим) придушенням бічної смуги — Vestigial sideband modulation (VSB) [1, §7.7, стор. 381—382].
- Опис сигналів з VSB модуляцією в частотній області [1, §7.7, стор. 382].
- Генерування сигналів із VSB модуляцією [1, §7.7, стор. 382—386].
- Порівняльний аналіз сигналів і систем з амплітудною модуляцією [1, §7.8, стор. 386—389].

Тема 03.2. Сигнали з кутовою модуляцією (КМ). Частотна модуляція (ЧМ, FM) та фазова модуляція (ФМ, PM) аналогових сигналів в passband [1, §8.1—§8.8, стор. 395—481]:

- Кутова модуляція: базова концепція [1, §8.1, стор. 396—400].
- Подання сигналів з тональною кутовою модуляцією у часовій області [1, §8.2, стор. 400—404].
- Спектри сигналів з тональною кутовою модуляцією [1, §8.3, стор. 404—423].
- Генерування і детектування сигналів з кутовою модуляцією [1, §8.4, стор. 423—431].
- Кутова модуляція при негармонічному модулюючому сигналі [1, §8.5, стор. 431—437].
- Радіоімпульси з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ) [1, §8.6, стор. 437—452].

- Радіоімпульс з ЛЧМ, його характеристики і властивості [1, §8.6, стор. 437—439].
- Спектр радіоімпульсу з лінійною частотною модуляцією [1, §8.6, стор. 439—448].
- АКФ радіоімпульсу з ЛЧМ [1, §8.6, стор. 448—452].
- Радіосигнали з фазовою маніпуляцією (ФМН) [1, §8.7, стор. 452—475].
 - АКФ радіоімпульсів з фазовою маніпуляцією [1, §8.7, стор. 454—455].
 - АКФ ФМн сигналів Баркера [1, §8.7, стор. 455—457].
 - Спектри ФМн сигналів Баркера [1, §8.7, стор. 457—561].
 - Генерування ФМн сигналів Баркера [1, §8.7, стор. 461—461].
 - Двійкова псевдовипадкова послідовність [1, §8.7, стор. 461—465].
 - Сигнали з фазовою маніпуляцією двійковими псевдовипадковими послідовностями [1, §8.7, стор. 465—466].
 - АКФ сигналів, маніпульованих М—послідовностями [1, §8.7, стор. 466—470].
 - Спектри сигналів, маніпульованих М—послідовностями [1, §8.7, стор. 470—475].

Розділ 4. Цифрові методи модуляція сигналів в baseband та passband

Тема 04.1. Амплітудна модуляція цифрових сигналів в baseband [102—121].

- Амплітудна маніпуляція (ASK), мінімальна необхідна ширина смуги пропускання,
- Квадратурна амплітудна маніпуляція (QAM).

Тема 04.2. Частотна модуляція цифрових сигналів в baseband [102—121]:

- Частотна маніпуляція (FSK), жорстка (hard FSK) та м'яка (soft FSK),
- Бінарна FSK (BFSK), мінімальна необхідна ширина смуги пропускання, індекс модуляції і умови ортогональності FSK,
- М-позиційна частотна маніпуляція (M-FSK),
- Маніпуляція мінімального зсуву частоти (MSK або MFSK), швидка маніпуляція зсуву частоти (FFSK),
- Маніпуляція мінімального зсуву частоти з фільтром Гауса (GFSK).

Тема 04.3. Фазова модуляція цифрових сигналів в baseband [102—121]:

- Фазова маніпуляція (PSK), її різновиди та характеристики,
 - Бінарна фазова маніпуляція (BPSK, 2-PSK), мінімальна необхідна ширина смуги пропускання,
 - Квадратурна фазова маніпуляція (4-PSK, QPSK), структура передавача та приймача для QPSK, ймовірність бітової помилки, часова та спектральна характеристика, мінімальна необхідна ширина смуги пропускання,
 - Диференціальна квадратурна фазова маніпуляція ($\pi/4$ -DQPSK),
 - Офсетна QPSK (OQPSK),
 - Шахова квадратурна фазова маніпуляція (SQPSK),
 - QPSK із фігурним зміщенням (SOQPSK),
 - Подвійна поляризаційна квадратурна фазова маніпуляція (DPQPSK),
 - PSK вищого порядку, М-позиційна фазова маніпуляція (M-PSK), ймовірність бітової помилки (BER) при PSK,
- Диференціальна фазова маніпуляція (DPSK), її різновиди та характеристики,
 - Диференціальне кодування при DPSK,
 - Диференціально-кодована BPSK, або BPSK з диференційним кодуванням (Differentially-encoded BPSK, DBPSK),
 - Симетрична диференціальна фазова маніпуляція (Symmetric Differential Phase Shift keying, SDPSK),
 - QPSK з диференційним кодуванням (Differentially encoded QPSK, DQPSK),
 - Симетрична диференціальна квадратурна фазова маніпуляція (Symmetric Differential Quadrature Phase Shift Keying, SDQPSK),
 - Ймовірність бітової помилки при DPSK (Probability of bit-error for DPSK),
 - Демодуляція DPSK.

Тема 04.4. Неперервно-фазова модуляція цифрових сигналів в baseband [102—121]:

- Неперервно-фазова частотна маніпуляція (CPFSK),
- Неперервно-фазова фазова маніпуляція (CPM).
- Маніпуляція мінімального зсуву частоти (MSK),
- Маніпуляція мінімального зсуву частоти з фільтром Гауса (GFSK).

Тема 04.5. Решітчаста кодована модуляція цифрових сигналів в baseband [102—121]:

- Фазова маніпуляція з використанням кодованої решітки (PSKTCM),
- Загальне QAM маніпуляція з використанням кодування бінарних даних за допомогою згорткового енкодера (General QAMTCM),
- QAM маніпуляція з використанням прямокутного QAM сузір'ям та згорткового кодування бінарних даних (Rectangular QAMTCM).

Розділ 5. Методи доступу до середовища та широкосмугова модуляція

Тема 05.1. Множинний доступ із частотним поділом (FDMA) [122—138]:

- Множинний доступ із частотним поділом (FDMA) [5, §11.1.1, стор.657—665, §11.4.1—11.4.3, 690—698], [6, §15-1, стор.842, §15-4, стор.862—872]
- Множинний доступ з розділенням часу (TDMA) [5, §11.1.2—11.1.4, стор. 665—672, §11.4.4, 704—708], [6, §15-1, стор.842]
- Множинний доступ з кодовим розділенням (CDMA) [5, §11.1.5, стор. 672—674, §12.7, 769—771, §12.8, 776—794], [6, §15-2, стор.843, §15-3, стор.849—862]
 - Основна концепція CDMA,
 - Етапи модуляції CDMA,
 - Коди, які використовуються в CDMA,
 - Синхронний CDMA (CDM, мультиплексування з кодовим розділенням),
 - Асинхронний CDMA, Переваги асинхронного CDMA перед іншими методами,
 - Спільний CDMA,
- Множинний доступ з ортогональним частотним поділом (...OFDMA).

Тема 05.2. Модуляція даних з використанням методу OFDM [122—138]:

- Порівняння ефективності систем з однією та багатьма несучими.
- Ідеалізована модель системи з OFDM модуляцією.
- OFDM модуляція в передавачі.
- OFDM демодуляція в приймачі.
- Система передачі DVB-T.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова рекомендована література:

Основна

1. [Волощук Ю.І. Сигнали та процеси в радіотехніці \(ч.1\)](#). Підручник для студентів вищих навчальних закладів, том 1. – Харків: «Компанія СМІТ», 2003. – 580 с.
2. [Волощук Ю.І. Сигнали та процеси в радіотехніці \(ч.2\)](#). Підручник для студентів вищих навчальних закладів, том 2. – Харків: «Компанія СМІТ», 2003. – 444 с.
3. [Волощук Ю.І. Сигнали та процеси в радіотехніці \(ч.3\)](#). Підручник для студентів вищ. навч. закладів: У 4-х т. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2005. – Т.3: 528 с.
4. [Волощук Ю.І. Сигнали та процеси в радіотехніці \(ч.4\)](#). Підручник для студентів вищ. навч. закладів у 4-х т. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2005. – Т.4: 496 с.
5. [Sklar B. Digital Communication. Fundamentals and Applications, 2ed, 1032p.](#), Prentice Hall P T R Upper Saddle River, New Jersey 07458. - 1032p
6. Proakis J. Digital Communications. 4ed, [DJVU](#), Publishing House of Electronics Industry, Chine, 2001 – 937 p/

Додаткова

До розділу «Генерування сигналів»

До теми «Генерація та генератори коливачів. Терміни та основні параметри»

7. [Signal Generator Terminology and Specifications / NI, 2022-17 Oct, 10p.](#)
8. [Signal Generator. What are They. Circuit & Block Diagram / Electrical4U, 2020-10, 10p.](#)
9. [Key Characteristics of Signal Generators and Modulation Methods. Pocket Guide / R&S, 2022-11, 117p.](#)
10. [Modulation and Signal Generation with R&S Signal Generators. Educational Note - R&S, 2016-05, 120p.](#)
11. [Signal Generator Fundamentals / Tektronix, 2009-03, 54p.](#)
12. [XYZs of Signal Generators. Primer / Tektronix, 2016-07, 42p.](#)
13. [Szwoch G. Signal Generation on DSP / Gdańsk Univ. of Tech., Dep. of Multimedia Systems, 2021-01, 25p.](#)
14. [The Essential Signal Generator Guide. Building a Solid Foundation in RF. Part 1 / Keysight, 2022-06, 28p.](#)
15. [The Essential Signal Generator Guide. Building a Solid Foundation in RF. Part 2 / Keysight, 2019-01, 24p.](#)
16. [Understanding Phase Noise Needs and Choices in Signal Generation. AN / Keysight, 2018-01, 12p.](#)

17. [Selecting a Signal Generator. Technical Overview / Keysight, 2022-04, 28p.](#)
18. [Signal Generator Library. Module user's Guide. C28x Foundation Software / TI, 2011-09, 80p.](#)
19. [Signal generator design resources | TI.com](#)
20. [MathWorks - Signal Generation and Visualization - MATLAB & Simulink Example.](#)
21. [MathWorks - Signal generation using for loop - MATLAB Answers.](#)

До теми «Генерування ГК методом ЛРППК 2 порядку»

22. [Розробка генераторів гармонічних коливань та їх випробування на симуляторі СП ADSP-2181. Для студентів радіотехнічного факультету усіх форм навчання / Укл. О.І.Павлов, В.П.Смирнов, О.Б.Шарпан. — К.: НТУУ «КПІ», 2000. — 32 с.](#)
23. [ADSP21xx DSP Applications Using the ADSP-2100 Family. Vol.1. Ch.5. Digital Filters. 20p.](#)
24. [Розробка рекурсивних фільтрів в пакеті DiFiDes та їх випробування в системі VisualDSP++. Для студентів спеціальності "172. Телекомунікації та радіотехніка" усіх форм навчання / Укл. О. І. Павлов, О. С. Захарченко. — К.: НТУУ «КПІ», 2020. — 40 с.](#)

До теми «Генерування ГК методом DDS»

25. [Системи прямого цифрового синтезу та їх застосування. Для студентів радіотехнічного факультету усіх форм навчання / Укл. О.І.Павлов, В.П.Смирнов. — К.: НТУУ «КПІ», 2000. — 24 с.](#)
26. [Fundamentals of Direct Digital Synthesis \(DDS\) - ADI, MT-085. 2010-08, 9p.](#)
27. [Rick Cushing. Digital Signal Synthesis, 1999-Edu.-ADInc, 122p.](#)
28. [Rick Cushing. DDS \(вибірковий переклад, рос.\), бр.](#)
29. [Walt Kester. High Speed DACs & DDS systems.](#)
30. [A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis - Ken Gentile & Rick Cushing, ADI, 1999.](#)
31. [AN-543 \(High Quality, All-Digital RF Frequency Modulation Generation with the ADSP-2181 DSP and the AD9850 Direct Digital Synthesizer\) – ADI, 1998-09, 6p.](#)
32. [AD9850E - Complete DDS Synthesizer - ADI, 1999, 19p.](#)
33. [Чемес Є.О. Аналіз методу прямого цифрового синтезу ГК - Праці ОПУ, 2012, 6с.](#)
34. [Тюрін В.А. Метод ПЦС в генераторах сигналів, 2015, 75с.](#)
35. [DDS - прямий цифровий синтез частоти. КТ-2001-7-50, 5с.](#)
36. [DDS в тестовому, вимірювальному та комунікаційному обладнанні. КТ-2006-8, 4с.](#)
37. [Кронін Б. Формування сигналів за допомогою DDS - Схемотехніка та Конструювання, 2012-01, 6с.](#)

До теми «Генерування ГК методом розкладання функції в степеневий ряд»

38. [ADSP21xx DSP Applications Using the ADSP-2100 Family. Vol.1. Ch.4. Function Approximation. 20p.](#)
39. [Реалізація апроксимації математичних функцій. Для студентів спеціальності "172. Телекомунікації та радіотехніка" усіх форм навчання / Укл. О. І. Павлов, О. С. Захарченко. — К.: НТУУ «КПІ», 2020. — 19 с.](#)
40. [Поліноміальна апроксимація ф-ції COS\(x\), стор.25—26 / Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев Л.А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 464 с.: ил.](#)

До теми «Генерування ГК методом CORDIC»

41. [Volder J.E. The Cordic Trigonometric Computing Technique. IRE Transactions on Electronic Computer, 1959-09, pp.330-334.](#)
42. [Meher P.K. \[et al\]. 50 Years of CORDIC: Algorithms, Architectures and Applications / IEEE Trans. on Circuits and Systems I: Regular Papers \(2009-09-09\). 56 \(9\): 1893–1907.](#)
43. [Phatak D.S. Double Step Branching CORDIC. A New Algorithm for Fast Sine and Cosine Generation / IEEE Transactions on Computers, v.47, No.5, 1998-05, pp.587-602.](#)
44. [Vladimirova T. Tiggeler H. FPGA Implementation of Sine and Cosine Generators Using the CORDIC Algorithm - Univ. of Surrey, 11p.](#)
45. [Використання методу повороту вектора CORDIC, стор. 38—40 / Гольденберг Л.М. и др. ЦОС: Справочник / Л.М.Гольденберг, Б.Д.Матюшин, М.Н.Поляк. — М.: Радио и связь, 1985. — 312 с., ил.](#)
46. [Andraka, Ray \(1998\). A survey of CORDIC algorithms for FPGA based computers. ACM. North Kingstown, RI, USA: Andraka Consulting Group, Inc. 0-89791-978-5/98/01. Retrieved 2016-05-08.](#)
47. [Getting started with the CORDIC accelerator using STM32CubeG4 MCU Package. STMicroelectronics. Retrieved 2021-01-01.](#)

До теми «Генерування функціональних сигналів та сигналів складної форми»

48. [Павлов О.І. Синтез ЛЧМ-радіоімпульсу методом DDS на СП TMS320C2xx – МУ до ЛР, 1996-11, 8с.](#)
49. [Павлов О.І. Таблично-інтерполяційний синтез сигналів. Сплайн-інтерполяційна модель ЕКС. — 2000-01, 13с.](#)

До теми «Генерування ШПС»

50. [Методи генерації псевдовипадкових послідовностей та оцінка їх властивостей / О. А. Замула, Д.О. Семченко // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2012. – Том 11. № 2. – С. 191–194.](#)
51. [Кнут Д. III. Т2, 3. Випадкові числа. 3.1. Вступ — 10с.](#)
52. [Кнут Д. III. Т2, 3. Випадкові числа. 4. Арифметика — 394с.](#)
53. [Павлов О.І. Синтез ШПС конгруентним методом на СП TMS320C2xx — МУ до ЛР, 1996-11, 8с.](#)
54. [ADSP21xx DSP Applications Using the ADSP-2100 Family. Vol.1. Ch.4. Function Approximation. 20p.](#)
55. [Лінійний конгруентний метод — Вікіпедія.](#)
56. [Генератор випадкових чисел — Уідроу, АОС, с.417-423.](#)
57. [Генерація випадкових чисел — Шрюфер Е. Цифрова обробка дискретизованих сигналів.](#)
58. [Шрюфер Е. Цифрова обробка дискретизованих сигналів: Підручник / За ред. В.П.Бабака. — К.: Либідь, 1992. — 296с.](#)
59. [Xorshift - random number generators — Wikipedia.](#)
60. [Multiply-with-Carry pseudorandom number generator — Wikipedia.](#)
61. [Subtract-with-Carry — Wikipedia.](#)
62. [Ziggurat algorithm — Wikipedia.](#)
63. [Mersenne Twister - Wikipedia-en, Mersenne Twister - Wikipedia-de.](#)
64. [Криптографічна стійкість — Взлом ГПСЧ за допомогою машинного навчання — Хабр.](#)
65. [Soto J. Statistical Testing of Random Number Generators.](#)

До розділу «Кодування сигналів»

До теми «Основні поняття теорії кодування»

66. [Coding theory — Wikipedia, Теорія кодування — Вікіпедія.](#)
67. [Data compression — Wikipedia, Стиснення даних — Вікіпедія.](#)
68. [Hamming R.W. Coding and Information Theory, 1986, 269p.](#)
69. [Мазурков М.І. Основи теорії передавання інформації, 2005, 168с.](#)
70. [Hamming code — Wikipedia, Коді Гемінга — Вікіпедія.](#)
71. [Gray code — Wikipedia, Код Грея — Вікіпедія.](#)

До розділу «Кодування сигналів»

72. [Код Грея - Вікіпедія.pdf](#)
73. [Коді Гемінга - Вікіпедія.pdf](#)
74. [Стиснення даних - Вікіпедія.pdf](#)
75. [Теорія кодування - Вікіпедія.pdf](#)
76. [Coding theory - Wikipedia.pdf](#)
77. [Data compression - Wikipedia.pdf](#)

До розділу «Цифрові методи модуляція сигналів в baseband та passband»

78. Digital Baseband Modulation - MATLAB & Simulink — <https://in.mathworks.com/help/comm/ug/digital-baseband-modulation.html>
79. Symbol Mapping Examples - MATLAB & Simulink — <https://in.mathworks.com/help/comm/ug/symbol-mapping-examples.html>
80. Amplitude Modulation Examples - MATLAB & Simulink — <https://in.mathworks.com/help/comm/ug/am-modulation-examples.html>
81. ASK modulation matlab source code — <https://www.rfwireless-world.com/source-code/MATLAB/ASK-modulation-matlab-code.html>
82. Amplitude and Phase Modulation - MATLAB & Simulink — <https://in.mathworks.com/help/comm/ug/amplitude-and-phase-modulation.html>
83. Frequency Modulation - MATLAB & Simulink — <https://in.mathworks.com/help/comm/ug/frequency-modulation.html>
84. Phase Modulation - MATLAB & Simulink — <https://in.mathworks.com/help/comm/ug/phase-modulation.html>
85. Continuous-Phase Modulation - MATLAB & Simulink — <https://in.mathworks.com/help/comm/ug/continuous-phase-modulation.html>

86. [Anderson J.B., Aulin T., Sundberg C-E. Digital Phase Modulation](#)
 87. [Continuous phase modulation - Wikipedia](#)
 88. [Minimum-shift keying - Wikipedia](#)
 89. Trellis Coded Modulation - MATLAB & Simulink — <https://in.mathworks.com/help/comm/ug/trellis-coded-modulation.html>
 90. Orthogonal Frequency Division Multiplexing Modulation - MATLAB & Simulink — <https://in.mathworks.com/help/comm/ug/orthogonal-frequency-division-multiplexing.html>
 91. [Modulation and Signal Generation with R&S Signal Generators. Educational Note - R&S, 2016-05, 120p,](#)

До розділу «Методи доступу до середовища та широкосмугова модуляція»

92. [Modulation and Signal Generation with R&S Signal Generators. Educational Note - R&S, 2016-05, 120p,](#)
 93. [Anderson J.B., Aulin T., Sundberg C-E. Digital Phase Modulation](#)
 94. [Continuous phase modulation - Wikipedia](#)
 95. [Minimum-shift keying - Wikipedia](#)
 96. [Lin P.G. OFDM Simulation in MATLAB \(2010\) orig](#)
 97. [Pavlov. OFDM Simulation in MATLAB \(03\)](#)
 98. [Acosta G. OFDM Simulation Using Matlab \(2000\) en+uk \(by Pavlov O.I.\)](#)
 99. [Магліцький Б.Н. Основи технології OFDM \(2017\)](#)
 100. [Liu-Xin. Verification and Redesign of OFDM Backscatter \(2021\)](#)
 101. [Eric Lawrey PhD Adaptive Techniques for Multiuser OFDM \(2001\)](#)

102. За ред. Мазора Ю. Л. та ін. Радіотехніка. Енциклопедичний навчальний довідник. — К.: Вища школа, 1999

Посібники та методичні вказівки

103. [Модельовання сигналів і процесів в радіотехніці в середовищах MathCAD та Multisim. Частина 2. \[Електронний ресурс\]: навч. посіб. для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / Уклад.: О.В.Гусєва, О.І.Павлов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Електронні текстові дані \(1 файл 3.173 Мбайт\). — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — 109 с. — <https://drive.google.com/file/d/19IsfgO4dEm2i9C7bvV2PiGwgZmZPqV2k/view?usp=sharing>](#)

Інформаційні ресурси

104. Сервер СДН кафедри ТОР з дисципліни ГМКС за адресою <http://dtsp.kiev.ua> та Курс: Генерація, модуляція та кодування сигналів | uuite — <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=6574> .

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань	Години
	Вступ. Процеси генерування, кодування та модуляції сигналів в радіотехніці	
1.1	Тема 00.1. Вступ. Процеси генерування, кодування та модуляції сигналів в радіотехніці [1—4]; [1, стор. 5-9, 15-17]; [2, стор. 5-13, 21-24, 282-300]; [5, 6]: <ul style="list-style-type: none"> • Мета і завдання дисципліни ГМКС. Програма дисципліни. • Структурні схеми основних функціональних складових типової системи (каналу) радіозв'язку (передавача та приймачів прямого підсилення та супергетеродинного). • Основні (типові) радіотехнічні процеси перетворення сигналів на прикладі каналу радіозв'язку. • Проблеми завадостійкості та електромагнітної сумісності радіотехнічних систем. 	1.0
1.2	Тема 00.2. Генерація та генератори коливальних. Терміни та основні параметри [7—21]: <ul style="list-style-type: none"> • Типи генераторів сигналів. • Генератори аналогових сигналів. 	1.0

	<ul style="list-style-type: none"> Генератори векторних сигналів. Генератори сигналів довільної форми (ARB). Основні характеристики генератора сигналів. <ul style="list-style-type: none"> Фазовий шум та джиттер. Побічні випромінювання. Стабільність частоти. Точність рівня та час встановлення рівня. Величина вектора помилки (EVM). Потужність сусіднього каналу (ACP). Узгодження імпедансу (VSWR). 		
		ВСЬОГО	2.00
	Розділ 1. Генерування сигналів		
2	Тема 01.1. Аналогові методи генерування гармонічних коливань [4, §24.1—§24.8, стор. 3—170], [2, §9.1-§9.11, стор. 270-299], [3, §14.4-§14.5, стор. 364-382]: <ul style="list-style-type: none"> Коротка характеристика методів аналізу нелінійних автоколивальних систем [4, §24.1, стор. 5—8]; [2, §9.1, стор. 270—273]. Виникнення коливань в автогенераторі [4, §24.2, стор. 8—25]; [2, §9.2, стор. 273—276]. Стационарний режим автогенератора [4, §24.3, стор. 25—34]; [2, §9.3, стор. 276—279]. М'який і жорсткий режими роботи генераторів [4, §24.4, стор. 34—54]; [2, §9.4, стор. 279—280]. Вплив вищих гармонік на частоту й амплітуду коливань генератора. Стабільність частоти коливань на виході генератора [4, §24.5, стор. 54—69]. Перехідний режим генератора синусоїдних коливань. Метод повільно змінюваних амплітуд [4, §24.6, стор. 69—96]. Метод фазової площини [4, §24.7, стор.965—127]; [2, §9.7, стор. 285—289]. Деякі схеми автогенераторів гармонічних коливань [4, §24.8, стор. 127—159]; [2, §9.5, стор. 280—282]. 		2.0
3.1	Тема 01.2. Цифрові методи генерування гармонічних коливань [22—49]: <ul style="list-style-type: none"> Метод ЛРППК 2 порядку. Метод ПЦС. Поліноміальний метод. Метод CORDIC. Оцінювання SINAD, ENOB, SNR, THD, THD+N, SFDR. 		0.5
3.2	Тема 01.3. Цифрові методи генерування сигналів з ЛЧМ [22—49]: <ul style="list-style-type: none"> Керування параметрами ГК в методі ЛРППК 2 порядку. Керування параметрами ГК в методі ПЦС. Керування параметрами ГК в поліноміальному методі. Керування параметрами ГК в методі CORDIC. 		0.5
3.3	Тема 01.4. Цифрові методи генерування шумоподібних сигналів [50—65]: <ul style="list-style-type: none"> Конгруентний метод. Метод XORSHIFT. Методи MWC та SWC. Метод Ziggurat. Метод Мерсенна. Метод Фібоначі. Перетворення ЗРА. Оцінювання ACF. Оцінювання PDF. Оцінювання PSD. Криптографічні методи та криптографічна стійкість ПВП. Тести на випадковість. 		0.5
3.4	Тема 01.5. Цифрові методи генерування сигналів довільної форми [48—49]: <ul style="list-style-type: none"> Налаштування LookUp table в методі ПЦС. Лінійна інтерполяція табличних даних. Сплайн інтерполяція табличних даних. 		0.5
		ВСЬОГО	4.00
	Розділ 2. Кодування сигналів при їх перетвореннях та передачі в baseband		
4.1	Тема 02.1. Поняття про кодування даних та сигналів [70—100]: <ul style="list-style-type: none"> Загальне тлумачення коду та кодування. Код та кодування в теорії обробки даних та їх представлення. Код та кодування в комп'ютерному програмуванні та керуванні апаратними пристроями. Код та кодування в теорії стиснення даних з втратами та без втрат. Код та кодування в криптографії. Код та кодування в теорії передачі даних. Код та кодування в математиці та інформатиці. 		1.0
4.2	Тема 02.2. Кодування аналогових сигналів при їх перетвореннях і форматуванні [70—100]: <ul style="list-style-type: none"> лінійний двійковий код, двійково-додатковий код, двійково-десятковий код та 7-сегментний код при АЦП сигналів. Кодування по А- та по μ- закону при АЦП мовлення. PCM, DPCM, APCM, ADPCM, DM. Pulse Modulation. PAM, PWM, PDM, PPM. Спектральне кодування сигналу, кодування підсмуг, адаптивне перетворююче кодування. 		1.0

	<ul style="list-style-type: none"> • Модельне кодування джерела. Лінійне кодування із прогнозуванням (ЛКП). 	
5.1	Тема 02.3. Кодування цифрових сигналів при їх передачі в baseband (line coding) [70—100]: <ul style="list-style-type: none"> • Типи лінійних кодів. Polar, Uni-polar, Bipolar. • Основні форми імпульсів. NRZ, RZ, Manchester Line Code. • Phase encoded. • Multilevel binary. • Duobinary Signaling, Coding and Decoding. 	1.0
5.2	Тема 02.4. Кодування даних при їх модуляції (binary encoding & symbol mapping) [70—100]: <ul style="list-style-type: none"> • Кодування бінарних даних за кодом Грея при їх відображенні на фазове сузір'я. • Відображення символів на фазове сузір'я при BPSK, QPSK, M-PSK, 16-QAM, 32-QAM. 	1.0
	ВСЬОГО	4.00
Розділ 3. Аналогові методи модуляція сигналів в baseband та passband		
6.1	Тема 03.1. Амплітудна модуляція (AM) аналогових сигналів в passband. AM-DSB-FC, AM-DSB-SC, AM-SSB-FC, AM-SSB-SC [1, §7.1—§7.8, стор. 334—389]: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Тональна AM (DSB-FC). Подання сигналів у часовій та частотній областях. Векторні діаграми [1, §7.1, стор. 336—345]. ▪ Енергетичні характеристики коливань з AM [1, §7.2, стор. 345—349]. ▪ Коливання з AM довільним сигналом [1, §7.3, стор. 349—357]. ▪ Квадратичний модулятор [1, §7.3, стор. 357—358]. ▪ Квадратичний детектор [1, §7.3, стор. 358—359]. ▪ Балансна (двосмугова) модуляція з придушенням носійного коливання (DSB-SC) [1, §7.4, стор. 359—361]. ▪ Балансний модулятор [1, §7.4, стор. 361—361]. ▪ Синхронне (когерентне) детектування коливань із двосмуговою модуляцією [1, §7.4, стор. 361—367]. ▪ Квадратурна амплітудна модуляція (QAM, QAM) [1, §7.5, стор. 367—369]. ▪ Односмугова модуляція (OM, SSB) [1, §7.6, стор. 369—381]. <ul style="list-style-type: none"> ○ Опис сигналів з OM в частотній області [1, §7.6, стор. 370—372]. ○ Опис сигналів з односмуговою модуляцією в часовій області [1, §7.6, стор. 372—379]. ○ Метод генерування сигналів з односмуговою AM, оснований на фазовій дискримінації [1, §7.6, стор. 379—379]. ○ Демодуляція коливань з односмуговою AM [1, §7.6, стор. 379—381]. ▪ Односмугова AM з неповним (частковим) придушенням бічної смуги — Vestigial sideband modulation (VSB) [1, §7.7, стор. 381—382]. ▪ Опис сигналів з VSB модуляцією в частотній області [1, §7.7, стор. 382]. ▪ Генерування сигналів із VSB модуляцією [1, §7.7, стор. 382—386]. ▪ Порівняльний аналіз сигналів і систем з амплітудною модуляцією [1, §7.8, стор. 386—389]. 	1.0
6.2	Тема 03.2. Сигнали з кутовою модуляцією (KM). Частотна модуляція (ЧМ, FM) та фазова модуляція (ФМ, PM) аналогових сигналів в passband [1, §8.1—§8.8, стор. 395—481]: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Кутова модуляція: базова концепція [1, §8.1, стор. 396—400]. ▪ Подання сигналів з тональною кутовою модуляцією у часовій області [1, §8.2, стор. 400—404]. ▪ Спектри сигналів з тональною кутовою модуляцією [1, §8.3, стор. 404—423]. ▪ Генерування і детектування сигналів з кутовою модуляцією [1, §8.4, стор. 423—431]. ▪ Кутова модуляція при негармонічному модулюючому сигналі [1, §8.5, стор. 431—437]. ▪ Радіоімпульси з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ) [1, §8.6, стор. 437—452]. <ul style="list-style-type: none"> ○ Радіоімпульс з ЛЧМ, його характеристики і властивості [1, §8.6, стор. 437—439]. ○ Спектр радіоімпульсу з лінійною частотною модуляцією [1, §8.6, стор. 439—448]. ○ АКФ радіоімпульсу з ЛЧМ [1, §8.6, стор. 448—452]. ▪ Радіосигнали з фазовою маніпуляцією (ФМН) [1, §8.7, стор. 452—475]. <ul style="list-style-type: none"> ○ АКФ радіоімпульсів з фазовою маніпуляцією [1, §8.7, стор. 454—455]. ○ АКФ ФМн сигналів Баркера [1, §8.7, стор. 455—457]. ○ Спектри ФМн сигналів Баркера [1, §8.7, стор. 457—561]. ○ Генерування ФМн сигналів Баркера [1, §8.7, стор. 461—461]. ○ Двійкова псевдовипадкова послідовність [1, §8.7, стор. 461—465]. ○ Сигнали з фазовою маніпуляцією двійковими псевдовипадковими послідовностями [1, §8.7, стор. 465—466]. ○ АКФ сигналів, маніпульованих M—послідовностями [1, §8.7, стор. 466—470]. ○ Спектри сигналів, маніпульованих M—послідовностями [1, §8.7, стор. 470—475]. 	1.0
	ВСЬОГО	2.00
Розділ 4. Цифрові методи модуляція сигналів в baseband та passband		
7.1	Тема 04.1. Амплітудна модуляція цифрових сигналів в baseband [102—121]. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Амплітудна маніпуляція (ASK), мінімальна необхідна ширина смуги пропускання, ▪ Квадратурна амплітудна маніпуляція (QAM). 	1.0
7.2	Тема 04.2. Частотна модуляція цифрових сигналів в baseband [102—121]: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Частотна маніпуляція (FSK), жорстка (hard FSK) та м'яка (soft FSK), ▪ Бінарна FSK (BFSK), мінімальна необхідна ширина смуги пропускання, індекс модуляції і умови ортогональності FSK, ▪ M-позиційна частотна маніпуляція (M-FSK), ▪ Маніпуляція мінімального зсуву частоти (MSK або MFSK), швидка маніпуляція зсуву частоти (FFSK), ▪ Маніпуляція мінімального зсуву частоти з фільтром Гауса (GFSK). 	1.0
8.1	Тема 04.3. Фазова модуляція цифрових сигналів в baseband [102—121]: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Фазова маніпуляція (PSK), її різновиди та характеристики, <ul style="list-style-type: none"> ○ Бінарна фазова маніпуляція (BPSK, 2-PSK), мінімальна необхідна ширина смуги пропускання, ○ Квадратурна фазова маніпуляція (4-PSK, QPSK), структура передавача та приймача для QPSK, 	1.0

	<p>ймовірність бітової помилки, часова та спектральна характеристика, мінімальна необхідна ширина смуги пропускання,</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Диференціальна квадратурна фазова маніпуляція ($\pi/4$-DQPSK), ○ Офсетна QPSK (OQPSK), ○ Шахова квадратурна фазова маніпуляція (SQPSK), ○ QPSK із фігурним зміщенням (SOQPSK), ○Подвійна поляризаційна квадратурна фазова маніпуляція (DPQPSK), ○ PSK вищого порядку, М-позиційна фазова маніпуляція (M-PSK), ймовірність бітової помилки (BER) при PSK, <ul style="list-style-type: none"> • Диференціальна фазова маніпуляція (DPSK), її різновиди та характеристики, <ul style="list-style-type: none"> ○ Диференціальне кодування при DPSK, ○ Диференціально-кодована BPSK, або BPSK з диференційним кодуванням (Differentially-encoded BPSK, DBPSK), ○ Симетрична диференціальна фазова маніпуляція (Symmetric Differential Phase Shift keying, SDPSK), ○ QPSK з диференційним кодуванням (Differentially encoded QPSK, DQPSK), ○ Симетрична диференціальна квадратурна фазова маніпуляція (Symmetric Differential Quadrature Phase Shift Keying, SDQPSK), ○ ... Ймовірність бітової помилки при DPSK (Probability of bit-error for DPSK), ○ Демодуляція DPSK. 	
8.2	<p>Тема 04.4. Неперервно-фазова модуляція цифрових сигналів в baseband [102—121]:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Неперервно-фазова частотна маніпуляція (CPFSK), ▪ Неперервно-фазова фазова маніпуляція (CPM). ▪ Маніпуляція мінімального зсуву частоти (MSK), ▪ Маніпуляція мінімального зсуву частоти з фільтром Гауса (GFSK). 	0.5
8.3	<p>Тема 04.5. Решітчаста кодована модуляція цифрових сигналів в baseband [102—121]:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Фазова маніпуляція з використанням кодової решітки (PSKTCM), ▪ Загальне QAM маніпуляція з використанням кодування бінарних даних за допомогою згорткового енкодера (General QAMTCM), ▪ QAM маніпуляція з використанням прямокутного QAM сузір'ям та згорткового кодування бінарних даних (Rectangular QAMTCM). 	0.5
	ВСЬОГО	4.00
Розділ 5. Методи доступу до середовища та широкопasmова модуляція		
9.1	<p>Тема 05.1. Множинний доступ із частотним поділом (FDMA) [122—138]:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Множинний доступ із частотним поділом (FDMA) [5, §11.1.1, стор.657—665, §11.4.1—11.4.3, 690—698], [6, §15-1, стор.842, §15-4, стор.862—872] ▪ Множинний доступ з розділенням часу (TDMA) [5, §11.1.2—11.1.4, стор. 665—672, §11.4.4, 704—708], [6, §15-1, стор.842] ▪ Множинний доступ з кодовим розділенням (CDMA) [5, §11.1.5, стор. 672—674, §12.7, 769—771, §12.8, 776—794], [6, §15-2, стор.843, §15-3, стор.849—862] <ul style="list-style-type: none"> ○ Основна концепція CDMA, ○ Етапи модуляції CDMA, ○ Коди, які використовуються в CDMA, ○ Синхронний CDMA (CDM, мультиплексування з кодовим розділенням), ○ Асинхронний CDMA, Переваги асинхронного CDMA перед іншими методами, ○ Спільний CDMA, ▪ Множинний доступ з ортогональним частотним поділом (OFDMA). 	1.0
9.2	<p>Тема 05.2. Модуляція даних з використанням методу OFDM [122—138]:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Порівняння ефективності систем з однією та багатьма несучими. ▪ Ідеалізована модель системи з OFDM модуляцією. ▪ OFDM модуляція в передавачі. ▪ OFDM демодуляція в приймачі. ▪ Система передачі DVB-T. 	1.0
	ВСЬОГО	2.00
	ВСЬОГО	18.00

Практичні заняття

№	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)	Години
1	ПР-00. Дослідження основних характеристик гармонічного коливання	1.0
	ПР-01. Генерування гармонічного коливання методом CORDIC	1.0
2	ПР-02. Генерування гармонічного коливання методом ЛРРзПК 2-го порядку	2.0
3	ПР-03. Генерування гармонічного коливання методом апроксимації функції SIN	2.0
4	ПР-04. Генерування гармонічного коливання методом DDS	2.0
5	ПР-05.1. Генерування ЕКС методом DDS	2.0
6	ПР-05.2. Генерування ЕКС з використанням таблично-інтерполяційного методу	2.0

7	ПР-06. Генерування ШПС з РЗРА (Uniformly Distributed Random Data, URAND) на базі конгруентного методу	1.0
	ПР-07. Генерування ШПС з НЗРА (Normal Distributed Random Data, NRAND) на базі конгруентного методу	1.0
8	ПР-08. Генерування ШПС з РЗРА (Uniformly Distributed Random Data, URAND) методом Mersenne Twister	1.0
	ПР-09. Генерування ШПС з РЗРА (Uniformly Distributed Random Data, URAND) методом XORSHIFT	1.0
9	ПР-10. Генерування коливання з ЛЧМ методом CORDIC	1.0
	ПР-11. Генерування коливання з ЛЧМ методом DDS	1.0
	ВСЬОГО	18.00

Лабораторні заняття (комп'ютерні практикуми)

№	Назва теми заняття	Години
1	Синтез та демодуляція DTMF сигналу 1.1. Синтез DTMF сигналу (Завдання 1 до ЛР №1) 1.2. Демодуляція DTMF сигналу (Завдання 2 до ЛР №1)	4.5
2	Синтез та демодуляція QAM сигналу 2.1. Синтез QAM сигналу (Завдання 1 до ЛР №2) 2.2. Демодуляція QAM сигналу (Завдання 2 до ЛР №2)	4.5
3	Синтез та демодуляція OFDM сигналів з використанням BPSK, QPSK, PSK-16 та PSK-256 3.1. Синтез OFDM сигналу (Завдання 1 до ЛР №3) 3.2. Демодуляція OFDM сигналу (Завдання 2 до ЛР №3)	4.5
4	Передача даних за технологією OFDM в системі DVB-T 2k 4.1. Передача даних за технологією OFDM в системі DVB-T 2k (Завдання 1 до ЛР №4)	4.5
	ВСЬОГО	18.00

Модульні та тематичні контрольні роботи

Модульні та тематичні контрольні роботи виконуються в формі тестів (що забезпечує об'єктивне оцінювання знань) та завдань (що забезпечує суб'єктивне оцінювання навичок) в СДН Moodle (dtsp.kiev.ua) [33]. Під час виконання МКР рекомендується використовувати матеріали [28, 29, 30].

№	Назва теми завдання
1	<p>Модульна Контрольна Робота (МКР) Робота виконується у формі самостійного опрацювання матеріалів та розробки тестових питань до будь-якої теми дисципліни.</p> <p>Приклад для теми 1:</p> <p>Тема-01. Signal Generator Terminology and Specifications</p> <ul style="list-style-type: none"> - 01. Signal Generator Terminology and Specifications - NI, 2022-10, 10p - 03. Key Characteristics of Signal Generators and Modulation Methods. Pocket Guide - R&S, 2022-11, 117p - 04. Modulation and Signal Generation with R&S Signal Generators. Educational Note - R&S, 2016-08, 124p - 05. Signal Generator Fundamentals - Tektronix, 2009-03, 54p - 08. The Essential Signal Generator Guide. Building a Solid Foundation in RF. Part 1 - Keysight, 2022-06, 28p - 21. Walt Kester. High Speed DACs & DDS systems - 22. Fundamentals of Direct Digital Synthesis (DDS) - ADI, MT-085. 2010-08, 9p <p>Зміст завдання</p>

	Систематизувати вивчений матеріал відповідної (обраної самостійно) теми дисципліни та скласти 5 контрольних питань, подібних до контрольних питань в тестах після теми 1 (див. Тест 2).
2	Тематична контрольна робота (ТКР) Тематична контрольна робота до теми «Джиттер і його вимір»
3	Тематична контрольна робота (ТКР) Тематична контрольна робота до теми «QPSK modulation»

6. Самостійна робота студента

Студент повинен завчасно готуватись до лекцій, практичних та лабораторних занять (комп'ютерних практикумів). Перед лекціями необхідно повторити теоретичний матеріал, наданий у попередніх лекціях. Перед практичними та лабораторними заняттями (комп'ютерними практикумами) необхідно повторити відповідний теоретичний матеріал.

Обов'язковим є виконання індивідуальних завдань до комп'ютерних практикумів, які необхідно виконувати до наступного лабораторного заняття. Для підготовки до виконання індивідуальних завдань слід скористатися рекомендованою літературою та конспектом лекцій.

Для кращого закріплення теоретичного матеріалу студент повинен виконувати тематичні та модульні контрольні роботи (в СДН Moodle), підготовка до яких вимагає ретельного повторення теоретичного матеріалу відповідних лекцій у години самостійної роботи.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Відвідування лекцій та практичних та лабораторних занять є обов'язковим згідно Положення про організацію освітнього процесу КПІ ім. Ігоря Сікорського. У разі хвороби студент зобов'язаний представляти довідку про термін проходження лікування, оформлену належним чином, з установи, де проходило лікування. У інших випадках (наприклад, сімейні обставини) питання вирішується в індивідуальному порядку з викладачем. Матеріал занять, які були з тих чи інших причин пропущені, необхідно опанувати самостійно. Для допомоги студентам в СДН dsps.kiev.ua містяться посилання на відеозаписи всіх лекцій.

Пропущені контрольні заходи

Подання результатів моделювальних робіт, ТКР та МКР є обов'язковим. Несвоєчасне подання дає нульову оцінку. У разі несвоєчасного подання з поважних причин (наприклад, хвороби), підтверджених відповідними документами, студент має можливість написати контрольний захід в інший узгоджений з викладачем термін без зниження оцінки. З метою самовдосконалення та покращення власних результатів допускається повторне виконання ТКР та МКР.

Пропущений іспит не зараховується незалежно від причин пропуску; у такому випадку студент отримує запис у відомості «не з'явився» та повинен скласти іспит на додатковій сесії.

Оголошення результатів контрольних заходів

Результати виконання самостійних робіт проставляються в СДН Moodle і оголошуються кожному студенту окремо у присутності або у дистанційній формі та супроводжуються оціночними листами (в СДН Moodle), в яких студенти можуть побачити свою оцінку за певними критеріями, а також позначення основних помилок та коментарі до них.

Результати письмової екзамену вказуються на бланках для письмової екзаменаційної роботи (завдання, які виконували студенти) з позначенням усіх помилок, коректної або некоректної відповіді, а також з коментарями, зауваженнями тощо. Екзамен може проводитися у формі тестів та завдань з використанням можливостей СДН Moodle.

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 поставити 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 (PCO)

1. Облік виконання завдань та рейтинг студентів здійснюється в СДН Moodle DTSP.KIEV.UA. Студенти з першого дня вивчення дисципліни створюють особисті профілі в СДН та отримують доступ до всіх матеріалів курсу, в тому числі до правил рейтингової системи та власного журналу оцінок.

2. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується, виходячи із 100-бальної шкали (100% успішності)

$$R_m = R_s + R_e = 100;$$
$$R_{s \max} = 60; R_{e \max} = 40.$$

Стартовий рейтинг R_s (семестрова складова) складається з балів, що студент отримує за:

- виконання лабораторних(моделювальних завдань) (6 робіт);
- виконання модульних контрольних робіт (4 роботи);
- виконання тематичних контрольних робіт (1 робота до кожної теми);
- виконання розрахунково-графічних робіт (1 робота);
- додаткової активності.

3. Виконання, оформлення і захист звітів про виконання лабораторних робіт (ЛР) (комп'ютерних практикумів), що надають такі рейтингові бали успішності:

виконання лабораторної роботи (комп'ютерного практикуму)	40%
оформлення звіту відповідно до вимог	20%
оформлення звіту з порушеннями	0...10%
повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) під час захисту ЛР на поточному або наступному лабораторному занятті	40%
неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) або несвоєчасний захист ЛР	20%
відповідь з істотними помилками	10%
незадовільна відповідь	0%

Вклад балів за шість ЛР в семестрову складову рейтингу – 25%.

Виконання тематичних та модульних контрольних робіт (ТКР та МКР) при ручному оцінюванні:

повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації)	95...100%
достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності)	75...94%
неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки)	60...74%
незадовільна відповідь	0...59%

Вклад в семестрову складову рейтингу балів за ТКР та МКР (теоретичні заняття) – 35%

Вклад в семестрову складову рейтингу балів за виконання тестів та ДЗ (практичні заняття) – 25%

4. Умовою позитивної *першої атестації* є отримання поточного рейтинги не менше 60% успішності (60 балів) (при умові виконання всіх ТКР та інших планових завдань на час атестації). Умовою позитивної *другої атестації* – є отримання поточного рейтинги не менше 60% успішності (60 балів) (при умові виконання всіх МКР та інших планових завдань на час атестації).

5. Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх лабораторних робіт (комп'ютерних практикумів), розрахункової роботи та стартовий рейтинг не менше 60% успішності (60 балів).

6. На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних питання і одну розрахункову задачу. Перелік екзаменаційних завдань наведено у MOODLE сайті з дисципліни.

Кожне теоретичне питання оцінюється у 30% від максимальної оцінки за іспит, розрахункова задача оцінюється у 40% успішності.

У підсумку

$$R_e = 2 \times 30 + 40 = 100\% \text{ успішності} = 40 \text{ балів (екзаменаційної складової).}$$

7. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Бали	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре

84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Є не зараховані моделювальні завдання або не зарахована модульна контрольна робота	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (Силабус):

Склали старший викладач кафедри радіоінженерії Павлов Олег Ігорович,
доцент кафедри радіоінженерії Гусева Олена Володимирівна

Ухвалено кафедрою радіоінженерії (протокол №06/2024 від 26.06.2024 р.).

Затверджено Методичною комісією РТФ (протокол № 06/2024 від 28.06.2024 р.)