

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет



РОБОЧА ПРОГРАМА ТА
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до самостійної, контрольної та індивідуальної роботи з
дисципліни
"Теорія електричних кіл та сигналів"

для студентів спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми
«Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні
технології мікросистемної радіоелектронної техніки»)
усіх форм навчання

Робоча програма та методичні вказівки до самостійної, контрольної та індивідуальної роботи з дисципліни "Теорія електричних кіл та сигналів" для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Огренич Є.В., Поспеева І.Є. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 38 с.

Укладачі : Огренич Євген Вікторович, канд. техн. наук, ст. викл.
 Поспеева Ірина Євгенівна, ст.викладач,

Рецензент: Фарафонов Олексій Юрійович, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск: Шило Галина Миколаївна, д.т.н., доцент,
зав. каф. ІТЕЗ

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 6 від 01.02.19 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФРЕТ
протокол № 7 від 21.03.19 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	6
1.1 Мета вивчення дисципліни.....	6
1.2 Задачі вивчення дисципліни.....	6
1.3 Рекомендації з вивчення дисципліни	6
2 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТА ПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	8
2.1 Програма навчальної дисципліни	8
2.2 Питання для самостійної роботи.....	10
2.2.1 Питання до першого та другого змістовних модулів.....	10
2.2.2 Питання до третього та четвертого змістовних модулів	13
3 ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ ТА ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ.....	16
4 ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. АНАЛІЗ РОЗГАЛУЖЕНИХ КІЛ ЗМІННОГО СТРУМУ	17
4.1 Завдання до роботи	17
4.2 Приклад розрахунку.....	19
4.2.1 Вихідні дані для розрахунку.....	19
4.2.2 Визначення опорів реактивних елементів.....	20
4.2.3 Дії з комплексними числами	20
4.2.4 Розрахунок кола без взаємної індукції	21
4.2.5 Розрахунок кола з взаємною індукцією.....	22
4.2.6 Розрахунок параметрів чотириполюсника	23
5 ПРАКТИЧНА РОБОТА 5. АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ.....	25
5.1 Завдання до роботи	25
5.2 Приклад розрахунку.....	27
5.2.1 Аналіз перехідного процесу при роботі кола на постійному струмі	27
5.2.2 Аналіз перехідного процесу при роботі кола на змінному струмі...32	
ЛІТЕРАТУРА	37
Додаток А. Теми рефератів для студентів заочної форми навчання	38

ВСТУП

Сучасна радіоелектроніка є найважливішим інструментом науково-технічного прогресу та розвивається дуже швидкими темпами. Радіоелектронні засоби (РЕЗ) настільки ускладнилися, що досягнути їх високої ефективності та якості можна тільки за умов найвищої культури виробництва, на основі найновіших технологій, повної автоматизації та комп'ютеризації виробництва та проектування.

Задачею навчального курсу "Теорія електричних кіл та сигналів" є сформувати у студентів такий рівень фізичних, системно-теоретичних та фактичних знань, які б забезпечили можливість розуміти та аналізувати процеси, що відбуваються у радіоелектронних колах різного призначення, вміти враховувати їх зв'язки з конструкцією та технологією.

Після вивчення дисципліни "Теорія електричних кіл та сигналів" студент повинен отримати:

загальні компетентності:

- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- здатність працювати як автономно, так і в команді;
- здатність оцінювати та забезпечувати якість робіт;
- здатність до аналізу та синтезу;
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;
- вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми;
- здатність приймати обґрунтовані рішення;
- вільне володіння українською мовою.

фахові компетентності:

- навички самостійної роботи на комп'ютері та в комп'ютерних мережах, вміння здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем та процесів з використанням прикладних пакетів комп'ютерних програм;
- готовність до вивчення науково-технічної інформації, вміння збирати та аналізувати інформацію для формування вихідних даних для аналізу і розробки функціональних та принципових схем РЕЗ;

- вміння формувати вимоги до електричних схем радіоелектронних пристроїв і їх елементів, виходячи з їх функціонального призначення, а також проводити розрахунки основних їх параметрів;
- здатність пов'язувати параметри і характеристики радіоелектронних пристроїв з їх конструкцією.

Вивчення дисципліни базується на знаннях таких дисциплін, що передбачені навчальним планом підготовки бакалаврів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» освітніх програм «Радіоелектронні апарати та засоби», «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»: "Фізика", "Вища математика", "Електро- та радіоматеріали".

Дисципліна є основою для вивчення дисципліни "Основи схемотехніки", "Технічна електродинаміка", "Аналогова схемотехніка", "Елементна база електронних апаратів", "Технологія та конструкції мікросхем та мікрозбірок".

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1.1 Мета вивчення дисципліни

Метою дисципліни є вивчення основ теорії фізичних процесів у лінійних та нелінійних радіоелектронних колах з зосередженими та розподіленими параметрами; принципів побудови і особливостей роботи радіоелектронних приладів, основних принципів функціонування радіопередавальних та радіоприймальних пристроїв та їх складових.

1.2 Задачі вивчення дисципліни

Під час вивчення дисципліни перед студентом постають наступні задачі:

- вивчення основ теорії лінійних та нелінійних кіл і її застосування при аналізі, синтезі та проектуванні РЕЗ;
- вивчення принципів побудови, основ функціонування і розробки радіоелектронних приладів;
- придбання практичних навичок, умінь дослідження і розробки функціональних, принципових схем РЕЗ на основі сучасної елементної бази і програмного забезпечення аналізу і проектування електронних схем і пристроїв;
- практичне засвоєння методів розрахунків електронних кіл та елементів пристроїв, побудова для них адекватних математичних моделей.

1.3 Рекомендації з вивчення дисципліни

Навчальна робота над дисципліною складається з наступних компонентів: прослуховування лекцій; виконання та захист лабораторних робіт; виконання індивідуальних завдань, виконання курсової роботи, самостійне вивчення матеріалу за літературою, що рекомендується.

Вивчення курсу завершується складанням заліку у третьому семестрі та іспиту у четвертому за умови успішного виконання усіх складових курсу.

Самостійне вивчення матеріалу слід проводити згідно з програмою навчальної дисципліни та питаннями до самостійної роботи, що наведені у розділі 2, дотримуючись наступного порядку:

- ознайомлення з темою, що підлягає вивченню за програмою, та добір літератури зі списку, що рекомендується;
- вивчення матеріалу за рекомендованою літературою з конспектуванням основних положень теми;
- виконання контрольного завдання, яке відноситься до теми, що вивчається.

Студенти денної форми навчання виконують індивідуальні завдання.

Студенти заочної форми навчання виконують контрольні роботи.

2 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТА ПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

2.1 Програма навчальної дисципліни

Програмою даної дисципліни передбачається вивчення наступних тем.

Змістовий модуль 1. Основи теорії кіл

Тема 1. Кола постійного струму

- Основні поняття і визначення теорії кіл. Розрахунок кіл постійного струму
- Закон Ома і закони Кірхгофа для кіл постійного струму
- Розрахунок кіл засобом контурних струмів та вузлових потенціалів

Тема 2. Кола змінного струму

- Комплексні рівняння опору і провідності компонентів кіл змінного струму
- Закон Ома і закони Кірхгофа для комплексних амплітуд
- Розрахунки кіл змінного струму комплексним методом та методом провідностей

Тема 3. Кола з взаємною індукцією

- Поняття взаємної індукції. Згодне і зустрічне з'єднання котушок індуктивності
- Рівняння кіл з індуктивно зв'язаними елементами

Тема 4. Частотні характеристики і функції кіл

- Частотні характеристики простих кіл
- Резонансні кола. Послідовний та паралельний резонансні контури
- Зв'язані контури

Змістовий модуль 2. Аналіз лінійних радіоелектронних пристроїв

Тема 5. Чотириполосники

- Рівняння передачі чотириполосників
- Схеми заміщення Т- та П- чотириполосників. Симетричні чотириполосники
- Робочі параметри чотириполосників

Тема 6. Зворотні зв'язки

- Види зворотних зв'язків (ЗЗ)
- Вплив ЗЗ на вхідний і вихідний опри та передатні функції

Тема 7. Фільтри

- Призначення, класифікація, параметри фільтрів
- Синтез фільтрів
- Особливості схемотехнічних та конструктивних рішень різних фільтрів

Тема 8. Кола з розподіленими параметрами

- Довгі лінії. Їх характеристики, застосування
- Хвильове рівняння довгої лінії
- Режими роботи довгих ліній

Змістовий модуль 3. Аналіз нелінійних радіоелектронних пристроїв**Тема 9. Перехідні процеси**

- Диференціальне рівняння кіл.
- Процес, що встановився, і перехідний процес
- Рішення диференціальних рівнянь кіл за допомогою перетворень Лапласа

Тема 10. Нелінійні кола

- Загальна характеристика нелінійних кіл
- Аналіз нелінійних кіл під час впливу постійного струму
- Гармонійні впливи, вплив кількох гармонійних коливань

Змістовий модуль 4. Принципи функціонування та побудова радіоелектронних пристроїв**Тема 11. Підсилювачі слабких сигналів**

- Класифікація підсилювачів, основні параметри
- Амплітудно-частотні (АЧХ) та фазово-частотні (ФЧХ) характеристики

- Режими роботи підсилювача під постійним струмом
- Режими роботи підсилювача під змінним струмом

Тема 12. Підсилювачі потужності

- Особливості потужних каскадів підсилювачів потужності (ПП)
- Схеми побудови ПП
- Аперіодичні ПП

- Резонансні ПП

Тема 13. Генератори гармонійних коливань

- Основні параметри, особливості застосування
- Зворотні зв'язки. Умови самозбудження та стаціонарності
- LC- та RC-генератори

Тема 14. Перетворювачі спектру

- Помножувачі частоти
- Модулятори. Амплітудна, частотна та фазова модуляції
- Детектори. Класифікація. Параметри, схеми побудови

Тема 15. Радіоприймальні та радіопередавальні пристрої

- Радіоприймальні пристрої. Приймач прямого підсилення
- Супергетеродинний приймач
- Радіопередавальні пристрої

Тема 16. Прилади живлення

- Випрямлячі. Класифікація, основні параметри. Схеми випрямлячів
- Стабілізатори постійної напруги.

2.2 Питання для самостійної роботи

2.2.1 Питання до першого та другого змістовних модулів

- 1 Основні поняття і визначення теорії кіл.
- 2 Яка властивість кола викликається активним опором, ємністю, індуктивністю?
- 3 Лінійні і нелінійні кола та їх компоненти.
- 4 Закон Ома і закони Кірхгофа для кіл постійного струму.
- 5 Компоненти і топологічні рівняння
- 6 Основна система рівнянь кола.
- 7 Матричні форми запису рівнянь.
- 8 Метод контурних струмів.
- 9 Метод вузлових потенціалів.
- 10 Еквівалентні перетворення кіл. Перетворення з'єднань "зірка"- "трикутник" та " трикутник"- "зірка".

11 Методи аналізу складних електричних кіл. Метод накладання.

12 Методи аналізу складних електричних кіл. Метод еквівалентного генератора.

13 Кола змінного струму. Співвідношення, що пов'язують миттєве значення струму та напруги на резисторі, котушці індуктивності, конденсаторі.

14 Поняття про експоненціальний струм та провідність.

15 Комплексні рівняння опору і провідності для резистора, котушки індуктивності, конденсатора.

16 Закон Ома і закони Кірхгофа для комплексних амплітуд.

17 Засоби розрахунку кіл експоненціального струму: комплексний, метод провідності.

18 Розрахунок кіл змінного струму при неперіодичних впливах. Перетворення Лапласа.

19 Взаємна індукція. Згодне та зустрічне з'єднання котушок індуктивності. Коефіцієнт взаємоіндукції.

20 Рівняння кіл з індуктивно зв'язаними котушками.

21 Вплив розміщення елементів та параметри кола.

22 Трансформатори. Еквівалентні схеми трансформаторів.

23 Коефіцієнт трансформації.

24 Рівняння трансформаторів.

25 Частотні характеристики простих кіл.

26 Комплексний коефіцієнт передачі.

27 Резонанс напруги. Послідовний резонансний контур.

28 Резонанс струму. Паралельний резонансний контур.

29 Параметри коливальних контурів: добротність, хвильовий опір, резонансна частота.

30 Частотні залежності модулів опорів послідовного та паралельного контурів.

31 Зв'язані контури.

32 Чебишевська частотна залежність коефіцієнта передачі.

33 Баттервортовська частотна залежність коефіцієнта передачі.

- 34 Види чотириполосників. Рівняння передачі чотириполосників.
- 35 Співвідношення між системами параметрів передачі чотириполосників.
- 36 Схеми заміщення Т- та П-чотириполосників. Симетричні чотириполосники.
- 37 Робочі параметри чотириполосників.
- 38 Правило формування матриць параметрів з'єднань чотириполосників: послідовного, паралельного, ланцюгового, змішаного.
- 39 Види зворотних зв'язків (33). Роль негативного 33.
- 40 Вплив 33 на вхідний та вихідний опори активного чотириполосника.
- 41 Вплив 33 на передатні функції електронних пристроїв.
- 42 Фільтри: призначення, класифікація, параметри.
- 43 Смуга пропускання та не пропускання фільтрів.
- 44 Характеристики затухання фільтрів різних типів.
- 45 Схеми електричні фільтрів. Синтез фільтрів.
- 46 Характеристика затухання фільтрів k-типу, m-типу, k+m - типу.
- 47 Фільтри Баттерфорда, Чебишева, Золотарьова.
- 48 Фільтри п'єзоелектричні, електромеханічні.
- 49 Активні RC-фільтри.
- 50 Кола з зосередженими та розподіленими параметрами
- 51 Довгі лінії та їх застосування.
- 52 Хвильове рівняння довгої лінії.
- 53 Основні характеристики довгих ліній. Вхідний опір ліній без втрат.
- 54 Конструктивні особливості погонних параметрів довгих ліній.
- 55 Хвильовий опір та стала розповсюдження довгої лінії.
- 56 Умови незалежності хвильового опору довгої лінії від частоти.
- 57 Умови виникнення та відсутності відбиття у довгій лінії.

58 Режими роботи довгих ліній. Режим короткого замкнення (КЗ).

59 Режими роботи довгих ліній. Режим холостого ходу (ХХ).

60 Зв'язок між хвильовими параметрами довгої лінії у режимах КЗ та ХХ.

Під час самостійної підготовки слід користатися [4, стор. 12-18, 31-39, 84-91], [5, стор. 13-33, 37-54, 59-75, 81-89, 153-158, 161-171, 198-215, 277-293, 312-323], [6, стор. 17-27, 35-37, 71-83, 103-118, 120-132, 133-149, 195-207, 395-399].

2.2.2 Питання до третього та четвертого змістовних модулів

- 1 Процес, що встановився, та перехідні процеси.
- 2 Диференціальне рівняння кіл.
- 3 Постійна часу кола.
- 4 Зв'язок між операторним та комплексним опором кола.
- 5 Параметри перехідних процесів.
- 6 Лінійні та нелінійні вольт-амперні характеристики (ВАХ) пристроїв.
- 7 Визначення опору нелінійних елементів за допомогою ВАХ.
- 8 Визначення струму у нелінійних елементах при гармонійному впливі. Апроксимація нелінійних елементів.
- 9 Розрахунки послідовно з'єднаних нелінійних елементів.
- 10 Розрахунки паралельно з'єднаних нелінійних елементів.
- 11 Визначення робочих точок у колі з лінійними та нелінійними елементами.
- 12 Класифікація підсилювачів.
- 13 Основні параметри та характеристики підсилювачів. Амплітудно-частотна (АЧХ) та фазово-частотна (ФЧХ) характеристики.

14 Режим роботи підсилювача за постійним струмом. Засоби його забезпечення. Стабілізація.

15 Особливості потужних каскадів підсилювачів.

16 Режими роботи підсилювача: клас А, клас В, клас АВ. Засоби їх забезпечення.

17 Двотактні схеми підсилювачів. Їх переваги перед однотактними.

18 Режим роботи підсилювача: клас С. Схеми побудови потужних підсилювачів (ПП).

19 Переваги та недоліки трансформаторного зв'язку підсилювального елемента з навантаженням.

20 Аперіодичні ПП - схеми, аналіз, області застосування.

21 Резонансні ПП - схеми, аналіз, області застосування.

22 Генератори гармонійних коливань: основні параметри, області застосування.

23 Зворотні зв'язки. Умови самозбудження та стаціонарності.

24 Погрішність та нестабільність частоти генератора.

25 LC-генератори. Умови збудження. Схеми побудови.

26 RC-генератори. Умови збудження. Схеми побудови.

27 Кварцеві генератори, їх переваги перед LC- та RC-генераторами.

28 Кола зворотного зв'язку. Засоби перебудови частоти.

29 Сутність перетворення спектрів сигналів. Чим відрізняється модуляція від перетворення частоти?

30 Помножувачі частоти. Схеми побудови. Області застосування.

31 Перетворювачі частоти. Схеми побудови. Області застосування.

32 Модулятори. Схеми побудови. Області застосування.

33 Амплітудна модуляція (АМ). Спектр АМ-сигналу.

34 Залежність ширини спектру АМ-сигналу від амплітуд складових модулюючого сигналу.

35 Частотна (ЧМ) та фазова (ФМ) модуляція.

36 Спектр сигналів з кутовою модуляцією. Області застосування.

37 Детектори. Призначення, класифікація, області застосування.

38 Амплітудний детектор - основні параметри.

39 Частотний детектор - основні параметри.

40 Структурні схеми радіоприймальних приладів.

41 Приймач прямого підсилення - структурна схема, принцип роботи. Переваги та недоліки.

42 Супергетеродинний приймач - структурна схема, принцип роботи. Переваги та недоліки.

43 Радіопередавальні пристрої. Класифікація, принципи роботи.

44 Основні конструктивні признаки радіопередавачів.

45 Прилади живлення (ПЖ) - призначення, основні параметри.

46 Коефіцієнт потужності та вплив на нього елементів ПЖ.

47 Випрямлячі - схеми, принципи роботи.

48 Випрямляч без фільтру.

49 Випрямляч з ємнісним навантаженням.

50 Стабілізатори постійної напруги. Схеми побудови. Область застосування.

Під час самостійної підготовки слід користатися [4, стор. 102-108, 121-135, 184-206], [5, стор. 95-138, 173-195, 222-225, 236-247, 258-275,], [6, стор. 150-165, 236-252, 255-264, 267-278, 281-307, 392-407, 411-416, 418-428].

3 ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ ТА ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ

Студенти денної форми навчання в процесі самостійного вивчення дисципліни виконують індивідуальні роботи.

До складу індивідуальних робіт входить виконання практичних робіт 1 та 2.

Практична робота № 1. Аналіз розгалужених кіл змінного струму.

Практична робота № 2. Аналіз перехідних процесів у електричних колах.

Мета робіт: засвоїти методики розрахунків розгалужених кіл постійного та змінного струму та процесів, що відбуваються у них при впливі сигналів різних видів.

Студенти заочної форми навчання в процесі самостійного вивчення дисципліни виконують контрольні роботи.

До складу контрольних робіт входить виконання практичної роботи 1 та реферат на тему, задану викладачем. Теми рефератів наведені у додатку А.

При виконанні індивідуальної та контрольної роботи рекомендується користуватися вказаною літературою [4], [5], [6] та даними методичними вказівками. Крім того, допускається користуватися будь-якою доступною навчальною і технічною літературою.

4 ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. АНАЛІЗ РОЗГАЛУЖЕНИХ КІЛ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета роботи: засвоїти методики розрахунків розгалужених кіл змінного струму.

4.1 Завдання до роботи

До електричного кола, схема якого наведена на рис. 4.1, прикладена напруга $U = U_m \sin \omega t$.

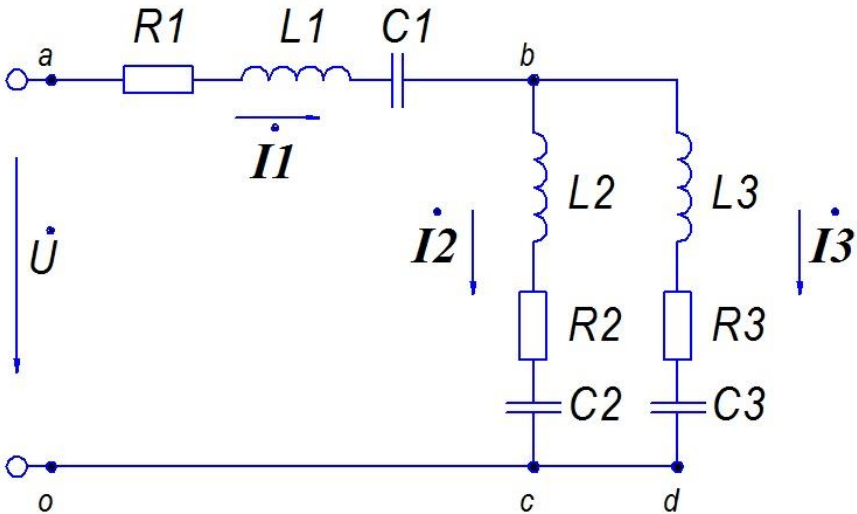


Рисунок 4.1 - Схема для розрахунків

4.1.1 Для схеми, що наведена на рис. 4.1, зробити наступні розрахунки з урахуванням замкнених точок **c** і **d**.

4.1.1.1 Визначити струми та напруги в усіх гілках кола **без урахування взаємної індукції котушок**.

4.1.1.2 Визначити активну та реактивну потужності кола.

4.1.1.3 Визначити струми та напруги в усіх гілках кола з *урахуванням взаємної індукції котушок*.

4.1.1.4 Визначити активну потужність кола та порівняти її з активною потужністю кола без урахування взаємної індукції котушок. Зробити висновки.

4.1.2 Розімкнути точки **c** і **d** та, розглядаючи затискачі **a**, **o** як вхідні, а затискачі **c**, **d** як вихідні, для отриманого чотирьохполюсника визначити Z- або Y-параметри згідно з варіантом.

Вихідні дані для розрахунків наведені у таблицях 4.1 та 4.2.

Варіант являю собою двозначне число, яке задається викладачем.

Примітка. Схема для розрахунку конструюється згідно з варіантом. Якщо номінал елемента дорівнює нулю, його слід вилучити зі схеми.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для розрахунків, обираються за передостанньою цифрою варіанту

Передостання цифра	U_m , В	f , Гц	З'єднання катушок	М, мГн	Параметр чотири- полюсника
0	50	50	згодне	50	Z
1	80	60	зустрічне	60	Y
2	100	100	згодне	40	Z
3	60	60	зустрічне	30	Y
4	120	50	згодне	45	Z
5	80	60	зустрічне	50	Y
6	75	100	згодне	25	Z
7	110	50	зустрічне	40	Y
8	180	100	згодне	60	Z
9	220	50	зустрічне	80	Y

Таблиця 4.2 - Вихідні дані для розрахунків, обираються за останньою цифрою варіанту

Ост. цифра	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	L1, мГн	L2, мГн	L3, мГн	C1, мкФ	C2, мкФ	C3, мкФ
0	0	12	18	70	0	55	140	100	0
1	10	0	34	65	50	0	0	120	80
2	28	16	0	0	20	35	50	0	200
3	0	15	40	40	0	60	45	125	0
4	25	0	30	55	40	0	0	65	75
5	50	18	0	0	25	75	100	0	140
6	0	22	38	28	0	65	80	130	0
7	14	0	6	34	18	0	0	90	125
8	35	45	0	0	24	36	135	0	100
9	0	20	42	45	0	25	150	110	0

Методику розрахунків розглянуто у прикладі.

4.2 Приклад розрахунку

4.2.1 Вихідні дані для розрахунку

$$U_m = 80 \text{ В}$$

$$f = 50 \text{ Гц}$$

$$R_1 = 14 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 0$$

$$R_3 = 16 \text{ Ом}$$

$$L_1 = 120 \text{ мГн}$$

$$L_2 = 60 \text{ мГн}$$

$$L_3 = 22 \text{ мГн}$$

$$M = 40 \text{ мГн}$$

$$C_1 = 0$$

$$C_2 = 170 \text{ мкФ}$$

$$C_3 = 110 \text{ мкФ}$$

Котушки L1 та L2 з'єднані згідно

Визначити Z-параметри чотириполюсника

4.2.2 Визначення опорів реактивних елементів

$$X_L = \omega L = 2\pi f L;$$

$$X_M = \omega M = 2\pi f M;$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$X_{L1} = 6,28 \cdot 50 \cdot 0,120 = 37,70 \text{ Ом}$$

$$X_{L2} = 6,28 \cdot 50 \cdot 0,060 = 18,85 \text{ Ом}$$

$$X_{L3} = 6,28 \cdot 50 \cdot 0,022 = 6,91 \text{ Ом}$$

$$X_M = 6,28 \cdot 50 \cdot 0,040 = 12,57 \text{ Ом}$$

$$X_{C2} = \frac{1}{6,28 \cdot 50 \cdot 170 \cdot 10^{-6}} = 18,72 \text{ Ом}$$

$$X_{C3} = \frac{1}{6,28 \cdot 50 \cdot 110 \cdot 10^{-6}} = 28,94 \text{ Ом}$$

4.2.3 Дії з комплексними числами

Оскільки алгебраїчне додавання зручніше проводити у алгебраїчній формі комплексного числа, а множення та поділ - у показовій, то результати усіх розрахунків будемо записувати у обох формах.

Алгебраїчна форма комплексного числа: $Z = a + j b$

Показова форма комплексного числа: $Z = |Z|e^{j\varphi}$

Перехід від алгебраїчної форми до показової здійснюється за формулами:

$$|Z| = \sqrt{a^2 + b^2};$$

$$\varphi = \begin{cases} \arctg \frac{b}{a}, & a > 0 \\ \arctg \frac{b}{a} + \pi, & a < 0 \\ \frac{\pi}{2}, & a = 0, b > 0 \\ -\frac{\pi}{2}, & a = 0, b < 0 \end{cases}$$

Перехід від показової форми до алгебраїчної здійснюється за формулами: $a = |Z| \cdot \cos \varphi$; $b = |Z| \cdot \sin \varphi$

4.2.4 Розрахунок кола без взаємної індукції

4.2.4.1 Визначимо комплексні опори гілок, паралельного з'єднання та еквівалентний комплексний опір кола.

$$Z_i = R_i + j (X_{Li} - X_{Ci})$$

$$Z_1 = 14 + j (37,70 - 0) = 14 + j 37,70 = 40,21 e^{j69,6^\circ} \text{ Ом}$$

$$Z_2 = 0 + j (18,85 - 18,72) = j 0,13 = 0,13 e^{j90^\circ} \text{ Ом}$$

$$Z_3 = 16 + j (6,91 - 28,94) = 16 - j 22,03 = 27,22 e^{-j54^\circ} \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{пар}} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{3,4 e^{j36^\circ}}{27,1 e^{-j54^\circ}} = 0,13 e^{j89,8^\circ} = j 0,13 \text{ Ом}$$

$$Z_e = Z_1 + Z_{\text{пар}} = 14 + j 37,83 = 40,33 e^{j69,7^\circ} \text{ Ом}$$

4.2.4.2 Визначимо струми та напруги в усіх гілках кола за законом Ома.

$$I_1 = \frac{U}{Z_e} = \frac{80 e^{j0^\circ}}{40,33 e^{j69,7^\circ}} = 1,98 e^{-j69,7^\circ} = 0,69 - j 1,86 \text{ A}$$

$$U_1 = I_1 \cdot Z_1 = 79,77 e^{-j0,1^\circ} = 79,77 - j 0,09 \text{ В}$$

$$U_{\text{пар}} = I_1 \cdot Z_{\text{пар}} = 0,25 e^{j20,2^\circ} = 0,23 + j 0,09 \text{ В}$$

$$I_2 = \frac{U_{\text{пар}}}{Z_2} = \frac{0,25 e^{j20,2^\circ}}{0,13 e^{j90^\circ}} = 1,99 e^{-j69,8^\circ} = 0,69 - j 1,87 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_{\text{пар}}}{Z_3} = \frac{0,25 e^{j20,2^\circ}}{27,22 e^{-j54^\circ}} = 0,01 e^{j74,2^\circ} = 0,003 + j 0,009 \text{ A}$$

4.2.4.3 Визначимо активну, реактивну та повну потужність.

Повна потужність:

$$S = U \cdot \dot{I}_1$$

де: $\dot{I}_1$ - пов'язаний комплекс струму, $I_1 = 1,98 e^{j69,7^\circ} \text{ A}$

$$S = 158,68 e^{j69,7^\circ} = 55,08 + j 148,80 \text{ B A}$$

Активна потужність: $P = 55,08 \text{ Вт}$

Реактивна потужність: $Q = 148,80 \text{ вар}$

Повна потужність: $S = 158,68 \text{ В А}$

4.2.5 Розрахунок кола з взаємною індукцією

4.2.5.1 Складемо систему рівнянь за законами Кірхгофа з урахуванням взаємоіндукції згідно з'єднаних котушок L1 та L2 та визначимо струми у гілках кола.

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 \cdot Z_1 + I_2 \cdot Z_2 + I_1 \cdot j X_M + I_2 \cdot j X_M = U$$

$$I_1 \cdot Z_1 + I_3 \cdot Z_3 + I_2 \cdot j X_M = U$$

Визначивши з першого рівняння I_3 та підставивши його у друге та третє, отримаємо систему рівнянь з двома невідомими:

$$I_1 \cdot (Z_1 + j X_M) + I_2 \cdot (Z_2 + j X_M) = U$$

$$I_1 \cdot (Z_1 + j X_M) - I_2 \cdot (Z_3 - j X_M) = U$$

Підставивши числові значення та вирішуючи сумісно, отримаємо:

$$I_1 = 1,14 e^{-j 75,5^\circ} = 0,29 - j 1,11 \text{ A}$$

$$I_2 = 1,61 e^{-j 86,8^\circ} = 0,01 - j 1,60 \text{ A}$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 0,54 e^{j 68,3^\circ} = 0,20 + j 0,50 \text{ A}$$

4.2.5.2 Напруги у гілках та напруги взаємоіндукції визначимо за законом Ома.

$$U_1 = I_1 \cdot Z_1 = 45,97 e^{-j5,9^\circ} \text{ В}$$

$$U_2 = I_2 \cdot Z_2 = 0,20 e^{j3,2^\circ} \text{ В}$$

$$U_3 = I_3 \cdot Z_3 = 14,56 e^{j14,3^\circ} \text{ В}$$

$$U_{M12} = I_1 \cdot j X_M = 14,37 e^{j14,5^\circ} \text{ В}$$

$$U_{M21} = I_2 \cdot j X_M = 20,19 e^{j3,2^\circ} \text{ В}$$

4.2.5.3 Визначимо активну потужність.

$$P = U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi$$

$$\text{де: } \varphi = 0^\circ - 75,5^\circ = -75,5^\circ$$

$$P = 22,88 \text{ Вт}$$

Висновок. Як бачимо, активна потужність кола з взаємоіндукцією менша, ніж кола без взаємоіндукції. Це пояснюється тим, що при згідному з'єднанні котушок опір взаємоіндукції додається до індуктивного опору кола та загальна реактивна складова опору збільшується.

4.2.6 Розрахунок параметрів чотириполосника

Розглянемо чотириполосник, що наведений на рис. 4.2. Визначимо для нього Z-параметри.

Як відомо, Z-параметри визначаються за умови режимів холостого ходу на вході та виході чотириполосника.

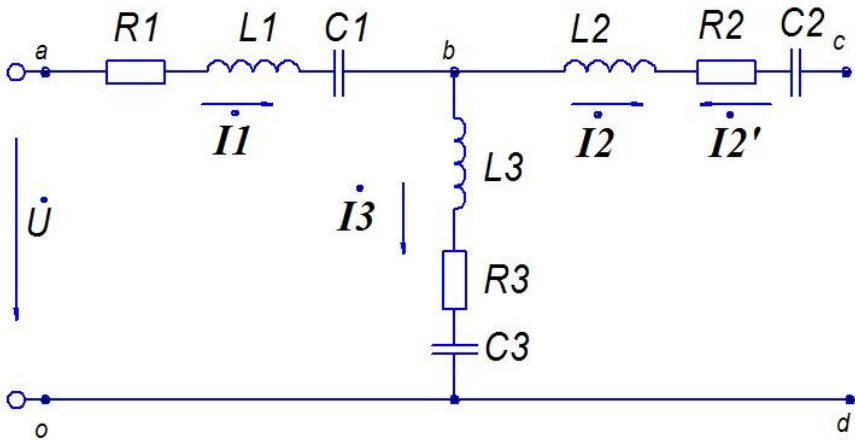


Рисунок 4.2 - Схема для розрахунків параметрів чотириполосника

$$Z_{11} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{I_2' = 0} = Z_1 + Z_3$$

$$Z_{21} = \left. \frac{U_2}{I_1} \right|_{I_2' = 0} = Z_3$$

$$Z_{12} = \left. \frac{U_1}{I_2'} \right|_{I_1 = 0} = Z_3$$

$$Z_{22} = \left. \frac{U_2}{I_2'} \right|_{I_1 = 0} = Z_2 + Z_3$$

Розрахуємо Z-параметри з урахуванням даних із підпункту 4.2.4.1.

$$Z_{11} = 14 + j 37,7 + 16 - j 22,03 = 30 + j 15,67 = 33,85 e^{j27,6^\circ} \text{ Ом}$$

$$Z_{21} = 16 - j 22,03 = 27,22 e^{-j54,6^\circ} \text{ Ом}$$

$$Z_{12} = 16 - j 22,03 = 27,22 e^{-j54,6^\circ} \text{ Ом}$$

$$Z_{22} = j 0,13 + 16 - j 22,03 = 16 - j 21,9 = 27,12 e^{-j53,8^\circ} \text{ Ом}$$

5 ПРАКТИЧНА РОБОТА 5. АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ

Мета роботи: засвоїти методики розрахунків перехідних процесів у електричних колах постійного та змінного струму.

5.1 Завдання до роботи

5.1.1 Провести аналіз перехідного процесу при роботі кола на постійному струмі.

В схемі по рис. 5.1 вмикання вимикача S відбувається, коли значення напруги постійного джерела дорівнює E .

Визначити:

- залежність постійного струму від часу;
- залежність напруги на заданому елементі від часу.

Побудувати графіки залежності струму та напруги від часу.

5.1.2 Провести аналіз перехідного процесу при роботі кола на змінному струмі.

В схемі по рис. 5.1 вмикання вимикача S відбувається, коли миттєве значення напруги джерела синусоїдальної е.р.с. дорівнює U_0 .

Визначити залежність перехідного струму від часу.

Побудувати графіки залежності вимушеної і вільної складової перехідного струму від часу та за їх допомогою визначити амплітудне значення цього струму.

Вихідні дані для розрахунків наведені у таблицях 5.1 та 5.2.

Варіант являю собою двозначне число, яке задається викладачем.

Примітка. Схема для розрахунку конструюється згідно з варіантом. Якщо номінал елемента дорівнює нулю, його слід вилучити зі схеми.

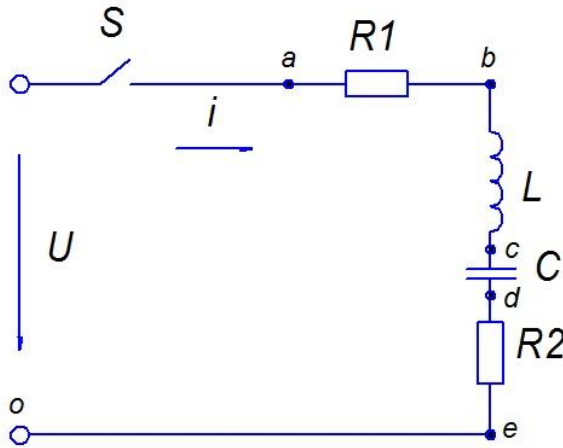


Рисунок 5.1 - Схема для розрахунків перехідних процесів

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунків, обираються за передостанньою цифрою варіанту

Передостання цифра	E , В	L , мГн	C , мкФ	Елемент
0	110	200	0	$R1$
1	220	0	250	C
2	150	150	0	L
3	75	0	120	$R2$
4	120	400	0	L
5	80	0	360	C
6	95	120	0	$R1$
7	130	0	400	C
8	200	325	0	L
9	50	0	500	$R2$

Таблиця 5.2 - Вихідні дані для розрахунків, обираються за останньою цифрою варіанту

Ост. цифра	U_m , В	f , Гц	U_0	$R1$, Ом	$R2$, Ом
0	220	50	U_m	25	15
1	110	100	$-U_m$	40	50
2	400	50	U_m	12	28
3	50	100	$-U_m$	20	45
4	60	50	U_m	60	35
5	200	100	$-U_m$	75	24
6	180	50	U_m	16	64
7	75	100	$-U_m$	55	15
8	130	50	U_m	80	62
9	100	100	$-U_m$	45	16

5.2 Приклад розрахунку

5.2.1 Аналіз перехідного процесу при роботі кола на постійному струмі

5.2.1.1 В схемі по рис. 5.2 вмикання вимикача S відбувається, коли значення напруги постійного джерела дорівнює E .

Визначити:

- залежність постійного струму від часу;
 - залежність напруги на заданому елементі від часу.
- Побудувати графіки залежності струму та напруги від часу.

Вихідні дані для розрахунку:

$$E = 110 \text{ В}$$

$$R1 = 50 \text{ Ом}$$

$$R2 = 20 \text{ Ом}$$

$$C = 200 \text{ мкФ}$$

Елемент, для якого слід визначити залежність напруги від часу: $R2$.

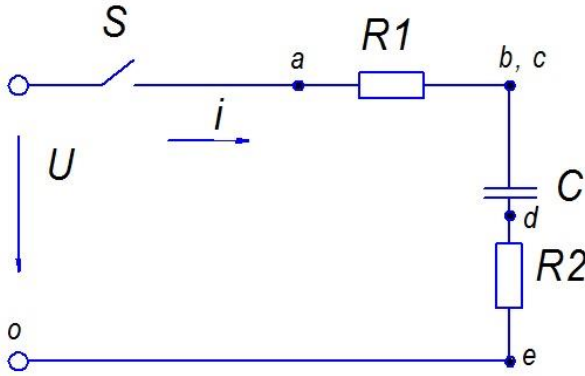


Рисунок 5.2 - Схема для розрахунків за приладом

5.2.1.2 Знайдемо струм у колі $i(t)$ як додаток вільного та вимушеного струму:

$$i(t) = i_{віль} + i_{вим} \quad (5.1)$$

Значення $i(t)$ визначається рішенням неоднорідного диференціального рівняння, що характеризує коло після комутації (див. рис. 5.3).

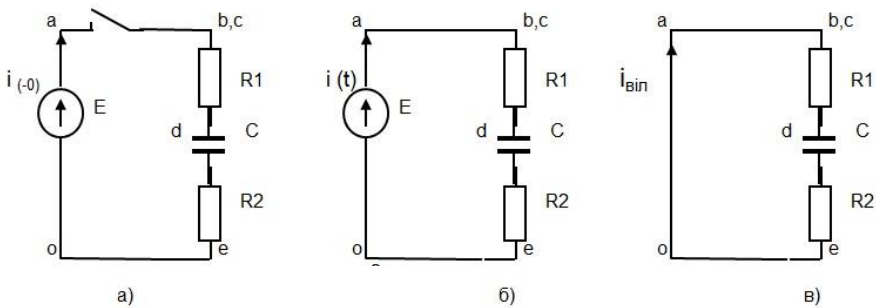


Рисунок 5.3 - Схема кола до та після комутації

5.2.1.3 Запишемо рівняння (5.1) для схеми за рис. 5.3 б відповідно до другого закону Кірхгофа:

$$i(t)(R1 + R2) + U_C(t) = E, \text{ або:}$$

$$(R1 + R2) \cdot C \cdot \frac{dU_C}{dt} + U_C(t) = E \quad (5.2)$$

Рівняння (5.2) для вільної складової напруги:

$$(R1 + R2) \cdot C \cdot \frac{dU_{C_{\text{віль}}}}{dt} + U_{C_{\text{віль}}}(t) = 0 \quad (5.3)$$

Характеристичне рівняння:

$$(R1 + R2) \cdot C + \frac{1}{p} = 0, \text{ звідки} \quad (5.4)$$

$$p = - \frac{1}{(R1+R2) \cdot C} \quad (5.5)$$

5.2.1.4 Вільну складову напруги визначимо з точністю до сталої А:

$$U_{C_{\text{віль}}} = A e^{p t} \quad (5.6)$$

Вимушену складову напруги можна визначити за схеми за рис. 5.3 б при $t \rightarrow \infty$:

$$U_{C_{\text{вим}}} = E \quad (5.7)$$

Таким чином, загальна напруга у колі під час перехідного процесу:

$$U_C(t) = A e^{p t} + E \quad (5.8)$$

5.2.1.5 Визначимо із (5.8) струм у колі під час перехідного процесу:

$$i(t) = C \cdot \frac{dU_C}{dt} = C \cdot \frac{dU_{C_{\text{ВИМ}}}}{dt} - \frac{A \cdot C}{(R_1 + R_2)C} e^{pt}$$

Оскільки $U_{C_{\text{ВИМ}}} = E = \text{const}$

$$i(t) = - \frac{A}{(R_1 + R_2)} e^{pt} \quad (5.9)$$

Сталу A визначимо з (5.8) з урахуванням початкових умов.

У момент комутації $t = 0$; $U_{C(-0)} = U_{C(+0)} = 0$

Таким чином, $A = -E$

Остаточно отримуємо:

$$i(t) = \frac{E}{(R_1 + R_2)} e^{pt} \quad (5.10)$$

$$U_C(t) = E (1 - e^{pt}) \quad (5.11)$$

5.2.1.6 Підставимо чисельні значення.

$$p = - \frac{1}{(50+20) \cdot 0,0002} = -71,4 \text{ 1 / с}$$

$$i(t) = \frac{110}{(50+20)} e^{-71,4t} = 1,57 e^{-71,4t} \text{ A}$$

5.2.1.7 Визначимо напругу на заданому елементі R_2 за законом

Ома:

$$U_{R_2}(t) = R_2 \cdot i(t) = 20 \cdot 1,57 e^{-71,4t} = 31,4 e^{-71,4t} \text{ В}$$

5.2.1.8 Для побудови графіків залежності струму та напруги від часу складемо табл. 5.3.

Графіки залежності струму та напруги на елементі R_2 від часу наведені на рис. 5.4, 5.5.

Таблиця 5.3 - Розрахунки для побудови графіків залежності струму та напруги від часу

t, c	0	0,004	0,007	0,011	0,014	0,018	0,021	0,025	0,028	0,032	0,035
e^{pt}	1	0,779	0,607	0,472	0,368	0,287	0,223	0,174	0,135	0,105	0,082
i(t), A	1,57	1,22	0,95	0,74	0,58	0,450	0,35	0,27	0,21	0,17	0,13
$U_{R2}(t), E$	31,4	24,48	19,06	14,85	11,56	9,00	7,01	5,46	4,25	3,31	2,58

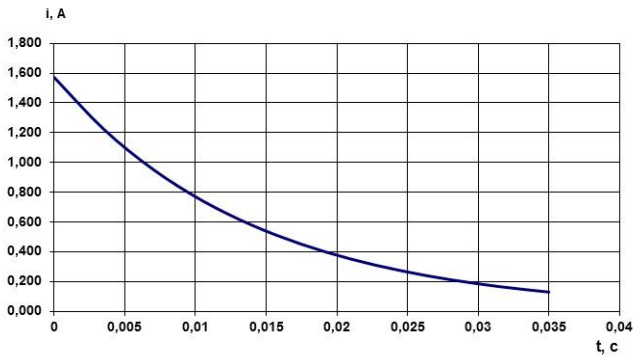


Рисунок 5.4 - Графік залежності струму від часу

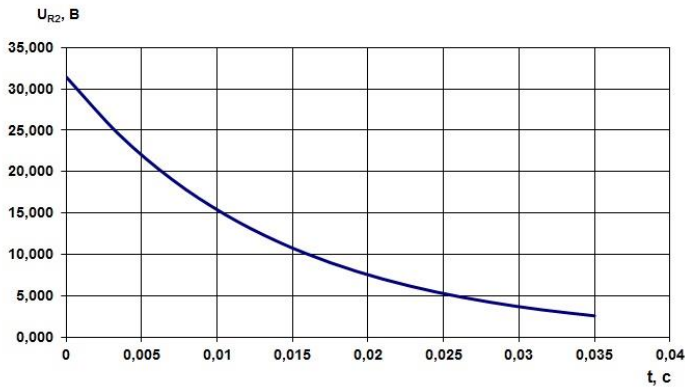


Рисунок 5.5 - Графік залежності напруги на елементі $R2$ від часу

5.2.2 Аналіз перехідного процесу при роботі кола на змінному струмі

5.2.2.1 В схемі по рис. 5.2 вмикання вимикача S відбувається, коли миттєве значення напруги джерела синусоїдальної е.р.с. дорівнює U_0 .

Визначити залежність перехідного струму від часу.

Побудувати графіки залежності вимушеної і вільної складової перехідного струму від часу та за їх допомогою визначити амплітудне значення цього струму.

Вихідні дані для розрахунку:

$$U_m = 220 \text{ В}$$

$$f = 50 \text{ Гц}$$

$$U_0 = U_m$$

$$R_1 = 50 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 20 \text{ Ом}$$

$$C = 200 \text{ мкФ}$$

5.2.2.2 Розраховуємо режим комутації (вимикач S розімкнено). Оскільки при цьому струм у колі не протікає, уся напруга дорівнює нулю:

$$t = 0_-; i(0_-) = 0; U_C(0_-) = U_0 = 0$$

За першим законом комутації напруга на конденсаторі C в момент після комутації:

$$U_C = U_C(0_-) = 0 \quad (5.12)$$

5.2.2.3 Складемо та вирішимо диференціальне рівняння за другим законом Кірхгофа для проміжка часу $t > 0$.

Воно складається та вирішується аналогічно прикладу, що наведений у 5.2.1.3.

5.2.2.4 В результаті вирішення диференціального рівняння отримаємо вільну складову напруги визначимо з точністю до сталої A :

$$U_{C_{\text{віл}}} = A e^{p t} \quad (5.13)$$

$$\text{де: } p = - \frac{1}{(R_1 + R_2) \cdot C}$$

$$U_C = U_{C_{\text{вим}}} + U_{C_{\text{віл}}} = U_{C_{\text{вим}}} + A e^{p t} \quad (5.14)$$

При включенні у коло синусоїдальної е.р.с. вимушена напруга на ємності:

$$U_{C_{\text{вим}}} = \frac{I_m}{\omega C} \sin\left(\omega t + \psi - \varphi - \frac{\pi}{2}\right) = - \frac{I_m}{\omega C} \cos(\omega t + \psi - \varphi) \quad (5.15)$$

де: I_m - амплітудне значення струму; A

ω - кругова частота, рад / с; $\varpi = 2 \pi f$

ψ - початкова фаза; оскільки в момент включення $U_0 = U_m$, то

$$\psi = \frac{\pi}{2}$$

φ - зсув за фазою.

Для заданої схеми:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \left(\frac{1}{\varpi C}\right)^2}} \quad (5.16)$$

$$\varphi = \arctg\left(-\frac{1}{(R_1 + R_2)\varpi C}\right) \quad (5.17)$$

5.2.2.5 Проведемо розрахунки та запишемо вираз (5.15) з урахуванням вихідних даних:

$$\varpi = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}$$

$$I_m = \frac{220}{\sqrt{(50+20)^2 + \left(\frac{1}{314 \cdot 0,0002}\right)^2}} = 3,07 \text{ A}$$

$$\varphi = \arctg\left(-\frac{1}{(50+20) \cdot 314 \cdot 0,0002}\right) = -12,8^\circ$$

$$U_{C_{\text{вим}}} = -\frac{3,07}{314 \cdot 0,0002} \cos(\omega t + 90 + 12,8^\circ) = -48,8 \cos(\omega t + 102,8^\circ) = 48,8 \cos(\omega t + 282,8^\circ) \quad , \text{ B}$$

З останнього виразу отримаємо:

$$U_{C_{\text{вим}}}(0) = 48,8 \cos(282,8^\circ) = 10,8 \text{ B}$$

Сталу A визначимо з початкових умов:

$$U_C(0) = U_{C_{\text{вим}}}(0) + A = 0$$

$$\text{Таким чином: } A = -U_{C_{\text{вим}}}(0) = -10,8 \text{ B}$$

Остаточно напруга на ємності:

$$U_C(t) = 48,8 \cos(\omega t + 282,8^\circ) - 10,8 e^{-71,4t} \quad , \text{ B}$$

5.2.2.6 Струм у колі:

$$i(t) = C \frac{dU_C}{dt} = C \frac{dU_{C_{\text{вим}}}}{dt} + C \frac{dU_{C_{\text{біл}}}}{dt}$$

$$i(t) = -3,06 \sin(\omega t + 282,8^\circ) + 0,15 e^{-71,4t} = 3,06 \sin(\omega t + 10,8^\circ) + 0,15 e^{-71,4t} \quad , \text{ A}$$

Вимушена складова струму:

$$i_{\text{вим}}(t) = 3,06 \sin(\omega t + 10,8^\circ), \text{ A}$$

Вільна складова струму:

$$i_{\text{віль}}(t) = 0,15 e^{-71,4t} \cdot \text{A}$$

5.2.2.7 Для побудови графіків залежності вимушеної і вільної складової перехідного струму від часу від часу складемо табл. 5.4.

Графіки залежності вимушеної і вільної складової перехідного струму від часу наведені на рис. 5.6.

Таблиця 5.4 - Розрахунки для побудови графіків залежності струмів від часу

t, c	0	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035
i_{св} A	0,154	0,108	0,076	0,053	0,037	0,026	0,018	0,013
i_{вп} A	2,988	-0,679	-2,988	0,679	2,988	-0,68	-2,99	0,679
i, A	3,143	-0,571	-2,913	0,732	3,025	-0,65	-2,97	0,692
U_{R2}, B	62,86	-11,43	-58,25	14,65	60,51	-13,1	-59,4	13,84

Продовження табл. 5.4

t, c	0,04	0,045	0,05	0,055	0,06	0,065	0,07
i_{св} A	0,0089	0,006	0,004	0,003	0,0021	0,0015	0,001
i_{вп} A	2,9884	-0,679	-2,988	0,679	2,9884	-0,6794	-2,9884
i, A	2,9972	-0,673	-2,984	0,682	2,9905	-0,678	-2,9873
U_{R2}, B	59,945	-13,46	-59,68	13,65	59,81	-13,559	-59,747

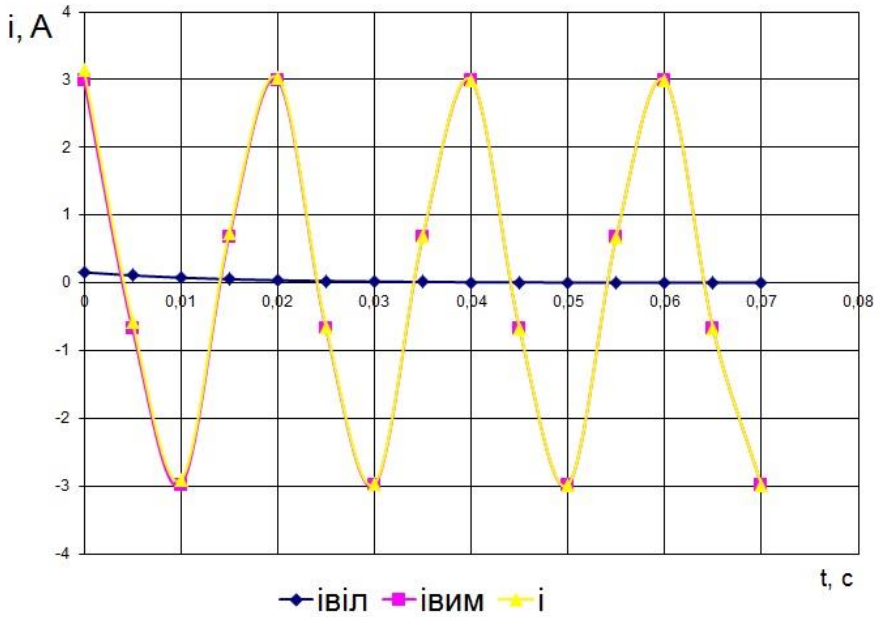


Рисунок 5.5 - Графіки залежностей вимушеної і вільної складової перехідного струму від часу від часу

Як бачимо з графіків, максимальна амплітуда перехідного струму становить:

$$I_m = 3,14 \text{ A}$$

ЛІТЕРАТУРА

1 ДСТУ ГОСТ 2.001:2006 ЄСКД. Загальні положення (ГОСТ 2.001-93, IDT)

2 ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 Єдина система конструкторської документації. правила виконання електричних схем (ГОСТ 2.702-2011, IDT)

3 Основи радіоелектроніки: навч. посібник для студ. вищ.техн. навч. закл.: рек. МОНУ / Ю. Я. Бобало, Р. І. Желяк, М. Д. Кіселичник та ін. ; за ред. Б. А. Мандзія. – Львів : ЛНУ "Львівська політехніка", 2002. – 456 с.

4 Сисоев В. М. Основи радіоелектроніки: підручник / В. М. Сисоев. – Київ : Вища школа, 2004. – 279 с.

5 Кичак В.М. Основи радіоелектроніки: навчальний посібник / В. М. Кичак, Ю. В. Крушевський, Д. В. Гаврілов. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 368 с.

6 Каяцкас А.А. Основи радіоелектроніки. - К.: Вища школа, 1998. - 464с.

7 Баскаков З. Н. Радіоелектронні кола і сигнали. - К.: Вища школа.,1998. - 448 с.

8 Матвійків М.Д. Елементи та компоненти електронних пристроїв: підручник / М.Д. Матвійків, Б.С. Вус, О.М. Матвійків. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. - 496 с.

9 Радіотехніка. Енциклопедичний навчальний довідник / за ред.. проф.. Ю.Л. Мороза, Є.А. Мачнюського, В.І. Правди. - К., Вища школа, 1993. - 837 с.

10 Карлашук В. И. «Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение». Салон – Р. М.: 1999. – 506 с.

11 Источники электропитания РЭА: справочник/ Г.С. Найвельт, К.Б. Мазель, Ч.И. Хусаинов и др.; Под. ред. Г.С. Найвельта. – М.: Радио и связь, 1985. – 576 с.

Додаток А. Теми рефератів для студентів заочної форми навчання

Тема 1. Перехідні процеси у електричних колах постійного та змінного струму. Диференціальні рівняння кіл і їх рішення класичним методом та операторним методом (за допомогою перетворень Лапласа).

Тема 2. Режим роботи підсилювачів слабких сигналів: за постійним струмом, за змінним струмом: класів А, В та АВ. Засоби їх забезпечення та стабілізації.

Тема 3. Режим роботи потужних підсилювачів: класів А, В та АВ,С. Засоби їх забезпечення та стабілізації.

Тема 4. Засоби забезпечення теплових режимів потужних підсилювачів.

Тема 5. LC- та RC-генератори, їх порівняльна характеристика. Чим забезпечується виконання балансу фаз у RC-генераторів? Області використання LC- та RC-генераторів.

Тема 6. Види перетворення спектрів сигналів. Різниця між перетворенням частоти та модуляцією. Чи залежить ширина спектру АМ сигналів від амплітуд складових модулюючого сигналу?

Тема 7. Розрахуйте та побудуйте графік спектру сигналу на виході амплітудного модулятора, якщо спектр модулюючого сигналу містить складові з частотами: 300; 1000; 3000; 3400 Гц, а їх амплітуди відповідно: 1,50; 1,00; 0,75; 0,25 В.

Тема 8. Розрахуйте виборність за сусіднім сигналом (розстрочка 10 кГц), якщо підсилювач проміжної частоти приймача містить один смуговий фільтр у вигляді двох зв'язаних з добротністю $Q = 80$.

Тема 9. Наведіть та проаналізуйте схему для вимірювання вибірності та чутливості радіоприймача

Тема 10. На яких елементах реалізуються сучасні перспективні пристрої живлення (ПЖ)? Фізичні фактори, що перешкоджають мініатюризації ПЖ.