


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет електроніки та комп'ютерних технологій
Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки

Затверджено

на засіданні кафедри сенсорної та
напівпровідникової електроніки
факультету електроніки та
комп'ютерних технологій
Львівського національного університету
імені Івана Франка

(протокол № 1/24 від 29.08.2024 р.)

Завідувач кафедри

 Андрій ЛУЧЕЧКО

Силабус з навчальної дисципліни

“ЦИФРОВА ОБРОБКА СИГНАЛІВ”,

що викладається в межах освітньо-професійної програми
“Електроніка та комп'ютерні системи”
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальності
171 Електроніка

Львів 2024

| | |
|--|---|
| Назва дисципліни | Цифрова обробка сигналів |
| Адреса викладання дисципліни | м. Львів, вул. ген.Тарнавського, 107 |
| Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна | Факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки |
| Галузь знань, шифр та назва спеціальності | 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації, 171 Електроніка |
| Викладачі дисципліни | Слободзян Дмитро Петрович, доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри сенсорної та напівпровідникової електроніки |
| Контактна інформація викладачів | dmytro.slobodzyan@lnu.edu.ua https://electronics.lnu.edu.ua/employee/slobodzyan-d-p/ факультет електроніки та комп'ютерних технологій, кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки вул. ген.Тарнавського, 107, лаб. 416 |
| Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються | В режимі оф-лайн: згідно розкладу в день проведення лекційних/лабораторних занять (корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів, вул. ген.Тарнавського, 107). В режимі он-лайн: на платформі Microsoft Teams (для погодження часу онлайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача). |
| Сторінка дисципліни | https://electronics.lnu.edu.ua/course/tsyfrova-obrobka-syhnaliv-171-elektronika-ta-komp-iuterni-systemy/ Цифрова обробка сигналів Загальне Microsoft Teams https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=4997 |
| Інформація про дисципліну | Дисципліна «Цифрова обробка сигналів» є нормативною дисципліною зі спеціальності 171 «Електроніка» освітньо-професійної програми «Електроніка та комп'ютерні системи», яка викладається в 5 семестрі в обсязі 3,5 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою – ECTS). |
| Коротка анотація дисципліни | Дисципліна «Цифрова обробка сигналів» присвячена основам обробки та аналізу сигналів. Охоплює фундаментальні концепції дискретизації, квантування, кодування, дискретних перетворень, кореляції, згортки, цифрової фільтрації, модуляції. Включає також вивчення |

| | |
|---|---|
| | математичних методів і основних алгоритмів ЦОС для модельних систем та систем реального часу. |
| Мета та цілі дисципліни | <p>Метою дисципліни є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок з цифрової обробки сигналів для вирішення прикладних завдань сучасної електроніки.</p> <p>Цілі дисципліни: ознайомити студентів з основними принципами аналогово-цифрового та цифрово-аналогового перетворення; надати знання про математичні методи ЦОС, зокрема перетворення Фур'є та Z-перетворення, які використовуються в обробці сигналів; навчити проектувати та аналізувати цифрові фільтри; розвинути практичні навички використання програмного забезпечення (наприклад, OCTAVE або MATLAB) для моделювання процесів обробки сигналів; сприяти розвитку компетенцій у розробці ефективних цифрових систем для обробки сигналів у реальному часі.</p> |
| Література для вивчення дисципліни | <p>Рекомендована література</p> <p>Базова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Основи цифрової обробки сигналів: навчальний посібник / І.І. Самборський, С.М. Шолохов, О.В. Юрченко, Б.А. Ніколаєнко – Київ: ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 171 с. 2. Математичні алгоритми приймання та оброблення сигналів. Частина І. Сигнали та системи: Навч. посіб. / О.Я. Калюжний – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 192 с 3. Цифрова обробка сигналів та зображень : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладачі : Тотосько О.В., Стухляк П.Д. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя , 2016. – 132 с. 4. Цифрова обробка сигналів в телекомунікаційних системах : підручник / Г.Г. Бортник, В.М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 232 с 5. Заболотній С.В. Цифрове оброблення сигналів: Посібник для студентів напряму підготовки 6.050901 "Радіотехніка" усіх форм навчання [Електронний ресурс] / Авт.-укл. С.В. Заболотній ; За ред. проф. Ю.Г. Леги ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси: ЧДТУ, 2010. – 118 с. 6. Digital Signal Processing. Fundamentals and Applications / Li Tan. – Elsevier Inc., 2008. – 838 p. <p>Допоміжна:</p> |

| | |
|--------------------------------------|---|
| | <p>7. Математичне забезпечення цифрових систем. Частина 1. Цифрова обробка сигналів. Лабораторний практикум. Навчальний посібник / Ю.В. Бобков. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 100 с.</p> <p>8. «Теорія інформації та обробка сигналів-1»: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», освітньої програми «Електронні компоненти і системи» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю.С. Ямненко, К.С. Клен. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,107 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 120 с.</p> <p>9. Understanding digital signal processing. 3rd ed./ Richard G. Lyons. – Pearson Education, Inc., 2011. – 858 p.</p> <p>10. Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах: Навчальний посібник / О.В. Дробик, В.В. Кідалов, В.В. Коваль, Б.Я. Костік, В.С. Лазебний, Г.М. Розорінов, Г.О. Сукач. – К.: Наукова думка, 2008. – 144 с</p> <p>Методичне забезпечення:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Методичні рекомендації до лабораторного практикуму з курсу «Цифрова обробка сигналів». Частина 1 (електронна версія) 2. Методичні рекомендації до лабораторного практикуму з курсу «Цифрова обробка сигналів». Частина 2 (електронна версія) 3. Методичні рекомендації до лабораторного практикуму з курсу «Цифрова обробка сигналів». Частина 3 (електронна версія) |
| Обсяг курсу | <p>Загальний обсяг 105 год. Аудиторних занять – 64 год.: 32 год. – лекційних занять, 32 год. – лабораторних занять. Самостійна робота – 41 год.</p> |
| Очікувані результати навчання | <p>В результаті вивчення даного курсу студент повинен:</p> <p>знати: класифікацію сигналів та їх характеристики; математичне представлення сигналів; методи та алгоритми цифрової обробки дискретних сигналів (Фур'є та Z-перетворення, кореляція, згортка); принципи проектування цифрових фільтрів та модуляції сигналів; основи роботи в середовищі Octave / MatLab.</p> <p>вміти: моделювати та аналізувати сигнали різного типу в середовищі Octave / MatLab; проводити дискретизацію, квантування та кодування сигналів; застосовувати методи цифрової обробки (Фур'є та Z-перетворення, згортка, кореляція) до модельних та реальних сигналів; проектувати цифрові фільтри, здійснювати різного типу модуляцію сигналів.</p> |

| | |
|-----------------------------|--|
| | <p>Після вивчення курсу здобувачі набудуть таких компетентностей і програмних результатів:</p> <p>ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності</p> <p>ЗК5. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.</p> <p>ЗК12. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.</p> <p>ФК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки.</p> <p>ФК2. Здатність виконувати аналіз предметної області та нормативної документації, необхідної для проектування та застосування приладів, пристроїв та систем електроніки.</p> <p>ФК5. Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові й технічні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, навички роботи з комп'ютерними мережами, базами даних та Інтернет-ресурсами для вирішення інженерних задач в галузі електроніки.</p> <p>ФК7. Здатність застосовувати творчий та інноваційний потенціал в синтезі інженерних рішень і в розробці конструкцій пристроїв та систем електроніки.</p> <p>ПР2. Застосовувати знання і розуміння диференційного та інтегрального числення, алгебри, функціонального аналізу дійсних і комплексних змінних, векторів та матриць, векторного числення, диференційних рівняння в звичайних та часткових похідних, ряду Фур'є, статистичного аналізу, теорії інформації, чисельних методів для вирішення теоретичних і прикладних задач електроніки.</p> <p>ПР5. Використовувати інформаційні та комунікаційні технології, прикладні та спеціалізовані програмні продукти для вирішення задач проектування та налагодження електронних систем, демонструвати навички програмування, аналізу та відображення результатів вимірювання та контролю.</p> <p>ПР9. Проектувати складні системи реального часу та засоби збору і обробки інформації, узгоджені з заданими інформаційними та програмними засобами шляхом застосування програмного забезпечення для вбудованих систем на основі мікроконтролерів.</p> |
| <p>Ключові слова</p> | <p>Сигнал, дискретизація, квантування, кодування, Фур'є-перетворення, Z-перетворення, кореляція, згортка,</p> |

| | |
|---|--|
| | модуляція, цифрова фільтрація, системи ЦОС реального часу. |
| Формат курсу | Очний. |
| Теми | Див. СХЕМА КУРСУ |
| Підсумковий контроль, форма | Іспит в кінці семестру. |
| Пререквізити | Для вивчення курсу студенти потребують знань з дисциплін «Архітектура комп'ютерів і програмування», «Вища математика», «Технічна електродинаміка». |
| Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу | Лекції, презентації, лабораторні роботи, виконання індивідуальних завдань (робота у групі, команді), обговорення, дискусія. Робота в системах Microsoft Teams та Moodle для здійснення модульного контролю, завантаження виконаних лабораторних завдань. |
| Необхідне обладнання | Персональні комп'ютери (мінімальні характеристики: процесор Intel Core i3(4 ядра), 8 ГБ оперативної пам'яті, 50 ГБ вільного місця на диску). Онлайн-доступ до TEAMS, MOODLE та мережі INTERNET. Цифрові осцилографи Rigol DS1054Z, макетні плати для роботи з чіпами GreenPAK (GreenPAK Advanced Development Board), чіпи GreenPAK SLG46826V. Програмне забезпечення: GNU Octave та/або MATLAB (Online (basic) or trial version), GreenPAK Designer |
| Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності) | Оцінювання проводиться упродовж семестру за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за такими видами робіт з наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> • лабораторні роботи: 28% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 28); • підсумкова контрольна робота: 2% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 2) • контрольні заміри: 20% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 20); • іспит: 50% семестрової оцінки (максимальна кількість балів – 50). Загалом упродовж семестру 100 балів Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Виявлення ознак академічної недоброчесності при виконанні лабораторних робіт та |

формуванні звітів є підставою для їх незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.

Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.

Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.

Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при поточному контролі (виконання лабораторних робіт, модулів), самостійній роботі та бали за іспит. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторних занять; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.

Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

Оцінювання лабораторних робіт (14 лабораторних робіт) відбувається шляхом оцінки підготовки до виконання лабораторної роботи, безпосереднього її виконання та захисту.

Кожна робота оцінюється в діапазоні від 0 до 2 балів (14x2=28 балів).

Бали оцінювання лабораторних робіт нараховуються за наступним співвідношенням:

2 – студент в повному обсязі володіє теоретичним матеріалом, має повне розуміння розглянутої теми, самостійно реалізує 100 % від поставлених завдань для виконання роботи, надає правильні відповіді на запитання по темі роботи та описі отриманих результатах;

1,5 – студент достатньо розуміє теоретичний матеріал, самостійно реалізує 75 % від поставлених для виконання роботи завдань, однак присутні неточності та незначні помилки у відповідях на запитання по отриманих результатах;

1,0 – студент не досить добре розуміє теоретичний матеріал, вагається та надає неточні/не конкретні відповіді

на запитання по темі, 50 % від поставлених завдань реалізує самостійно;

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

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

Підсумкова контрольна робота складається з 4-ьох розрахункових завдань, кожне оцінюється у 0,5 бала ($4 \times 0,5 = 2$ бали).

Критерії:

0,5 – хід представлених обчислень вірний, результат правильний;

0,25 – хід представлених обчислень вірний, результат хибний;

0 – хід представлених обчислень невірний, результат хибний.

Контрольні заміри проводяться у формі тестових завдань (модулів) у системі Moodle (2 модулі по 10 балів кожен).

Кожен модуль містить 50 тестових питань з одним вірним варіантом відповіді.

Кожна правильна відповідь приносить 0,2 бала, хибна відповідь – 0 балів

Іспит складається з двох частин:

перша – практична частина, що містить одне завдання згідно тем лабораторного практикуму (виконання оцінюється у 20 балів),

друга – теоретична частина, що містить три питання з лекційного матеріалу (відповіді на кожне оцінюються у 10 балів: $3 \times 10 = 30$ балів).

Критерії:

| Бали за виконання практичного завдання | Критерії оцінювання |
|--|---|
| 18–20 | Завдання виконано повністю. Студент може пояснити отриманий результат. |
| 13–17 | Завдання виконано повністю. Однак, студент не може повністю пояснити отриманий результат. |

| | | |
|--------------------------|---|---|
| | 8–12 | Завдання виконано менше, ніж на 50 %. Студент не може повністю пояснити отриманий результат. |
| | 1–7 | Завдання виконано менше, ніж на 25 %. Студент не може взагалі пояснити отриманий результат. |
| | 0 | Завдання не виконано. |
| | Бали за відповідь на одне теоретичне питання | Критерії оцінювання |
| | 9–10 | Відповідь, в якій навчальний матеріал відтворюється в повному обсязі, правильно, обґрунтовано, логічно, яка містить аналіз і систематизацію, аргументовані висновки. Засвідчено глибоке володіння матеріалом. |
| | 6–8 | Відповідь, в якій відтворюється значна частина навчального матеріалу. Виявлено знання і розуміння основних положень навчальної дисципліни. |
| | 3–5 | Відповідь, в якій основні положення навчального матеріалу відтворено на рівні заучування без достатнього його розуміння. |
| | 1–2 | Відповідь, яка засвідчує, що навчальний матеріал не засвоєно. Відсутність чіткого і логічного формулювання. |
| | 0 | Відповідь відсутня. |
| Питання до іспиту | <ol style="list-style-type: none"> 1. Класифікація сигналів 2. Параметри та характеристики сигналів 3. Переваги цифрової обробки сигналів 4. Області застосування цифрової обробки сигналів 5. Ключові операції ЦОС 6. Системи ЦОС реального часу 7. Процес перетворення аналогового сигналу в цифровий 8. Дискретизація - низькочастотні і смугові сигнали 9. Однорідне і неоднорідне квантування і кодування 10. Ряд Фур'є. Перетворення Фур'є 11. Пряме і зворотне дискретне перетворення Фур'є 12. Властивості дискретного перетворення Фур'є та його обчислювальна складність 13. Алгоритм швидкого перетворення Фур'є з децимації в часовій області 14. Реалізація та модифікація швидкого перетворення Фур'є | |

15. Сигнали і системи дискретного часу
16. Z-перетворення
17. Зворотне Z-перетворення
18. Властивості Z-перетворення
19. Області застосування Z-перетворення в обробці сигналів
20. Кореляція та її застосування
21. Згортка та її застосування
22. Взаємна кореляція в неперервній часовій області
23. Автокореляція в неперервній часовій області
24. Лінійна та циклічна кореляція періодичних послідовностей
25. Лінійна та циклічна згортка періодичних послідовностей
26. Властивості згортки
27. Швидка кореляція та згортка
28. Цифрова фільтрація. Переваги та недоліки
29. Класифікація цифрових фільтрів. Вибір між СІХ- і НІХ-фільтрами
30. Процес проектування цифрових фільтрів
31. Характеристики цифрових фільтрів
32. Форми реалізації цифрових фільтрів
33. Обчислення коефіцієнтів цифрових фільтрів
34. Характеристики СІХ фільтрів
35. Типи СІХ-фільтрів з лінійною фазовою характеристикою
36. Розробка СІХ-фільтрів
37. Розрахунок коефіцієнтів СІХ фільтрів
38. Характеристики НІХ фільтрів
39. Розробка НІХ-фільтрів
40. Розрахунок коефіцієнтів НІХ-фільтра
41. Структурна реалізація цифрових СІХ та НІХ-фільтрів
42. Фільтр інтегратор і гребінчастий фільтр
43. Каскадне з'єднання фільтра інтегратора і гребінчастого фільтра. СІС фільтр першого порядку
44. Використання СІС-фільтрів (інтерполяція та децимація)
45. Аналогово-модульовані сигнали, їх опис
46. Властивості амплітудно-модульованих сигналів
47. Сигнали кутової модуляції
48. Імпульсна модуляція
49. Квадратурна модуляція
50. Цифрова модуляція. Основні поняття та види
51. Цифрова амплітудна маніпуляція (ЦАМ)
52. Цифрова фазова маніпуляція (ЦФМ)
53. Цифрова частотна маніпуляція (ЦЧМ)

| | |
|-------------------|--|
| | <p>54. Основні принципи цифрового кодування</p> <p>55. Способи представлення цілих чисел за допомогою бінарного коду</p> <p>56. Способи представлення дробових чисел за допомогою бінарного коду</p> <p>57. Стандарти цифрового кодування</p> <p>58. Принципи та різновиди завадостійкого кодування</p> <p>59. Коди з виявленням помилок</p> <p>60. Коди з виправленням помилок</p> <p>https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=4997</p> |
| Опитування | Анкету з метою оцінювання якості курсу буде надано після вивчення курсу. |

СХЕМА КУРСУ

| Тиж | Тема, план, короткі тези | Форма діяльності (заняття) | Література. Ресурси в Інтернеті | Завдання (лабораторна робота), год. | Термін виконання |
|-----|--|----------------------------|---------------------------------|---|--------------------|
| 1 | Тема 1. Класифікація сигналів та їх характеристики. Поняття «сигнал». Класифікація сигналів. Параметри та характеристики сигналів. Періодичні сигнали та їх особливості. Аперіодичні сигнали | Лекція (2 год) | 1-11 | Вступне заняття (2 год) | 1 тиждень семестру |
| 2 | Тема 2. Цифрова обробка сигналів (ЦОС) та її переваги. Переваги та недоліки цифрової обробки над аналоговою. Ключові операції ЦОС. Процесори для цифрової обробки сигналів. Области застосування ЦОС. | Лекція (2 год) | 1-11 | Лабораторна робота №1 Ознайомлення з середовищем Octave / MatLab. Основні об'єкти (2 год) | 2 тиждень семестру |

| | | | | | |
|-----|--|----------------|------|---|--------------------|
| 3-4 | <p>Тема 3. Аналоговий інтерфейс введення-виведення для систем ЦОС реального часу. Системи ЦОС реального часу. Процес перетворення аналогового сигналу в цифровий. Дискретизація - низькочастотні і смугові сигнали. Однорідне і неоднорідне квантування і кодування. Вибірка з запасом по частоті при аналого-цифровому перетворенні. Процес цифро-аналогового перетворення: відновлення сигналу. Цифро-аналоговий перетворювач. Фільтри захисту від дзеркальних частот. Вибірка з запасом по частоті при цифро-аналогових перетворенні. Обмеження обробки сигналів в реальному часі з аналоговими вхідними / вихідними сигналами</p> | Лекція (4 год) | 1-11 | Лабораторна робота №2 Операції з матрицями в середовищі Octave / MatLab. (2 год) | 3 тиждень семестру |
| | | | | Лабораторна робота №3 Типи масивів в середовищі Octave / MatLab. (2 год) | 4 тиждень семестру |
| 5-6 | <p>Тема 4. Дискретні перетворення. Ряд Фур'є. Перетворення Фур'є неперервних сигналів. Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ). Властивості ДПФ. Алгоритм швидкого дискретного перетворення Фур'є (ШПФ). Інші дискретні перетворення (Дискретне косинус-перетворення, перетворення Уолша)</p> | Лекція (4 год) | 1-11 | Лабораторна робота №4 Засоби графіки в середовищі Octave / MatLab. (2 год) | 5 тиждень семестру |
| | | | | Лабораторна робота №5 Режим програмування: Script-файли та function-файли. (2 год) | 6 тиждень семестру |
| 7 | <p>Тема 5. Z-перетворення дискретних сигналів. Сигнали і системи дискретного часу. Співвідношення між Z-перетворенням і Фур'є-перетворенням дискретної послідовності. Зворотне Z-перетворення. Властивості Z-перетворення. Застосування Z-</p> | Лекція (2 год) | 1-11 | Лабораторна робота №6 Режим програмування: організація розгалужень та циклів. (2 год) | 7 тиждень семестру |

| | | | | | |
|----|---|----------------|------|---|---------------------|
| | перетворення в обробці сигналів | | | | |
| 8 | Тема 6. Кореляція. Опис взаємної кореляції та особливості її розрахунку. Автокореляція. Швидка кореляція. Застосування кореляції. | Лекція (2 год) | 1-11 | Лабораторна робота №7 Дискретизація, квантування та кодування періодичних сигналів. (2 год) | 8 тиждень семестру |
| 9 | Тема 7. Згортка. Опис згортки та її розрахунок. Ідентифікація системи. Перетворення згортки. Швидка згортка. Зв'язок між кореляцією та згорткою. Застосування згортки | Лекція (2 год) | 1-11 | Лабораторна робота №8 Фур'є перетворення періодичних та неперіодичних сигналів. (2 год) | 9 тиждень семестру |
| 10 | Тема 8. Цифрові фільтри. Характеристики, класифікація, проектування. Особливості цифрової фільтрації. Переваги та недоліки. Класифікація цифрових фільтрів: фільтри зі скінченної імпульсною характеристикою (СІХ), фільтри з нескінченною імпульсною характеристикою (НІХ). Вибір між СІХ- і НІХ-фільтрами. Розробка цифрового фільтру | Лекція (2 год) | 1-11 | Лабораторна робота №9 Дискретне перетворення Фур'є. (2 год) | 10 тиждень семестру |
| 11 | Тема 9. Методи розрахунку коефіцієнтів СІХ- та НІХ- фільтрів. Метод зважування (вирізання). Оптимальний метод. Метод частотної вибірки. Структурні схеми реалізації СІХ-фільтрів. Метод розміщення нулів і полюсів. Метод інваріантного перетворення імпульсної характеристики. Узгоджене Z-перетворення. Білінійне Z-перетворення. Структурні схеми реалізації Н ІХ-фільтрів. | Лекція (2 год) | 1-11 | Лабораторна робота №10 Z-перетворення дискретних сигналів. (2 год) | 11 тиждень семестру |

| | | | | | |
|-------|--|----------------|------|---|---------------------|
| 12 | Тема 10. СІС фільтри. 1. Фільтри Хогенауера (СІС) і їх характеристики. Фільтр інтегратор і гребінчастий фільтр. Каскадне з'єднання фільтру інтегратора і гребінчастого фільтра. СІС фільтр першого порядку. СІС фільтри вищих порядків. Вибір розрядності при реалізації СІС фільтрів. Використання СІС фільтрів в задачах децимації і інтерполяції сигналів. | Лекція (2 год) | 1-11 | Лабораторна робота №11 Кореляція. (2 год) | 12 тиждень семестру |
| 13-14 | Тема 11. Модуляція сигналів. Аналогово-модульовані сигнали, їх опис (амплітудна та кутова модуляція). Імпульсна модуляція. Квадратурна модуляція. Цифрова модуляція. Дельта-модуляція. Сигма-дельта-модуляція | Лекція (4 год) | 1-11 | Лабораторна робота №12 Згортка. (2 год) | 13 тиждень семестру |
| | | | | Лабораторна робота №13 Синтез цифрових фільтрів та аналіз їх характеристик. (2 год) | 14 тиждень семестру |
| 15-16 | Тема 12. Принципи та засоби цифрового кодування. Вимоги до методів цифрового кодування. Формати даних. Завадостійке кодування. Коди з виявленням помилок. Коди з виявленням і виправленням помилок. | Лекція (4 год) | 1-11 | Лабораторна робота №14 Модуляція сигналів з використанням ПЛІС (GreenPak) (2 год) | 15 тиждень семестру |
| | | | | Підсумкова контрольна робота (2 год) | 16 тиждень семестру |