

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ І СПОРТУ
УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до контрольної роботи №2 з дисципліни
«Теорія електричних кіл та сигналів»
для студентів спеціальності 6.050903 «Телекомунікації»
заочної форми навчання

2012

Методичні вказівки до контрольної роботи №2 з дисципліни «Теорія електричних кіл та сигналів» для студентів спеціальності 6.050903 «Телекомунікації» заочної форми навчання / Укладач: В.О. Костенко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012 – 18 с.

Укладач: В.О. Костенко, доцент, канд. техн. наук,

Рецензент: Е.В. Власенко, доцент, канд. техн. наук.

Відповідальний
за випуск В.О. Костенко, доцент, канд. техн. наук.

Експерт: Б.М. Бондарєв, проф., канд. техн. наук.

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
Радіотехніка та телекомунікації
Протокол № 7 від. 11 . 04 2012.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ	5
1.1 Мета контрольних робіт.....	5
1.2 Зміст і об'єм контрольних робіт.....	5
1.3 Вимоги до оформлення і захисту контрольних робіт	5
2 НАВЧАЛЬНИЙ ГРАФІК ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ	6
2.1 Робоча програма щодо вивчення тем ТЕКС (частина II).....	6
2.2 Запитання для самоперевірки вивченого матеріалу за семестр..	7
3 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	9
4 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ СИГНАЛІВ ПО ХААРУ	10
4.1 Завдання.....	10
4.2 Контрольні запитання до завдання.....	12
5 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ СИГНАЛІВ ПО УОЛШУ	13
5.1 Завдання.....	13
5.2 Контрольні запитання до завдання.....	14
6 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ СИГНАЛІВ ПО ФУР'Є	14
6.1 Завдання.....	14
6.2 Контрольні запитання до завдання.....	17
7 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	18

ПЕРЕДМОВА

Курс "Теорія електричних кіл та сигналів" (ТЕКС) для студентів спеціальності 6.050903 "Телекомунікації" вивчається протягом двох семестрів - у другому і третьому. У другому семестрі виконується одна контрольна робота, яка має три завдання (перше - з розрахунку електричних кіл постійного струму, друге – з розрахунку електричних кіл змінного струму, третє – з розрахунку перехідного процесу) та три лабораторні роботи. У третьому семестрі виконується одна контрольна робота з теорії сигналів , дві лабораторні роботи і одна курсова робота. Другий семестр закінчується заліком, а третій – іспитом.

1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

1.1 Мета контрольних робіт

Метою контрольних робіт є вивчення законів електричних кіл, закріплення теоретичного матеріалу і розвиток навиків його практичного використання.

Методичні вказівки призначені для допомоги студентам заочної форми навчання у їх самостійній роботі з навчальною літературою, в опануванні теоретичних і практичних знань з курсу ТЕКС.

1.2 Зміст і об'єм контрольних робіт

Кожна контрольна робота складається з пояснювальної записки об'ємом 10...15 сторінок, включаючи рисунки, графіки, таблиці, додатки.

Зміст пояснювальної записки:

- титульний лист;
- завдання до контрольної роботи;
- суть пояснювальної записки (пояснення до розрахунків та розрахунки);
- висновки;
- перелік використаних літературних джерел;
- додатки.

1.3 Вимоги до оформлення і захисту контрольних робіт

1.3.1 Контрольна робота виконується на комп'ютері в програмному середовищі Mathcad, оформлюється на білих стандартних аркушах паперу формату А4. Сторінки, малюнки, графіки і таблиці повинні бути пронумеровані. Ніяких виправлень у початковому тексті робити не можна! Виправлення помилок треба робити в кінці звіту після зауважень викладача..

Пояснювальна записка повинна бути оформлена у відповідності з вимогами Державного стандарту та СТП 15-1 ЗНТУ.

1.3.2 Похибки у розрахунках не повинні перевищувати 2 %.

1.3.3 Основні етапи розрахунків повинні мати достатньо докладні пояснення. Всі розрахункові формули необхідно записувати в

загальному вигляді, а потім підставляти цифрові значення. В остаточному результаті треба вказати одиниці виміру, в яких отримана відповідь.

1.3.4 Після виконання й оформлення робота проходить рецензію у викладача, що веде заняття з ТЕКС, та підлягає захисту перед викладачем у термін, що встановлено учбовим планом.

2 НАВЧАЛЬНИЙ ГРАФІК ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Робоча програма щодо вивчення тем ТЕКС (частина II)

2.1.1 Назви тем, їх зміст, об'єм у годинах для самостійного вивчення.

2.1.1.1. Класифікація та моделі сигналів. Енергія та потужність сигналів.

Лекції – 5 годин.

Самостійна робота – 9 годин

Література [4] – с. 7-26, 30-32
[7] - с. 11-27

2.1.1.2. Спектральне уявлення сигналів у електричних колах. Розвинення сигналів у спектр за ортогональними системами функцій (узагальнений ряд Фур'є). Спектри основних сигналів, що вживаються у зв'язку. Моделювання імпульсів за допомогою пакета "Mathcad".

Лекції – 5 годин.

Самостійна робота – 4 години

Література [5] - с. 33 – 48 [7] - с. 13 – 22, 38-51
[8] - с. 34 – 39 [10] – с. 13 – 17
[12] – с. 518 – 519 [17] – с. 6 - 10

2.1.1.3. Розвинення сигналів за ортонормованим базисом. Розвинення сигналів за базисом Хаара.

Лекції – 1 година.

Самостійна робота – 4 години

Література [6] - с. 20-24, 57-65, 79-83 [12] – с. 521 – 523
[17] – с. 6 – 10 [18] – с. 9 – 13

2.1.1.4. Розвинення сигналів за базисом Уолша. Використання функцій Уолша у стільниковому зв'язку.

Лекції – 2 години.

Самостійна робота – 6 годин

Література [4] - с. 197 – 204

[6] – с. 83 - 86

[18] – с. 14 - 20

2.1.1.5. Апаратурна реалізація ортогонального розкладання та синтезу сигналів, моделювання цих процесів за допомогою пакетів програм “Mathcad” та EWB.

Лекції – 1 година.

Самостійна робота – 2 години

Література [7] - с. 33 - 37

[12] – с. 521 - 522

2.1.1.6. Гармонійний аналіз неперіодичних сигналів. Пряме та обернене перетворювання Фур’є. Властивості перетворень Фур’є.

Лекції – 3 години.

Самостійна робота – 8 годин

Література [10] – с. 346 – 356

[12] – с. 538 - 543

[18] – с. 21 - 26

2.1.1.7. Сигнали з обмеженим спектром. Математичні моделі таких сигналів та особливості їх моделювання в пакеті “Mathcad”. Теорема Котельнікова.

Лекції – 4 години.

Самостійна робота – 8 годин

Література [6] - с. 29 – 30

[7] – с. 29 – 34, 80 - 85

[12] – с. 521 - 523

[18] – с. 27-34

2.2 Запитання для самоперевірки вивченого матеріалу за семестр

2.2.1. Зробіть класифікацію сигналів, що використовуються в телекомунікаціях.

2.2.2. Які функції із ряду $\varphi_0(x), \dots, \varphi_n(x)$ є ортогональними?

2.2.3. Які функції із ряду $\varphi_0(x), \dots, \varphi_n(x)$ є нормованими?

2.2.4. Які функції із ряду $\varphi_0(x), \dots, \varphi_n(x)$ є ортонормованими?

2.2.5. Яка система функцій $\varphi_0(x), \dots, \varphi_n(x)$ зветься повною?

2.2.6. Що таке нерівність Бесселя?

2.2.7. Чому дорівнює енергія сигналу $S(t)$ у випадку використання ортонормованої системи функцій $\varphi_n(t)$?

2.2.8. Який вигляд має формула для відновленого або

апроксимованого сигналу крізь коефіцієнти C_n ?

2.2.9. Наведіть спектр прямокутного коливання (меандру) в комплексній та тригонометричній формах.

2.2.10. Що мають на увазі коли говорять про ефект Гіббса?

2.2.11. Наведіть спектр пилкоподібного коливання.

2.2.12. Наведіть спектр послідовності уніполярних трикутних імпульсів.

2.2.13. Наведіть спектр послідовності уніполярних прямокутних імпульсів.

2.2.14. Яким чином за допомогою функції Хевісайда на Mathcad можна сформувавши прямокутний імпульс?

2.2.15. Як сформулювати прямокутний імпульс в пакеті Mathcad за допомогою операторів пакету Mathcad?

2.2.16. Доведіть графічно, що перші чотири функції Хаара ортогональні.

2.2.17. Яким чином будуються функції Хаара за допомогою двійкових відрізків?

2.2.18. Доведіть, що норма будь – якої функції Хаара дорівнює одиниці.

2.2.19. Запишіть аналітичний вираз для функції Уолша.

2.2.20. Чим відрізняються функції Уолша від функцій Хаара?

2.2.21. Відобразіть структурну схему пристрою для експериментального визначення коефіцієнтів розвинення C_n сигналу $S(t)$ в узагальнений ряд Фур'є.

2.2.22. Відобразіть структурну схему пристрою для апаратурного синтезу сигналів $S(t)$ по відомим коефіцієнтам розвинення C_n .

2.2.23. Неперіодичний сигнал $S(t)$. Що характеризує його спектральна щільність?

2.2.24. Наведіть пряме та обернене перетворювання Фур'є.

2.2.25. Який вигляд має спектральна щільність прямокутного імпульсу?

2.2.26. Як поводить ся спектральна функція $S(\omega)$ під час видовження (розтягування) і, навпаки, під час затиснення імпульсу?

2.2.27. Які властивості перетворень Фур'є Ви знаєте?

2.2.28. Наведіть приклад сигналу з обмеженим спектром.

2.2.29. Теорема Котельнікова.

2.2.30. В чому полягає користь для зв'язківців знання теореми Котельнікова?

3 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Пропонується провести «розкладання», а потім «відновлення» наступних сигналів.

$$1. \quad f(t) = 1(t) \cdot 1(KT - t),$$

при: а) $K=1$; б) $K=1/2$; в) $K=1/4$; г) $K=1/8$.

$$2. \quad f(t) = \frac{t}{T} \cdot 1(t) \cdot 1(T - t).$$

$$3. \quad f(t) = \left[\frac{t}{T} \cdot 1(t) - 2 \frac{t - T/2}{T} \cdot 1(t - T/2) \right] \cdot 1(T - t). \quad (3.1)$$

$$4. \quad f(t) = \left[\frac{t}{T} \cdot 1(t) - \frac{t - T/2}{T} \cdot 1(t - T/2) \right] \cdot 1(T - t).$$

$$5. \quad f(t) = e^{\frac{t}{T}} \cdot 1(t) \cdot 1(T - t).$$

$$6. \quad f(t) = (1 - e^{\frac{t}{T}}) \cdot 1(t) \cdot 1(T - t).$$

Тут T – тривалість сигналу, а K – коефіцієнт зміни цієї тривалості, який задається викладачем. Оскільки тривалість сигналу завжди можна пронормувати, то покладемо $T=1$.

Змінна t – поточний час – змінюється від нуля до T . Це горизонтальна вісь на графіку сигналу в програмі Mathcad. Рекомендується вибрати крок для побудови графіка досить малим, наприклад, 0,001 або 0,005. Щоб рисунки з графіками були красивими і зрозумілими, не слід криві, що відображуються, проводити по межах рисунку. Для цього змінну t слід брати не від 0 до 1, а, наприклад, від -0,1 до +1,1. Аналогічно слід дати деякий запас і по вертикалі.

На першому етапі всім студентам необхідно зобразити в графічній формі всі шість сигналів.

4 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ СИГНАЛІВ ПО ХААРУ

4.1 Завдання

4.1.1. На першому етапі слід отримати в комп'ютері шість сигналів (3.1). При цьому кожен з сигналів повинен мати своє унікальне ім'я, наприклад $f_1(t) \dots f_6(t)$ або $S_1(t) \dots S_6(t)$. Це дозволить зберегти всі функції в зручній для роботи формі до кінця занять. Змодельовані в комп'ютері сигнали на екрані або у вигляді принтерного рисунку слід показати викладачеві на консультації.

4.1.2. На другому етапі необхідно змодельовати в комп'ютері перші вісім функцій Хаара, які і є ортонормованим базисом. Природно, кожна функція Хаара повинна мати своє унікальне ім'я, наприклад, $\chi_1 \dots \chi_8$. По горизонталі використовуємо змінну t з тим же кроком і в тому ж діапазоні зміни, що і при моделюванні сигналів (4.1.1).

4.1.3. Змодельовати функції Хаара в Mathcad можна з використанням плейсхолдера і елементарного програмування (всі оператори представлені однією палітрою) або формуванням прямокутних імпульсів за допомогою функції Хевісайда $\Phi(t)$. Одержані на екрані або на папері зображення функцій Хаара слід показати викладачеві.

4.1.4. Маючи в своєму розпорядженні 6 сигналів і 8 функцій Хаара, проведемо наступні дослідження. Визначимо проекції (вагові коефіцієнти) першого сигналу $f_1(x)$ на кожен з базисних функцій Хаара згідно формулі:

$$c_n = \int_0^1 f_1(t) \cdot c_n(t) dt. \quad (4.1)$$

4.1.5. Вочевидь, що таких коефіцієнтів буде 8. По цих вагових коефіцієнтах можна у будь-який момент відновити початковий сигнал $f_1(t)$, але, природно, з деякою похибкою. Зробимо це за допомогою формули

$$\bar{f}(x) = \sum_{k=0}^N c_k \cdot c_k(x) \quad (4.2)$$

Дамо відновленому сигналу своє унікальне ім'я, наприклад $f_{B1}(t)$ і виведемо на один графік початковий $f_1(t)$ і відновлений $f_{B1}(t)$ сигнали. Потім визначимо абсолютну і відносну похибки апроксимації (відновлення) сигналу

$$\begin{aligned} \Delta &= \left| f(x) - \bar{f}(x) \right|^2 = \int_a^b \left[f(x) - \sum_{k=0}^N c_k \cdot c_k(x) \right]^2 dx = \\ &= \|f(x)\|^2 - \sum_{k=0}^N c_k^2 \cdot \|c_k\|^2, \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$d = \left[\frac{\Delta}{\|f(x)\|^2} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{E - \sum_{k=0}^N E_n}{E} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (4.4)$$

Аналогічно поступаємо з кожним подальшим початковим сигналом, тобто з $f_2(t) \cdots f_6(t)$.

4.1.6. Треба зауважити, що при апроксимації сигналів прямокутної форми похибка виходить незначною. При сигналах складнішої форми похибка може бути значною, більш наперед заданої.

В цьому випадку слід подвоїти кількість базисних функцій Хаара, тобто двійкові відрізки розділити ще раз навпіл. І так робити до тих пір, поки система базисних функцій не стане повною, тобто задана точність апроксимації буде досягнута.

4.1.7. Зробити висновки з виконаної роботи.

4.1.8. Підготувати звіт.

4.1.9. Захистити роботу.

4.2 Контрольні запитання до завдання

4.2.1. Дайте означення функцій Хаара.

4.2.2. Покажіть, що функції Хаара утворюють повну ортонормовану систему функцій.

4.2.3. Доведіть, що перша і восьма функції Хаара ортогональні.

4.2.4. Доведіть, що третя функція Хаара ортонормована.

4.2.5. Яка функція Хаара $c_n(x)$ визначена на відрізку $[7/8, 1]$?

4.2.6. Чи є відрізки $[12/16, 15/16[$, $[13/32, 15/32[$, $[8/64, 9/64[$ двійковими?

4.2.7. Знайдіть потужність та енергію функції Хаара $c_n(x)$.

4.2.8. Розрахуйте коефіцієнти c_6 і c_7 розвинення у ряд Фур'є – Хаара сигналу

$$f(t) = \frac{4}{T} \cdot t \cdot 1(t) - \frac{4}{T} \cdot \left(t - \frac{T}{4}\right) \cdot 1\left(t - \frac{T}{4}\right) - \frac{4}{T} \left(t - \frac{3}{4}T\right) \cdot 1\left(t - \frac{3}{4}T\right) + \frac{4}{T} \cdot (t - T) \cdot 1(t - T).$$

4.2.9. Розрахуйте значення перших чотирьох коефіцієнтів розвинення у ряд Фур'є – Хаара сигналу $f(t) = \left(1 - \frac{t}{T}\right) \cdot 1(t) \cdot 1(T - t)$.

4.2.10. Як зміниться осцилограма сигналу, що його синтезують, якщо вимкнути $c_1(t)$?

4.2.11. Як зміниться осцилограма сигналу, що його синтезують, $f(t) = \left[\frac{t}{T} \cdot 1(t) - 2 \cdot \frac{t - T/2}{T} \cdot 1\left(t - \frac{T}{2}\right) \right] \cdot 1(T - t)$, якщо вимкнути $c_2(t)$?

4.2.12. Наведіть приклади інших ортогональних функцій із систем «прямокутних» базисних функцій.

5 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ СИГНАЛІВ ПО УОЛШУ

5.1 Завдання

5.1.1. Перший етап. Ви вже виконали його при виконанні п.4.1.1. У Вас в комп'ютері є моделі всіх шести сигналів $[f_1(t) \dots f_6(t)]$, які треба буде «розкласти» на базисні функції Уолша.

5.1.2. Другий етап. Змоделюємо перші 8 функцій Уолша. Кожній функції Уолша даємо своє ім'я.

5.1.3. Третій етап. Визначимо проєкції c_k (вагові коефіцієнти) першого сигналу $f_1(t)$ на кожну з базисних функцій Уолша:

$$c_k = \frac{1}{T} \int_0^T S(t) \cdot wal(k, t) dt, \quad t \in [0, T]$$

Потім відновимо (синтезуємо) початковий сигнал $f(t)$ наступним чином:

$$\bar{S}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} c_k \cdot wal(k, t).$$

Відновлений і початковий сигнали (графіки) розташовуємо на одному рисунку, визначаємо абсолютну і відносну похибки відновлення.

5.1.4. Аналогічно поступаємо з кожним з п'яти початкових сигналів, що залишилися.

5.1.5. Слід відповісти на питання. Якщо дану систему функцій Уолша (8 функцій) вважати повною, то яку точність відновлення сигналу може вона забезпечити при різних початкових формах сигналів.

5.1.6. Зробити висновки з виконаної роботи.

5.1.7. Підготувати звіт.

5.1.8. Захистити роботу.

5.2 Контрольні запитання до завдання

5.2.1. Дайте означення функцій Уолша.

5.2.2. Що Ви розумієте під терміном «частість» функцій Уолша?

5.2.3. Що Ви розумієте під терміном «упорядкування» матриць Адамара по Уолшу?

5.2.4. Доведіть, що друга та третя функції Уолша ортогональні.

5.2.5. Доведіть, що п'ята функція Уолша нормована.

5.2.6. Чим відрізняються функції Уолша від функції Хаара?

5.2.7. В якому випадку система базисних функцій Уолша вважається повною?

6 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ СИГНАЛІВ ПО ФУР'Є

6.1 Завдання

6.1.1. Перший етап. Ви вже виконали його при виконанні п.4.1.1. У Вас в комп'ютері є моделі всіх шести сигналів $[f_1(t) \dots f_6(t)]$, які треба буде «розкласти» на базисні функції Фур'є, тобто на сукупність тригонометричних функцій кратних аргументів:

$$\begin{aligned}
\tilde{n}_0(t) &= \frac{1}{\sqrt{T}} ; \\
\tilde{n}_1(t) &= \sqrt{\frac{2}{T}} \cdot \sin \frac{2p}{T} \cdot t ; \\
\tilde{n}_2(t) &= \sqrt{\frac{2}{T}} \cdot \cos \frac{2p}{T} \cdot t ; \\
\tilde{n}_3(t) &= \sqrt{\frac{2}{T}} \cdot \sin 2 \frac{2p}{T} \cdot t ; \\
\tilde{n}_4(t) &= \sqrt{\frac{2}{T}} \cdot \cos 2 \frac{2p}{T} \cdot t ; \\
&\dots\dots\dots
\end{aligned} \tag{6.1}$$

В системі функцій (6.1), яку запропонував Фур'є в якості базисної, ми бачимо дві особливості. По-перше, $\tilde{n}_0(t)$ - це постійна складова. По-друге, наступні складові застосовуються парами, тобто $\tilde{n}_1(t)$ і $\tilde{n}_2(t)$ - дві гармонійні складові з частотою $\Omega = \frac{2p}{T}$, наступні дві складові $\tilde{n}_3(t)$ і $\tilde{n}_4(t)$ - з частотою 2Ω . Далі будуть складові з частотами $3\Omega, 4\Omega, \dots$

6.1.2. Моделювати функції Фур'є і давати кожній своє ім'я нема сенсу, бо це звичайні тригонометричні функції. І по записам бачимо індивідуальність кожної.

6.1.3. Якщо візьмемо, як раніше, $n=8$, то з ряду Фур'є треба буде визначити 17 вагових коефіцієнтів (для $n=0, n=1\dots 8$).

$$\begin{cases} a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_1(t) dt; \\ a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_1(t) \cdot \cos n\Omega t dt; \\ b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_1(t) \cdot \sin n\Omega t dt; \end{cases} \quad (6.2)$$

Для відновлення сигналу $f_1(t)$ скористаємось наступною формулою:

$$\bar{f}_1(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^8 (a_n \cdot \cos n\Omega t + b_n \cdot \sin n\Omega t) \quad (6.3)$$

Відновлений і початковий сигнали (графіки) розташовуємо на одному рисунку, визначаємо абсолютну і відносну похибки відновлення.

6.1.4. Побудуємо спектр амплітуд і спектр фаз відновленого сигналу $f_1(t)$ згідно формул:

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (6.4)$$

$$f_n = \arctg \frac{b_n}{a_n} \quad (6.5)$$

6.1.5. Аналогічно поступаємо з кожним з п'яти початкових сигналів, що залишилися.

6.1.6. Зробити висновки з виконаної роботи.

6.1.7. Підготувати звіт.

6.1.8. Захистити роботу.

6.2 Контрольні запитання до завдання

6.2.1. Які властивості спектрів періодичних сигналів Ви знаєте ?

6.2.2. Опишіть вплив на спектр періодичної послідовності прямокутних відеоімпульсів змінення протяжності та періоду повторення.

6.2.3. Як впливає на спектр періодичного сигналу зміна положення початку відліку часу?

6.2.4. Якщо сигнал, який аналізується, є непарною функцією часу, то які особливості буде мати спектр такого сигналу?

6.2.5. Якщо сигнал, який аналізується, є парною функцією часу, то які особливості буде мати спектр такого сигналу ?

6.2.6. Як зміниться спектр періодичного сигналу, якщо його період спрямувати до нескінченності?

6.2.7. Який зв'язок існує між суцільним спектром неперіодичного сигналу і лінійчатим спектром відповідного періодичного сигналу?

6.2.8. Запишіть вираз для спектральної щільності імпульсу прямокутної форми.

6.2.9. Як пов'язані між собою тривалість імпульсу і ширина спектру?

7 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів, том 1. / Ю.І. Волощук – Харків: «Компанія СМІТ», 2003. – 580с.
2. Лабораторний практикум по курсу «Радиотехнические цепи и сигналы». Учебное пособие для технических вузов / В.В. Бавынина, В.Ф. Камсков, Б.Л. Кашеев и др.; Под редакцией Б.Л. Кашеева – М.: ВШ, 1985.– 208 с.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. / С.И. Баскаков – М.: ВШ, 2001.– 786 с.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. / И.С. Гоноровский – М.: ВШ, 1985.– 435 с.
5. Каганов В.И. Радиотехника+компьютеры+Mathcad. / В.И. Каганов – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 416 с.
6. Поповский В.В. Многоканальная электросвязь и телекоммуникационные технологии: Учебник для студ. высш. уч. заведений. / под общ. ред. В.В. Поповского – Харьков: ООО «Компания СМІТ», 2006.– 596 с.
7. Ахмед Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. Пер. с англ. / Н. Ахмед, К.Р. Рао – М.: Связь, 1980.– 248 с.
8. Юкио Сато. Обработка сигналов. Первое знакомство / Под редакцией Ёсифуми Амэмия – М.: Изд. дом «Додэка – XXI», 2002.– 175 с.
9. Методичні вказівки до самостійної роботи за розділом «Теорія електричних сигналів» дисципліни «Теорія електричних кіл та сигналів» для студентів напрямку підготовки 6.050903 «Телекомунікації» заочної форми навчання / Укладач: В.О. Костенко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012 – 36 с.