

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

Міністерство освіти та науки, молоді та спорту України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Кафедра біотехнічних систем

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для проведення практичних занять
з дисципліни

ФІЗИКО-ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ

для студентів за напрямом підготовки 6.050902
„Радіoeлектронні апарати“

Тернопіль 2012

Шадріна Г.М. Методичні вказівки для проведення практичних занять з дисципліни «Фізико-теоретичні основи конструювання електронних апаратів» для студентів за напрямом підготовки 6.050902 “Радіоелектронні апарати” // Г.М.Шадріна, М.О.Хвостівський. – Тернопіль:ТНТУ імені Івана Пулюя, 2012. – 80 с.

Укладачі: к.т.н., доц. Шадріна Г.М., к.т.н. Хвостівський М.О.

Рецензент: к.т.н., доц. Осухівська Г.М.

Відповідальний за випуск: зав. кафедрою Яворський Б. І.

Методичні вказівки розглянуто та затверджено на засіданні кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 2 від 01 жовтня 2012 р.

Методичні вказівки схвалено та рекомендовано до друку на засіданні методичної ради факультету контрольно-вимірювальних та радіокомп’ютерних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 2 від 26 жовтня 2012 р.

ВСТУП

Перед творцями нової техніки на будь-якому етапі її розробки виникає проблема вибору оптимального рішення поставленого завдання. Поняття оптимальності технічних систем (особливо сучасних складних систем) – це поняття, яке на практиці важко формалізувати. Як правило, одна і та ж технічна задача має ряд розв'язків, які різняться між собою як за фізичними принципами, так і за схемними та конструктивними вирішеннями. При цьому один варіант вирішення може мати переваги порівняно з іншим варіантом за одними показниками, але поступатися йому за іншими. Якщо обидва варіанти задовольняють основні вимоги до проєктованого пристрою чи системи, то сказати, який з варіантів оптимальний, досить важко.

У процесі проєктування об'єкт переходить з одного стану в інший, при цьому неузгодження між дійсним станом об'єкта проєктування і його бажаним станом розробник сприймає як проблему, що вимагає вирішення. Є два класи проблем прийняття рішення: пошук розв'язку (solving) і, власне, прийняття рішення (decision – making). Під пошуком рішень розуміють проблеми, пов'язані з вирішенням завдань досягнення мети, яка початково не видається доступною. В той час як прийняття рішення передбачає проблеми, пов'язані з вибором певної альтернативи із заданої їх сукупності за наявності відповідних для цього вибору критеріїв та правил розв'язування.

Обидва класи проблем призводять до отримання розв'язку на основі формалізації проєктної задачі з використанням діалогових систем автоматичного проєктування (САПР), які дають можливість найповніше виявити творчий потенціал розробників нової техніки.

Виділяють такі напрямки прийняття рішень:

- прийняття оптимального рішення за допомогою ПК без участі людини;
- прийняття рішення людиною без використання ПК;
- прийняття рішення людиною з використанням рекомендацій, отриманих від ПК;
- прийняття рішення в результаті діалогу між людиною та ПК при використанні інформаційно-пошукових систем і діалогових САПР.

Загальним для всіх перерахованих напрямків є необхідність формального представлення завдання прийняття рішення і пошук методів його вирішення.

У посібнику на основі математичного моделювання розглянуто проблеми конструювання електронних апаратів, постановки завдання прийняття конструкторських рішень та оптимізації. Достатню увагу приділено захисту апаратури від механічних і теплових впливів, а також запитанням забезпечення електромагнітної сумісності.

Теоретичний матеріал посібника поділено на розділи і подано в такому вигляді, щоб допомогти студентів навчитися орієнтуватися в літературі з даних питань.

Кожен розділ містить варіанти завдань для практичних занять студентів денної форми навчання, самостійної роботи студентів заочної форми та контрольні запитання.

Перший розділ – „Аналогії та моделі фізичних явищ” розраховано на два практичних заняття, що стосуються оцінювання точності результатів моделювання та розробки моделей засобами аналогової обчислювальної техніки.

Другий розділ – „Основи теорії оптимізації та прийняття конструкторських рішень” містить шість практичних занять, присвячених розв’язуванню задач лінійного програмування, оптимізації параметрів елементів електронних схем та вибору рішення за наявності обмежень.

Третій розділ – „Захист електронної апаратури від механічних впливів” стосується методів захисту апаратури від вібрацій та ударів.

Четвертий розділ – „Тепломасоперенос в електронних апаратах” містить практичне заняття з розрахунку теплового режиму електронної апаратури за природного повітряного охолодження.

У п’ятому розділі – „Електромагнітна сумісність в РЕА” студенти протягом двох практичних занять ознайомлюватимуться зі способами захисту апаратури від паразитних наведень та екранування магнітного поля.

У кожному розділі в різній пропорції подано теоретичний матеріал фізики явища і його математичної моделі з огляду на подальший вибір в її рамках атрибутів оптимізаційної задачі (критерію, обмежень, цільової функції).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
АНАЛОГІІ ТА МОДЕЛІ ФІЗИЧНИХ ЯВИЩ.....	6
1. Точність результатів моделювання.....	6
2. Структурне моделювання.....	10
ОСНОВИ ТЕОРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ПРИЙНЯТТЯ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ.....	16
3. Розв'язування задач лінійного програмування графічним методом.....	16
4. Спрощені методи вибору оптимальної конструкції РЕА. Метод послідовної оптимізації.....	20
5. Розв'язування задач лінійного програмування симплексним методом.....	24
6. Розв'язування задач лінійного програмування методом штучного базису.....	32
7. Оптимізація параметрів елементів електронних схем методами математичного програмування.....	37
8. Вибір рішення за наявності обмежень.....	40
ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ВІД МЕХАНІЧНИХ ВПЛИВІВ.....	43
9. Захист від вібрацій.....	43
10. Захист від ударів.....	52
ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОС В ЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТАХ.....	56
11. Розрахунок теплового режиму електронної апаратури при природному повітряному охолодженні.....	56
ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ У РЕА.....	64
12. Захист РЕА від паразитних наведень.....	64
13. Екранування магнітного поля.....	67
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

АНАЛОГІ ТА МОДЕЛІ ФІЗИЧНИХ ЯВИЩ

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1

Точність результатів моделювання

Мета заняття: набуття навичок знаходження похибок фізичних систем за допомогою математичних моделей.

Теоретичні відомості

Первісні поняття, використані у цьому розділі, див. [1,2,3].

Функцію передачі лінійної ланки можна записати у вигляді :

$$H(p) = \frac{U_{\text{вих}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)},$$

де $U_{\text{вих}}(p)$ – лапласовий образ напруги на виході ланки; $U_{\text{вх}}(p)$ – лапласовий образ напруги на вході ланки; $p = j\omega$ – оператор Лапласа; ω – кругова частота сигналу, що проходить через ланку; $j = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця.

У подальшому для спрощення записів у місцях, де це не викликає сумніву, будемо подавати позначення для функцій без аргументу в дужках. У загальному випадку функцію передачі представляємо комплексним числом:

$$H = H_1 + jH_2 = \text{Re}(H) + \text{Im}(H),$$

де $\text{Re}(H)$ – дійсна частина функції передачі;

$\text{Im}(H)$ – уявна частина функції передачі.

Щоб отримати значення амплітудно-частотної характеристики ланки, необхідно знайти модуль комплексного числа, тобто:

$$|H| = \sqrt{H_1^2 + H_2^2}.$$

Для отримання значень фазо-частотної характеристики знаходимо аргумент комплексного числа:

$$\arg(H) = \arctg \frac{H_2}{H_1}.$$

Похибки обчислюємо за виразами, отриманими при детермінованому підході до пояснення похибки як лінійної частини диференціалу функції багатьох змінних, яка є математичною моделлю характеристики конструкції або ж її фізичної чи аналогової моделей. Наприклад, нехай операційний підсилювач (рис. 1.1,а) вибрано за модель пружини (рис. 1.1,б).

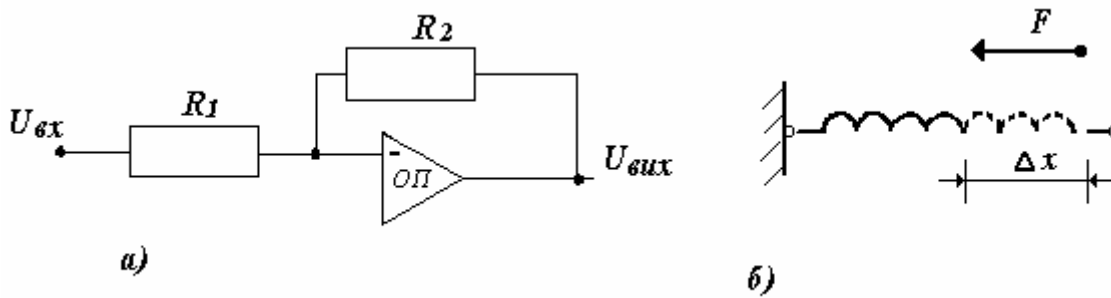


Рисунок 1.1

Закон Гука тоді має вигляд:

$$F(t) = kx(t) \Rightarrow U_2(t) = KU_1(t) = \frac{R_2}{R_1} U_1(t),$$

де силу від пружини при змінному в часі розтягу і коефіцієнт пружності моделюємо вихідною та вхідною напругами операційного підсилювача та його коефіцієнтом передачі, що дорівнює відношенню опорів резисторів. Тоді похибки такого моделювання сили від неточності резисторів визначаємо за похідною функції двох змінних, де аргументами є опори резисторів:

а) абсолютна похибка:

$$\frac{\partial U_2}{\partial R_1 \partial R_2} = \frac{U_1}{R_1} (\partial R_2 - \partial R_1) \Rightarrow \Delta U_2 = \frac{U_1}{R_1} (\Delta R_2 - \Delta R_1),$$

б) відносна похибка:

$$\delta_{U_2} = \frac{\Delta U_2}{U_2} = \frac{\frac{U_1}{R_1} (\Delta R_2 - \Delta R_1)}{\frac{R_2}{R_1} U_1} = \delta_{R_2} - \frac{1}{K} \delta_{R_1}.$$

Завдання до практичного заняття №1

1.1 Для ланок, зображених на рис. 1.2,а-е та 1.3,а-е записати вирази для амплітудно-частотної та фазо-частотної характеристик.

1.2 Записати вирази для абсолютної та відносної похибок АЧХ і ФЧХ. Номер малюнка та тип характеристики вибрати із таблиці варіантів. Завдання кожен студент виконує самостійно та оформляє для перевірки у стандартному за ЄСКД вигляді.

Варіанти вибрати з таблиці за списком при нумерації за модулем 24.

Контрольні запитання.

1. Дати означення абсолютної похибки.
2. Дати означення відносної похибки.
3. Пояснити поняття «точне значення» величини.
4. Розкрити поняття «середнє значення» величини на основі ймовірнісного підходу.
5. Що таке дисперсія значень величини?
6. Назвати всі причини похибок моделювання. Пояснити схемою.
7. Вивести вираз відносної похибки заданої характеристики конструкції РЕА.

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань

№ варіанта	Рисунок	Тип характеристики
1	3,а	АЧХ, ФЧХ
2	3,б	АЧХ, ФЧХ
3	3,в	АЧХ, ФЧХ
4	3,г	АЧХ, ФЧХ
5	3,д	АЧХ, ФЧХ
6	3,е	АЧХ, ФЧХ
7	3,а	АЧХ, ФЧХ
8	3,б	АЧХ, ФЧХ
9	3,в	АЧХ, ФЧХ
10	3,г	АЧХ, ФЧХ
11	3,д	АЧХ, ФЧХ
12	3,е	АЧХ, ФЧХ
13	2,а	АЧХ, ФЧХ
14	2,б	АЧХ, ФЧХ
15	2,в	АЧХ, ФЧХ
16	2,г	АЧХ, ФЧХ
17	2,д	АЧХ, ФЧХ
18	2,е	АЧХ, ФЧХ
19	2,а	АЧХ, ФЧХ
20	2,б	АЧХ, ФЧХ
21	2,в	АЧХ, ФЧХ
22	2,г	АЧХ, ФЧХ
23	2,д	АЧХ, ФЧХ
24	2,е	АЧХ, ФЧХ

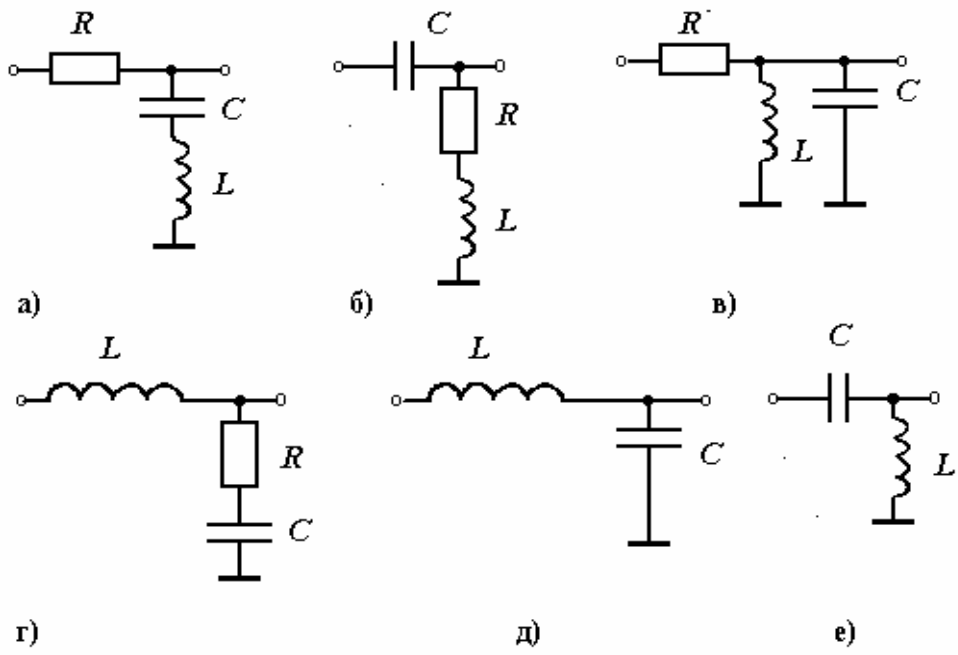


Рисунок 1.2 – Зображення електричних схем

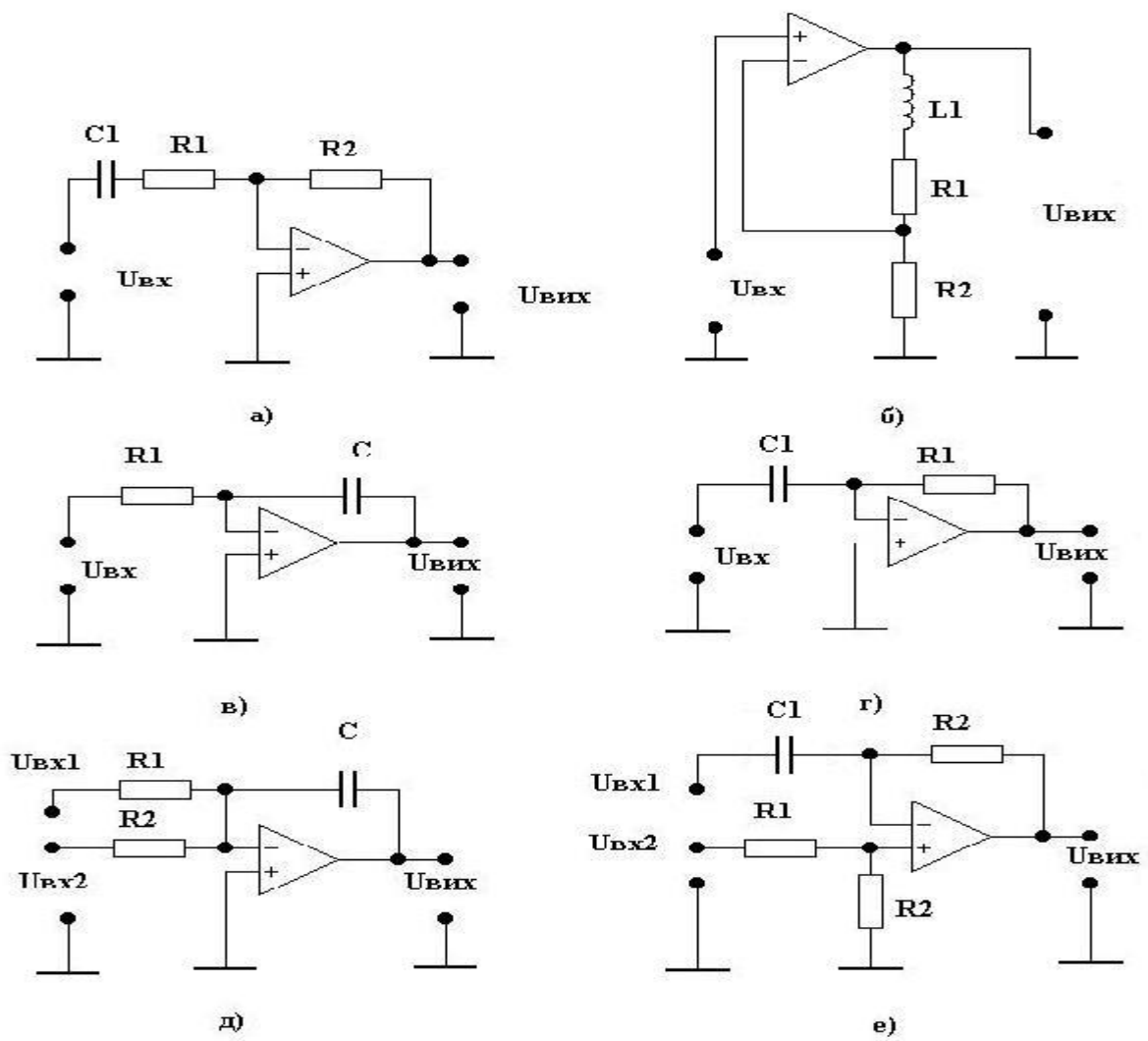


Рисунок 1.3 – Зображення електричних схем

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

Структурне моделювання

Мета заняття: ознайомлення зі структурним моделюванням явищ і процесів, набуття практичних навичок при розрахунку параметрів елементів схем-моделей.

Теоретичні відомості

Різновидом аналогового моделювання є моделювання явищ і процесів за допомогою засобів обчислювальної техніки [9,10]. При такому моделюванні складають електричне коло, що відповідає диференціальному рівнянню, яке описує розглядуване явище чи процес. Таким чином отримують модель – аналогову електричну схему, до складу якої входять диференціатори, інтегратори, суматори, помножувачі, побудовані на основі операційних підсилювачів (ОП), транзисторів, пасивних елементів. Досліджуючи поведінку такого кола, роблять висновок про поведінку явища чи процесу, які моделюють.

Важливим моментом при моделюванні засобами аналогової обчислювальної техніки є раціональний вибір масштабів часу, а також змінних і параметрів елементів схем-моделей. Зокрема, необхідно забезпечити максимальне використання діапазону напруг з метою підвищення точності моделювання.

Розглянемо конкретний випадок. Побудуємо аналогову електричну модель для натури – послідовної кола, зображеного на рис.2.1,а. Рівняння такого кола матиме вигляд:

$$u(t) = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt. \quad (2.1)$$

Наше завдання полягає в знаходженні струму $i(t)$ при відомій напрузі $u(t)$. З виразу (2.1) отримаємо:

$$i = \frac{1}{R} u(t) - \frac{L}{R} \frac{di}{dt} - \frac{1}{RC} \int idt. \quad (2.2)$$

При моделюванні, враховуючи, що $i \sim u_{\text{вух}}$, $u(t) \sim u_{\text{вх}}$, також отримуємо електричне коло, яке описуємо рівнянням:

$$k_1 u_{\text{вх}} + k_2 \frac{du_{\text{вух}}}{dt} + k_3 \int u_{\text{вух}} dt = u_{\text{вух}}, \quad (2.3)$$

де $k_1 = \frac{1}{R}$, $k_2 = -\frac{L}{R}$, $k_3 = -\frac{1}{RC}$ – відповідні коефіцієнти.

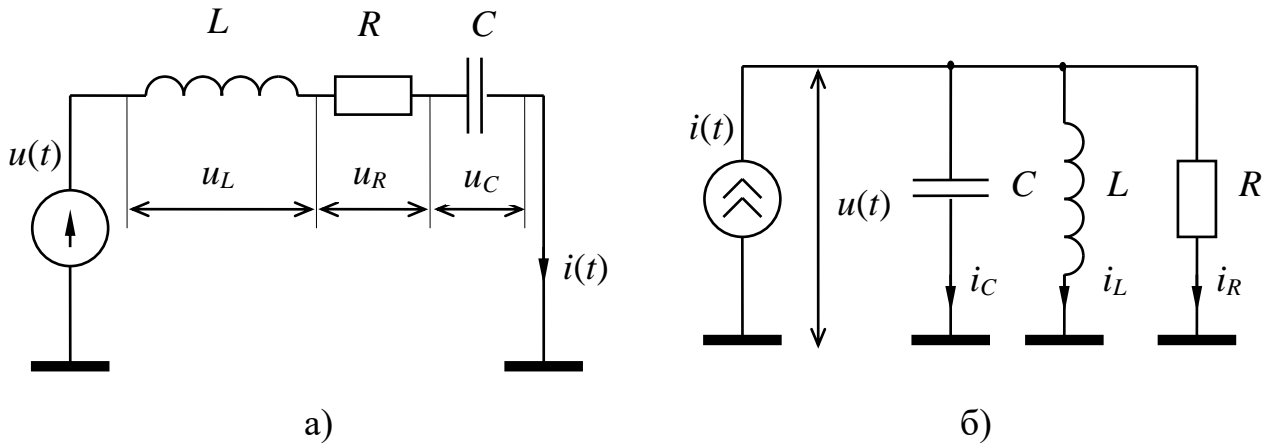


Рисунок 2.1 – Схеми електричних кіл

На основі рівняння (2.3) побудуємо блок-схему кола-моделі, яка зображена на рис. 2.2.

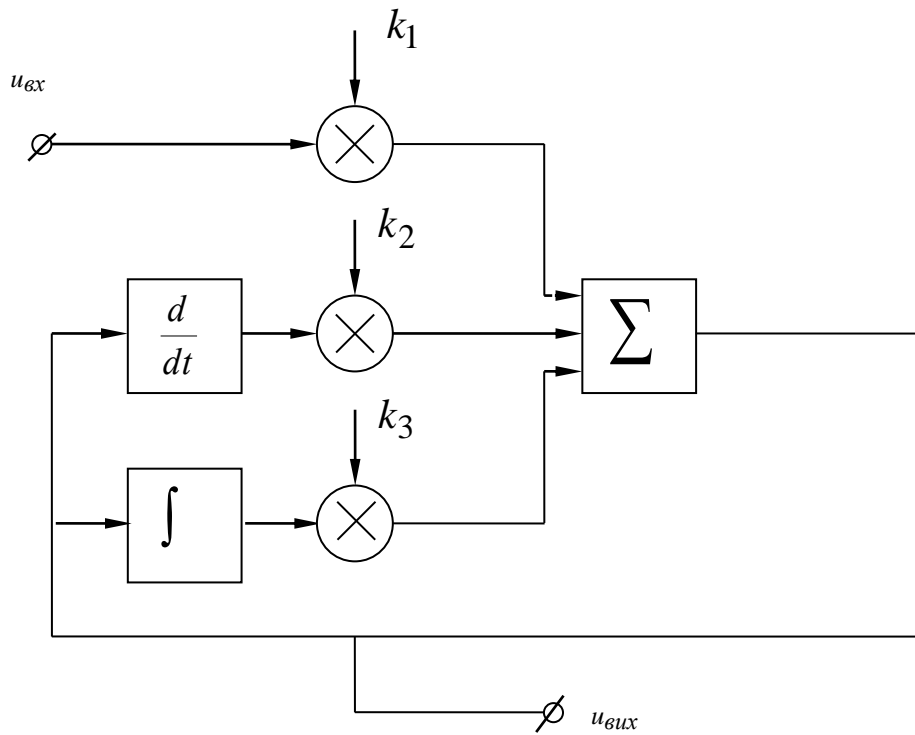


Рисунок 2.2 – Блок-схема електричного кола

Дана схема містить диференціатор, інтегратор, суматор і помножувачі. Отже, розглянемо електричні схеми вузлів, які будемо використовувати, та співвідношення, що пов'язують вихідні та вхідні напруги для кожного з них.

Суматор (неінвертуючий)

Вихідна напруга:

$$u_{\text{вих}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{1 + 1/K\beta} \cdot \frac{u_{\text{вх1}} + u_{\text{вх2}} + u_{\text{вх3}}}{3}, \quad (2.4)$$

де K – коефіцієнт підсилення ОП;
 β – коефіцієнт зворотного зв'язку,

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

Опори вхідних резисторів:

$$R'_3 = R''_3 = R'''_3.$$

Інтегратор (інвертуючий)

Напруга на виході:

$$u_{\text{вих}} = -\frac{1}{R_1 C_1} \int u_{\text{вх}} dt.$$

Для забезпечення малих похибок інтегрування при подачі на вхід генератора синусоїдальної змінної напруги з частотою f повинна виконуватись умова:

$$f \gg \frac{1}{\tau_e},$$

де

$$\tau_e = C_1 R_1 \left(K_e + \frac{r_{\text{вх}} + R_2}{r_{\text{вх}} + R_1 + R_2} \right),$$

$$K_e = \frac{K}{\left(1 + \frac{R_1}{r_{\text{вх}}} + \frac{R_2}{r_{\text{вх}}}\right)},$$

$r_{\text{вх}}$ – вхідний опір ОП.

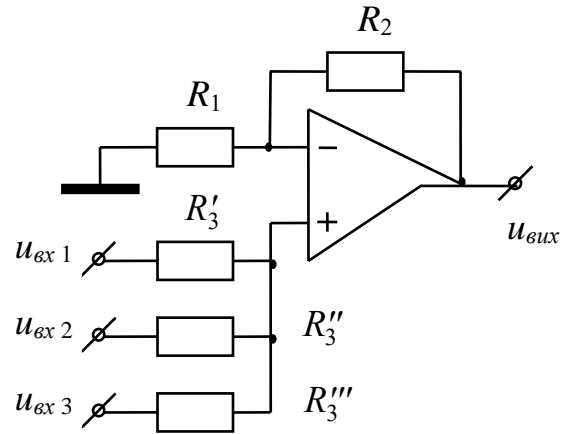


Рисунок 2.3 – Суматор

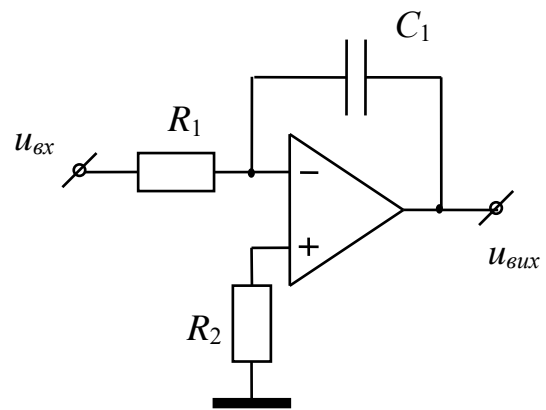


Рисунок 2.4 – Інтегратор

Опір резистора R_2 :

$$R_2 = R_1 \parallel R_{C_1},$$

де R_{C_1} – опір конденсатора при заданій частоті f вхідної напруги.

Диференціатор (інвертуючий)

Вихідна напруга:

$$u_{\text{вих}} = -R_2 C_1 \frac{du_{\text{вх}}}{dt}.$$

Резистор R_1 з невеликим значенням опору включений у схему для зменшення амплітуди високочастотних шумів на виході і для запобігання виникненню високочастотних автоколивань у колі. Крім того, він обмежує струм і напругу на інверсному вході ОП при різких змінах вхідної напруги. Але слід мати на увазі, що цей резистор одночасно обмежує зверху смугу робочих частот. Тому для зменшення похибок диференціювання його значення повинно задовольняти умові:

$$f \ll \frac{1}{2\pi R_1 C_1},$$

де f – частота напруги, що подається на вхід.

Опір резистора R_3 :

$$R_3 = (R_1 + R_{C_1}) \parallel R_2,$$

де R_{C_1} – опір конденсатора для заданої частоти вхідної напруги.

На основі розглянутих схем окремих вузлів побудуємо електричну принципову схему кола-моделі. Слід зазначити, що підбором параметрів елементів відповідних вузлів можна забезпечити необхідні значення коефіцієнтів у формулі (2.4). При цьому відпадає необхідність використовувати помножувачі як окремі вузли і наша схема, в кінцевому результаті, складатиметься лише з трьох частин: інтегратора, диференціатора та суматора.

Принципову електричну схему моделі зображено на рис. 2.6. Вона побудована на трьох ОП К553УД1В. Крім основних елементів, на схемі зображено кола частотної корекції ОП. Кола живлення мікросхем не показані.

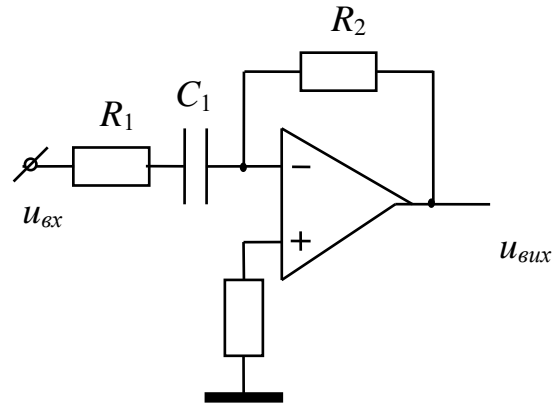


Рисунок 2.5 – Диференціатор

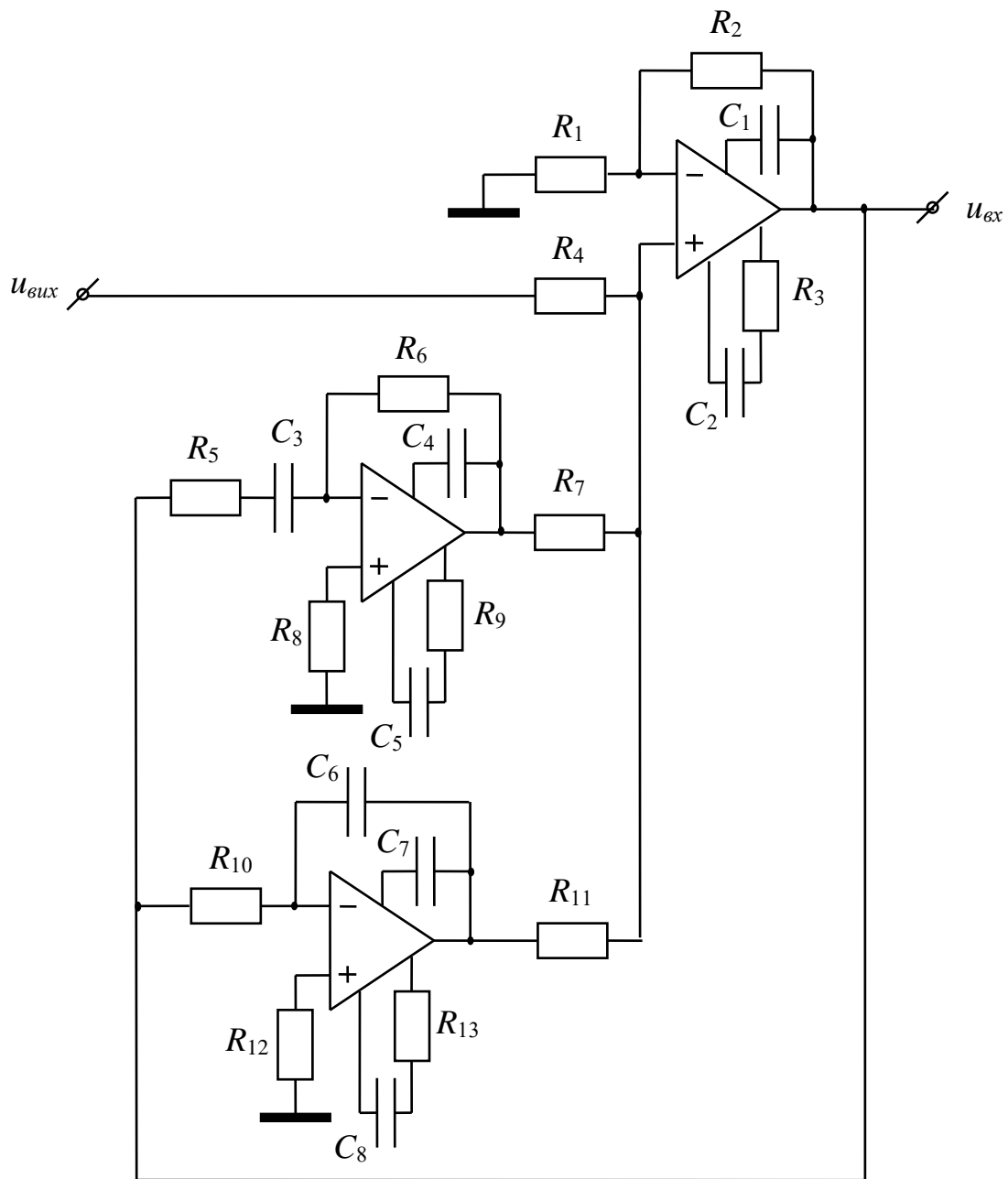


Рисунок 2.6 – Принципова електрична схема моделі

Знайдемо співвідношення, яким повинні задовольняти параметри схеми для того, щоб остання була моделлю досліджуваного послідовного кола. Нагадаємо, що R, L, C – параметри елементів природи.

По-перше, на основі формул (2.2), (2.4) і залежності між вхідною та вихідною напругами для суматора знайдемо, що

$$\frac{1}{3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{1}{1 + 1/K\beta} = \frac{1}{R}.$$

Далі для диференціатора запишемо:

$$-\frac{1}{3}R_6C_3\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{1+1/K\beta}=-\frac{L}{R}.$$

Скориставшись співвідношенням для інтегратора, отримаємо:

$$-\frac{1}{3}\frac{1}{R_{10}C_6}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\frac{1}{1+1/K\beta}=-\frac{1}{RC}.$$

Крім того, при виборі параметрів слід враховувати гранично допустимі струми і напруги для даного типу мікросхеми. Параметри елементів у колах корекції слід брати із довідкових даних.

Після розрахунку, монтажу і перевірки схеми проводимо дослідження моделі. При цьому задаємо напругу $u_{вих}$ і спостерігаємо за зміною напруги $u_{вх}$. За поведінкою кола-моделі робимо висновок про зміну струму при заданій напрузі в послідовному колі, тобто натурі.

Завдання до практичного заняття №2

- 2.1 Записати рівняння для модельованого кола.
- 2.2 Розв'язати рівняння модельованого кола відносно досліджуваного параметра.
- 2.3 Записати рівняння і побудувати структурну схему кола-моделі.

Контрольні запитання.

1. Що лежить в основі аналогового моделювання?
2. Для чого будують аналогові моделі?
3. Що треба враховувати при побудові аналогових моделей?

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ПРИЙНЯТТЯ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3

Розв'язування задач лінійного програмування графічним методом

Мета заняття: ознайомлення з прикладом задачі лінійного програмування та графічним методом розв'язування такої задачі.

Теоретичні відомості

Дуже часто обмеження, які накладаються на параметри конструкції РЕА та критерії вибору цих параметрів можна подати у вигляді "лінійних форм" (системи лінійних нерівностей). У цьому випадку виникає задача лінійного програмування [1,4,5,6].

Графічним методом розв'язують задачі лінійного програмування малої розмірності (не більше $n = 3$). На сьогодні цей метод має хіба що навчально-методичне значення у зв'язку з достатнім розвитком обчислювальної техніки та її відповідного математичного забезпечення. Проте його вивчення дозволяє глибше зрозуміти постановку та розв'язування задачі лінійного програмування великих розмірностей ($n > 1000$ і більше). Для прикладу розглянемо задачу, яку можна розв'язати на площині:

$$Z = x_1 + 2x_2 \rightarrow \max ;$$

$$1) 2x_1 - x_2 \leq 1;$$

$$2) x_1 - 2x_2 \leq -4;$$

$$3) x_1 + x_2 \geq 5;$$

$$4) x_1 \geq 0;$$

$$5) x_2 \geq 0.$$

Тут x_1 і x_2 можуть мати смисл різних фізичних величин – лінійних розмірів, опорів, ємностей і т.п.

На рис. 3.1 нерівності (1–5) зображені графічно. Цільова функція Z породжує сім'ю ліній $Z = (x_1, x_2) = C$, де C – константа (сім'я ліній рівня). Для розв'язання задачі необхідно знайти такі значення x_1, x_2 , для яких значення цільової функції буде найбільшим, за умови, що $x_1, x_2 \in ABCDE$, тобто належать многокутникові $ABCDE$ і одній з ліній рівня. Це означає, що шуканий розв'язок можна знайти, вибираючи з ліній рівня ту, яка перетинає многокутник у відповідній вершині. Зрозуміло, що такий вибір можна зробити при паралельному переміщенні лінії, що відображає цільову функцію, у напрямі нормалі до неї.

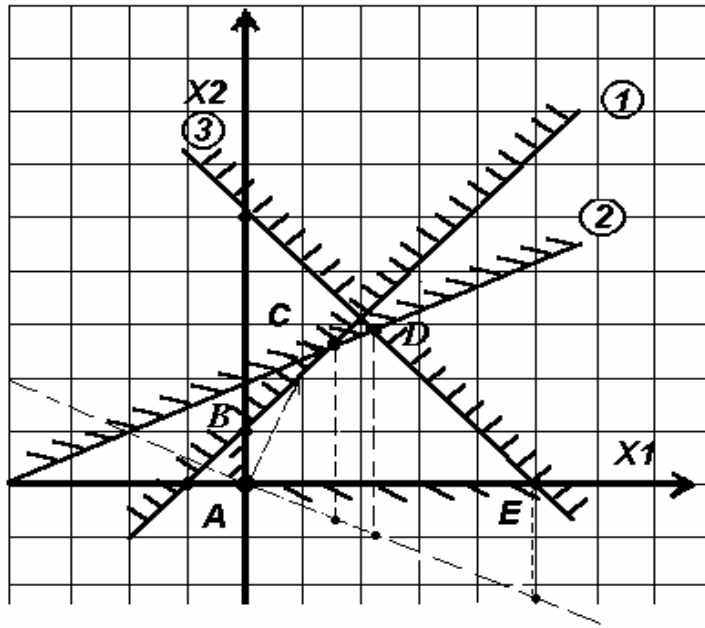


Рисунок 3.1 – Графічний метод розв’язування задачі лінійного програмування

Нагадаймо, що вектор нормалі:

$$\vec{N} = \left\{ \frac{\partial Z}{\partial x_1}; \frac{\partial Z}{\partial x_2} \right\} = \{c_1, c_2\}.$$

Тут прийнято позначення $Z(x_1, x_2) = c_1x_1 + c_2x_2$.

На рис.3.1 цільову функцію та вектор нормалі показано пунктирними лініями, а штриховкою зображено півплощини, які не задовольняють нерівностей (1–5).

Завдання до практичного заняття №3

1. Для заданого варіанта (табл. 3.1) побудувати на площині множину розв’язків (многокутник) системи лінійних обмежень-нерівностей.
2. Геометрично знайти найбільше і найменше значення лінійної функції в отриманому многокутнику.

Контрольні запитання.

1. Переваги та обмеження графічного методу при розв’язуванні задачі лінійного програмування.
2. Дати змістовну інтерпретацію задачі лінійного програмування на прикладі конструкторського вирішення.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдань

<p><i>Варіант 1</i></p> $Z = 3x_1 + 4x_2 + 8;$ $x_1 - 3x_2 \leq 0;$ $2x_1 + x_2 \geq 6;$ $2x_1 + x_2 \leq 10;$ $-x_1 + x_2 \leq 3;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 2</i></p> $Z = -2x_1 - 4x_2 + 25;$ $2x_1 + x_2 \leq 10;$ $-3x_1 + 2x_2 \leq 12;$ $4x_1 + 7x_2 \geq 28;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 3</i></p> $Z = 2x_1 + 4x_2 - 30;$ $3x_1 + 2x_2 \leq 15;$ $-x_1 + x_2 \leq 4;$ $x_1 + x_2 \geq 4;$ $0 \leq x_1 \leq 3;$ $x_2 \geq 0.$
<p><i>Варіант 4</i></p> $Z = 2x_1 + 3x_2 + 10;$ $3x_1 + 2x_2 \leq 18;$ $-x_1 + x_2 \leq 6;$ $x_1 + x_2 \geq 3;$ $0 \leq x_1 \leq 4;$ $x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 5</i></p> $Z = 12 + 2x_1 + x_2;$ $5x_1 + 2x_2 \geq 20;$ $x_1 + 2x_2 \leq 14;$ $x_1 - x_2 \leq 1;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 6</i></p> $Z = 2x_1 + 4x_2 + 15;$ $2x_1 + x_2 \geq 2;$ $-x_1 + x_2 \geq 0;$ $2x_1 + x_2 \leq 8;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$
<p><i>Варіант 7</i></p> $Z = 4x_1 + 2x_2 + 20;$ $x_1 + x_2 \geq 4;$ $5x_1 - x_2 \leq 15;$ $-x_1 + 2x_2 \leq 6;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 8</i></p> $Z = -3x_1 - 2x_2 + 16;$ $2x_1 + 3x_2 \leq 18;$ $x_1 + x_2 \geq 2;$ $2x_1 - 3x_2 \leq 6;$ $-4x_1 + 3x_2 \leq 12;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 9</i></p> $Z = -3x_1 - 2x_2 - 4;$ $-x_1 + 2x_2 \leq 6;$ $2x_1 + 3x_2 \geq 12;$ $x_1 - 2x_2 \leq 4;$ $0 \leq x_1 \leq 6$
<p><i>Варіант 10</i></p> $Z = 4x_1 + 3x_2 + 20;$ $4x_1 + x_2 \geq 8;$ $7x_1 + 10x_2 \leq 70;$ $x_1 - x_2 \leq 1;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 11</i></p> $Z = 5x_1 + x_2 + 15;$ $x_1 - x_2 \leq 4;$ $-x_1 + x_2 \leq 4;$ $2x_1 + 3x_2 \geq 6;$ $5x_1 + 3x_2 \leq 30;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 12</i></p> $Z = 12x_1 + 6x_2 + 8;$ $x_1 + 2x_2 \leq 14;$ $9x_1 + 4x_2 \geq 36;$ $x_1 - 2x_2 \leq 2;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$

Продовження таблиці 3.1

<p><i>Варіант 13</i></p> $Z = 3x_1 + 6x_2 + 10;$ $-x_1 + 2x_2 \leq 8;$ $3x_1 + 2x_2 \geq 6;$ $5x_1 + 3x_2 \leq 30;$ $3x_1 - 4x_2 \leq 12;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 14</i></p> $Z = 3x_1 + 4x_2 + 6;$ $4x_1 + 3x_2 \geq 12;$ $2x_1 + x_2 \leq 12;$ $x_1 - x_2 \leq 3;$ $0 \leq x_2 \leq 6;$ $x_1 \geq 0.$	<p><i>Варіант 15</i></p> $Z = -3x_1 - 2x_2 - 8;$ $-x_1 + x_2 \leq 3;$ $3x_1 - x_2 \leq 0;$ $x_1 + x_2 \leq 6;$ $0 \leq x_2 \leq 4;$ $x_1 \geq 0.$
<p><i>Варіант 16</i></p> $Z = -3x_1 - 2x_2 + 16;$ $x_1 + x_2 \leq 6;$ $-x_1 + 2x_2 \leq 6;$ $2x_1 - x_2 \leq 4;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 17</i></p> $Z = 5x_1 + 2x_2 + 5 ;$ $x_1 + x_2 \leq 6 ;$ $x_1 - 3x_2 \leq 3 ;$ $-3x_1 + x_2 \geq 3 ;$ $3x_1 + 2x_2 \geq 6 ;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 18</i></p> $Z = x_1 + 2x_2 + 6;$ $-x_1 + 2x_2 \leq 4;$ $x_1 + x_2 \geq 3;$ $2x_1 - x_2 \leq 2;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$
<p><i>Варіант 19</i></p> $Z = 8x_1 + 10x_2 + 16;$ $-x_1 + 2x_2 \leq 6;$ $9x_1 + 4x_2 \leq 36;$ $x_1 + x_2 \geq 2;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 20</i></p> $Z = 2x_1 + 5x_2 + 12;$ $6x_1 + 5x_2 \geq 30;$ $-x_1 + 2x_2 \leq 4;$ $3x_1 - 2x_2 \leq 12;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 21</i></p> $Z = 7x_1 + 3x_2 + 20;$ $6x_1 - 5x_2 \leq 30;$ $-x_1 + 2x_2 \leq 6;$ $10x_1 + 9x_2 \leq 90;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$
<p><i>Варіант 22</i></p> $Z = 4x_1 + 2x_2 + 10 ;$ $4x_1 + 3x_2 \leq 24 ;$ $-2x_1 + x_2 \leq 4 ;$ $x_1 + 3x_2 \geq 3;$ $x_1 - x_2 \leq 3;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 23</i></p> $Z = 4x_1 + 2x_2 + 10;$ $x_1 + 2x_2 \leq 14;$ $3x_1 - 5x_2 \leq 5;$ $5x_1 + 3x_2 \geq 27;$ $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$	<p><i>Варіант 24</i></p> $Z = -4x_1 - 2x_2 + 20;$ $4x_1 - 3x_2 \leq 12;$ $-x_1 + 2x_2 \leq 4;$ $7x_1 + 6x_2 \leq 42;$ $x_1 + x_2 \geq 2;$ $x_2 \geq 0.$

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4

Метод послідовної оптимізації

Мета заняття: ознайомлення з методом послідовної оптимізації при виборі оптимальної конструкції РЕА.

Теоретичні відомості

Методологічною основою оптимального конструювання РЕА є системний підхід, відповідно до якого модель проектованої конструкції РЕА характеризується деякою множиною можливих структур $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n\}$, векторами вхідних впливів $X = \{x_1, x_2, \dots, x_g, \dots, x_q\}$ і вихідних параметрів $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_m\}$ [7].

Структура – це конструктивний опис (перелік ознак) технічної системи. При практичному конструюванні РЕА, як правило, використовують такі групи ознак, зміна яких забезпечує дискретний перехід від однієї структури до іншої. Це:

- функціональні елементи, кожен з яких виконує одну або кілька функцій для забезпечення роботи пов'язаних з ним інших елементів або конструкції в цілому;
- взаємне розміщення елементів у просторі один відносно одного, що визначає компоновальну схему конструкції;
- взаємозв'язок елементів. Ця група ознак визначає зв'язки необхідні (що забезпечують працездатність конструкції) і паразитні, які конструктор повинен зменшити до допустимого рівня, як правило, вводячи додаткові елементи;
- геометрична форма елементів. Будь-який елемент конструкції має фіксовану форму або набуває форму пов'язаних із ним елементів;
- матеріал елемента: зміна матеріалу дає можливість отримати різні властивості як елемента, так і конструкції в цілому.

Вихідними параметрами, тобто проекціями вектора P , є габарити, об'єм, маса, інтенсивність відмов, температура окремих зон конструкції, механічні та інші характеристики, що визначають різні компоненти якості конструкції. Проекції вектора вхідних впливів X складають електромагнітні поля, механічні, температурні, кліматичні та інші впливи, під які може потрапляти конструкція в процесі виробництва та експлуатації. В загальному випадку параметри p_k залежать від елементів конструкції та їх зв'язків, тобто від структури s_i ; зв'язків з оточуючим середовищем, людиною-оператором, виробництвом та іншими факторами, що складають вектор впливів:

$$p_k = \Phi_k(s_i, X). \quad (4.1)$$

Кожна проекція вектора P характеризує лише один із компонентів якості конструкції, тобто є одним із показників якості. Для того, щоб урахувати одночасно всі компоненти цього вектора, використовують комплексний показник якості (комплексну цільову функцію). Цей показник є скалярною величиною, яка залежить не тільки від вектора P , але і від s_i та X . Позначимо комплексну цільову функцію через $F(P, s_i, X)$.

Змінні p_k, x_g завжди мають обмежений інтервал допустимих змін, визначених стандартами, технічними завданнями та іншими нормативними документами:

$$x_{g\min} \leq x_g \leq x_{g\max}; \quad (4.2)$$

$$p_{k\min} \leq p_k \leq p_{k\max}. \quad (4.3)$$

Враховуючи введені поняття можна сформулювати два підходи до оптимального конструювання.

Перший підхід полягає в тому, щоб з множини можливих структур S_i^0 для заданого X^0 із урахуванням обмежень (4.1), (4.2) вибрати таку структуру s_{opt} і відповідний їй вектор p_{opt} .

Метод послідовної оптимізації зводиться до наступного. Вважається, що показники можна розмістити в ряд переважаючих величин:

$$P1 \succ P2 \succ \dots \succ Pk \succ \dots \succ Pm,$$

де \succ – символ переваги.

Процедура оптимізації багатокрокова. На кожному кроці, починаючи з $P1$, проводять порівняння структур за одним показником. Причому шукають структури, у яких параметр $P1$ найкращий. Необхідно відзначити, що параметри Pk можуть бути двох типів: нормальні, коли більшим Pk відповідає краща якість структури, та інверсні, коли меншим Pk відповідає вища якість структури. На наступному етапі до розгляду включають нові найкращі структури за рахунок того, що роблять деяку “поступку” за параметром $P1$. Найкращими вважаються структури, в яких $P1 \geq P1_{\max} - \Delta P1$ (нормальний показник); $P1 \leq P1_{\min} + \Delta P1$ (інверсний показник). Приріст $\Delta P1 > 0$ називають поступкою.

Розширену множину структур за тією ж логічною схемою порівнюють за параметром $P2$, далі за параметрами $P3, \dots, Pm$. На кожному наступному кроці, за рахунок поступок, можливе виключення структур, визнаних на попередньому кроці найкращими. В результаті описаної багатокрокової процедури вдається прийти до єдиної структури, котра і вважається оптимальною.

Послідовному методів притаманна алгоритмічна простота, крім того, при його використанні бачимо, ціною яких поступок у кожному окремому показнику вдається домогтися оптимізації в цілому. Складність використання послідовного методу полягає у визначенні поступок ΔP_k . Як правило, величину їх визначають як абсолютну похибку вимірювання або розрахунків показників P_k .

Завдання до практичного заняття №4

При створенні біомедичного комплексу, що включає в себе:

1. Електрокардіограф (ЕКГ).
2. Фонокардіограф (ФКГ).
3. Вимірювач пульсу.
4. Реограф (кровонаповнення судин).
5. Тонometr.

Надійшли варіанти конструктивного виконання:

1. Єдина система в одному корпусі.
2. Єдина конструкція з окремим тахометром.
3. Окремі конструкції приладів, кожен з яких має вмонтований вимірювач пульсу.
4. Окремі пристрої: тонометр, реограф, вимірювач пульсу, з об'єднанням ЕКГ і ФКГ.
5. Окремі пристрої ЕКГ, ФКГ, тонометр з об'єднанням реографа і вимірювача пульсу.
6. Окремі пристрої ФКГ, тонометр, реограф з об'єднанням ЕКГ і вимірювача пульсу.
7. Окремі пристрої ЕКГ, тонометр, реограф з об'єднанням ФКГ і вимірювача пульсу.
8. Окремі пристрої:
 - ЕКГ і ФКГ;
 - реограф, вимірювач пульсу і тонометр.

Вибрати оптимальну конструкцію комплексу, враховуючи задану поступку. Показники якості конструйованої РЕА вибрати з врахуванням коефіцієнтів з табл. 4.1 та 4.2. Поступки вибрати з табл. 4.3 згідно з варіантом.

Контрольні запитання.

1. Що таке поступка?
2. Для чого вводять поступку?
3. Що таке структура технічної системи?
4. В чому суть послідовної оптимізації?
5. Де практично використовують цей метод оптимізації?

Таблиця 4.1 – Вагові коефіцієнти показників

№ пп	Показники	Вагові коефіцієнти
1	Інтенсивність відмов, год ⁻¹	$\alpha_1 = 0,25$
2	Вартість, грн.	$\alpha_2 = 0,2$
3	Зручність експлуатації, бал	$\alpha_3 = 0,15$
4	Енергоспоживання, Вт	$\alpha_4 = 0,12$
5	Естетичність, бал	$\alpha_5 = 0,1$
6	Технологічність, бал	$\alpha_6 = 0,08$
7	Середній час відновлення, год.	$\alpha_7 = 0,07$
8	Об'єм, м ³	$\alpha_8 = 0,02$
9	Маса, кг	$\alpha_9 = 0,01$

Таблиця 4.2 – Показники та варіанти конструкцій

№ пп	Показники	Варіанти конструкції							
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1	Інтенсивність відмов, 10 ⁴ год ⁻¹	2,4	2,4	4,5	2,7	3,1	2,9	3,1	2,6
2	Вартість, грн.	300	330	600	400	375	410	560	320
3	Зручність експлуатації, бал	5	6	8	6	5	5	6	7
4	Енергоспоживання, Вт	120	120	220	140	140	140	140	140
5	Естетичність, бал	7	8	9	5	5	6	6	7
6	Технологічність, бал	4	8	5	8	7	7	6	6
7	Середній час відновлення, год.	2,5	2,4	0,9	0,5	0,6	0,9	1	1,5
8	Об'єм, м ³	0,15	0,15	0,35	0,3	0,25	0,26	0,2	0,3
9	Маса, кг	18	18	33	26	24	25	22	20

Таблиця 4.3 – Варіанти завдань

№ варіанта	Поступка	№ варіанта	Поступка
1	21	13	35
2	27	14	40
3	36	15	42
4	24	16	48
5	22	17	45
6	27	18	33
7	25	19	39
8	22	20	50
9	21	21	33
10	24	22	31
11	23	23	30
12	26	24	24

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5

Розв'язування задач лінійного програмування симплексним методом

Мета заняття: ознайомлення з симплексним методом розв'язування задач лінійного програмування.

Теоретичні відомості

Коли конструкції РЕА чи процесам її розробки, конструювання та виготовлення властиві характеристики, які можна подати у вигляді чисел та існують зв'язки між ними у вигляді лінійних форм, то заформалізоване конструкторське рішення має вигляд вектора цих характеристик. Цей вектор може мати досить велику розмірність, тому для знаходження його оптимального вигляду необхідно користуватися обчислювальною технікою [1,4,5,6].

При використанні комп'ютерних технологій для прийняття конструкторських рішень інженер має знати можливості методу, який використано у програмі. Тому вивчення одного з поширених методів знаходження значень величин $x_i, i = \overline{1, n}$ (рішення) для якого лінійна форма

$$Z = \sum_{k=1, n} c_k x_k,$$

набуває екстремуму (критерій рішення) при заданих обмеженнях (також у вигляді лінійної форми $\sum_{i=1, n} a_{ij} x_i < b_j, j = \overline{1, m}$) є важливим. При підготовці до

цього практичного заняття потрібно повторити матеріал з курсу математики про вектори, матриці та операції над ними, а також про методи розв'язування систем лінійних рівнянь і нерівностей [6].

5.1. Канонічна форма задачі лінійного програмування. Симплексний метод її розв'язування

Для розв'язування задачі лінійного програмування симплексним методом її потрібно представити у канонічній формі, яка має вигляд:

$$\begin{aligned} Z &= c_0 + \sum_{i=1, n} c_i x_i \Rightarrow \min \\ \sum_{i=1, n} a_{ij} x_i &= b_j \\ x_i &\geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \end{aligned} \quad (5.1)$$

Рангом системи обмежень (5.1) називають найвищий порядок відмінного від нуля мінора матриці її коефіцієнтів. (Мінором матриці називають визначник, отриманий від закреслення в матриці $n-k$ стовпців та $m-k$ рядків).

Коли число невідомих більше ніж ранг системи (5.1), то невідомі поділяють на *базисні* і *вільні*.

Означення 1. Розв'язок системи обмежень (5.1), в якому вільні невідомі дорівнюють нулеві, називають *базисним планом*.

Означення 2. Будь-який невід'ємний розв'язок системи обмежень (5.1) називають *допустимим планом*.

Означення 3. Допустимий базисний план називають *опорним*.

Означення 4. Допустимий план системи обмежень (5.1), який надає функції Z екстремального значення, називають *оптимальним*.

Розв'язок задачі лінійного програмування полягає у виборі серед допустимих планів оптимального.

Щоб задача стала канонічною, потрібно, аби коефіцієнти при базисних змінних дорівнювали одиниці тільки в одному рівнянні (базисний мінор тоді має одиничну матрицю), а вільні члени були невід'ємними.

Приклад:

$$Z = 12 - x_1 + 2x_2 \rightarrow \max$$

$$2x_1 + 3x_2 + x_3 = 12$$

$$x_1 + 2x_2 + x_4 = 16$$

$$x_j \geq 0, j = \overline{1,4}$$

Очевидно, що базисні змінні тут x_3, x_4 , а вільні — x_1, x_2 , отже, задача є канонічною, тому що виконуються всі три умови.

Опорний план, який відповідає даній канонічній формі, такий: $x_1 = x_2 = 0$, (вільні невідомі в опорному розв'язку дорівнюють нулю), $x_3 = 12, x_4 = 16$. Нас цікавить, чи може в даній канонічній формі функція досягти найбільшого значення.

У плані вільні невідомі можуть набувати не тільки нульового значення, а й додатного. У цьому разі маємо дві вільні невідомі x_1, x_2 . Будемо збільшувати ту вільну невідому, яка має додатний коефіцієнт у цільовій функції, оскільки значення цієї функції буде збільшуватися. Якщо збільшувати невідому x_1 , то значення функції буде зменшуватись, що не вигідно.

Збільшувати вільну невідому можна доти, поки одна з вільних не дорівнюватиме нулю, бо в іншому випадку вона почне набувати від'ємних значень, і план буде недопустимим.

Потрібно перейти до канонічної форми з базисними невідомими x_2, x_4 . Розв'яжемо систему рівнянь відносно нового базису методом Жордана-Гауса за табл. 5.1.

Таблиця 5.1

№ п/п	x_1	x_2	x_3	x_4	B_i	Примітка
1	2	3	1	0	12	12 : 3=4
2	1	2	0	1	16	16 : 2=8
1	2/3	1	1/3	0	4	
2	-1/3	0	-2/3	1	8	

З двох останніх рядків табл.5.1 випишемо систему з базисом:

$$\begin{aligned} \frac{2}{3}x_1 + x_2 + \frac{1}{3}x_3 &= 4; \\ -\frac{1}{3}x_1 - \frac{2}{3}x_3 + x_4 &= 8 \end{aligned}$$

Запишемо систему рівнянь (базисні невідомі виражаються через вільні):

$$\begin{aligned} x_2 &= 4 - \frac{2}{3}x_1 - \frac{1}{3}x_3; \\ x_4 &= 8 + \frac{1}{3}x_1 + \frac{2}{3}x_3 \end{aligned}$$

Виразимо цільову функцію через невідомі x_1, x_3 :

$$Z = 20 - \frac{7}{3}x_1 - \frac{2}{3}x_3.$$

Значення функції на цьому розв'язку:

$$Z = 12 - 0 + 2 \cdot 4 = 20.$$

З останнього вигляду функції бачимо: якщо збільшувати будь-яку з вільних невідомих x_1 або x_3 , то значення функції буде спадати. Тому опорний розв'язок оптимальний і задача розв'язана. Отже за допомогою вдалого вибору канонічної форми можна знайти відразу оптимальний план.

У загальному випадку з великою кількістю обмежень і невідомих є спеціальний метод зведення до неї. Канонічна форма — необхідна умова запису початкової симплекс-таблиці.

5.2. Симплекс-таблиця та робота з нею

Розв'язують задачі лінійного програмування (ЛП) за допомогою симплекс-таблиць.

У роботі з симплекс-таблицями не будемо розрізняти, де обмеження, а де оптимізуєча функція, тому позначимо $Z = x_0$ і запишемо все у вигляді рівнянь.

Розглянемо правила роботи з симплекс-таблицями на прикладі:

$$2x_1 + 3x_2 + x_3 = 12;$$

$$2x_1 - x_2 + x_4 = 4;$$

$$x_1, \dots, x_4 \geq 0;$$

$$(\max) x_0 = 3x_1 + 2x_2$$

Ітерація 1. Запишемо форму x_0 у вигляді рівняння

$$x_0 - 3x_1 - 2x_2 = 0.$$

Зведемо вихідну задачу до канонічної форми і заповнимо табл.5.2 для ітерації 1.

Таблиця 5.2

Номер рядка	Базисні невідомі	Опорний план	x_1	x_2	x_3	x_4
0	x_0	0	$-3 \downarrow$	-2	—	—
1	x_3	12	2	3	1	—
2	$\rightarrow x_4$	4	[2]	-1	—	1

Таблицю 5.2 заповнюємо формально за вибраною канонічною формою:

1. Заповнюємо базисні стовпчики: на перетині однойменних рядків і стовпчиків ставимо одиницю, а в усіх інших клітинках – нулі, які не пишемо.

2. В інших рядках випикуємо коефіцієнти, що стоять при відповідних невідомих. Нульовий рядок відповідає оптимізуєчій формі й служить для визначення ступеня оптимальності опорного плану.

Критерій оптимальності за симплекс-таблицями. Якщо форма максимізується і в нульовому рядку відсутні від'ємні числа (за винятком стовпчика «опорний план»), то опорний план оптимальний.

Коефіцієнти нульового рядка можна інтерпретувати як приріст функції x_0 при збільшенні вільної невідомої на одиницю. Приріст додатний, якщо коефіцієнт від'ємний, і від'ємний — якщо коефіцієнт додатний.

У цьому разі є два від'ємних числа $|-3|, |-2|$; беремо найменше $|-3|$ і стовпчик « x_1 » буде ключовим.

Для вибору ключового елемента складаємо відношення вільних членів (чисел «опорний план») до відповідних додатних чисел ключового стовпчика:

$$12:2=6;$$

$$4:2=2.$$

Друге відношення менше, тому що число «2» другого рядка – ключовий генеральний елемент. Ключовий елемент у табл.5.2 позначаємо квадратом і переходимо до ітерації 2.

Ітерація 2. Заповнюємо таблицю 5.3.

Таблиця 5.3

Номер рядка	Базисні невідомі	Опорний план	x_1	x_2	x_3	x_4
0	x_0	6	—	$-7/2 \downarrow$	—	$3/2$
1	$\rightarrow x_3$	8	—	[4]	1	-1
2	x_1	2	1	$-1/2$	—	$1/2$

Послідовність заповнення таблиці така:

1. Замість базисної невідомої x_4 вводимо нову базисну невідому x_1 (невідому ключового стовпчика).

2. Формально заповнюємо базисні стовпчики (п. 1 ітерації 1).

3. Для заповнення ключового рядка попередньої таблиці ділимо всі відповідні елементи на ключовий елемент і розміщуємо на своїх місцях у таблиці. Цей рядок називаємо ведучим (генеральним).

4. Усі інші рядки заповнюємо методом Жордана-Гауса, виключаючи x_1 послідовно з рядків 0 і 1. Для цього досить спочатку рядок 2 помножити на 3 і додати до рядка 0 табл.5.2, а потім рядок 2 табл.5.3 помножити на $|-2|$ і додати до рядка 1 табл. 5.2.

Рядки за п. 4 можна заповнювати за такими правилами:

а) знаходимо рядок, який треба заповнити в попередній таблиці і позначаємо у ньому число з ключового стовпчика;

б) множимо усі числа клітинок ведучого рядка на число, протилежне позначеному;

в) додаємо числа рядка, який заповнюємо попередньої таблиці до відповідних чисел, утворених у п. 4, б), розміщуємо на своїх місцях табл. 5.3.

Після заповнення таблиці перевіряємо її опорний план на оптимальність. Бачимо, що слід перейти до наступного опорного плану, оскільки в нульовому рядку стовпчика « x_2 » є від'ємне число $-7/2$. Відношення $8:4=2$ (у другому

рядку відношення не складається, бо коефіцієнт $-1/2$ — від'ємний. Отже, за ключовий елемент необхідно вибрати число «2».

Ітерація 3. У табл. 5.4 замість базисної x_3 ставимо нову базисну x_2 , ведучий – рядок 1. Над таблицею виконуємо ті самі операції, що й на ітерації 2.

Таблиця 5.4

Номер рядка	Базисні невідомі	Опорний план	x_1	x_2	x_3	x_4
0	x_0	13	—	—	$7/8$	$5/8$
1	x_2	2	—	1	$1/4$	$-1/4$
2	x_1	3	1	—	$1/8$	$3/8$

Табл. 5.4 заповнюємо в такій послідовності:

1. Числа першого рядка табл. 5.3 ділимо на 4.
2. Рядок множимо на $7/2$ і додаємо до нульового рядка табл. 5.3.
3. Рядок 1, помножений на $1/2$, додаємо до другого рядка попередньої табл. 5.3.

Результати від операції пп. 1, 2, 3 розташовуємо у відповідних клітинках відповідно до рядків 0, 1, 2 табл. 5.4.

У нульовому рядку немає від'ємних чисел, тому опорний план табл. 5.4 оптимальний. Випишуємо його із стовпчика «опорний план»:

$$x_1 = 3; x_2 = 2; x_3 = 0; x_4 = 0; x_{\text{оп}} = |3; 2; 0; 0|; x_{0\text{max}} = 13.$$

Примітки. 1. Кожній таблиці відповідає своя канонічна форма запису оптимальної задачі лінійного програмування (ОЗЛП). Так, наприклад, за табл. 5.4 можна записати:

$$x_2 + \frac{1}{4}x_3 - \frac{1}{4}x_4 = 2;$$

$$x_1 + \frac{1}{8}x_3 + \frac{3}{8}x_4 = 3;$$

$$x_{1,\dots,x_4} \geq 0;$$

$$(\max)x_0 = 13 - \frac{7}{8}x_3 - \frac{5}{8}x_4.$$

2. Контролювати правильність обчислення опорних планів і оптимального значення можна за вихідною формою

$$x_{0\text{max}} = 3 \cdot 3 + 2 \cdot 2 = 13.$$

4. При розв'язуванні задачі табл. 5.2-5.4 послідовно записуємо одну під одною. Вони мають такий вигляд (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Номер ітерації	Номер рядка	Базисні невідомі	Опорний план	x_1	x_2	x_3	x_4
1	0	x_0	0	$-3 \downarrow$	-2	—	—
	1 2	x_3 $\rightarrow x_4$	12 4	2 [2]	3 -1	1 —	— 1
2	0	x_0	6	—	$-7/2 \downarrow$	—	3/2
	1 2	$\rightarrow x_3$ x_1	8 2	— 1	[4] -1/2	1 —	-1 1/2
3	0	x_0	13	—			
	1 2	x_2 x_1	2 3	— 1	1 —	1/4 1/8	-1/4 3/8

Бачимо, що базисні стовпчики заповнюються формально і поки що для задач аналізу не використовуються. Тому можна заповнювати таблиці і без стовпчиків базисних невідомих. Такі таблиці називають редукованими. У даному прикладі редукована таблиця матиме вигляд (табл. 5.6):

Таблиця 5.6

Номер ітерації	Номер рядка	Базисні невідомі	Опорний план	Вільні невідомі	
				x_1	x_2
1	0	x_1	0	-3	-2
	1 2	x_3 x_4	12 4	2 2	3 -1
2				x_4	x_2
	0 1 2	x_0 x_3 x_1	6 8 2	3/2 -1 1/2	-7/2 4 -1/2
3				x_4	x_3
	0 1 2	x_0 x_2 x_1	13 2 3	5/8 -1/4 3/8	7/8 1/4 1/8

Завдання до практичного заняття №5

Розв'яжіть задачу ЛП за допомогою симплекс-таблиць:

$$Z = 5x_1 + 6x_2 + 10; \quad (\max);$$

$$2x_1 + 3x_2 \leq 18;$$

$$3x_1 + 2x_2 \leq 18;$$

$$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0.$$

Контрольні запитання

1. Які задачі розв'язують симплексним методом?
2. Канонічна форма задачі лінійного програмування. Наведіть конкретні приклади.
3. Який критерій оптимальності за симплекс-таблицями для задачі на ЛП на мінімум і максимум?
4. Як вибирати ключовий (генеральний) елемент?

Таблиця 6.1

Номер рядка	Базисні невідомі	Опорний план	x_1	x_2	x_3	x_4
0	f	34	7	-1	3	4
1	u_1	18	4	-2	1	3
2	u_2	16	3	1	2	1
3	x_0	0	-2	1	-3	1

Примітки щодо заповнення табл. 6.1.

1. Щоб заповнити опорний план, треба перевести штучні невідомі з базисних у вільні. Для цього у методі штучного базису використовуємо редуковані таблиці, оскільки після переходу у вільні штучна невідома буде непотрібна.

2. Нульовий рядок (рядок оцінок) заповнюємо за штучною формою. Його можна отримати формальним додаванням чисел відповідних стовпчиків системи обмежень.

3. Щоб у кінцевому результаті основна оптимізуюча форма також була виражена через вільні невідомі, їй відводимо останній рядок в таблиці й проводимо над ним ті ж перетворення, що й над іншими рядками.

Необхідні числення наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Номер ітерації	Номер рядка	Базисні невідомі	Опорний план	x_1	x_2	x_3	x_4
1	0	f	34	$7\downarrow$	-1	3	4
	1	$\rightarrow u_1$	18	[4]	-2	1	3
	2	u_2	16	3	1	2	1
	3	x_0	0	-2	1	-3	1
2	0	f	$5/2$		$5/2\downarrow$	$5/4$	$-5/4$
	1	x_1	$9/2$	1	$-1/2$	$1/4$	$3/4$
	2	u_2	$5/2$		[$5/2$]	$5/4$	$-5/4$
3	0	f	0			0	0
	1	x_1	5			$1/2$	$1/2$
	2	x_2	1	1	1	$1/2$	$-1/2$
	3	x_0	9			$-5/2$	$5/2$

У рядку «0» табл. 6.2 немає додатних чисел, тому план $\tilde{x} = |5,1,0,0,0|$ — оптимальний, а план $x^{(1)} = |5,1,0,0|$ — опорний для вихідної задачі.

Записуємо дані ітерації 3, де в рядку «0» стоять елементи формул x_0 (табл.6.3), і розв'язуємо початкову задачу.

Таблиця 6.3

Номер ітерації	Номер рядка	Базисні невідомі	Опорний план	x_1	x_2	x_3	x_4
1	0	x_0	9			$5/2 \downarrow$	$5/2$
	1 2	x_1 $\rightarrow x_2$	5 1	1	1	$1/2$ $[1/2]$	$1/2$ $-1/2$
2	0	x_0	14		5		0
	1 2	x_1 x_3	4 2	1	-1 2	1	1 -1

План $x^{(2)} = |4,0,2,0|$ — оптимальний; $x_{0\max} = 14$.

Для задачі, записаної на початку розділу, метод штучного базису дає такий результат (табл. 6.4):

$$\begin{aligned}
 x_1 + x_2 + x_3 + w_1 &= 2; \\
 x_1 + 3x_2 - x_4 + w_2 &= 3; \\
 x_1, \dots, x_4, w_1, w_2 &\geq 0; \\
 f &= w_1 + w_2 \text{ (min)}; \\
 x_0 &= 2x_1 + 2x_2 \text{ (max)}.
 \end{aligned}$$

Таблиця 6.4

Ітерація	Рядок	Базисні невідомі	Опорний план	x_1	x_2	x_3	x_4
1	0	f	5	$2 \downarrow$	-2	1	-1
	1	$\rightarrow w_1$	2	$[1]$	1	1	0
	2	w_2	3	1	-3	0	-1
	3	x_0	0	-2	-2	0	0
2	0	f	1		-4	-1	-1
	1	x_1	2	1	1	1	0
	2	w_2	1		-4	-1	-1
	3	x_0	4		0	2	0

Базисне невідоме $f_{\min} = 1$, тому система обмежень задачі не має жодного допустимого плану. Це можна помітити з того, що оптимальний план ітерації 2 містить базисну невідому w_2 , яка дорівнює одиниці.

4. Методом штучного базису можна окремо, без оптимізуючої форми, досліджувати систему обмежень на сумісність в області невід'ємних значень. Це доцільно зробити, коли деякі міркування вказують, що система обмежень може не мати допустимих планів.

Завдання до практичного заняття №6

Для вибраного варіанта (з таблиці практичного заняття №5) розв'язати задачу лінійного програмування згідно з варіантом. Обґрунтувати вибір методу.

Контрольні запитання.

1. Яка суть методу штучного базису?
2. Наведіть приклади, коли задача ЛП не має жодного допустимого плану.
3. Чим відрізняються задачі, які розв'язують методом штучного базису і симплексним методом?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7

Оптимізація параметрів елементів електронних схем методами математичного програмування

Мета заняття: ознайомлення з методом послідовної оптимізації при виборі оптимальної конструкції РЕА.

Теоретичні відомості

Сформульована певним чином статична (коли значення елементів схеми і сигналу не змінюються з часом) задача розрахунку схеми є задачею математичного програмування особливого типу. Апарат математичного програмування дає змогу враховувати фіксовані та змінні допуски, а також обмеження, зумовлені взаємним впливом допусків [8]. Для визначення меж допусків використовують статистичні дані. Інформація про їх граничні значення є достатньою для розрахунку більшості схем і зазвичай її надають виробники компонентів.

Мається на увазі, що системні критерії подають у вигляді обмежень, виражених в аналітичній (у вигляді формули або функції) формі, і вибрана принципова електрична схема забезпечує виконання потрібної функції.

Передбачається також, що розробнику відомі розкиди і максимально допустимі значення параметрів вибраних компонентів. Зокрема, це стосується знань діапазону значень параметрів компонентів протягом усього терміну експлуатації, а також їх залежність від температури.

Використовуючи вимоги до зовнішніх характеристик та обмежень, висунутих до компонентів, можна скласти систему нерівностей. У загальному випадку розв'язок, що задовольняє ці обидві системи, не є єдиним. Загалом, якщо існує бодай один розв'язок, то їх є нескінченна кількість.

Отже, з багатьох можливих розв'язків може бути вибраний оптимальний у відповідності з деяким заданим критерієм. Таким критерієм є, наприклад, мінімальна потужність розсіювання, мінімальна затримка або певна комбінація цих величин, взятих з певними ваговими коефіцієнтами. Ці критерії є прикладами цільових функцій.

Змінні можуть бути поділені на два класи. До першого належать змінні, для яких номінальні значення задані, а до другого — змінні, номінальні значення яких потрібно визначити. З кожним із номінальних значень цих компонентів пов'язаний параметр допуску t .

Застосування даного методу розглянемо на простому прикладі розрахунку подільника напруги (рис. 7.1).

Задача полягає в тому, щоб знайти такі мінімальні значення опорів R_1 і R_2 , які забезпечують максимальне значення вхідного імпедансу подільника

$$Z = R_1 + R_2$$

при обмеженнях:

$$E_{\text{вих}} \leq \frac{1}{2} E_{\text{вх}},$$

$$0 \leq R_1 \leq 110,$$

$$0 \leq R_2,$$

де резистори R_1 і R_2 мають допуск 10%. Таким чином, маємо:

$$V = \begin{bmatrix} R_{n1} \\ R_{n2} \end{bmatrix}, \quad T = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix},$$

де R_{n1} і R_{n2} – номінальні значення величин R_1 і R_2 , а T – вектор допусків.

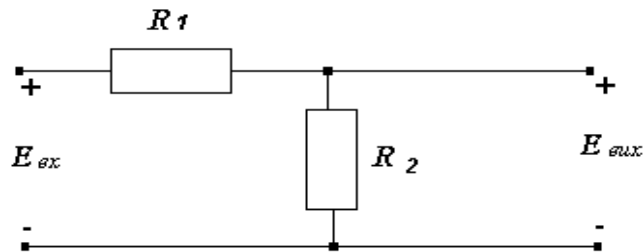


Рисунок 7.1 – Резистивний подільник напруги

Умови, що накладаються на розкиди, мають вигляд:

$$\begin{bmatrix} -0,1R_{n1} \\ -0,1R_{n2} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 0,1R_{n1} \\ 0,1R_{n2} \end{bmatrix}.$$

Скориставшись рівнянням, яке описує схему $E_{\text{вих}} \leq \frac{1}{2} E_{\text{вх}}$, отримаємо:

$$R_2 - R_1 \leq 0.$$

Використовуючи наведені вище вирази для обмежень, можемо побудувати область R допустимих значень величин R_1 і R_2 (рис. 7.2).

Будь-якому конкретному значенню вектора V в області R відповідає область r , яку складають можливі значення величин R_1 і R_2 , що лежать у межах заданих відносно номіналів допусків. З рисунка 2 бачимо, що для задоволення обмеження $0 \leq R_1 \leq 110$ слід вибрати $R_{n1} = 100$, а для того, щоб обмеження $R_2 - R_1 \leq 0$ виконувалося в умовах, які відповідають найгіршому випадку, величину R_{n2} потрібно визначити наступним чином:

$$R_{n2} + 0,1R_{n2} = R_{n1} - 0,1R_{n1}, \text{ звідки } R_{n2} = 81,8.$$

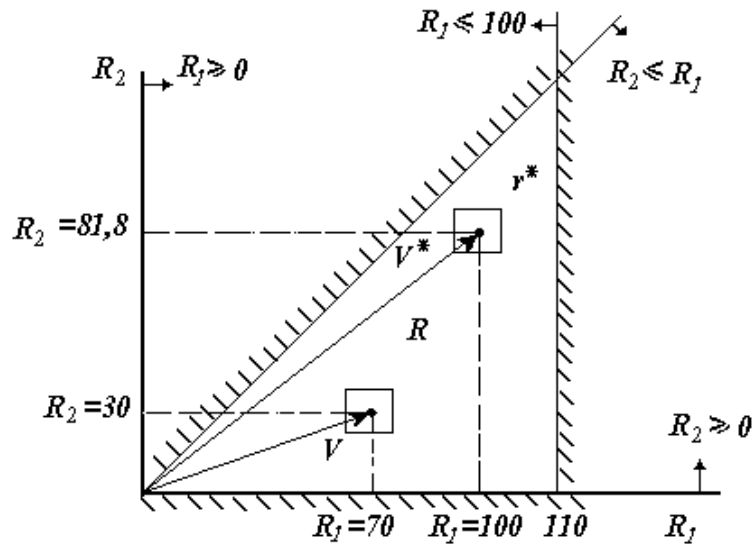


Рисунок 7.2 – Побудована область R допустимих значень величин R_1 і R_2

Зауважимо, що в даному прикладі використані геометричні побудови (рис. 7.2), щоб врахувати допуски в обмежених умовах і знайти значення параметрів для максимальної Z . У практичних задачах змінних буває значно більше і використовувати подібний підхід для безпосереднього розв'язування задачі в цілому не можна. Сформулюємо задачу заново.

Знайти максимальне значення величини

$$Z = R_{n1} + R_{n2},$$

за умов

$$(R_{n2} + t_{12}) - (R_{n1} + t_{11}) \leq 0$$

$$(R_{n1} + t_{21}) - 110 \leq 0$$

$$R_{n1} \geq 0, R_{n2} \geq 0.$$

Завдання до практичного заняття №7

Для варіанта завдання до практичного заняття №1 знайти для частоти $f = 1000$ Гц значення номіналів елементів схеми, які забезпечують модуль коефіцієнту передачі, що дорівнює 0,5 при максимальному вхідному імпедансі та заданих допусках. Значення допусків знайти в довіднику. Розв'язок задачі проілюструвати малюнком.

Контрольні запитання.

1. Сформулювати задачу для розрахунку схеми.
2. Пояснити поняття критерію. Навести критерії для розв'язування сформульованої задачі.
3. Що є в цій задачі цільовою функцією?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №8

Вибір рішення за наявності обмежень

Мета заняття: підбір значень параметрів електричних схем за допомогою функції Лагранжа

Теоретичні відомості

Розглянемо задачу мінімізації функції двох змінних

$$z = f(x, y),$$

де на x і y накладено обмеження [1], що задається рівнянням

$$g(x, y) = 0.$$

Загалом, рівняння $g(x, y) = 0$ можна розв'язати відносно y як функцію від x , тобто, $y = h(x)$. Звичайно, на практиці може виявитися важко або навіть неможливо знайти явний вигляд функції $h(x)$. При виконанні певних умов диференційованості похідна функції $h(x)$:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx} h(x) = -\frac{\partial g}{\partial x} / \frac{\partial g}{\partial y}.$$

Тоді функцію

$$z = f(x, y) = f[x, h(x)]$$

можна записати як функцію однієї незалежної змінної x . Необхідною умовою екстремуму функції z буде співвідношення:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dx} = 0,$$

тобто

$$\frac{\partial f}{\partial x} + \left(\frac{-\frac{\partial f}{\partial y}}{\frac{\partial g}{\partial y}} \right) \cdot \frac{\partial g}{\partial x} = 0.$$

Розв'язавши рівняння $g(x, y) = 0$ і $\frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx} h(x) = -\frac{\partial g}{\partial x} / \frac{\partial g}{\partial y}$, отримаємо значення

x^* і y^* в точці екстремуму.

Цей результат можна представити в іншій формі. Якщо покласти

$$\lambda = \frac{-\partial f}{\partial y}(x, y) / \frac{\partial g}{\partial y}(x, y)$$

при $x=x^*$, $y=y^*$, то в точці екстремуму виконуються співвідношення

$$g(x, y) = 0,$$

$$\frac{\partial f}{\partial x}(x, y) + \lambda \frac{\partial g}{\partial x}(x, y) = 0,$$

$$\frac{\partial f}{\partial y}(x, y) + \lambda \frac{\partial g}{\partial y}(x, y) = 0,$$

причому останнє впливає безпосередньо з співвідношення

$$\lambda = \frac{-\partial f}{\partial y}(x, y) / \frac{\partial g}{\partial y}(x, y).$$

Отримати необхідні умови можна, використовуючи функцію Лагранжа

$$F(x, y, \lambda) = f(x, y) + \sum_i \lambda_i g_i(x, y),$$

яка є сумою цільової функції і добутку множників Лагранжа λ на функції обмеження. Необхідні умови екстремуму функції $f(x, y)$ за наявності, наприклад, одного обмеження можна записати наступним чином:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial x}(x, y, \lambda) = \frac{\partial f}{\partial x}(x, y) + \lambda \frac{\partial g}{\partial x}(x, y) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial y}(x, y, \lambda) = \frac{\partial f}{\partial y}(x, y) + \lambda \frac{\partial g}{\partial y}(x, y) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda}(x, y, \lambda) = g(x, y) = 0. \end{cases}$$

Це – система трьох рівнянь, розв'язком якої є значення x^* , y^* і λ^* — в точці мінімуму.

Приклад

Знайти мінімум функції $f(x, y) = x^2 + y^2$ при обмеженні $x + y = 4$.

Функція Лагранжа має вигляд

$$F(x, y, \lambda) = x^2 + y^2 + \lambda(4 - x - y).$$

Відповідні умови мінімуму можна записати наступним чином:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 2x - \lambda = 0,$$

$$\frac{\partial F}{\partial y} = 2y - \lambda = 0,$$

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda} = 4 - x - y = 0.$$

Розв'язком цієї системи рівнянь є $x = y = 2$, $\lambda = 4$. Мінімум функції дорівнює 8. Результат можна перевірити, розглянувши функцію однієї змінної x , отриману виключенням y з функції Лагранжа:

$$z = x^2 + (4 - x)^2.$$

Завдання до практичного заняття №8

Для варіанта завдання до практичного заняття №1 знайти для частоти $f = 1000$ Гц значення номіналів елементів схеми, які забезпечують модуль коефіцієнта передачі, що дорівнює 0,5 при максимальному вхідному імпедансі та заданих допусках. Значення допусків знайти в довіднику. Розв'язок задачі проілюструвати малюнком.

Контрольні запитання.

1. Опишіть змістовно задачу математичного програмування для розв'язування якої можна застосувати метод множників Лагранжа.

2. Дайте інтерпретацію множника Лагранжа.

3. Приведіть достатню умову екстремуму цільової функції за наявності обмежень, коли цільова функція та обмеження є диференційовними функціями багатьох змінних.

4. Які величини беруть за критерій та за обмеження при виборі варіанта конструкції радіоапарата? Відповідь сформулюйте в рамках одного з явищ, властивих таким конструкціям.

ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ВІД МЕХАНІЧНИХ ВПЛИВІВ

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №9

Захист від вібрацій

Мета заняття: ознайомлення з методикою розрахунку амортизаторів для захисту конструкції РЕА від вібраційного впливу

Теоретичні відомості

Електронна апаратура, особливо спеціального призначення, в процесі експлуатації зазнає значних зовнішніх динамічних впливів: лінійних прискорень, вібрацій, ударів, які порушують нормальний режим її роботи (докладніше див. [1, 7, 10, 11]).

Ступінь механічного перевантаження при прискоренні a , якого зазнає апаратура, можна оцінити коефіцієнтом інерційного перевантаження.

$$j = \frac{a}{g},$$

де g – прискорення сили тяжіння.

Інерційне перевантаження може виникати за рахунок лінійного прискорення при зльоті, маневруванні та посадці літака, де встановлена апаратура, а також за рахунок вібрацій та ударів, які передаються на місця кріплення апаратури.

Приймаючи характер вібрацій апаратури за синусоїдальний виду $x = A_0 \sin \varpi_0 t$, отримаємо величину прискорення

$$\ddot{x} = -A_0 \varpi_0^2 \sin \varpi_0 t.$$

Найбільше значення прискорення за модулем

$$a = \ddot{x}_{\max} = A_0 \varpi_0^2,$$

де A_0 – найбільша амплітуда коливань;

ϖ_0 – кутова частота власних коливань центра мас амортизованого об'єкта.

Тоді коефіцієнт інерційного перевантаження електронної апаратури від вібрацій:

$$j = \frac{a}{g} = \frac{A_0 \varpi_0^2}{g} = \frac{(2\pi)^2 f_0^2}{g} A_0 = \frac{4\pi^2 f_0^2}{9810} A_0,$$

де $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ – частота коливань, Гц;

A_0 – найбільша амплітуда коливань, мм.

При ударі деталі й вузли механізмів ЕА піддаються значним перевантаженням. При цьому величина ударного імпульсу визначається за формулою:

$$P\tau = m(v_2 - v_1),$$

де P – сила удару;

τ – час ударного імпульсу;

v_2 і v_1 – швидкість центра інерційного вузла відповідно на кінці та на початку удару.

За заданим законом переміщення основи $z_1 = f(\tau)$ в результаті удару величину коефіцієнта інерційного перевантаження можна визначити за формулою

$$j = \frac{\ddot{z}_{1\max}}{g}.$$

Для ослаблення дії на ЕА перевантаження від вібрацій і ударів між апаратурою та основою в місцях кріплення встановлюють пружні елементи – амортизатори, які дозволяють зміною зміщення амортизованого об'єкта зменшити величину коефіцієнта інерційного перевантаження за рахунок зниження частоти коливань.

Електронна апаратура, встановлена на рухомих об'єктах, у процесі експлуатації зазнає механічних впливів, таких, як вібрації та удари. Залежно від характеру об'єкта частота вібрацій може лежати в діапазоні від одиниць до тисяч герц, а перевантаження можуть сягати десятків g .

Багато елементів конструкції апаратів можна представити у вигляді коливальних систем, кожна з яких має власну резонансну частоту. Поведінка коливальної системи при дії на неї зовні вібрацій залежить від відношення частоти цих вібрацій до резонансної частоти.

Забезпечити роботу електронного пристрою за наявності високочастотної вібрації тільки за рахунок надання конструкції необхідної жорсткості вдається не завжди. Тоді в конструкцію виробу вводять амортизатори. В загальному амортизатор – це пружинячий елемент, який з'єднує апарат із віброуючою основою: корпусом корабля, фюзеляжем літака і т.д. Конструктивно амортизатор виконують так, що він може витримувати вібраційні деформації протягом тривалого часу. Однією з важливих умов є правильний вибір жорсткості амортизаторів, яка визначає кутову частоту власних коливань амортизованої системи ω_0 при кутовій частоті збуджуючих коливань основи ω . Причому, для отримання ефекту амортизації, жорсткість вибирають такою, щоб у поєднанні з масою амортизованого пристрою вони утворювали

коливальну систему з низькою резонансною частотою, тобто, щоб виконувалась умова $\varpi \gg \varpi_0$. Для отримання ефекту амортизації відношення ϖ/ϖ_0 вибирають у межах 2,5...5. Це відношення позначають γ . Якщо частоти співпадають, то отримуємо не ослаблення, а підсилення амплітуди коливань – резонанс.

У загальному випадку амортизований об'єкт, вільно закріплений на пружних елементах, є системою з 6-ма ступенями свободи і з таким же числом власних частот коливань: 3-х лінійних уздовж координатних осей і 3-х кутових відносно тих же осей. При цьому розрахунок параметрів коливань виявляється складною задачею. Для ідеалізованого випадку, коли вважати, що маса пристрою зосереджена в його центрі тяжіння й однакові амортизатори розміщені симетрично відносно центра тяжіння, частоту власних коливань у вертикальному напрямі можна бути обчислити за формулою $f_0 = \varpi_0/(2\pi) = 15,8\sqrt{1/z_{CT}}$, де z_{CT} – статичний прогин амортизатора (деформація під дією маси пристрою). Жорсткість амортизатора k характеризується навантаженням, яке викликає деформацію амортизатора на 1мм,:

$$k = P / z_{CT},$$

звідки

$$z_{CT} = P / k.$$

Значення k і z_{CT} наближено можна визначити за номограмою (рис.9.1.)

Величину, яка дозволяє оцінити ефект амортизації, називають коефіцієнтом віброізоляції η . Її визначають як відношення амплітуди коливання апарата до амплітуди коливань основи.

Амортизатори, які використовують для віброізоляції, вносять затухання в коливальну систему. Затухання може створюватися внутрішнім тертям у матеріалі амортизатора або спеціальними пристроями (демпферами) в його конструкцію. Коефіцієнт демпфування:

$$D = \frac{1}{Q} = \frac{h_z}{2m\varpi_0}$$

де Q – добротність системи,

m – маса амортизованого об'єкту,

h_z – коефіцієнт внутрішнього опору середовища.

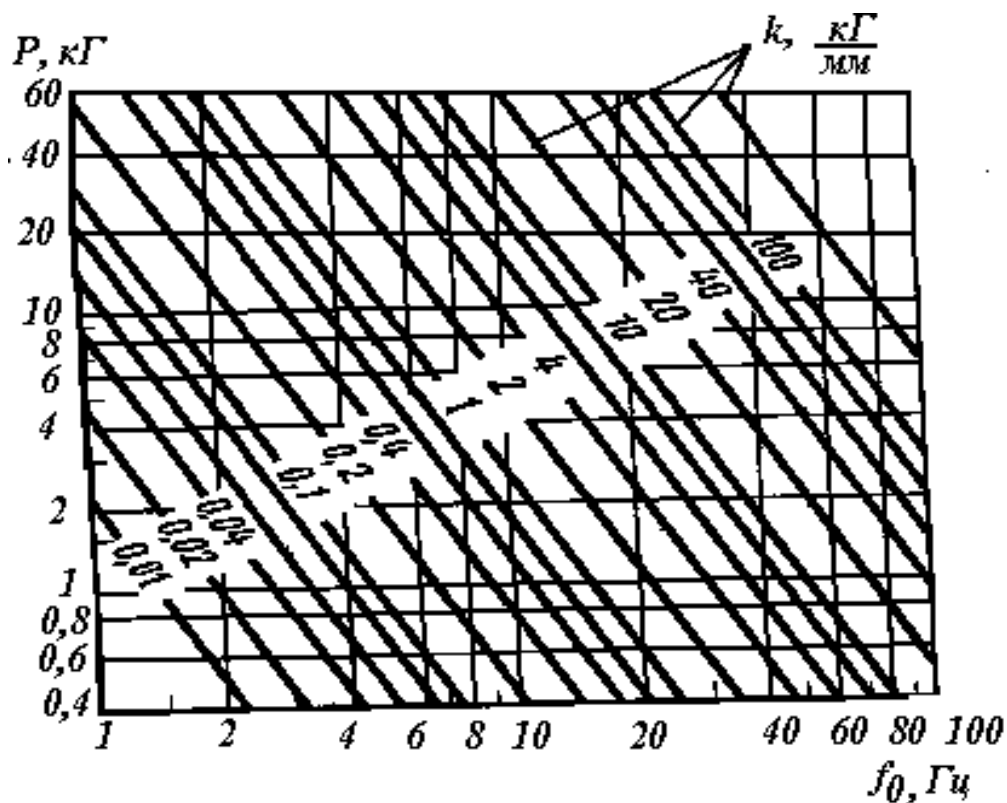


Рисунок 9.1 – Номограма для визначення жорсткості k амортизатора

У момент резонансу амплітуда коливань апарата буде мати скінченне значення, тим менше, чим більше затухання в системі (рис. 9.2). Віброізоляція апарата має місце при $\gamma > \sqrt{2}$.

Щоб забезпечити бічну стійкість об'єкта, його кріплять на кількох амортизаторах. Перш, ніж приступити до розміщення амортизаторів, необхідно знайти положення центра тяжіння апарата. Тут можна скористатися формулами:

$$x = \frac{P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots + P_i x_i}{P_1 + P_2 + \dots + P_i}; y = \frac{P_1 y_1 + P_2 y_2 + \dots + P_i y_i}{P_1 + P_2 + \dots + P_i}$$

де P_1, P_2, P_i - маси всіх блоків, з яких складається апарат, включаючи кожух і шасі;

x, y – координати центра тяжіння апарата відносно координатних осей X і Y ;

x_i, y_i – координати центра тяжіння i -го блока відносно координатних осей X і Y .

Якщо амортизатори розмістити симетрично відносно центра тяжіння апарату, то навантаження на всі амортизатори буде однаковим:

$$P_i = \frac{P_A}{n}$$

де P_i – навантаження на i -тий амортизатор;
 P_A – маса апарату;
 n – кількість амортизаторів.

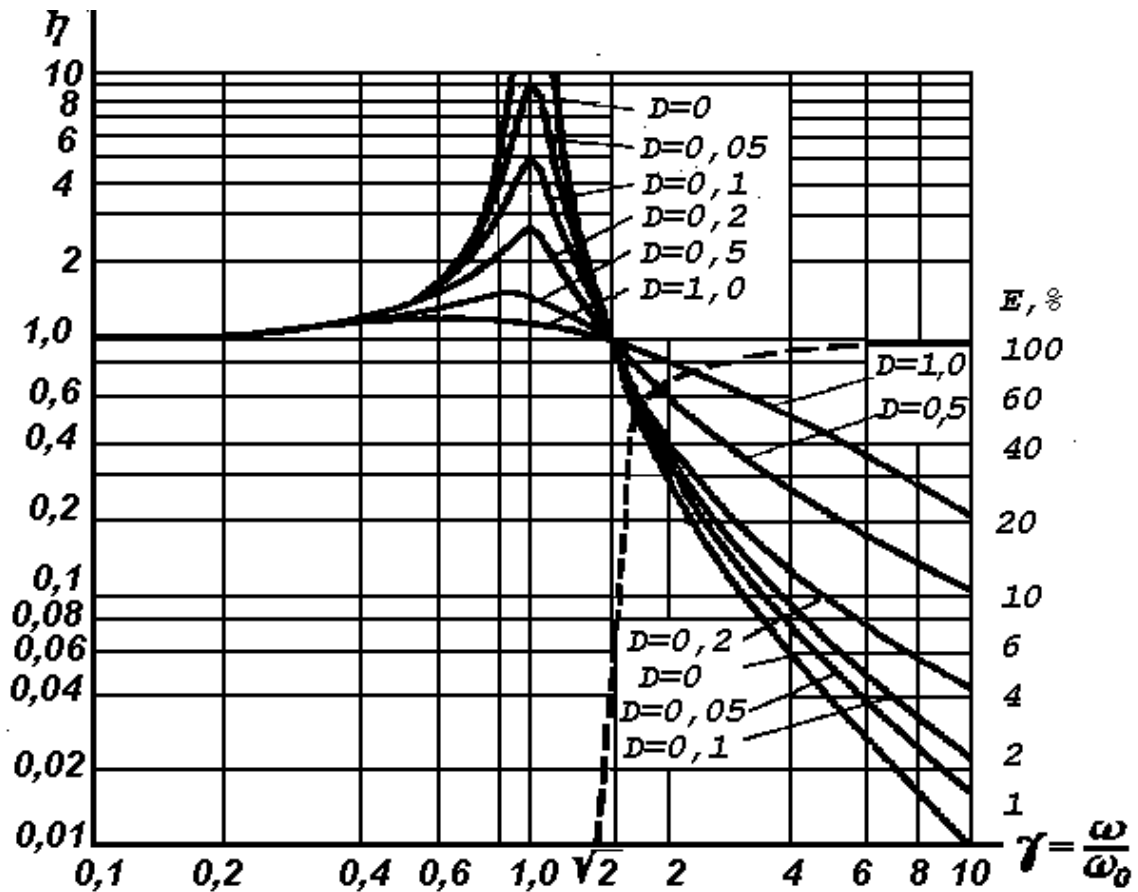


Рисунок 9.2 – Графіки зміни коефіцієнтів віброізоляції η та ефективності E залежно від співвідношення між частотою збудження і власною частотою коливань системи при різних значеннях демпфування

Основні типи амортизаторів

Розглянемо основні характеристики амортизаторів, які використовують в апаратуробудуванні.

Гумово-металевий амортизатор типу АП (пластинчатий) та АЧ (чашкоподібний)

Захищають від ударів та вібрацій при частоті >50 Гц.

Пружним елементом вказаних амортизаторів є гумова шайба спеціальної форми, привулканізована до металевої втулки і пластини.

Переваги: прості за конструкцією, компактні, легкі та дешеві. Недоліки: погано витримують тривалі деформації, жорсткість різко зростає при зниженні температури (при $t=-30^{\circ}\text{C}$ жорсткість зростає в 1,5 рази, при $t=-60^{\circ}\text{C}$ – непридатні для експлуатації), при $t>80^{\circ}\text{C}$ гума “старіє” і в ній виникають поверхневі тріщини.

Ці амортизатори випускають кількох типорозмірів на номінальні навантаження від 0,54 до 15,75 кГ.

Амортизатори підсилені (АУ)

Аналогічні за конструкцією до типу АП, але мають потужніший гумовий масив.

Стержневі амортизатори (АН)

Мають вигляд стержня, працюють на стиск і згин, забезпечують захист при частотах >15 Гц.

Опорні (АО) та опорно-втулкові (АВ)

АО мають вигляд конусної гумової прокладки, яку закріплюють за допомогою гвинта до основи амортизованого об'єкта. АВ хомутом закріплюють на об'єкт, а амортизований блок закріплюють до нього.

Гумові шнури, гумові та войлочні прокладки

Гумова шнурова амортизація забезпечує найнижчі резонансні частоти (2-5 Гц) за рахунок збільшення габаритів амортизованої системи, оскільки апаратура підвішується на шнурах. Шнур складається з пучка гумових волокон, розтягнутих до 150-200% від початкової довжини і зафіксованих у цьому стані текстильною обмоткою. Розміри шнурів і допустимі навантаження наведено в табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Діаметр шнура, мм	8	10	13	16	18
Допустиме навант., кГ	15-25	27-40	55-80	85-120	140-180

При амортизації за допомогою прокладок вони працюють в основному на стиск і зсув. Прокладки, як правило, бувають круглої або прямокутної форми. Для них допустимий тиск $p=3$ кГ/см². Для правильної роботи слід передбачати можливість зміни форми гуми (видування), оскільки гума може змінювати форму, але не об'єм. Для войлочних прокладок беруть тиск $p=0,5$ кГ/см².

Демпфуючі амортизатори (АД)

В амортизаторах цього типу пружним елементом є сталева пружина, сконструйована так, що при збільшенні маси об'єкта витки пружини входять один в один, осідають на опорну пластину і виключаються з роботи. Це призводить до збільшення жорсткості амортизатора, яку розраховують так, щоб частота власних коливань змінювалась незначно. Такі амортизатори називають рівночастотними.

Розраховані на навантаження від 0,25 до 15 кГ, можуть бути восьми типорозмірів. Частота власних коливань об'єкта лежить у межах 7-9 Гц. Захист при частоті 10-12 Гц при амплітудах вібрацій від 0,5 до 1,5мм. Добре сприймають ударні навантаження, знижуючи ударні прискорення у 2,8 раза.

Недолік: залежність ступеня демпфування від властивостей повітря (при зменшенні тиску повітря, наприклад на висотних літаках, ступінь демпфування різко зменшується).

Амортизатори з фрикційним демпфуванням (АФД)

Пружними елементами є дві конічні пружини, нижня з яких має більшу жорсткість. Для кращого сприймання ударних навантажень у нижній частині амортизатора розміщено пружну шайбу з тонкого дроту. Частотна характеристика не має чітко вираженого резонансу: частота власних коливань – 13-17 Гц.

Переваги: характеристики не змінюються зі зміною температури від -60 до +150°C при змінах тиску і вологості повітря в будь-яких межах. Найповніше задовольняють вимоги до віброзахисту електронної апаратури.

Скористаємося наведеними залежностями для розрахунку і вибору амортизаторів. Будемо вважати заданими чи відомими:

- а) вагу амортизованої апаратури P_A ;
- б) число амортизаторів n у кожному напрямі;
- в) частоту збудження ϖ або $f = \varpi / 2\pi$;
- г) коефіцієнт віброізоляції η або відношення частот γ ;
- д) вібраційне прискорення $a = jg$.

Порядок розрахунку:

1. Визначити навантаження на один амортизатор.
2. Вибрати частоту вільних коливань апаратури на амортизаторах. Якщо задано γ , то $\varpi_0 = \frac{\varpi}{\gamma}$, а $f_0 = \frac{\varpi_0}{2\pi}$.
3. За рис. 9.1 визначити статичний прогин амортизатора і його жорсткість.
4. За рис. 9.2 визначити коефіцієнт і ефективність віброізоляції.
5. Підібрати тип амортизатора відповідно до навантаження та жорсткості.
6. Визначити амплітуду коливань амортизованого блока при $\varpi = \varpi_0$.

Приклад

Блок вагою $P_A = 16$ кГ встановлено на чотирьох амортизаторах. Необхідно підібрати тип амортизатора, якщо частота збудження по вертикальній осі $f = \varpi / 2\pi = 80$ Гц, вібраційне прискорення блока $a = 5g$; коефіцієнт віброізоляції прийняти $\eta = 0,08$, $D = 0,05$ (обґрунтувати).

Розв'язування:

1. Навантаження на один амортизатор $P = \frac{P_A}{n} = \frac{16}{4} = 4$ кГ.

2. За величиною коефіцієнта віброізоляції $\eta=0,08$ і $D=0,05$, використовуючи графік (рис. 9.2), визначимо коефіцієнт $\gamma = 4$ і частоту власних коливань:

$$f_0 = f / \gamma = 80 / 4 = 20 \text{ Гц.}$$

3. Визначимо статичний прогин амортизатора z_{CT} і його жорсткість $k = P / z_{CT}$. За номограмою (рис. 9.1) при $f_0=20$ Гц прогин $k=0,62$ мм, а жорсткість при $P=4$ кГ дорівнює:

$$z_{CT} = \frac{P}{k} = \frac{4}{0,62} = 6,5 \frac{\text{кГ}}{\text{мм}}.$$

4. Приймаючи $P=4$ кГ за номінальне навантаження, виберемо амортизатор типу АН-10, який має жорсткість $k=10/1,6=6,25$ кГ/мм, або АП-3-25-11,25 $k=11,25/1,6=7$ кГ/мм.

5. Визначимо амплітуду коливань блока

$$A_0 = \frac{a}{\omega_0^2} = \frac{jg}{4\pi^2 f_0^2} = \frac{5 \cdot 9810}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 20^2} = 3,1 \text{ мм.}$$

При різних навантаженнях на амортизатор, коли їх розміщення відносно центра тяжіння несиметричне, використовують рівночастотні амортизатори типу АД.

Завдання до практичного заняття №9

Блок вагою P_A , кГ встановлено на n амортизаторах. Необхідно підібрати тип амортизатора, якщо частота збудження по вертикальній осі $f = \omega / 2\pi = 80$ Гц, вібраційне прискорення блока $a = 5g$. Значення P_A , n , η , D взяти з табл.9.2 згідно з варіантом (за необхідності значення η , D можна вибрати іншими, вибір обґрунтувати).

Таблиця 9.2

	P_A (кГ)	n	f (Гц)	η	D
	1	2	3	4	5
1.	20	4	80	0,2	0,5
2.	16	4	90	0,1	0,2
3.	36	4	80	0,08	0,05
4.	40	4	80	0,06	0,1
5.	12	4	80	0,2	0,5
6.	16	4	90	0,02	0,2
7.	20	4	100	0,2	0,05
8.	15	4	100	0,1	0,1
9.	18	4	70	0,08	0,5
10.	24	4	100	0,06	0,2

Продовження таблиці 9.2

	1	2	3	4	5
11.	28	4	80	0,04	0,05
12.	32	4	70	0,02	0,1
13.	60	6	90	0,2	0,5
14.	15	4	60	0,1	0,2
15.	200	6	100	0,08	0,05
16.	150	6	80	0,06	0,1
17.	28	4	60	0,04	0,5
18.	48	4	100	0,02	0,1
19.	440	6	80	0,2	0,05
20.	120	6	90	0,1	0,1
21.	18	4	70	0,08	0,5
22.	36	4	80	0,06	0,2
23.	240	6	100	0,04	0,05
24.	360	6	80	0,02	0,1
25.	20	4	90	0,2	0,5
26.	48	4	70	0,1	0,2
27.	50	4	60	0,08	0,05
28.	25	4	100	0,06	0,1
29.	64	4	80	0,04	0,05
30.	74	6	90	0,02	0,2

Контрольні запитання.

1. Чим оцінюють ступінь механічного перевантаження?
2. В чому суть амортизації?
3. Які пружні елементи використовують в амортизаторах?
4. Що таке демпфування?
5. Як визначають координати центра тяжіння апарата, що складається з кількох блоків?
6. Що таке коефіцієнт віброізоляції?
7. Дати змістовну інтерпретацію задачі математичного програмування (для завдання 6) на прикладі конструкторського рішення.
8. Пояснити різницю між вібростійкістю та віброміцністю.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №10

Захист від ударів

Мета заняття: ознайомлення з методикою вибору амортизаторів для захисту РЕА від ударних впливів

Теоретичні відомості

Удари та поштовхи мають характер імпульсів. Прискорення, які виникають при цих впливах, сягають великих значень (десятки і сотні g) і можуть викликати пошкодження або порушити нормальну роботу апаратури.

Для послаблення дії удару між апаратурою і основою встановлюють амортизатори, у цьому випадку максимальне прискорення апаратури $a_{a \max}$ від ударного імпульсу зменшується.

На відміну від вібрацій удар (при трактуванні його в часі) – це короткотривалий імпульсний вплив і широкосмуговий вплив в частотній області (докладніше див. [1, 10, 11]). „Тривалість” удару позначають τ , де $0 < \tau < T_{imn} / 2$. Умовний період ударного імпульсу:

$$T_{imn} = 2\tau = \frac{2\pi}{\omega}$$

Для практичних розрахунків ефективності амортизації ударів вводиться коефіцієнт віброізоляції:

$$\eta = \frac{a_{a \max}}{a_{oc \max}},$$

де $a_{oc \max}$ – максимальне значення прискорення основи.

Тоді ефективність можна оцінити за формулою:

$$E = (1 - \eta) \cdot 100\% .$$

При розрахунку на удар для вибору амортизаторів, як правило, задають вагу апаратури, прискорення ударного імпульсу, тривалість ударного імпульсу, максимальну допустиму величину прискорення для апаратури.

Порядок розрахунку:

1. Визначення (з деяким запасом) коефіцієнта віброізоляції.
2. За тривалістю ударного імпульсу визначення умовного періоду і кутової частоти.
3. Визначення величини γ за коефіцієнтами η та D .

4. Визначення власної частоти амортизованого об'єкта:

$$\varpi_0 = \frac{\varpi}{\gamma}.$$

5. Визначення статичного прогину

$$z_{CT} = \frac{g}{\varpi_0^2}.$$

6. Визначення навантаження на один амортизатор і його жорсткості:

$$P = \frac{P_A}{n}, \quad k = \frac{P}{z_{CT}}.$$

7. Вибір типу амортизатора.

Приклад

При зльоті дослідницької ракети на основу блока радіоапаратури вагою $P_A = 40$ кГ діють неперіодичні ударні імпульси з прискоренням $a_{oc \max} = 125$ g, тривалістю 0,04 с. Допустиме прискорення для нормальної роботи блоку $a_{a \max} = 20$ g. Необхідно підібрати необхідний тип амортизаторів.

Розв'язування:

1. Величина коефіцієнта віброізоляції $\eta = \frac{a_{a \max}}{a_{oc \max}} = 20/125 = 0,16$.

2. Умовний період і частота ударних імпульсів:

$$T_{imn} = 2\tau = 2 \cdot 0,04 = 0,08 \text{ с}; \quad \varpi = \frac{2\pi}{T_{imn}} = \frac{6,28}{0,08} = 78,5 \text{ с}^{-1};$$

$$f = \frac{\varpi}{2\pi} = \frac{78,5}{6,28} = 12,5 \text{ Гц}.$$

3. Приймаючи $D=0,2$, визначимо за рис.9.2 величину γ при $\eta=0,16$.
Отримаємо $\gamma=4$.

4. Визначимо власну частоту коливань амортизованого об'єкта і його статичний прогин:

$$\varpi_0 = \frac{\varpi}{\gamma} = 78,5/4 = 19,62 \text{ с}^{-1};$$
$$f_0 = \frac{f}{\gamma} = \frac{12,5}{4} = 3,125 \text{ Гц}; \quad z_{CT} = \frac{g}{\varpi_0^2} = \frac{9810}{(19,6)^2} = 26,5 \text{ мм}$$

5. Визначимо навантаження на один амортизатор і його жорсткість:

$$P=40/4=10 \text{ кГ}; \quad k=10/26,5=0,375 \text{ кГ/мм.}$$

6. За отриманими характеристиками виберемо вісім гумових шнурів, на яких блок підвішується в крайніх точках: верхні 4 є несучими, нижні відіграють роль розтяжок (за табл. 9.1, практичне заняття №9) виберемо шнур діаметром $d=8$ мм.

Завдання до практичного заняття №10

При зльоті супутника на основу блока медичної дослідницької апаратури вагою P_A кГ діють неперіодичні ударні імпульси з прискоренням $a_{oc \max}$ тривалістю τ . Допустиме прискорення для нормальної роботи блока 20g. Необхідно підібрати тип амортизатора. Дані для обчислень брати з табл. 10.1 (згідно з варіантами).

Таблиця 10.1

№ вар.	P_A	τ	$a_{oc \max}$	D
1	60	0,04	125 g	0,5
2	80	0,06	123 g	0,2
3	48	0,05	130 g	0,05
4	56	0,03	126 g	0,1
5	66	0,08	128 g	0,5
6	44	0,04	129 g	0,2
7	38	0,06	132 g	0,05
8	40	0,05	131 g	0,1
9	50	0,03	123 g	0,5
10	70	0,08	125 g	0,2
11	60	0,04	122 g	0,05
12	80	0,06	128 g	0,1
13	48	0,05	124 g	0,5
14	56	0,03	127 g	0,2
15	66	0,08	126 g	0,05
16	44	0,04	125 g	0,1
17	38	0,06	123 g	0,5
18	40	0,05	130 g	0,2

Продовження таблиці 10.1

№ вар.	P_A	τ	$a_{oc \max}$	D
19	50	0,03	126 g	0,05
20	70	0,08	128 g	0,1
21	60	0,04	129 g	0,5
22	80	0,06	132 g	0,2
23	48	0,05	131 g	0,05
24	56	0,03	123 g	0,1
25	66	0,08	125 g	0,5
26	44	0,04	122 g	0,2
27	38	0,06	128 g	0,05
28	40	0,05	124 g	0,1
29	50	0,03	127 g	0,2
30	70	0,08	126 g	0,1

Контрольні запитання.

1. Що таке удар?
2. Як можна трактувати амортизатор?
3. Що таке коефіцієнт віброізоляції?
4. Дати змістовну інтерпретацію задачі математичного програмування (для практичного завдання) на прикладі конструкторського рішення.
5. Пояснити різницю між ударо-стійкістю та ударо-міцністю.

Тепломасообмін в електронних апаратах

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №11

Розрахунок теплового режиму електронної апаратури при природному повітряному охолодженні

Мета заняття: розрахунок теплового режиму РЕА.

Теоретичні відомості

Теплопровідність – це властивість тіла передавати теплоту від точок із вищою температурою до точок з нижчою температурою. Потужність, яка виділяється за рахунок теплопровідності однорідним тілом зі сталим поперечним перерізом, виражають у вигляді:

$$P = \frac{as}{l} \cdot \Delta t$$

де a – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м•град);

s – площа поперечного перерізу тіла, м²;

l – довжина тіла, м;

Δt – різниця температур між кінцями тіла, град.

Для спрощеної теплової моделі, коли обчислюють середньоповерхневу температуру нагрітої зони, можна визначати її еквівалентні розміри за формулами [1, 3, 12].

Об'єм апарата

$$V_{an} = l_1 l_2 h,$$

де l_1, l_2 – розміри основи корпусу;

h – висота корпусу.

Об'єм деталей V_d дорівнює сумі об'ємів шасі й усіх деталей, встановлених на ньому.

Коефіцієнт заповнення об'єму апарата

$$K_3 = V_d / V_{an}.$$

Величину перегрівання нагрітої зони θ_3 для апаратів у герметичному і перфорованому корпусах, які працюють при нормальному атмосферному тиску та за відсутності зовнішнього обдуву корпусу і внутрішнього перемішування повітря, визначають за коефіцієнтом питомої потужності нагрітої зони (K_{q3}) і коефіцієнтом (K_{II}), пов'язаним з коефіцієнтом перфорації:

$$\theta_3 = K_{q3} K_{II}.$$

Питому потужність нагрітої зони визначають як частку від ділення потужності P_3 , яка розсіюється нагрітою зоною, на умовну поверхню нагрітої зони S_3 :

$$q_3 = P_3 / S_3,$$

де умовну поверхню нагрітої зони визначають за формулою:

$$S_3 = 2(l_1 \cdot l_2 + (l_1 + l_2)hK_3),$$

де l_1, l_2 – розміри основи корпусу;

h – висота корпусу;

K_3 – коефіцієнт заповнення.

Перегрівання корпусу герметичного апарата (тобто, за відсутності перфорації: $\theta_1 = K_{qk}$), який працює в нормальних умовах, залежить від питомої потужності корпусу апарата q_k , яка визначається за формулою:

$$q_k = P_3 / S_k,$$

де $S_k = 2(l_1 \cdot l_2 + (l_1 + l_2)h)$ – поверхня корпусу блока.

Перегрівання поверхні елемента можна записати у вигляді:

$$\theta_{ел} = \theta_3 \left(a + b \frac{q_{ел}}{q_3} \right).$$

Коефіцієнти a і b дорівнюють відповідно 0,75 і 0,25.

Наведені залежності дозволяють визначити середньоповерхневу температуру нагрітої зони і температури поверхонь елементів електронної апаратури при природному повітряному охолодженні.

Розглянемо порядок розрахунку теплового режиму для найпростішого випадку – блока в герметичному корпусі. Алгоритм розрахунку наступний:

1. Розрахувати поверхню корпусу блока.
2. Визначити умовну поверхню нагрітої зони.
3. Визначити питому потужність корпусу блока.
4. Розрахувати питому потужність нагрітої зони.
5. Обчислити коефіцієнт θ_1 залежно від питомої потужності корпусу блока (рис. 11.1).

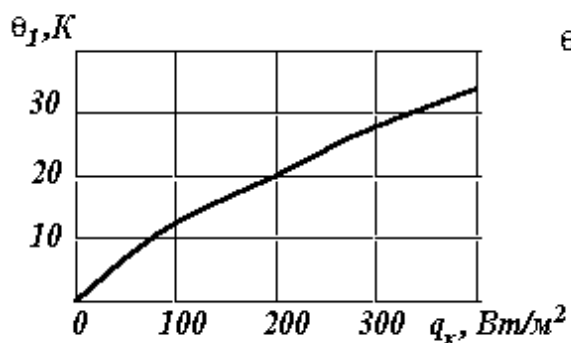


Рисунок 11.1. Залежність перегрівання корпусу від питомої потужності

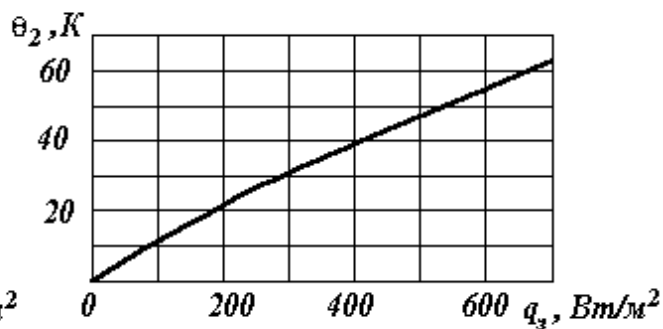
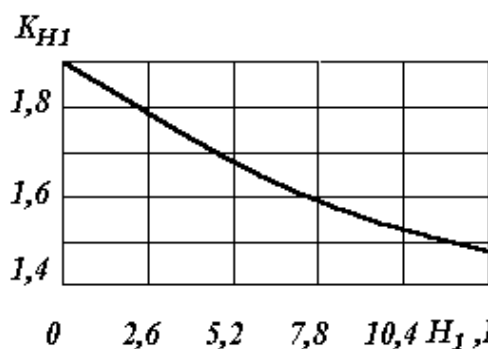


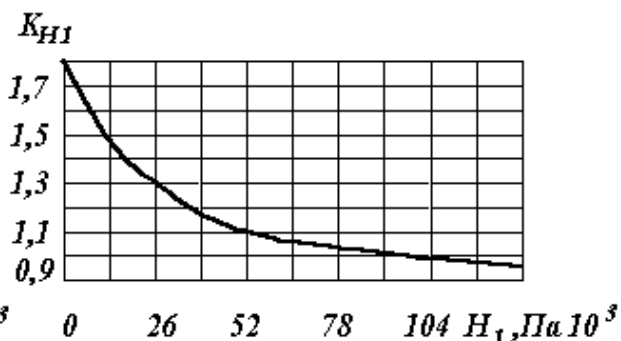
Рисунок 11.2. Залежність перегрівання нагрітої зони від питомої потужності розсіювання

6. Знайти коефіцієнт θ_2 залежно від питомої потужності нагрітої зони (рис. 11.2).

7. Знайти коефіцієнт K_{H1} залежно від тиску середовища H_1 поза корпусом (рис. 11.3).



а)

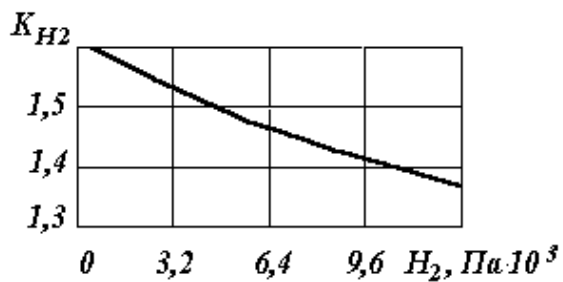


б)

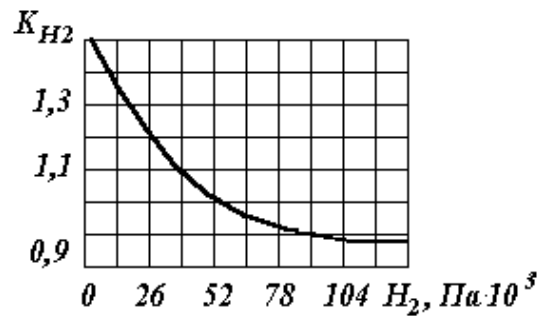
Рисунок 11.3 – Залежність K_{H1} від тиску зовнішнього середовища:

а) $0 \leq H_1 \leq 2,6 \cdot 10^3 \text{ Па}$; б) $0 \leq H_1 \leq 130 \cdot 10^3 \text{ Па}$

8. Знайти коефіцієнт K_{H2} залежно від тиску середовища H_2 всередині корпусу (рис. 11.4).



а)



б)

Рисунок 11.4. Залежність K_{H_2} від тиску середовища всередині апарата:

а) $0 \leq H_2 \leq 12,8 \cdot 10^3 \text{ Па}$; б) $0 \leq H_2 \leq 130 \cdot 10^3 \text{ Па}$

9. Визначити перегрівання корпусу блока:

$$\theta_k = \theta_1 K_{H_1}.$$

10. Розрахувати перегрівання нагрітої зони:

$$\theta_3 = \theta_k + (\theta_2 - \theta_1) K_{H_2}.$$

11. Визначити середнє перегрівання повітря в блоці:

$$\theta_{нов} = 0,5(\theta_k + \theta_3).$$

12. Визначити питому потужність елемента:

$$q_{ел} = P_{ел} / S_{ел},$$

де $P_{ел}$ – потужність, яка розсіюється елементом, температуру якого необхідно визначити;

$S_{ел}$ – площа поверхні елемента (разом з радіатором), яку обтікає повітря.

13. Розрахувати перегрівання поверхні елемента.

14. Розрахувати перегрівання середовища, яке оточує елемент:

$$\theta_{сер} = \theta_{нов} \left(0,75 + 0,25 \frac{q_{ел}}{q_3} \right).$$

15. Визначити температуру корпусу блока:

$$T_k = \theta_k + T_c.$$

де T_c – температура середовища, яке оточує блок.

16. Визначити температуру нагрітої зони:

$$T_3 = \theta_3 + T_c.$$

17. Знайти температуру поверхні елемента:

$$T_{el} = \theta_{el} + T_c.$$

18. Знайти середню температуру повітря в блоці:

$$T_{нов} = \theta_{нов} + T_c.$$

19. Знайти температуру середовища, яке оточує елемент:

$$T_{сер} = \theta_k + T_c.$$

Приклад

Визначити тепловий режим блока в герметичному корпусі і його елементів. Потужність, яка розсіюється в блоці, $P=30$ Вт; потужність, яка розсіюється двома елементами: $P_1=2,5$ Вт; $P_2=2,2$ Вт; розміри основи корпусу $l_1=0,160$ м, $l_2=0,180$ м, висота $h=0,190$ м; площа поверхні елементів $S_1=8 \cdot 10^{-3}$ м², $S_2=118 \cdot 10^{-3}$ м²; коефіцієнт заповнення $K_3=0,3$; температура оточуючого середовища $T_c=293$ К (+20⁰С); тиск оточуючого середовища $H_1=H_2=0,1$ Мпа.

Розв'язування:

1. Розрахуємо поверхню корпусу блока:

$$S_k = 2(0,160 \cdot 0,180 + (0,160 + 0,180) \cdot 0,190) = 0,187 \text{ м}^2.$$

2. Визначимо умовну поверхню нагрітої зони:

$$S_3 = 2(0,160 \cdot 0,180 + (0,160 + 0,180) \cdot 0,190 \cdot 0,3) = 0,096 \text{ м}^2.$$

3. Визначимо питому потужність корпусу блока

$$q_k = 30 / 0,187 = 160 \text{ Вт / м}^2.$$

4. Розрахуємо питому потужність нагрітої зони:

$$q_3 = 30 / 0,096 = 312 \text{ Вт / м}^2.$$

5. Знайдемо коефіцієнт θ_1 залежно від питомої потужності корпусу блока (рис. 11.1):

$$\theta_1 = 17,5 \text{ К.}$$

6. Знайдемо коефіцієнт θ_2 залежно від питомої потужності нагрітої зони (рис. 11.2):

$$\theta_2 = 33,0 \text{ К.}$$

7. Знайдемо коефіцієнт K_{n1} залежно від тиску середовища H_1 поза корпусом (рис. 11.3):

$$K_{n1} = 1,0.$$

8. Знайдемо коефіцієнт K_{n2} залежно від тиску середовища H_2 всередині корпусу (рис. 11.4):

$$K_{n2} = 1,0.$$

9. Визначимо перегрівання корпусу блока:

$$\theta_k = 17,5 \cdot 1,0 = 17,5 \text{ К.}$$

10. Розрахуємо перегрівання нагрітої зони:

$$\theta_3 = 17,5 + (33 - 17,5) \cdot 1,0 = 33 \text{ К.}$$

11. Визначимо середнє перегрівання повітря в блоці:

$$\theta_{нов} = 0,5(33 + 17,5) = 25,3 \text{ К.}$$

12. Визначимо питому потужність елементів:

$$q_{ел1} = 2,8 / 8 \cdot 10^{-3} = 350 \text{ Вт / м}^2,$$

$$q_{ел2} = 2,2 / 11 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 18,6 \text{ Вт / м}^2.$$

13. Розрахуємо перегрівання поверхні елементів:

$$\theta_{ел1} = 33 \left(0,75 + 0,25 \frac{350}{312} \right) = 34 \text{ К,}$$

$$\theta_{el2} = 33 \left(0,75 + 0,25 \frac{18,6}{312} \right) = 25,2 \text{ К.}$$

14. Розрахуємо перегрівання середовища, яке оточує елементи:

$$\theta_{cep1} = 25,3 \left(0,75 + 0,25 \frac{350}{312} \right) = 26,1 \text{ К,}$$

$$\theta_{cep2} = 25,3 \left(0,75 + 0,25 \frac{18,6}{312} \right) = 19,3 \text{ К.}$$

15. Визначимо температуру корпусу блока:

$$T_k = 17,5 + 293 = 310,5 \text{ К.}$$

16. Визначимо температуру нагрітої зони:

$$T_z = 33 + 293 = 326 \text{ К.}$$

17. Знайдемо температуру поверхні елементів:

$$T_{el1} = 34 + 293 = 327 \text{ К,}$$

$$T_{el2} = 25,2 + 293 = 318,2 \text{ К.}$$

18. Знайдемо середню температуру повітря в блоці:

$$T_{нов} = 25,3 + 293 = 318,2 \text{ К.}$$

19. Знайдемо температуру середовища, яке оточує елементи:

$$T_{cep1} = 26,1 + 293 = 319,1 \text{ К,}$$

$$T_{cep2} = 19,3 + 293 = 312,3 \text{ К.}$$

Завдання до практичного заняття №11

Визначити тепловий режим блоку в герметичному корпусі і його елементів. Потужність, яка розсіюється в блоці, $P = 35$ Вт; потужність, яка розсіюється двома елементами: P_1 Вт; P_2 Вт; розміри основи корпусу l_1 м, l_2 м, висота – $h = 0,2$ м; площа поверхні елементів S_1 м², S_2 м²; коефіцієнт заповнення $K_3 = 0,4$; температура оточуючого середовища $T_c = 293$ К (+20⁰С);

тиск оточуючого середовища $H_1=H_2=0,1$ Мпа. Значення P_1 , P_2 , S_1 , S_2 , l_1 , l_2 вибрати з таблиці 11.1 (згідно з варіантом).

Таблиця 11.1

№ вар.	P_1 (Вт)	P_2 (Вт)	S_1 (м ²)	S_2 (м ²)	l_1 (м)	l_2 (м)
1	2,4	2,2	$8 \cdot 10^{-3}$	$118 \cdot 10^{-3}$	0,180	0,165
2	2,5	3,4	$9 \cdot 10^{-3}$	$120 \cdot 10^{-3}$	0,150	0,180
3	3,2	5,3	$7 \cdot 10^{-3}$	$115 \cdot 10^{-3}$	0,160	0,150
4	2,3	4,6	$12 \cdot 10^{-3}$	$200 \cdot 10^{-3}$	0,200	0,160
5	2,6	2,5	$5 \cdot 10^{-3}$	$116 \cdot 10^{-3}$	0,240	0,200
6	3,1	2,2	$8 \cdot 10^{-3}$	$117 \cdot 10^{-3}$	0,120	0,240
7	3,5	3,5	$9 \cdot 10^{-3}$	$210 \cdot 10^{-3}$	0,170	0,120
8	2,7	3,7	$7 \cdot 10^{-3}$	$114 \cdot 10^{-3}$	0,190	0,170
9	2,8	4,2	$12 \cdot 10^{-3}$	$110 \cdot 10^{-3}$	0,230	0,190
10	2,9	4,3	$5 \cdot 10^{-3}$	$108 \cdot 10^{-3}$	0,250	0,230
11	2,4	3,9	$8 \cdot 10^{-3}$	$118 \cdot 10^{-3}$	0,180	0,250
12	2,5	2,4	$9 \cdot 10^{-3}$	$120 \cdot 10^{-3}$	0,150	0,165
13	3,2	5,2	$7 \cdot 10^{-3}$	$115 \cdot 10^{-3}$	0,160	0,180
14	2,3	5,7	$12 \cdot 10^{-3}$	$200 \cdot 10^{-3}$	0,200	0,150
15	2,6	2,3	$5 \cdot 10^{-3}$	$116 \cdot 10^{-3}$	0,240	0,160
16	3,1	2,2	$8 \cdot 10^{-3}$	$117 \cdot 10^{-3}$	0,120	0,200
17	3,5	3,4	$9 \cdot 10^{-3}$	$210 \cdot 10^{-3}$	0,170	0,240
18	2,7	5,3	$7 \cdot 10^{-3}$	$114 \cdot 10^{-3}$	0,190	0,120
19	2,8	4,6	$12 \cdot 10^{-3}$	$110 \cdot 10^{-3}$	0,230	0,170
20	2,9	2,5	$5 \cdot 10^{-3}$	$108 \cdot 10^{-3}$	0,250	0,190
21	2,4	2,2	$8 \cdot 10^{-3}$	$118 \cdot 10^{-3}$	0,180	0,230
22	2,5	3,5	$9 \cdot 10^{-3}$	$120 \cdot 10^{-3}$	0,150	0,250
23	3,2	3,7	$7 \cdot 10^{-3}$	$115 \cdot 10^{-3}$	0,160	0,160
24	2,3	4,2	$12 \cdot 10^{-3}$	$200 \cdot 10^{-3}$	0,200	0,150

Контрольні запитання.

1. Що таке теплопровідність?
2. Що таке термостатування, яким чином воно здійснюється?
3. Що включає в себе механізм відведення тепла?
4. Як визначити умовну потужність нагрітої зони?
5. Як визначити перегрівання поверхні елемента? Поясніть значення змінних.
6. Чи залежить перегрівання нагрітої зони від тиску зовнішнього середовища?

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ У РЕА

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №12

Ознайомлення з деякими методами подавлення паразитних наведень

Мета заняття: навчитися оцінювати ступінь впливу паразитного зв'язку.

Теоретичні відомості

У процесі конструювання радіоелектронної апаратури і подавлення в ній паразитних наведень часто виникає необхідність швидко оцінити ступінь впливу того чи іншого виду паразитного зв'язку. У більшості випадків ці зв'язки виникають через невраховані параметри з'єднувальних проводів. Орієнтовані значення цих параметрів наведено в таблицях [13].

Таблиця 12.1 – Опір та індуктивність мідного прямого проводу

Діаметр проводу, мм	Опір мОм, при довжині 100 мм	Індуктивність, нГн при довжині проводу, мм		
		50	100	200
0.1	220	70	150	330
0.5	8.9	50	120	260
1.0	2.3	40	100	230
2.0	0.56	35	80	200

Таблиця 12.2 – Мідний прямий провід, паралельний корпусу приладу

Діаметр проводу, мм	Індуктивність, нГн на 100 мм довжини при відстані між проводом і корпусом		
	1	10	100
0.1	74	116	142
0.5	41	84	110
1.0	28	70	96
2.0	14	56	80

Таблиця 12.3 – Провід, паралельний корпусу приладу

Діаметр проводу, мм	Ємність, пФ на 100 мм довжини при відстані між проводом і корпусом		
	1	10	100
0.1	1.5	0.9	0.7
0.5	2.7	1.4	0.8
1.0	4.0	1.6	0.9
2.0	8.0	1.8	1.0

Таблиця 12.4 – Два паралельних проводи

Діаметр проводу, мм	Ємність, пФ на 100 мм довжини при відстані між проводом і корпусом		
	2	10	50
0.1	0.75	0.5	0.04
0.5	1.4	0.75	0.05
1.0	2.0	0.9	0.06
2.0	5.0	1.3	0.07

Таблиця 12.5 – Два однакових провідники на односторонній склотекстолітовій друкованій платі

Діаметр проводу, мм	Ємність, пФ на 100 мм довжини при відстані між проводом і корпусом		
	d=0.5	d=1.0	d=2.0
0.3	0.42	0.26	0.21
0.5	0.47	0.38	0.28
1.0	0.60	0.47	0.38
2.0	0.70	0.60	0.47

Таблиця 12.6 – Провідник і екран на односторонній склотекстолітовій друкованій платі

Діаметр проводу, мм	Ємність між провідником і екраном, не більше пФ/см при відстані d між провідником і екраном, мм		
	d=0.5	d=1.0	d=2.0
0.3	0.53	0.42	0.32
0.5	0.60	0.46	0.40
1.0	0.70	0.60	0.46
2.0	0.81	0.70	0.60

Таблиця 12.7 – Два однакових провідники на двосторонній склотекстолітовій друкованій платі

Ширина проводу, мм	Ємність між провідниками, не більше пФ/см при товщині h плати, мм					
	h =0,5	h =0,8	h =1,0	h =1,5	h =2,0	h =2,5
0,3	0,84	0,72	0,66	0,60	0,54	0,51
0,5	1,08	0,90	0,75	0,72	0,63	0,60
1,0	1,75	1,32	1,08	0,90	0,75	0,73
2,0	2,70	1,98	1,75	1,35	1,08	1,02

Таблиця 12.8 – Провідник і екран на двосторонній склотекстолітовій друкованій платі

Ширина проводу, мм	Ємність між провідником і екраном, не більше пФ/см при товщині h плати, мм					
	h =0,5	h =0,8	h =1,0	h =1,5	h =2,0	h =2,5
0,3	1,32	1,02	0,93	0,9	0,9	0,9
0,5	1,68	1,32	1,17	0,93	0,9	0,9
1,0	2,40	1,92	1,68	1,38	1,17	1,05
2,0	3,35	2,70	2,40	1,95	1,68	1,50

Таблиця 12.9 – Окремий провідник і екран на односторонній склотекстолітовій друкованій платі

Ширина проводу, мм	Індуктивність, нГн, при різній довжині l провідника, мм			
	l=10	l=20	l=50	l=100
0,3	9,6	22	62	138
0,5	8,4	19,5	58	130
1,0	7,0	16,8	51	116
2,0	5,6	14,0	44	102

Таблиця 12.10 – Прямий провідник на двосторонній склотекстолітовій друкованій платі

Ширина проводу, мм	Індуктивність, нГн/см при товщині h плати, мм					
	h =0,5	h =0,8	h =1,0	h =1,5	h =2,0	h =2,5
0,3	4,9	5,9	6,3	7,1	7,7	8,1
0,5	3,9	4,9	5,3	6,1	6,7	7,1
1,0	2,5	3,3	3,9	4,7	5,3	5,7
2,0	1,1	1,9	2,5	3,3	3,9	4,4

При користуванні таблицями слід враховувати, що:

а) ємності та опори в усіх таблицях пропорційні довжині проводу;
 б) індуктивності в таблицях 12.1–12.9 нелінійно залежать від довжини проводу, для визначення індуктивностей проводів проміжної довжини та довжини, що виходить за межі вказаних таблиць у 2...3 рази, можна приймати пряму пропорційність індуктивності довжині проводу, похибка не перевищуватиме 10...15%;

в) індуктивності в таблицях 12.1, 12.2, 12.9, 12.10 входять до замкненого контуру струму, зворотні проводи і поверхні для випадків, розглянутих у табл. 12.1, 12.9 віддалені настільки, що їх впливом можна знехтувати, для випадків табл. 12.2, 12.10 весь зворотний струм протікає по екрану або найближчій стінці приладу;

г) величини всіх індуктивностей задано без врахування частотно залежного поправочного коефіцієнта;

д) ємності між друкованими провідниками табл. 12.5–12.8 задано для склотекстоліту, відносна діелектрична проникність якого обмежена ГОСТом $\epsilon_r \leq 6$, для гетинаксу $\epsilon_r \leq 7$, необхідно ємності в табл. 12.5, 12.6 збільшити на 14%, а в табл. 12.7, 12.8 – на 16,5%, для фторопласту $\epsilon_r \leq 2$, необхідно ємності в табл. 12.5, 12.6 зменшити в 2,3 рази, а в табл. 12.7, 12.8 – в 3 рази.

Результати, отримані за цими таблицями мають точність не нижче 20%.

Завдання до практичного заняття №12

За даними пункту д) скласти таблиці для:

- 1-й варіант – гетинаксу;
- 2-й варіант – фторопласту.

Контрольні запитання.

1. Чому виникають паразитні наведення?
2. Що розуміють під паразитним наведенням?
3. Основні види паразитних зв'язків.
4. Пояснити залежність різних видів паразитних зв'язків від відстані.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №13

Принципи екранування магнітного поля

Мета заняття: ознайомлення з методами оцінювання ефективності екранування постійного, високочастотного магнітного поля та магнітного поля, що повільно змінюється при використанні різних екранів.

Теоретичні відомості

Під екрануванням розуміють локалізацію електромагнітного поля в певному об'ємі [7, 10, 13].

Ефективністю екранування ξ називають відношення напруг, струмів, напруженостей електричного і магнітного полів в екранованому просторі за відсутності екрана та за його наявності:

$$\xi = \frac{U}{U'} = \frac{I}{I'} = \frac{E}{E'} = \frac{H}{H'}.$$

У техніці провідного зв'язку цю величину прийнято задавати в неперах:

$$B = \ln \xi = 0,115A \text{ (Нп)}.$$

У радіотехніці ефективність екранування задають у децибелах:

$$A = 20 \lg \xi = 8,7B \text{ (дБ)}.$$

Від постійного і повільно змінного магнітного поля захищають за допомогою екранів, виготовлених з феромагнітних матеріалів (пермалою або сталі) з великою відносною магнітною проникністю μ_r . Цей вид екранування називають магнітостатичним екрануванням або шунтуванням магнітного поля екраном. Його використовують за необхідності усунути наведення на частотах 0...1 кГц. Тут ефективність екранування не залежить від частоти і її можна наближено обчислити за формулою:

$$\xi = 1 + \frac{\mu_r d}{D},$$

де μ_r – відносна магнітна проникність матеріалу екрана; d – товщина стінок екрана; D – діаметр еквівалентного сферичного екрана, близький до довжини стінки кубічного екрана.

Приклад 1

Визначити ефективність екранування на частотах 0...1 кГц, яку забезпечує кубічний екран з довжиною стінки $D = 100$ мм, виготовлений зі сталі товщиною $d = 0,8$ мм з $\mu_r = 100$. Електричні властивості екрануючих матеріалів взяти з табл. 13.1.

Розв'язування:

$$\xi = 1 + \frac{\mu_r d}{D} = 1 + 0,8 = 1,8; \quad B = \ln 1,8 = 0,59 \text{ Нп}; \quad A = 20 \lg 1,8 = 5,1 \text{ дБ}.$$

Звідси випливає, що такий екран майже не працює.

Таблиця 13.1 – Електричні властивості екрануючих матеріалів

Характеристика	Мідь	Латунь	Алюміній	Сталь	Сталь	Пермалой
Питомий опір ρ , Ом · мм ² /м	0,0175	0,06	0,03	0,1	0,1	0,65
Питома провідність σ , См · см ³	$57 \cdot 10^4$	$16,6 \cdot 10^4$	$33 \cdot 10^4$	$10 \cdot 10^4$	$10 \cdot 10^4$	$1,54 \cdot 10^4$
Відносна магнітна про- відність μ_r	1	1	1	50	100	12000
Еквівалентна глибина проникнення δ , мм, при частоті, Гц						
10 ²	6,7000	12,4000	8,8000	–	1,540	0,380
10 ³	2,1000	3,9000	2,7500	–	0,490	0,120
10 ⁴	0,6700	1,2400	0,8800	–	0,154	0,038
10 ⁵	0,2100	0,3900	0,2750	–	0,049	0,012
10 ⁶	0,0670	0,1240	0,0880	0,0230	–	–
10 ⁷	0,0210	0,0390	0,0275	0,0070	–	–
10 ⁸	0,0067	0,0124	0,0088	0,0023	–	–

Для розрахунку ефективності екранування вихровими струмами вважатимемо, що визначальними є два фактори: зворотне поле, створене струмами, що протікають в екрані та поверхневий ефект в матеріалі екрану. На низьких частотах, коли товщина екрану $d < \delta$, поверхневий ефект незначний, тобто діє лише перший фактор, розрахунок здійснюють за наближеним виразом:

$$\xi \approx \sqrt{1 + \left(\frac{\omega \mu_0 \sigma D d}{2m} \right)^2}. \quad (13.1)$$

На високих частотах при $d > \delta$ діють обидва фактори й ефективність обчислюють за формулою

$$\xi = e^{d/\delta} \left(\frac{1}{2} + \frac{D}{2,8 m \mu_r \delta} \right) \quad (13.2)$$

В останніх двох виразах d – товщина стінок екрану, см; D – ширина коробки прямокутного екрану або діаметр циліндричного чи сферичного екрану, см; m – коефіцієнт форми екрану: для прямокутного $m=1$; для циліндричного $m=2$; для сферичного $m=3$.

Приклад 2

Визначити ефективність екранування на частоті $f = 10^5$ Гц, яка забезпечується мідним циліндричним екраном товщиною $d = 0,8$ мм при діаметрі $D = 80$ мм.

За табл. 13.1 еквівалентна глибина проникнення $\delta = 0,21$ мм, $d/\delta = 3,8$ і необхідно скористатися формулою (13.2) для випадку $d > \delta$.

Після підстановки отримаємо $\xi = 3060$, $B = 8$ Нп, $A = 69,6$ дБ.

Завдання до практичного заняття №13

1. Підібрати матеріал для екрана так, щоб ефективність екранування підвищилась (приклад 1).

2. Визначити, як зміниться ефективність екранування, розрахована в попередньому прикладі, при заміні мідного екрана сталевим з $\mu_r = 100$ (приклад 2).

3. Визначити ефективність екранування вихровими струмами на частотах 100 і 1000 Гц, яку забезпечує циліндричний мідний екран товщиною $d = 0,8$ мм при діаметрі $D = 80$ мм.

4. Визначити, як зміниться ефективність екранування, розрахована в попередньому прикладі, при заміні мідного екрана сталевим з $\mu_r = 100$.

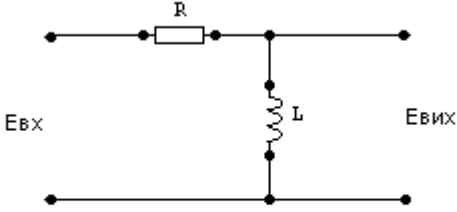
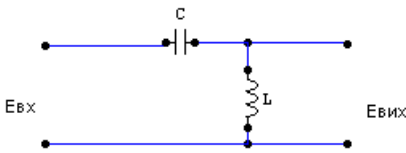
Контрольні запитання.

1. Що таке екранування?
2. Які є види екранування (залежно від розміщення джерела наведень)? Пояснити суть кожного виду.
3. Які є види екранів?
4. Принципи екранування електричного поля?
5. Принципи екранування магнітостатичного та повільно змінного магнітного поля?
6. Принципи екранування високочастотного магнітного поля?
7. Поясніть, як здійснити одночасне екранування електричного і магнітного полів?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1 АНАЛОГІЇ ТА МОДЕЛІ ФІЗИЧНИХ ЯВИЩ		
1	Для чого вводять безрозмірні параметри	а) для зменшення кількості параметрів і знаходження простішої задачі, близької до заданої
		б) для спрощення процесу створення фізичної моделі
		в) щоб побачити взаємодію між величинами
2	Що розуміють під фізичною моделлю	а) модель відповідного фізичного пристрою
		б) модель, що описує рух фізичних тіл
		в) модель, яка зберігає природу явища, але в інших кількісних співвідношеннях
3	Що розуміють під аналоговою моделлю	а) модель, що описує структуру системи, в яку входять аналогові пристрої
		б) модель, яка використовує аналогію між величинами, що описуються однаковими виразами в різних явищах
		в) модель відповідного аналогового пристрою
4	Обчисліть значення АЧХ СL ланки при заданих параметрах $L=10 \text{ Гн}$, $C=1\text{мФ}$, $R=1000 \text{ Ом}$, $\omega = 2\pi f$, $f = 50\text{Гц}$, $j = \sqrt{-1}$	а) 1,001
		б) 2,002
		в) 3,5
5	Обчисліть значення АЧХ СR ланки при заданих параметрах $L=10 \text{ Гн}$, $C=1\text{мФ}$, $R=1000 \text{ Ом}$, $\omega = 2\pi f$, $f = 50\text{Гц}$, $j = \sqrt{-1}$	а) 3
		б) 1,5
		в) 0,9999
6	Обчисліть значення АЧХ RC ланки при заданих параметрах $L=10 \text{ Гн}$, $C=1\text{мФ}$, $R=1000 \text{ Ом}$, $\omega = 2\pi f$, $f = 50\text{Гц}$, $j = \sqrt{-1}$	а) 0,0032
		б) 0,005
		в) 0,01
7	Обчисліть значення ФЧХ СL ланки при заданих параметрах $L=10 \text{ Гн}$, $C=1\text{мФ}$, $R=1000 \text{ Ом}$, $\omega = 2\pi f$, $f = 50\text{Гц}$, $j = \sqrt{-1}$	а) ФЧХ=3
		б) ФЧХ=1
		в) ФЧХ=0

8	Обчисліть значення ФЧХ CR ланки при заданих параметрах $L=10$ Гн, $C=1$ мФ, $R=1000$ Ом, $w = 2\pi f$, $f = 50$ Гц, $j = \sqrt{-1}$	а) 0,0032
		б) 1,5
		в) 0
9	Обчисліть значення ФЧХ RC ланки при заданих параметрах $L=10$ Гн, $C=1$ мФ, $R=1000$ Ом, $w = 2\pi f$, $f = 50$ Гц, $j = \sqrt{-1}$	а) 0,1
		б) 1,5677
		в) 0
10	Запишіть вираз для визначення функції передачі для CL ланки	а) $H(jw) = \frac{w^2 LC}{w^2 LC - 1}$
		б) $H(jw) = \frac{1}{w^2 LC - 1} + LC$
		в) $H(jw) = \frac{w^2 LC}{1 + wLC}$
11	Запишіть вираз для визначення функції передачі для CR ланки	а) $H(iw) = \frac{R^2 C^2 w^2}{1 + R^2 C^2 w^2} + j \cdot \frac{RCw}{1 + R^2 C^2 w^2}$
		б) $H(iw) = \frac{R^2 C^2 w^2}{1 + R^2 C^2 w^2}$
		в) $H(iw) = \frac{1}{1 + R^2 C^2 w^2} + RCw$
12	Визначити абсолютну похибку моделювання АЧХ RC ланки $L=10$ Гн, $C=1$ мФ, $R=1000$ Ом, $\Delta R=10\%$, $\Delta C=10\%$, $\Delta L=10\%$, $w = 2\pi f$, $f = 50$ Гц, $j = \sqrt{-1}$	а) $\Delta H = 0,1$
		б) $\Delta H = 3,2 \cdot 10^{-4}$
		в) $\Delta H = 0,0005$
2 ОСНОВИ ТЕОРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ПРИЙНЯТТЯ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ		
13	Вибрати метод і розв'язати задачу лінійного програмування $z = 7x_1 + 3x_2 + 20$ $6x_1 - 5x_2 \leq 30$; $-x_1 + 2x_2 \leq 6$; $10x_1 + 9x_2 \leq 90$; $x_1 \geq 0$; $x_2 \geq 0$.	а) симплекс-метод; $z_{\min} = 20$; $z_{\max} = 980/13$
		б) симплекс-метод; $z_{\min} = -20$; $z_{\max} = 80/13$
		в) метод штучного базису; $z_{\min} = 35$; $z_{\max} = 80$

14	Знайти мінімальне та максимальне значення цільової функції геометричним методом $z = 7x_1 + 3x_2 + 20$ $6x_1 - 5x_2 \leq 30;$ $-x_1 + 2x_2 \leq 6;$ $10x_1 + 9x_2 \leq 90;$ $x_1 \geq 0; x_2 \geq 0.$	а) $z_{\min} = 20; z_{\max} = 980/13$
		б) $z_{\min} = 35; z_{\max} = 80$
		в) $z_{\min} = -20; z_{\max} = 80/13$
15	Вибрати метод і розв'язати задачу лінійного програмування $z = 4x_1 + x_2 + 14 \rightarrow \min$ $x_1 - x_2 \leq 5;$ $-x_1 + x_2 \leq 5;$ $2x_1 + 3x_2 \geq 6;$ $x_1 \geq 0; x_2 \geq 0.$	а) $Z = 12$ штучний базис
		б) $Z = 12$ симплекс метод
		в) $Z = 18$ симплекс метод
16	<p>Оптимізувати параметри елементів електронної схеми методом математичного програмування</p>  <p>при умовах: $E_{вих} \leq \frac{1}{2} E_{vx},$ $R_L \leq 110$ (допуск 10%)</p>	а) $R = 110 \text{ Ом}; L = 18,5 \text{ мГн}$
		б) $R = 100 \text{ Ом}; L = 15,9 \text{ мГн}$
		в) $R = 100 \text{ Ом}; L = 18 \text{ Гн}$
17	 <p>при умовах: $E_{вих} \leq \frac{1}{2} E_{vx},$ $R_C \leq 1150$ (допуск 15%)</p>	а) $C = 0,16 \text{ мФ}; L = 1,2 \text{ Гн}$
		б) $C = 0,6 \text{ мкФ}; L = 3,2 \text{ мГн}$
		в) $C = 0,16 \text{ мкФ}; L = 1,2 \text{ мГн}$

3 МЕХАНІЧНІ ВПЛИВИ В КОНСТРУКЦІЯХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТІВ

18	Що розуміють під стійкістю апаратури до зовнішніх впливів?	<p>а) властивість апаратури виконувати свої функції в умовах впливу зовнішнього фактора, зберігаючи при цьому значення параметрів у межах, встановлених нормативною технічною документацією</p> <p>б) властивість апаратури протистояти впливу зовнішнього фактора і зберігати після припинення впливу значення параметрів у межах, встановлених нормативною технічною документацією</p> <p>в) властивість апаратури протистояти впливу зовнішнього фактора і зберігати після припинення і під час впливу значення параметрів у межах, встановлених нормативною технічною документацією</p>
19	Що Ви розуміють під міцністю апаратури стосовно зовнішніх впливів?	<p>а) властивість апаратури виконувати свої функції в умовах впливу зовнішнього фактора, зберігаючи при цьому значення параметрів у межах, встановлених нормативною технічною документацією</p> <p>б) властивість апаратури протистояти впливу зовнішнього фактора і зберігати після припинення впливу значення параметрів у межах, встановлених нормативною технічною документацією</p> <p>в) властивість апаратури протистояти впливу зовнішнього фактора і зберігати після припинення і під час впливу значення параметрів у межах, встановлених нормативною технічною документацією</p>
20	Визначити частоту коливань амортизатора, коли період ударного імпульсу дорівнює 0,04с, прискорення вільного падіння $g=9,8 \text{ м/с}^2$	<p>а) $\omega=157\text{Гц}$</p> <p>б) $\omega=15\text{Гц}$</p> <p>в) $\omega=1,57\text{Гц}$</p>

21	Визначити власну частоту амортизованого об'єкту, коли $\eta=0,06$; $D=0,2$; $\gamma=4$; $\omega=19,62$ Гц.	а) $\omega=50$ Гц
		б) $\omega=78,48$ Гц
		в) $\omega=7$ Гц
22	Визначити частоту власних коливань, при $f=80$ Гц; $\eta=0,06$; $D=0,2$; $\gamma=4$.	а) $f_0=20$ Гц
		б) $f_0=20$ МГц
		в) $f_0=120$ Гц
23	Визначити амплітуду коливань блоку, коли частота власних коливань $\omega_0=100$ Гц; $\gamma=5$; $g=9,8$ м/с	а) $A_0=6$ мм
		б) $A_0=0,4$ см
		в) $A_0=3,1$ мм
4 ТЕПЛОМАСООБМІН ЕЛЕКТРОННИХ АПАРАТАХ		
24	Визначити температуру середовища, яке оточує елемент у корпусі. Середнє перегрівання повітря в блоці $\theta_{пов}=25,3$ Коефіцієнти $a=0,75$, $b=0,25$ Питома потужність нагрітої зони $q_3=312$ Вт/м ² Питома потужність елемента $q=350$ Вт/м ²	а) 312 К
		б) 319,1 К
		в) 324 К
25	Визначити температуру середовища, яке оточує елемент в корпусі. Середнє перегрівання повітря в блоці $\theta_{пов}=25,3$ Коефіцієнти $a=0,75$, $b=0,25$ Питома потужність нагрітої зони $q_3=312$ Вт/м ² Питома потужність елемента $q=18,6$ Вт/м ²	а) 301 К
		б) 298 К
		в) 312,3 К
26	Дано прилад з розмірами основи корпусу $l_1=0,16$ м, $l_2=0,18$ м. Висота корпусу $h=0,19$ м, коефіцієнт заповнення $K_3=0,3$, потужність, яка розсіюється в блоці $P=30$ Вт. Визначити питому потужність нагрітої зони	а) 312 Вт/м ²
		б) 300 Вт/м ²
		в) 320 Вт/м ²
27	Дано прилад з розмірами основи корпусу $l_1=0,16$ м, $l_2=0,18$ м. Висота корпусу $h=0,19$ м, потужність, яка розсіюється в блоці $P=30$ Вт. Визначити питому потужність корпусу блока	а) 200 Вт/м ²
		б) 160 Вт/м ²
		в) 150 Вт/м ²

28	Тіло виготовлене з матеріалу з коефіцієнтом теплопровідності $\alpha=0,75$. Площа поперечного перерізу тіла $S=0,008\text{м}^2$, довжина $l=0,4\text{м}$. Температура тіла з одного кінця 332К , іншого 334К . Визначити потужність, яка виділяється цим тілом, за рахунок теплопровідності	а) 0,03 Вт
		б) 1 Вт
		в) 2 Вт
5 ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ В РЕА		
29	Визначити ефективність екранування постійного магнітного поля, яку забезпечує кубічний екран з довжиною стінки $D=500\text{мм}$, виготовлений зі сталі: $d=0,8\text{мм}$; $\mu_r=50$	а) 2,3
		б) 1,08
		в) 1
30	Визначити ефективність екранування ξ на частоті $f=10\text{МГц}$, що забезпечується екраном циліндричної форми, виготовленим з латуні, з товщиною $d=0,8\text{мм}$, при діаметрі $D=100\text{мм}$, еквівалентна глибина проникнення $\delta=0,039\text{мм}$	а) 1,96
		б) 100
		в) $7,9 \cdot 10^8$
31	Визначити, з якого матеріалу виготовлено екран для захисту електронного апарата від постійного магнітного поля, коли його ефективність становить $\xi=1,08$. $D=500\text{мм}$, $d=0,8\text{мм}$	а) мідь $\mu_r=1$
		б) сталь $\mu_r=50$
		в) пермалой $\mu_r=12000$
32	Визначити діаметр екрана циліндричної форми, виготовленого з латуні, товщиною $d=0,8\text{мм}$. Ефективність екранування на частоті $f=10\text{МГц}$ становить $\xi=799902177$. Еквівалентна глибина проникнення $\delta=0,039\text{мм}$	а) 100мм
		б) 20мм
		в) 350мм
33	Визначити ефективність екранування, яку забезпечує кубічний екран з довжиною стінки $D=100\text{мм}$, виготовлений з пермалой товщиною $d=0,5\text{мм}$ з відносною магнітною проникністю $\mu_r=12000$	а) 10
		б) 61
		в) 100

34	Визначити довжину стінки кубічного екрана, виготовленого з пермалою товщиною $d = 0,5mm$ з відносною магнітною проникністю $\mu_r = 12000$. Ефективність екранування $\zeta = 61$	а) 0,5см
		б) 0,05мм
		в) 100мм
6 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ І СТАРІННЯ		
35	Знайти ймовірність безвідмовної роботи апарата, якщо він працює протягом певного часу t_p і відомо, що всього виготовлено виробів одного типу $a = 10000$, з них працюють безвідмовно $b = 9000$	а) 0,5
		б) 0,9
		в) 1,5
36	Знайти середню наробку до відмови, якщо відомо що загальний час роботи апаратів становить $t = 50000год$ і кількість відмов $n = 10$	а) 1000 год.
		б) 2 місяці
		в) 5000 год.
37	Знайти міру надійності, якщо середня наробка до відмови апаратів становить 5000 год	а) 0,0002
		б) 0,02
		в) 20

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яворський Б.І. Фізико-теоретичні основи конструювання РЕА. Конспект лекцій. – Тернопіль: ТДТУ ім. Івана Пулюя, 1998.
2. Яворський Б.І. Математичні основи радіоелектроніки. В 3-х Ч. – Тернопіль: ТДТУ ім. Івана Пулюя, 1998.
3. Савельев И.В. Курс общей физики (в 3-х томах). – М.: Наука, 1977.
4. Гилл Ф., Мюррей У., Райг М. Практическая оптимизация. – М: Мир, 1985.
5. Линейное и нелинейное программирование / Под. ред. проф. Ляшенко И.Н. – К.: Вища школа, 1975.
6. Зуховицкий С.И., Авдеева Л.И. Линейное и выпуклое программирование. – М.: Советское радио, 1964.
7. Белинский В.Т., Гондюл В.П., Грозин А.Б. и др. Практическое пособие по учебному конструированию РЭА. – К.:Вища школа, 1992. – 494 с.
8. Машинный расчет интегральных схем. – М.: Мир, 1971.
9. Тетельбаум И.М., Шлыков Ф.М. Методы аналогового моделирования. – М.: Московский энергетический институт, 1977.
10. Рошин Г.И. Конструирование механизмов радиоэлектронной аппаратуры. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1973.
11. Фрумкин Г.Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры: Учебник для радиотехнических специальных техникумов. – М.: Высш. школа, 1989. – 463 с.
12. Спокотный Ю.Е., Сибиряков В.В. Тепломассообмен в РЭА. – К: Одесса, Высшая школа, 1988.
13. Волин М.Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1981.

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

Кафедра біотехнічних систем
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2012р.