

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»**  
**Факультет інформаційних технологій**  
**Кафедра Біомедичної інженерії**

Методичні вказівки  
з самостійного вивчення курсу

**ОБРОБКА БІОМЕДИЧНИХ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ**

для студентів спеціальності 163 «Біомедицинська інженерія»  
денної та заочної форм навчання

Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



*Розроблено в рамках проекту «Erasmus+ (CBHE) BioArt: «Інноваційна мультидисциплінарна навчальна програма зі штучних імплантів для біоінженерії для рівнів бакалавр та магістр»*

*Developed in the frame of project «Erasmus + (CBHE) BioArt: Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc / MSc Degrees» (586114-EPP- 1-2017- 1-ES-EPPKA2-CBHE- JP)*

Маріуполь  
2019

Методичні вказівки з самостійного вивчення курсу  
**Обробка біомедичних цифрових сигналів** для студентів за  
напрямом підготовки 163 «Біомедична інженерія».

Розробник: доц., к.т.н. Койфман О.О.

Затверджено на засіданні кафедри «Біомедична інженерія», протокол  
від 24.06.2019 року № 21

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ (Азархов О.Ю.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено методичною комісією факультету  
Протокол від 24.06.2019 року № 10

Голова \_\_\_\_\_ (Черевко О.О.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

© ДВНЗ «ПДТУ», 2019 рік  
© Койфман О.О., 2019 рік

## ЗМІСТ

|  |        |
|--|--------|
| ВСТУП.....   | 4      |
| 1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ КУРСУ .....    | 3<br>5 |
| 2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ.....            | 5      |
| 3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ..... | 20     |
| 3.1 Приклади розрахунків .....   | 20     |
| 3.2 Завдання для самостійної практичної роботи .....                   | 25     |
| РЕКОМЕНДОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА .....                               | 36     |

## ВСТУП

**Предметом** вивчення навчальної дисципліни є вивчення основних методів розрахунку різноманітних електричних ланцюгів та основи теорії сигналів.

Метою викладання навчальної дисципліни **«Обробка біомедичних цифрових сигналів»** є підготовка фахівців до практичної діяльності в галузі біомедичної інженерії. Матеріал курсу базується на знаннях вища математика, фізика, метрологія та електричні вимірювання, обчислювальна техніка.

Матеріал курсу може бути використаний при розрахунках різноманітних типів електричних ланцюгів та сигналів.

Самостійна робота – діяльність студентів, яка полягає в самостійному визначенні мети, завдань, засобів їх досягнення, на основі пізнавальних потреб та інтересів; виборі власного пізнавального шляху, спрямованого на створення творчого освітнього продукту; аналізі результату.

Самоосвіта – специфічний вид діяльності, яку особистість здійснює добровільно з метою задоволення пізнавальних потреб чи покращення своїх особистісних якостей або здібностей.

Під самостійною роботою в широкому значенні розуміють будь-яку діяльність особистості зі здійснення поставлених перед нею цілей без безпосередньої участі керівника, тобто будь-який вид занять, що створює умови для зародження самостійної думки, пізнавальної активності студента, пов'язаний із самостійною роботою. Важливість самостійної роботи для здобуття міцних знань з дисципліни важко переоцінити, тому студенту необхідно приділяти достатньо уваги та сумлінно виконувати призначений навчальною програмою обсяг самостійної роботи.

## **1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ КУРСУ**

Студенту, при вивченні курсу «Обробка біомедичних цифрових сигналів» варто систематично, сумлінно та неухильно працювати над поповненням обсягу теоретичних знань, напрацюванням та закріпленням практичних вмінь, вдосконаленням себе, як якісного спеціаліста в галузі біомедичної інженерії. Рекомендується ведення упорядкованого стислого конспекту з записуванням виникаючих питань для консультації з викладачем кафедри. Розглядаючи аналітичні залежності і формули, необхідно звертати увагу на фізичний зміст результату. Рекомендується в процесі вивчення курсу детально вивчати методи розрахунку різноманітних електричних ланцюгів та сигналів.

## **2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ**

При самостійній роботі з дисципліни «Обробка біомедичних цифрових сигналів» студенту варто користуватися розгорнутим планом та короткими теоретичними відомостями, наведеними нижче.

Наступна інформація наведена таким чином: номер змістового модулю, назва теми та її основний зміст (може бути об'єднане в один текстовий блок), методичні рекомендації у вигляді короткої теоретичної інформації. Мета і задачі кожної теми: забезпечити оволодіння матеріалом згідно наведеного змісту теми, коротких теоретичних відомостей, контрольних питань до самоперевірки.

### **Змістовий модуль 1. Основи теорії кіл**

**Тема 1. Лінійні електричні ланцюги синусоїдального струму**

Синусоїдальний струм і основні величини, що характеризують його. Середнє і діюче значення величини, що синусоїдально змінюється. Коефіцієнт амплітуди і коефіцієнт форми. Зображення величин, що синусоїдально змінюються, векторами на комплексній площині. Комплексна амплітуда. Комплекс діючого значення. Складання і віднімання синусоїдальних функцій часу на комплексній площині. Векторна діаграма. Миттєва потужність. Резистор в ланцюзі синусоїдального струму. Індуктивна котушка в ланцюзі синусоїдального струму. Конденсатор в ланцюзі синусоїдального струму. Основи символічного методу розрахунку ланцюгів синусоїдального струму. Комплексний опір. Закон Ома для ланцюга синусоїдального струму. Комплексна провідність. Трикутник опорів і трикутник провідності.

Робота з комплексними числами. Закони Кирхгофа в символічній формі запису. Реактивна і повна потужності. Резонансний режим роботи двополюсника. Резонанс струмів. Компенсація зрушення фаз. Резонанс напруги.

## **Тема 2. Чотириполюсники**

Визначення чотириполюсника. Шість форм запису рівнянь чотириполюсника.

Виведення рівнянь в А-формі. Визначення коефіцієнтів А-форми запису рівнянь чотириполюсника. Т- і П-схеми заміщення пасивного чотириполюсника. Визначення коефіцієнтів рівнянь чотириполюсника. Визначення коефіцієнтів однієї форми рівнянь через коефіцієнти іншої форми. Застосування різних форм запису рівнянь чотириполюсника. З'єднання чотириполюсників. Характеристичні і повторні опори чотириполюсників.

## **Тема 3. Трифазні ланцюги**

Трифазна система е. д. с. Трифазний ланцюг. Розширення поняття фази. Основні схеми з'єднання трифазних ланцюгів, визначення лінійних і фазових величин. Співвідношення між

лінійною і фазовою напругою і струмами. Переваги трифазних систем. Розрахунок трифазних ланцюгів. З'єднання зірка-зірка з нульовим дротом. З'єднання навантаження трикутником. Оператор а трифазної системи. З'єднання зірка-зірка без нульового дроту. Трифазні ланцюги за наявності взаємоіндукції. Активна, реактивна і повна потужності трифазної системи. Вимір активної потужності в трифазній системі. Отримання кругового магнітного поля, що обертається

#### **Тема 4. Перехідні процеси в електричних ланцюгах**

Визначення перехідних процесів. Приведені завдання про перехідний процес до рішення диференціального рівняння з постійними коефіцієнтами. Змушені і вільні складові струмів і напруги. Обґрунтування неможливості стрибка струму через індуктивність і стрибка напруги на конденсаторі. Перший закон (правило) комутації. Другий закон (правило) комутації.

Початкові значення величин. Незалежні і залежні початкові значення. Нульові і ненульові початкові значення. Складання рівнянь для вільних струмів і напруги. Алгебраїзація системи рівнянь для вільних струмів. Складання характеристичного рівняння системи. Основні і неосновні незалежні початкові значення.

Визначення міри характеристичного рівняння. Властивості коренів характеристичного рівняння. Негативні знаки дійсних частин коренів характеристических рівнянь. Характер вільного процесу при одному корені. Характер вільного процесу при двох дійсних коренях. Характер вільного процесу при двох рівних коренях. Характер вільного процесу при двох комплексно-зв'язаних коренях.

Визначення класичного методу розрахунку перехідних процесів.

Визначення постійних інтеграції в класичному методі. Логарифм як зображення числа. Комплексні зображення синусоїдальних функцій. Введення в операторний метод. Перетворення Лапласа. Зображення постійної, показової функції, першої похідної, напруги на індуктивному елементі,

другої похідної, інтеграла, напруги на конденсаторі. Закон Ома в операторній формі. Перший закон Кирхгофа в операторній формі. Другий закон Кирхгофа в операторній формі. Послідовність розрахунку операторним методом. Перехід від зображення до функції часу. Розкладання складного дробу на прості. Формула розкладання. Перехідна провідність. Поняття про перехідну функцію по напрузі. Інтеграл Дюамеля. Послідовність розрахунку за допомогою інтеграла Дюамеля.

### **Тема 5. Періодичні несинусоїдальні струми і напруги**

Визначення періодичних несинусоїдальних струмів і напруги. Зображення несинусоїдальних струмів і напруги за допомогою рядів Фур'є. Деякі властивості періодичних кривих, що мають симетрію.

Розрахунок струмів і напруги при несинусоїдальних джерелах живлення. Резонансні явища при несинусоїдальних струмах.

Діюче значення несинусоїдального струму і несинусоїдальної напруги. Активна і повна потужності несинусоїдального струму.

Заміна несинусоїдальних струмів і напруги еквівалентними синусоїдальними.

Биття. Модульовані коливання. Розрахунок лінійних ланцюгів при дії модульованих коливань.

### **Тема 6. Спектральні методи розрахунку електричних ланцюгів**

Інтеграл Фур'є. Спектральний метод. Ряд Фур'є в комплексній формі запису. Спектр функції і інтеграл Фур'є. Спектр функції, зміщеної в часі. Спектр суми функцій су. Теорема Рейли. Застосування спектрального методу. Визначення перехідної функції чотириполосника через передатну і передатної через перехідну. Поточний спектр функції часу.

### **Методичні вказівки**



Вивчення перехідних процесів в електричних ланцюгах займає дуже важливе місце при вивченні курсу «Основи теорії кіл та сигналів». Пов'язано це з тим, що в момент комутації ланцюга відбуваються процеси, які впливають на режими подальшої роботи ланцюгів і устаткування в цілому. Це можуть бути різні спотворення сигналів за формою і амплітудою, при проходженні їх через фільтри й підсилювачі, підвищення напруги, небезпечні для роботи обладнання тощо. Для того, щоб освоїти методи розрахунку перехідних процесів, необхідно знати закони Ома і Кірхгофа для розрахунку кіл, і методи розрахунку ланцюгів синусоїдального струму.

Під перехідним процесом розуміють процес переходу від одного сталого режиму роботи електричного кола до другого, котрі відрізняється від попередніх у сталому режимі (наприклад, величиною амплітуди, фази, формою або частотою діючої у схемі е.д.с., значеннями параметрів схеми і т. д.).

Перехідні процеси викликаються комутацією ланцюга. Комутація – це процес замикання або розмикання вимикачів. Фізично перехідні процеси являють собою процеси переходу від енергетичного стану, відповідного докомутаційного режиму, до енергетичного стану, відповідного післякомутаційному режиму.

### ***Закони комутації.***

а) Перший закон комутації: струм через індуктивність  $L$  безпосередньо до комутації  $i_L(0_-)$  дорівнює струму через ту ж індуктивність безпосередньо після комутації  $i_L(0_+)$

$$i_L(0_-) = i_L(0_+).$$

Час  $t = 0_-$  – являє собою час безпосередньо до комутації,  $t = 0_+$  – час безпосередньо після комутації.

б) Другий закон комутації: неможливий стрибок напруги на ємності

$$u_C(0_-) = u_C(0_+).$$

### ***1. Класичний метод розрахунку перехідних процесів.***

Класичним методом розрахунку перехідних процесів називають метод розрахунку, в якому рішення диференціального рівняння являє собою суму примушеної і вільної складових, а визначення постійних інтегрування, що входять у вираз для вільного струму або напруги, виробляють шляхом спільного рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь за відомими значеннями коренів характеристичного рівняння, а також за відомими значеннями вільної складової струму або напруги та її похідних, взятих при  $t = 0 +$ .

Алгоритм розрахунку перехідних процесів класичним методом.

1. Задаємося напрямками струмів в докомутаційній і післякомутаційній схемах.

2. Розраховуємо докомутаційну схему визначаючи  $i_L(0_+)$  і  $u_C(0_+)$

3. Розраховуємо післякомутаційну схему в сталому режимі.  $i_{Cnp.}$  и  $i_{Lnp.}$

4. Рішення шукаємо у вигляді

$$i_L = i_{Lcv.} + i_{Lnp.}$$

і

$$u_C = u_{Ccv.} + u_{Cnp.}$$

де  $i_{Lcv.}$  шукається у вигляді  $Ae^{P t}$  і  $u_{Ccv.}$  у вигляді  $Be^{P t}$ , якщо корені характеристичного рівняння дійсні негативні, якщо корені характеристичного рівняння пов'язані комплексні ( $p_{1,2} = -\delta \pm j\omega_0$ ), то рішення для струму шукається у вигляді

$$i = Ae^{-\delta t} \sin(\omega_0 t + \nu),$$

і для напруги у вигляді

$$u = Be^{-\delta t} \sin(\omega_0 t + \varphi).$$

5. Виходячи із законів комутації знаходимо постійні інтегрування  $A, B, v$  і  $\varphi$ .

6. Записуємо остаточне рішення.

2. *Операторний метод розрахунку перехідних процесів.*

Операторний метод розрахунку заснований на використанні поняття про зображення функцій часу. У операторному методі кожної функції часу відповідає функція нової змінної, що позначається  $p$ , і навпаки – функції змінної  $p$  відповідає певна функція часу.

Перехід від функції часу до функції  $p$  здійснюють за допомогою перетворення Лапласа. Операторний метод дозволяє звести операцію диференціювання до множення, а інтегрування – до поділу.

*Перетворення Лапласа.*

Домовимося під  $p$  розуміти комплексне число

$$p = a + jb,$$

де  $a$  – дійсна;

$b$  – уявна частини комплексного числа.

Надалі коефіцієнт  $b$  (з урахуванням знака) прийнято називати уявною частиною. Функцію часу ( $I, U, e.d.c.$ ) позначають  $f(t)$  і називають оригіналом. Їй відповідає функція  $F(p)$  звана зображенням, визначається вона так:

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt.$$

Відповідність між функціями  $F(p)$  і  $f(t)$  записують так:

$$F(p) \stackrel{\cdot}{=} f(t).$$

Знак  $\stackrel{\cdot}{=}$  називають знаком відповідності.

*Алгоритм розрахунку операторних методом.*

1. Розраховуємо в докомутаційному режимі  $i_L(0_-)$  і  $i_C(0_-)$ .

2. Составляємо схему заміщення в операторному вигляді для післякомутаційного режиму.

3. Розраховуємо надану схему будь-яким відомим методом, знаходячи зображення відповідних величин у вигляді правильних дробів:

$$I_i(p) = N_i(p) / M_i(p); \quad U_2(p) = S_i(p) / Q_i(p).$$

4. Переход до оригіналів можна здійснити двома методами:

а) Розрахунок проводимо за довідником, користуючись формулами відповідності.

б) Розрахунок проводимо з використанням формул розкладання:

$$i(t) = \sum (N(p_k) / M'(p_k)) e^{p_k t},$$

або

$$i(t) = (N(p_1) / M'(p_1)) e^{p_1 t} + (N(p_2) / M'(p_2)) e^{p_2 t} + \dots + (N(p_n) / M'(p_n)) e^{p_n t},$$

де  $p_k$  – корні  $M(p) = 0$ ,  $k = 1, n$ ;

$M'(p_k)$  похідна від  $M(p)$ .

*3. Розрахунок перехідних процесів за допомогою інтеграла Дюамеля.*

При використанні інтеграла Дюамеля змінну, по якій виробляється інтегрування, позначають  $\tau$ , а момент часу, в який треба знайти струм в ланцюзі, позначають через  $t$ .

Нехай до ланцюга з нульовими початковими умовами в момент часу  $t = 0$  підключається напруга (см. рис. 2.1).

Щоб знайти струм в ланцюзі в момент часу  $t$ , замінимо плавну криву – ступінчастою і підсумуємо струми від початкових напружень  $u(0)$  і від усіх сходинок напруг, що вступають в дію з запізненням у часі.

Напруга  $u(0)$  в момент часу  $t$  викличе в ланцюзі струм  $u(0)g(t)$ , де  $g(t)$  – перехідна провідність. У момент часу виникає стрибок напруги. Щоб знайти складову струму в момент часу  $t$ , що спричинюється цим стрибком напруги, необхідно

помножити на значення перехідної провідності з урахуванням часу дії стрибка до моменту часу  $t$ .

Це час  $t - \tau - \Delta\tau$ , отже, збільшення струму від цього стрибка буде, равно  $u'(\tau)g(t - \tau - \Delta\tau)\Delta\tau$ .

Повний струм в момент часу  $t$  отримаємо, якщо підсумуємо всі часткові струми від окремих стрибків і додамо їх до струму  $u(0)g(t)$ :

$$i(t) = u(0)g(t) + \sum u'(\tau)g(t - \tau - \Delta\tau)\Delta\tau.$$

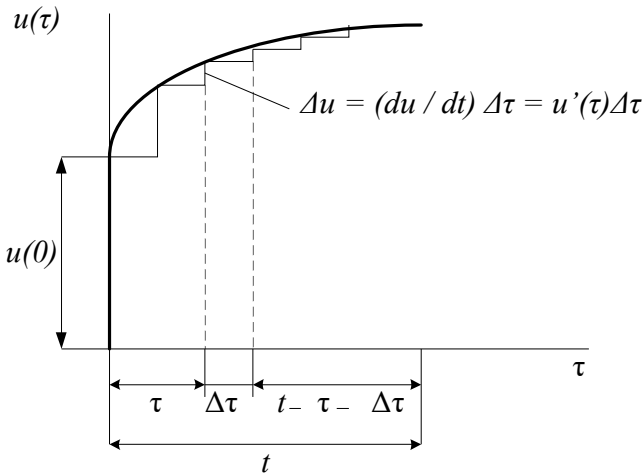


Рисунок 2.1 – До виводу інтеграла Дюамеля

Число членів суми дорівнює числу сходинок напруги. Отже, ступінчаста крива тим краще замінює плавну криву, чим більше число сходинок. З цією метою замінимо кінцевий інтервал часу  $\Delta\tau$  на нескінченно малий  $d\tau$  і перейдемо від суми до інтеграла:

$$i(t) = u(0)g(t) + \int_0^t u'(\tau)g(t - \tau)d\tau.$$

Дану формулу називають інтегралом Дюамеля.

*Алгоритм розрахунку за допомогою інтеграла Дюамеля.*

1. Розраховуємо перехідну провідність  $g(t)$  або перехідну функцію  $h(t)$  для досліджуваної ланцюга.

2. Розраховуємо  $g(t-\tau)[h(t-\tau)]$ . З цією метою у формулі  $g(t)[h(t-\tau)]$  замінюють  $t$  на  $(t-\tau)$ .

3. Визначаємо  $u'(\tau)$ . Для цього знаходимо похідну від заданої напруги  $u(t)$  за часом і в отриманому виразі замінюють  $t$  на  $\tau$ .

4. Підставляємо знайдені на етапах 1, 2, 3 функції в формулу (3), інтегруємо по змінній з урахуванням устанавленими меж.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Лінійні електричні ланцюги синусоїдального струму. Індуктивність, місткість, активний опір.

2. Символічний метод розрахунку ланцюгів синусоїдального струму.

3. Закони Ома і Кирхгофа в символічній формі запису.

4. Активна, реактивна і повна потужності. Резонансні явища.

5. Електричні ланцюги за наявності магнітнозв'язаних котушок.

6. Чотириполюсники. Основні рівняння і коефіцієнти.

7. Виведення рівнянь чотириполюсника за формою А. Визначення коефіцієнтів чотириполюсника.

8. Схеми заміщення чотириполюсників.

9. Трифазні ланцюги. Трифазна система е.д.с. Розширення поняття фази.

10. Основні схеми з'єднання трифазних ланцюгів. Лінійні і фазові струми і напруга.

11. Методи розрахунку трифазних ланцюгів. Магнітне поле, що обертається.

12. Трансформатори. Векторна діаграма трансформатора. Основні рівняння.

## Екзаменаційні питання

1. Перехідні процеси в електричних ланцюгах.
2. Закони комтації.
3. Рівняння, які описують перехідні процеси
4. Класичний метод
5. Операторний метод. Перетворення Лапласа.
6. Перехідна провідність і перехідна функція по напрузі.
7. Інтеграл Дюамеля.
8. Дельта-функція, одинична функція, їх властивості.
9. Імпульсна перехідна провідність.
10. Спектральні методи розрахунку електричних ланцюгів.
11. Періодичні несинусоїдальні струми і напруги в лінійних електричних ланцюгах.
12. Зображення таких струмів і напруг за допомогою рядів Фур'є.
13. Розрахунок електричних ланцюгів при несинусоїдальних струмах і напругах.
14. Нелінійні ланцюги. Вольтамперні характеристики і їх використання при розрахунках нелінійних ланцюгів.
15. Перехідні процеси в нелінійних електричних ланцюгах.
16. Методи розрахунку перехідних процесів. Шматково-лінійна апроксимація. Чисельні методи.

## Змістовий модуль 2. Основи теорії сигналів

### Тема 7. Сигнал і його характеристики

Типи сигналів. Статичні та динамічні сигнали. Аналогові сигнали та цифрові. Параметри сигналів з точки зору теорії інформації.

Детерміновані сигнали. Квантування безперервних сигналів в часі. Теорема Котельникова. Квантування

безперервного сигналу по рівню. Оптимальне квантування по рівню. Квантизація.

Випадкові сигнали і їх характеристики. Передача інформації в дискретній формі. Потік інформації.

### **Тема 8. Пропускна спроможність каналів зв'язку**

Інформаційні втрати при передачі інформації по дискретному каналі. Пропускна здатність неперервного каналу. Умови підвищення швидкості передачі інформації. Теорема Шеннона про кодування дискретного джерела.

### **Тема 9. Моделювання сигналів**

Поняття модулятора та процес модуляції. Амплітудно-модульований сигнал. Фазо-модульований сигнал. Частотно-модульований сигнал. Балансна модуляція. Демодуляція сигналів.

### **Методичні вказівки**

Для можливості технічного оброблення (передачі, запису та ін.) повідомлення має бути перетворене на *сигнал* – матеріальний носій, що відображує повідомлення.

Розрізняють сигнали *звукові* (акустичні), *електричні*, *оптичні*, *гідравлічні* та ін. Один вид сигналу можна перетворювати на інший (електричний на звуковий, оптичний на електричний тощо).

Будь-який сигнал характеризується такими основними параметрами: тривалістю, шириною частотного спектра та динамічним діапазоном.

Під *тривалістю*  $T_c$  сигналу розуміють час, протягом якого він знаходиться в каналі зв'язку. *Частотний спектр*  $F_c$  сигналу визначає смугу частот, яку він охоплював під час передачі по каналу зв'язку. Залежно від виду сигналу (аналоговий, дискретний) частотний спектр може бути і нескінченним; тому на практиці його обмежують для можливості передачі по каналах з обмеженою смугою частот. Так, телефонні розмови ведуться по



каналах зі смугою пропускання 3100 Гц (300 . . . 3400 Гц), хоча сам початковий сигнал займає спектр до 15 ... 17 кГц.

*Середньою потужністю*  $P_c$  сигналу є потужність, яка забезпечується апаратурою під час його надходження до каналу зв'язку. На практиці частіше замість  $P_c$  користуються поняттям *динамічного діапазону*  $D_c$ , що визначається логарифмом відношення найбільшої (максимальної) миттєвої потужності сигналу ( $P_{c \max} = P_c$ ) до найменшої (мінімальної)  $P_{c \min}$ , дозволене значення якої дорівнює потужності завод ( $P_{c \min} = P_3$ )

$$D_c = \log\left(\frac{P_c}{P_3}\right).$$

Усі ці параметри сигналу є його *обсягом*:  $V_c = T_c F_c D_c$ .

Аналогічними параметрами характеризується також канал зв'язку. Ними є *тривалість використання*  $T_k$  каналу, *смуга його частот*  $F_k$  та *динамічний діапазон*  $D_k$ . У цьому разі під  $T_k$  розуміють час використання каналу для передачі сигналів, під  $F_k$  – смугу частот, яка забезпечується каналом, а під  $D_k$  – динамічний діапазон рівнів сигналів, які можуть бути передані ним. Добуток цих трьох параметрів визначає *ємність* каналу зв'язку

$$V_k = T_k F_k D_k.$$

Для забезпечення передачі сигналів по каналу зв'язку необхідно, щоб  $V_k > V_c$ ; крім того, мають виконуватися такі умови:

$$T_k > T_c; F_k > F_c; D_k > D_c.$$

Якщо деякі з них не виконуються, треба досягти їх за рахунок інших. Так, якщо  $V_k > V_c$ ,  $T_k > T_c$  і  $D_k > D_c$ , але  $F_k < F_c$ , то, збільшуючи  $T_c$ , можна зменшити частотний спектр  $F_c$  сигналу і виконати умову  $F_k > F_c$ .

Повідомлення та відповідні сигнали можуть бути *неперервними* (аналоговими) та *дискретними* (знаковими). Перші описуються неперервною функцією часу. До них

належать такі повідомлення, як музика, телевізійне зображення, радіомовлення. За допомогою спеціальних пристроїв неперервні повідомлення перетворюються на неперервні електричні сигнали, якими передаються повідомлення по каналу зв'язку від передавача до приймача.

Дискретними повідомленнями є скінченна послідовність окремих символів (знаків, літер) з обмеженою тривалістю. Вони характерні для телеграфії, передачі даних, телекомунікацій. Для перетворення дискретного повідомлення на сигнал потрібна операція кодування.

Неперервні повідомлення можна передавати дискретними способами. В цьому разі неперервні сигнали, якими передаються ці повідомлення, перетворюються на дискретні за допомогою операцій квантування за рівнем та дискретизації в часі. На приймальному боці виконується обернене перетворення: за прийнятими дискретними сигналами відновлюються передані неперервні сигнали.

Дискретні сигнали як засіб передачі повідомлень більш поширені, ніж неперервні, завдяки тому що вони меншою мірою зазнають впливу завад і спотворень в каналах зв'язку, а в разі спотворення їх легше регенерувати (відновити) і, крім того, вони досить легко обробляються в ЕОМ.

### **Контрольні питання для самоперевірки**

1. Що називається сигналом?
2. Які типи сигналів Ви знаєте?
3. Що таке тривалість сигналу?
4. Що таке середня потужністю сигналу
5. Що таке частотний спектр сигналу
6. Що таке динамічний діапазон сигналу?
7. Що собою являють сигнали неперервні і дискретні?
8. Що уявляє собою пропускна здатність каналу зв'язку?
9. За яким виразом можливо підрахувати пропускну здатність каналу зв'язку?

10. Яким чином можливо підрахувати пропускну здатність каналу зв'язку при відсутності спотворюючих завад?

11. Яким чином можливо підрахувати пропускну здатність каналу зв'язку при наявності спотворюючих завад?

# 3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ

## 3.1 Приклади розрахунків

### Модуль 1. Основи теорії кіл

*Приклад розрахунку перехідного процесу класичним методом*

У схемі (див. рис. 3.1) до замикання ключа К було встановлено режим:  $R_1 = R_2 = R_3 = 50 \text{ Ом}$ ;  $C = 100 \text{ мкФ}$ ;  $E = 150 \text{ В}$ .

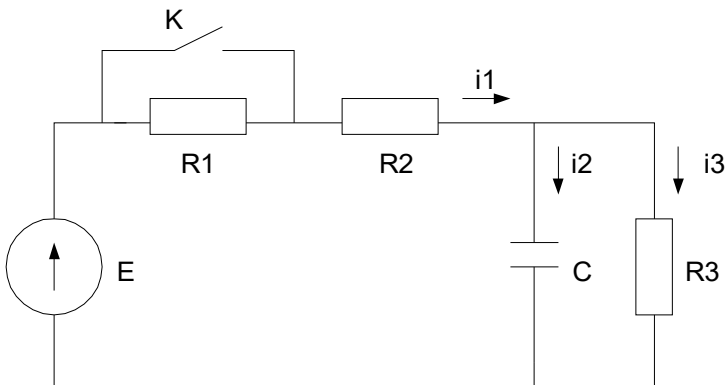


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема

Потрібно: 1) знайти повні, примушені і вільні складові струмів  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  і напругу  $u_C$  при  $t = 0_-$ , а також початкове значення похідної від вільного напруги на ємності; 2) визначити струми  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  і напругу  $u_C$  у функції часу.

Рішення першої частини задачі.

$$i_2 = (0_-) = 0 \text{ и } i_1(0_-) = i_3(0_-) = E / (R_1 + R_2 + R_3) = 150/150 = 1 \text{ А.}$$

Напруга на ємності дорівнювало напрузі на опорі  $R_3$ :

$$: u_C(0_-) = i_3(0_-) R_3 = 1 \cdot 50 = 50 \text{ В.}$$

Знайдемо примушені значення струмів і напруг після комутації:

$$i_{1np} = i_{3np} = E / (R_2 + R_3) = 150 / 100 = 1,5 \text{ А};$$

$$u_{Cnp}(0_+) = i_{3np}(0_+) R_3 = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ В.}$$

За другим законом Кірхгофа складемо рівняння для контуру, утвореного першої та другої гілками при  $t = 0_+$ :

$$i_1(0_+) R_2 + u_C(0_+) = E, \text{ но } u_C(0_+) = u_C(0_-).$$

Тому

$$i_1(0_+) = (E - u_C(0_-)) / R_2 = (150 - 50) / 50 = 2 \text{ А.}$$

Із співвідношення  $u_C(0_+) = i_3(0_+) R_3$  маємо

$$i_3(0_+) = u_C(0_+) / R_3 = 1 \text{ А.}$$

По першому закону Кірхгофа,

$$i_1(0_+) = i_2(0_+) + i_3(0_+),$$

отже,

$$i_2(0_+) = i_1(0_+) - i_3(0_+) = 2 - 1 = 1 \text{ А.}$$

Вільні складові струму і напруги визначимо як різниці між повними і вимушеними величинами:

$$u_{C\text{св}}(0_+) = u_C(0_+) - u_{Cnp}(0_+) = 50 - 75 = -25 \text{ В};$$

$$i_{1\text{св}}(0_+) = i_1(0_+) - i_{1np}(0_+) = 2 - 1,5 = 0,5 \text{ А};$$

$$i_{2\text{ cв}}(0_+) = i_2(0_+) - i_{2\text{ np}}(0_+) = 1 - 0 = 1\text{ A};$$

$$i_{3\text{ cв}}(0_+) = i_3(0_+) - i_{3\text{ np}}(0_+) = 1 - 1,5 = -0,5\text{ A}.$$

Так як вільний струм через ємність

$$i_{\text{cв}} = C (du_{\text{C cв}}/dt), \text{ то } du_{\text{C cв}}/dt = i_{\text{cв}}/C.$$

У розглянутому прикладі

$$(du_{\text{C cв}}/dt)_{t=0_+} = i_{2\text{ cв}}(0_+)/C = 1/(100 \cdot 10^{-6}) = 10^4\text{ В/с}.$$

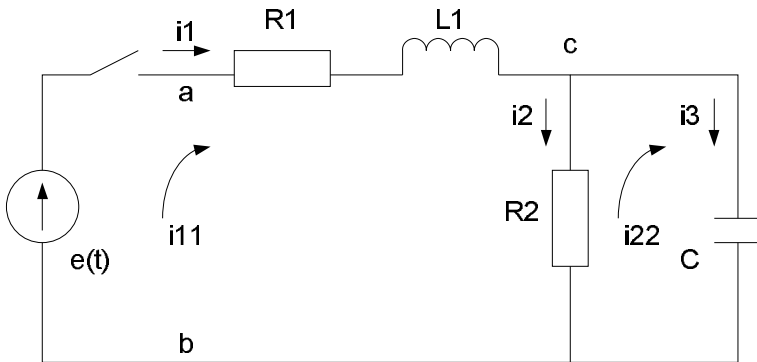


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема

Характеристичне рівняння для послеконмутаційної схеми отримуємо, прпрівнявая вхідний опір нулю:

$$R_2 + (R_3 (1/pC))/(R_2 + (1/pC)) = 0.$$

Це рівняння має один корень

$$p = -400\text{ с}^{-1}.$$

Кожен струм і напруга дорівнюють сумі вимушених і вільних ( $A_k e^{pt}$ ) складових, де  $A_k$  – відповідні постійні інтегрування, рівні вільним складовими:

$$i_1 = 1,5 + 0,5e^{-400t}, A;$$

$$i_2 = e^{-400t}, A;$$

$$i_3 = 1,5 - 0,5e^{-400t}, A;$$

$$u_C = 75 - 25 e^{-400t}, B.$$

### **Приклад розрахунку перехідного процесу операторних методом**

У операторній схемі при нульових початкових умовах замикають ключ. Скласти операторні зображення струмів  $i_1$  і  $i_3$ , користуючись методом контурних струмів.

Рішення: Напрямки контурних струмів  $i_{11}$  і  $i_{22}$  показані на схемі.

Маємо на підставі другого закону Кирхгофа

$$i_{11}R_1 + L_1(di_{11}/dt) + R_2(i_{11} - i_{22}) = e(t);$$

$$(1/C) \int i_{22} dt + R_2(i_{22} - i_{11}) = 0.$$

Переходимо до зображень

$$I_{11}(p)(pL_1 + R_1 + R_2) - I_{22}(p)R_2 = E(p),$$

$$-I_{11}(p)R_2 + I_{22}(p)(R_2 + 1/Cp) = 0.$$

Спільне рішення двох рівнянь з двома невідомими дає

$$E(p)(1 + R_2Cp),$$

$$I_{11}(p) = \frac{E(p)(1 + R_2Cp)}{pL_1 + R_1 + R_2 - R_2(R_2 + 1/Cp)}; \quad (3.1)$$

$$p^2 R_2 L_1 C + p (R_1 R_2 C + L_1) + R_1 + R_2,$$

$$E(p) R_2 C p,$$

$$I_{22}(p) = \frac{E(p) R_2 C p}{p^2 R_2 L_1 C + p (R_1 R_2 C + L_1) + R_1 + R_2}. \quad (3.2)$$

$$p^2 R_2 L_1 C + p (R_1 R_2 C + L_1) + R_1 + R_2.$$

Зображення контурного тока  $I_{11}(p)$  рівняється зображенню тока  $I_1(p)$ ; зображення  $I_{22}(p)$  – зображенню  $I_3(p)$ . В рівняннях (3.1) і (3.2)  $E(p)$  є зображення е.д.с.  $e(t)$ . Если  $e(t) = E$ , то  $E(p) = E/p$ ;

якщо  $e(t) = E_m \sin(\omega t + \psi)$ , то  $E(p) = \dot{E} (1 / (p - j\omega))$

### **Приклад розрахунку перехідного процесу операторних методом**

Знайти  $i_1 = f(t)$  і  $u_2 = f(t)$  при вмикненні ключа в схемі. Напряга істочника е.д.с.  $u(t) = 100(1 - e^{-at})B$ ;  $a = 0,25c^{-1}$ ;  $R = 0,5$  Ом;  $L_1 = 1$  Г;  $M = 0,5$  Г.

Рішення. Перехідна провідність ланцюга, що складається з послідовно включених  $R$  і  $L$ ,

$$g(t) = \frac{1}{R}(1 - e^{-bt}), \text{ де } b = R/L_1; \quad g(t - \tau) = \frac{1}{r}[1 - e^{-b(t-\tau)}].$$

Перший доданок у формулі випадає, оскільки  $u(0) = 0$ . При інтегруванні враховуємо, що  $e^{-bt}$  от  $\tau$  не залежить:

$$u_2(t) = 200(1 + e^{-0,5t} - 2e^{-0,25t}) A.$$

Напряга на затискачах вторинної обмотки

$$u_2(t) = M \frac{di_1}{dt} = 50(e^{-0,25t} - e^{-0,5t}) B.$$



## 3.2 Завдання для самостійної практичної роботи

### Завдання 1

Дан електричний ланцюг, в якому відбувається комутація (рис. 1-20). У ланцюзі діє постійна е.р.с.  $E$ . Параметри ланцюга наведено в табл. 3.1. Потрібно визначити закон зміни в часі струму після комутації в одній з гілок схеми або напруги на якому-небудь елементі або між заданими точками схеми.

Завдання слід вирішувати двома методами: класичним і операторним. На підставі отриманого аналітичного виразу потрібно побудувати графік зміни шуканої величини у функції часу в інтервалі від  $t = \infty$  до  $t = 3 / |p|$  хв, де  $|p|$  хв - Менше по модулю корінь характеристичного рівняння.

#### *Вказівки:*

1. Рівняння для зображень схеми рекомендується складати за методом вузлових потенціалів (з урахуванням наявних у схемі е. д. с. і «внутрішніх» е. д. с.).

2. З метою спрощення складання характеристичного рівняння та рівняння для зображення шуканої величини ліву частину ( $E, R_1, R_2, R_3$ ) рекомендується в розрахунковому сенсі замінити еквівалентним джерелом з деякою е. д. с. і деяким внутрішнім опором.

Таблица 3.1 – Варіанти контрольних завдань

| Вариант | Рис. | E, В | L, мГн | C, мкФ | R1  | R2 | R3   | R4   | Опр<br>е-<br>дели<br>ть |
|---------|------|------|--------|--------|-----|----|------|------|-------------------------|
|         |      |      |        |        | Om  |    |      |      |                         |
| 1       | 5    | 100  | 1      | 10     | 20  | 15 | 5    | 2    | i                       |
| 2       | 2    | 150  | 2      | 5      | 8   | 10 | 5    | 2    | i1                      |
| 3       | 19   | 100  | 1      | 10     | 2   | 2  |      |      | i1                      |
| 4       | 10   | 120  | 1      | 10     | 3   | 0  | 1    | 1    | i1                      |
| 5       | 3    | 100  | 5      | 50     | 2   | 8  | 6    |      | i1                      |
| 6       | 1    | 50   | 1      | 1500   | 2   | 13 | 1    | 4    | i1                      |
| 7       | 11   | 120  | 10     | 10     | 10  | 90 | 1000 | 1000 | i1                      |
| 8       | 18   | 200  | 1      | 20     | 4   | 4  | 2    |      | i3                      |
| 9       | 4    | 100  | 1      | 10     | 50  | 25 | 25   |      | uc                      |
| 10      | 17   | 300  | 5      | 4      | 10  | 20 | 10   | 20   | uc                      |
| 11      | 20   | 100  | 1      | 10     | 20  | 4  | 16   | 2    | ur2                     |
| 12      | 15   | 150  | 4      | 5      | 6   | 10 | 5    | 4    | uc                      |
| 13      | 6    | 30   | 1      | 2,5    | 10  | 10 | 10   |      | uc                      |
| 14      | 7    | 200  | 10     | 10     | 100 | 0  | 50   | 100  | i1                      |
| 15      | 12   | 100  | 1      | 10     | 10  | 10 | 4    |      | i1                      |
| 16      | 16   | 50   | 2      | 1670   | 1   | 2  | 1    | 5    | i1                      |
| 17      | 8    | 120  | 10     | 10     | 10  | 90 | 1000 | 1000 | i1                      |
| 18      | 13   | 120  | 1      | 10     | 8   | 8  | 8    | 4    | i1                      |
| 19      | 9    | 200  | 1      | 10     | 10  | 20 | 50   | 20   | i1                      |
| 20      | 14   | 50   | 1      | 100    | 2   | 8  | 10   | 10   | i1                      |
| 21      | 5    | 100  | 1      | 10     | 20  | 20 | 0    | 2    | ul                      |
| 22      | 2    | 150  | 2      | 5      | 5   | 10 | 5    | 5    | i2                      |
| 23      | 19   | 100  | 1      | 10     | 1   | 3  |      |      | i3                      |
| 24      | 10   | 120  | 1      | 10     | 1   | 2  | 1    | 1    | i2                      |
| 25      | 3    | 100  | 5      | 50     | 3   | 8  | 5    |      | uc                      |
| 26      | 1    | 50   | 1      | 1500   | 2   | 13 | 2    | 3    | i                       |
| 27      | 11   | 120  | 10     | 10     | 20  | 80 | 1000 | 1000 | i3                      |
| 28      | 18   | 200  | 1      | 20     | 6   | 3  | 2    |      | i1                      |
| 29      | 4    | 100  | 1      | 10     | 50  | 20 | 30   |      | uL                      |
| 30      | 17   | 300  | 5      | 4      | 15  | 20 | 5    | 20   | i2                      |
| 31      | 20   | 100  | 1      | 10     | 20  | 17 | 3    | 2    | i1                      |
| 32      | 15   | 150  | 4      | 5      | 9   | 10 | 5    | 1    | uL                      |
| 33      | 6    | 30   | 1      | 2,5    | 5   | 10 | 15   |      | i3                      |
| 34      | 7    | 200  | 10     | 10     | 50  | 50 | 50   | 100  | uR3                     |
| 35      | 12   | 100  | 1      | 10     | 5   | 15 | 4    |      | uL                      |
| 36      | 16   | 50   | 2      | 1670   | 1   | 2  | 2    | 4    | i2                      |
| 37      | 8    | 120  | 10     | 10     | 20  | 80 | 1000 | 1000 | i2                      |
| 38      | 13   | 120  | 1      | 10     | 12  | 6  | 8    | 4    | i3                      |
| 39      | 9    | 200  | 1      | 10     | 10  | 10 | 50   | 30   | i2                      |

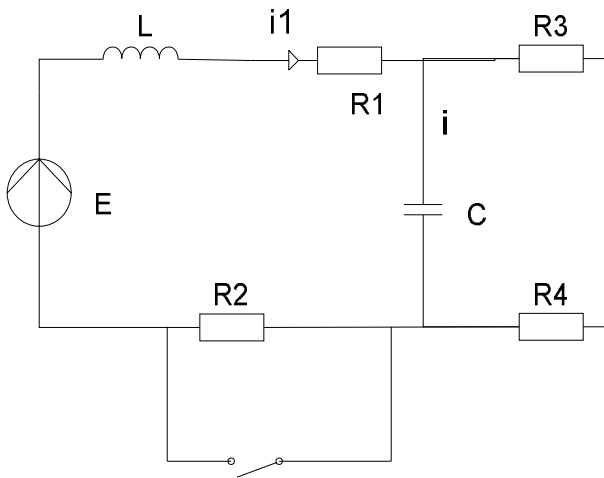


Рис. 1

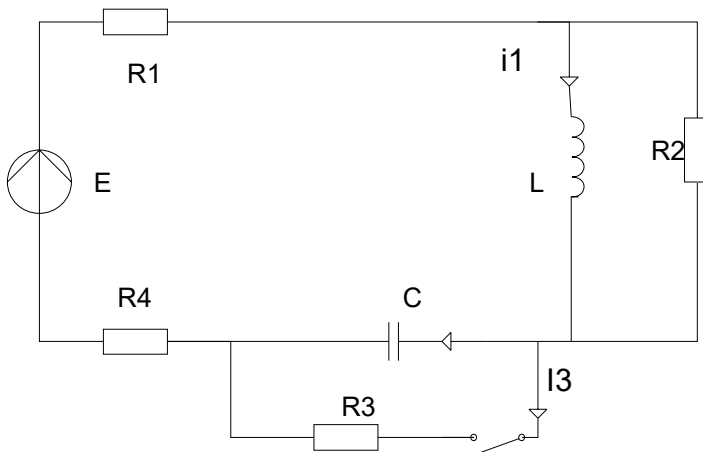


Рис. 2

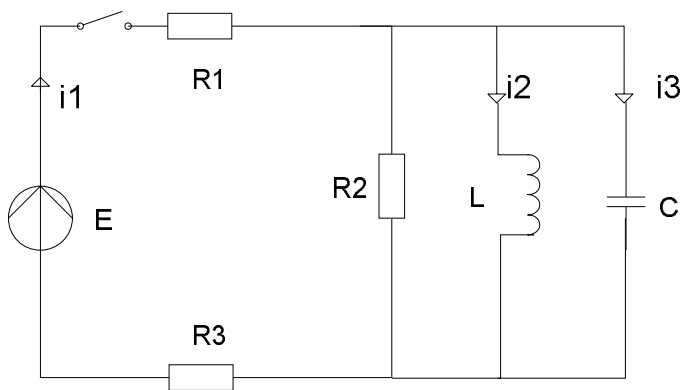


Рис. 3

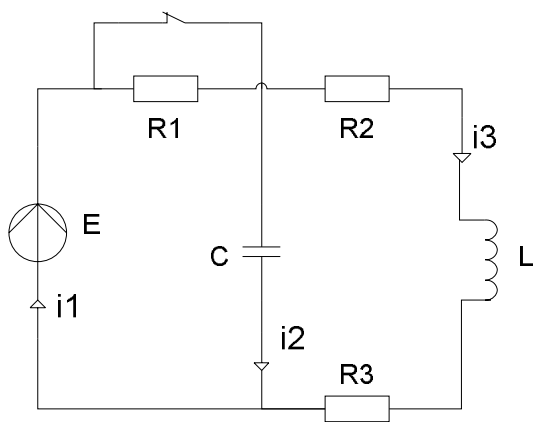


Рис. 4

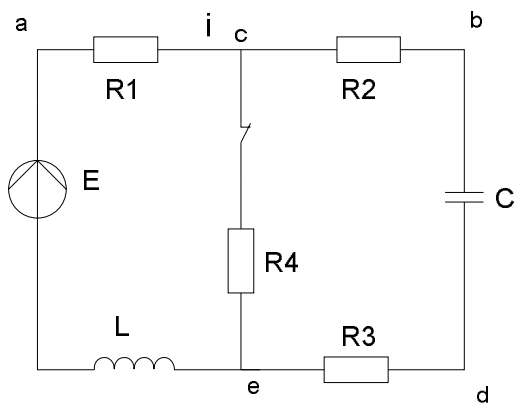


Рис. 5

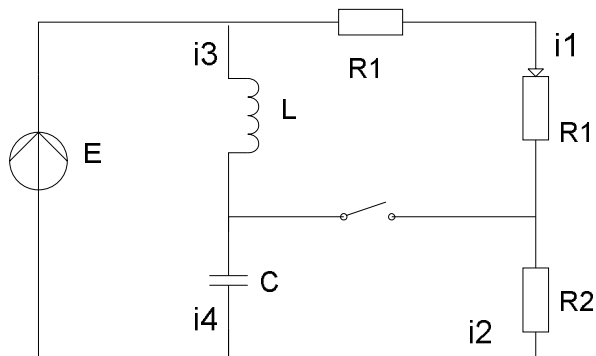


Рис. 6

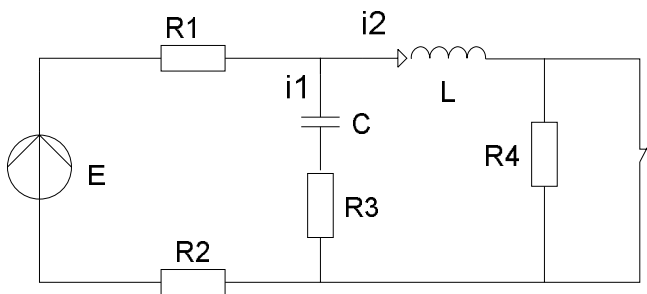


Рис. 7

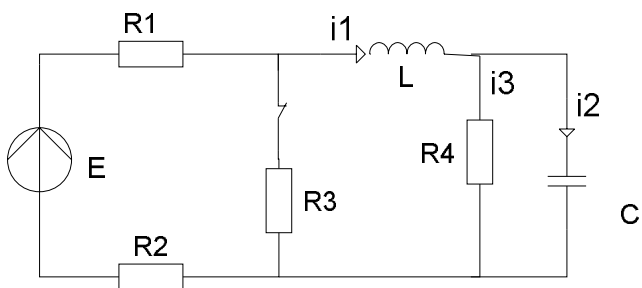


Рис. 8

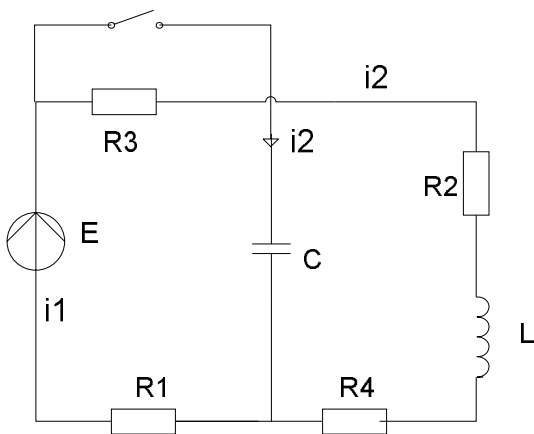


Рис. 9

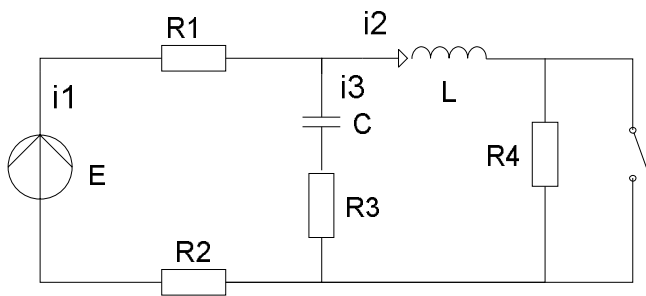


Рис. 10

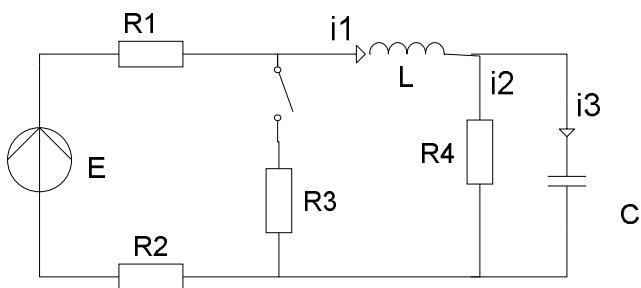


Рис. 11

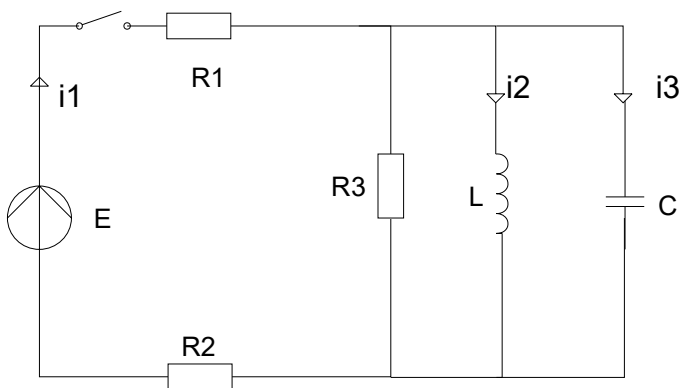


Рис. 12

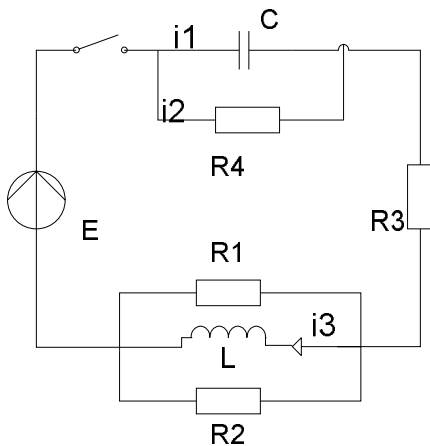


Рис. 13

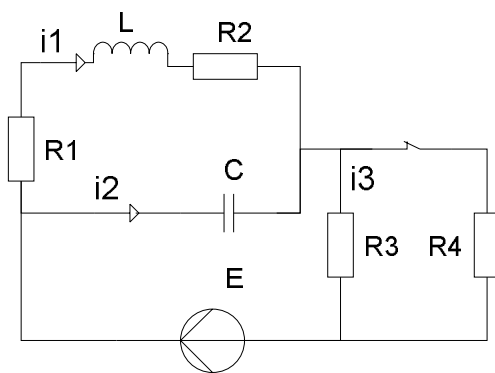


Рис. 14



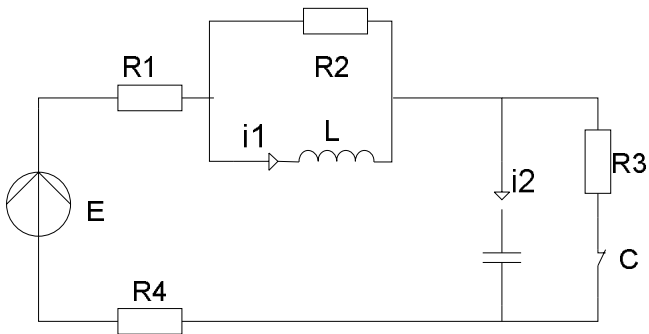


Рис. 15

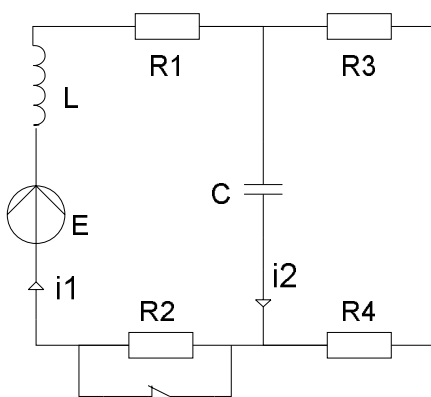


Рис. 16

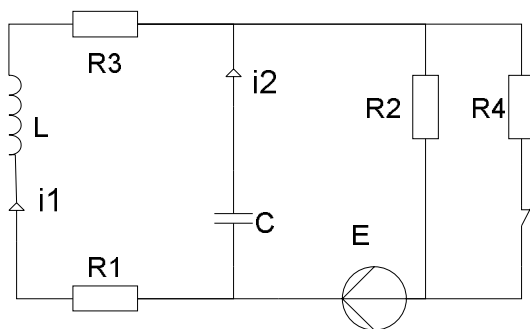


Рис. 17

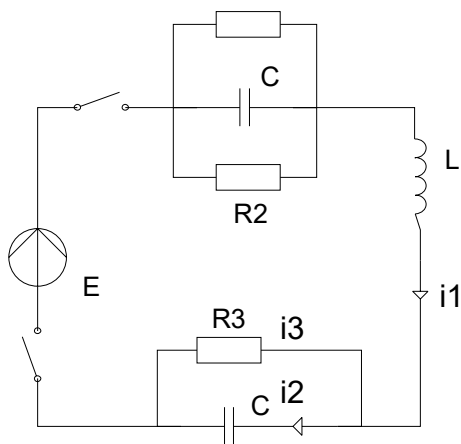


Рис. 18

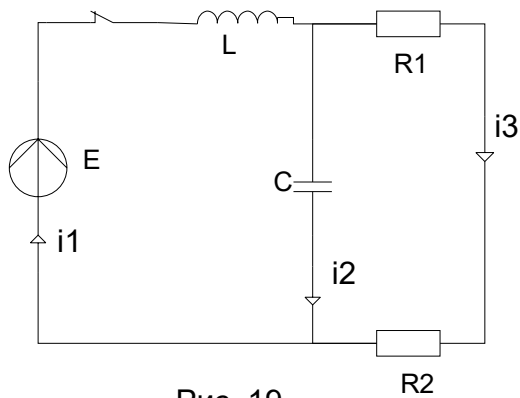


Рис. 19

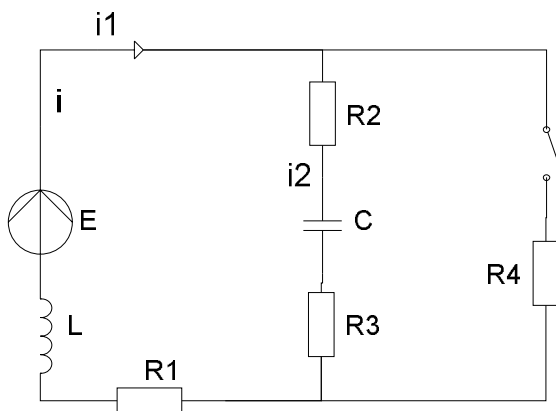


Рис. 20

## РЕКОМЕНДОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА

### Базові

1. Joseph D. Bronzino, Donald R. Peterson. Biomedical Engineering Fundamentals (2014), 1180 pages, CRC Press
2. Lizhe Tan, Jean Jiang. Digital Signal Processing: Fundamentals and Applications, Edition 3 (2019), 920 pages, Academic Press
3. Ervin Sejdic, Tiago H. Falk. Signal Processing and Machine Learning for Biomedical Big Data (2018), 606 pages, CRC Press
4. Rangaraj M. Rangayyan. Biomedical Signal Analysis: Edition 2 (2015), 720 pages, John Wiley & Sons
5. Kolekar Maheshkumar H., Kumar Vinod. Biomedical Signal and Image Processing in Patient Care, 312 pages, IGI Global

### Допоміжні

6. Основи теорії кіл та сигналів [Електронний ресурс] : конспект лекцій по курсу «Основи теорії кіл та сигналів» для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія» денної, заочної та прискореної форм навчання / уклад. Л. О. Добровольська. – Маріуполь : ПДТУ, 2019. – 117 с. – Режим доступу:
7. Основи теорії кіл та сигналів [Електронний ресурс] : методичні вказівки до лабораторних робіт по курсу «Основи теорії кіл та сигналів» для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія» денної, заочної та прискореної форм навчання / уклад. Л. О. Добровольська. – Маріуполь : ПДТУ, 2019. – 104 с. – Режим доступу:
8. Основи теорії кіл та сигналів [Електронний ресурс] : методичні вказівки з самостійного вивчення курсу «Основи теорії кіл та сигналів» для студентів спеціальності 163 «Біомедицинська інженерія» денної та заочної форм навчання / уклад. Л. О. Добровольська. – Маріуполь : ПДТУ, 2019. – 39 с. – Режим доступу:

9. Л.О.Афанасьєва, П.Г.Жуматій, О.В. Мандель, О.М. Мацко, А.В. Садлій Основи біологічної і медичної фізики, інформатики й апаратури. Навчальний посібник – за ред.. Годлевського Л.С. – Одеса, 2009. – 258 с.

10. Остроухов В.Д., Карпинский М.Ю. Медицинская аппаратура для функциональной диагностики и ортопедии: Учебное пособие по курсу «Теория, расчет и проектирование медаппаратуры». – Харьков: «Крокус», 2007. – 204 с.

11. Жук М.І., Семенець В.В. Методи і алгоритми обробки та аналізу медико-біологічних сигналів: Навч.посібник/ За загальною редакцією проф. А.І. Биха – Харків: ХНУРЕ, 2006. – 264 с.

### Інформаційні ресурси

1. **Kaggle**: Platform for sharing data, participating in challenges, and organising “in class” competitions:  
<https://www.kaggle.com/c/bioart>
2. **Octave**: Similar to Matlab, but open source  
<https://www.gnu.org/software/octave/>
3. **R**: Specific for statistics  
<https://www.r-project.org/>
4. **Python**: Specific tools for machine learning (e.g. Scikit-learn)  
<https://scikit-learn.org/stable/>
5. **Knime**: GUI → No need to program  
<https://www.knime.com/>
6. **UCI Machine Learning Repository** (University of California, Irvine) → <http://archive.ics.uci.edu/ml/index.php>

*This project has been funded with support from the European Commission. This publication / communication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained there in.*