

С. П. Кононов, М.А. Шутило

Радіомовні тракти

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

С. П. Кононов, М.А. Шутило

Радіомовні тракти

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як лабораторний практикум для студентів спеціальності "Телекомунікаційні системи та мережі". Протокол № 5 від 24 листопада 2005р.

Вінниця ВНТУ 2006

УДК 621.396.97
К 64

Рецензенти:

О.В. Осадчук, доктор технічних наук, професор
С.М. Зленко, доктор технічних наук, професор
В.І. Ревенко, кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Кононов С.П., Шутило М.А.

К 64 **Радіомовні тракти.** Лабораторний практикум. – Вінниця: ВНТУ, 2006.– 87с.

В лабораторному практикумі розглянуті основи побудови радіомовних трактів в лабораторних роботах. Практикум розроблений у відповідності з планом кафедри та програмою дисципліни “Радіомовні тракти та мережі”. Лабораторний практикум стане в нагоді студентам спеціальностей “Телекомунікаційні системи та мережі”, “Апаратура радіозв’язку, радіомовлення і телебачення”, “Радіотехніка”, а також буде корисним викладачам і фахівцям.

УДК 621.396.97

© С.П. Кононов, М.А. Шутило, 2006

1 Загальні положення

Метою виконання студентами лабораторних робіт є закріплення ними основних положень теорії курсу та набуття практичних навичок щодо роботи із звукотехнічними та радіомовними системами, пристроями, їх вузлами, ознайомлення із методикою вимірювань їх основних параметрів.

У процесі лабораторних занять студенти повинні навчитись правильно оцінювати результати досліджень, свідомо встановлювати межі застосування теоретичних положень і розуміти причини можливих розбіжностей результатів експерименту та відповідних положень теорії.

Перед виконанням роботи викладач перевіряє знання студентів, їх підготовку до роботи. Студент повинен:

- розуміти фізику явищ, що вивчаються у лабораторній роботі;
- знати схему, за допомогою якої виконуються дослідження, і методику досліджень;
- вміти правильно користуватись вимірювальною апаратурою;
- ясно уявляти результати дослідження, які очікуються, вміти їх пояснити.

Лабораторну роботу виконує бригада студентів, що складається в середньому, з 3-4 чоловік.

Кожен студент зобов'язаний активно брати участь у проведенні експериментальних досліджень.

Перш ніж розпочати дослідження, слід перевірити правильність з'єднання вимірювальних приладів з обладнанням або лабораторним макетом, що досліджується. Обов'язково слід проконтролювати правильність підключення джерела живлення.

У випадку виявлення пошкоджень треба звернутись до викладача і під його наглядом разом з лаборантом знайти та усунути пошкодження. Складні пошкодження, що потребують розкриття апаратури, ліквідовують тільки працівники лабораторії.

Чорнові записи результатів досліджень треба вести у спеціально заведених з цією метою зошитах і супроводжувати їх відповідними таблицями та графіками. Обов'язково фіксують всі умови проведення експериментів (рівні сигналів, перешкод і шумів, частоти і т.п.). Треба вказувати типи і заводські номери вимірювальних приладів, апаратури, що досліджується.

Після закінчення роботи викладач перевіряє і підписує чорнові записи, робить відповідну позначку у журналі.

2 Оформлення звіту

Звіт повинен дати змогу спеціалісту у галузі радіотехніки однозначно уявити зміст та результати здійснених досліджень і зробити висновок про ступінь досягнення мети роботи. Цьому сприяє стислість, наочність оформлення текстового і графічного матеріалу, правильна рубрикація, виконання вимог відповідних стандартів, чіткий взаємозв'язок частин і розділів.

Звіт про виконання лабораторної роботи повинен містити:

- титульний лист, де вказано найменування і номер роботи, групу, прізвище та ініціали студента, дату виконання роботи;
- мету роботи;
- перелік, тип і заводські номери вимірювальних приладів та апаратури, що досліджується;
- перелік скорочень;
- електричну структурну (функціональну) схему макета (установки), що досліджується;
- результати розрахунків з домашнього завдання;
- програму експериментальних досліджень;
- результати досліджень та їх обробку, таблиці і графіки залежностей, що досліджуються (якщо табличні дані не потребують будь-якої обробки і не потрібні для здійснення інших пунктів програми, то таблиці можна не наводити);
- стислі висновки.

Звіт виконують чорнильною або шариковою ручкою на аркушах формату А4, або у відведеному для цієї мети зошиті. Звіт може бути оформлений за допомогою комп'ютера. Усі рисунки, схеми і графіки повинні бути пронумеровані.

В таблиці і на графіку позначають до якого дослідження вони відносяться і вказують постійні величини, які відображають початкові умови дослідження. На координатні осі наносять масштабні позначки і вказують розмірності. Для графічного зображення виміряних величин треба вибирати зручні для порівняння масштаби і розмірності (якщо це доцільно – у відносному вираженні). У випадку вимірювання величини, значення якої змінюються в межах 15-20 дБ і більше, зручно використати логарифмічний масштаб.

Графіки дослідних залежностей потрібно креслити так, щоб на них чітко було видно точки, одержані під час експерименту. Оскільки є похибки вимірювань, зняті дослідні точки мають деякий розкид. Тому криві слід проводити між ними, опираючись на фізичні закономірності залежності, що досліджується.

Рубрикація звіту означає розбиття його на розділи, підрозділи, пункти. Розділам і підрозділам даються заголовки. Правильна рубрикація спрощує читання і поліпшує розуміння матеріалу звіту, сприяє

скороченню його обсягу, зменшує трудомісткість оформлення. Отже, можна значно скоротити текст пунктів розділу "Результати експериментальних досліджень" і заголовки таблиць, зробивши доречне посилання на відповідний пункт розділу "Програма експериментальних досліджень". Аналогічно спрощуються надписи до рисунків, графіків, формулювання у розділі "Висновки" і ін. Чітка рубрикація матеріалу звіту полегшує його захист.

У стислих висновках повинні бути:

- об'єктивне оцінювання отриманих результатів і залежностей;
- порівняння результатів експерименту з теоретичними положеннями або паспортними даними на обладнання і пояснення, у разі необхідності, можливих причин розходжень результатів досліду з ними.

Студент не починає виконувати наступну лабораторну роботу, якщо не оформив звіт з попередньої роботи і не виправив його згідно із зауваженнями викладача.

3 Лабораторна робота № 1

Визначення основних параметрів еквалайзерів

Мета роботи – ознайомитись зі схемотехнікою еквалайзерів радіомовного тракту формування програм, вивчити методику експериментального визначення основних показників і характеристик еквалайзерів та зняти їх експериментально.

Стислі теоретичні відомості

Еквалайзери застосовуються в підсилювальній радіоапаратурі високого класу та в студійній апаратурі для регулювання амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) в окремих ділянках частотного діапазону. Принцип роботи еквалайзерів полягає в розбитті діапазону частот пристрою на окремі частотні смуги та індивідуальному регулюванні коефіцієнта передачі в кожній з них. Кількість таких частотних смуг в апаратурі невисокого класу переважно три – п'ять, а в професійній досягає декількох десятків.

Таким чином, невід'ємною частиною таких пристроїв повинні бути фільтри, до яких із збільшенням кількості частотних смуг ставляться більш жорсткі вимоги з боку забезпечення необхідної величини добротності. Відповідно до цих вимог фільтри еквалайзерів виконуються, в більшості випадків, на основі смугових фільтрів другого порядку з можливістю керування коефіцієнта передачі. АЧХ такого фільтра еквалайзера зображена на рис. 3.1.

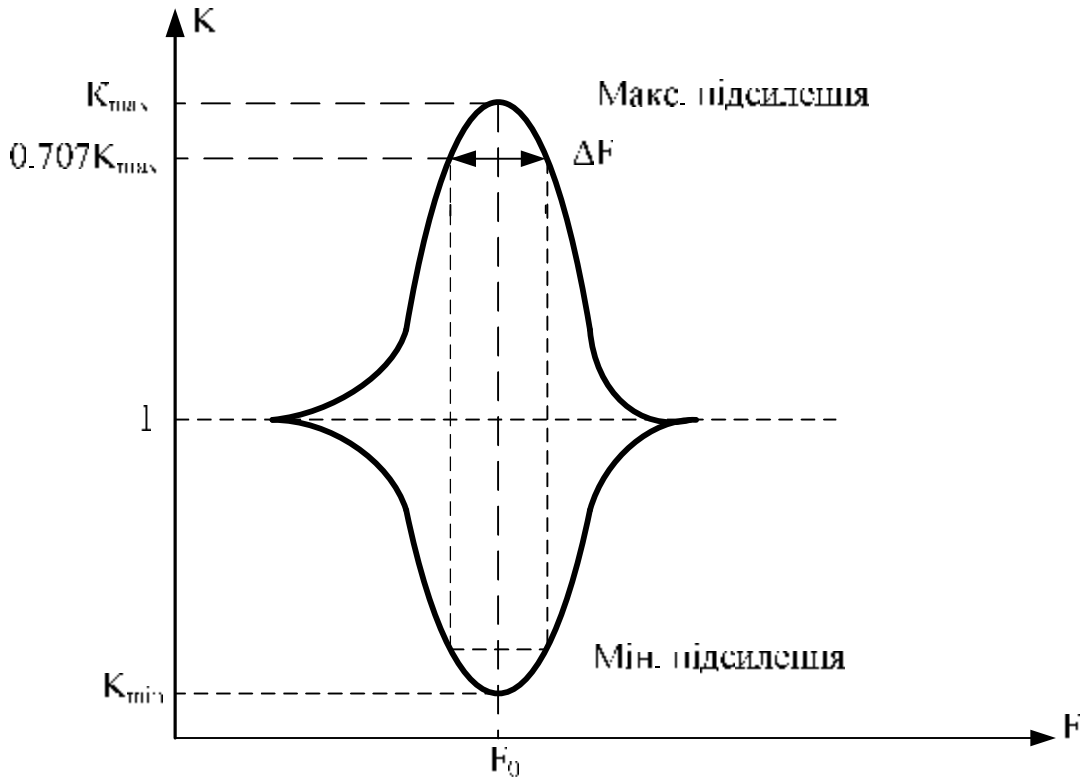


Рисунок 3.1 – АЧХ ланки еквайзера

В залежності від з'єднання смугових фільтрів отримують еквайзери з паралельним та послідовним з'єднанням. Останні практично не використовуються через недоцільно складне регулювання і настроювання.

На рис.3.2 зображена схема еквайзера, утвореного шляхом паралельного ввімкнення смугових фільтрів. В даному еквайзері регулювання АЧХ здійснюється шляхом зміни амплітуди вихідного сигналу кожного з смугових фільтрів. Вхідний спектр розділяється на частотні смуги фільтрами, в кожній смузі сигнал змінюється за амплітудою. На виході суматора спектральні складові з кожної смуги об'єднуються.

Еквайзери можуть бути реалізовані як октавні фільтри (центральні частоти смуг рознесені на одну октаву) або як третинооктавні фільтри (центральні частоти смуг рознесені на 1/3 октави – терцію). Для розрахунку центральних частот F_0 смугових фільтрів та їх добротності Q задаються кількістю частотних смуг N та граничними частотами – F_{max} і F_{min} . Точні значення центральних частот смуг розраховуються за формулою:

$$F_{0i} = \left[F_{\max}^{\frac{2i-1}{2N}} \right] \cdot \left[F_{\min}^{\frac{2(N-i)+1}{2N}} \right]; i = 1, 2, \dots, N. \quad (3.1)$$

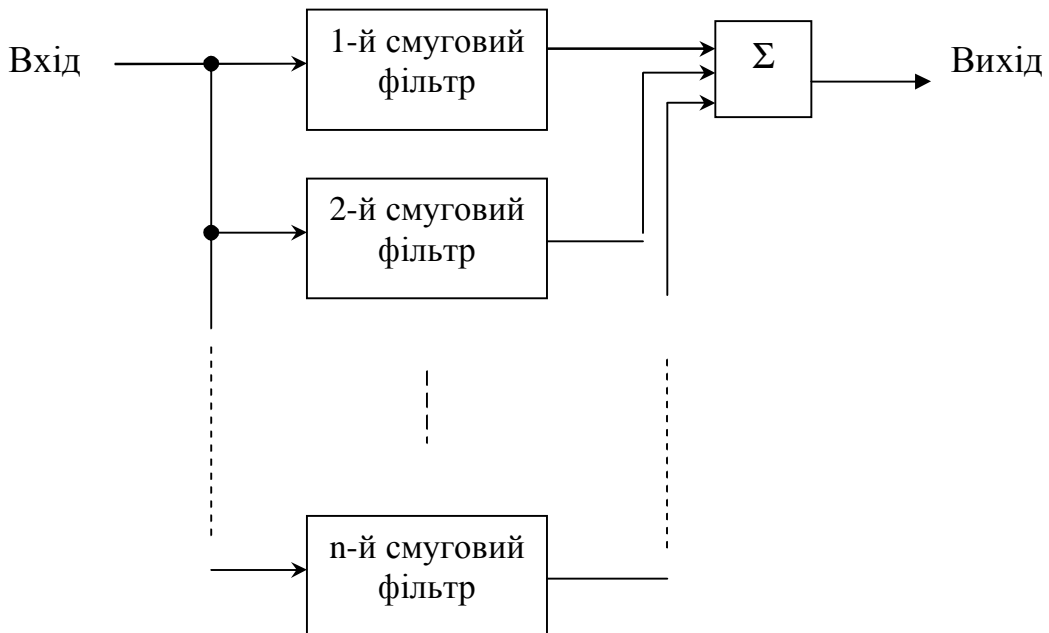


Рисунок 3.2 – Структурна схема еквайзера з паралельним з'єднанням фільтрів

На практиці як опорну центральну частоту вибирають 1 кГц, відносно якої визначають значення центральних частот смуг еквайзера шляхом ділення або множення центральної частоти на кроковий коефіцієнт:

$$K = 2^{1/M}, \quad (3.2)$$

де: M – кількість частотних смуг на октаву (для октавного еквайзера $M=1$, для третинооктавного $M=3$).

Добротність при максимальному підйомі або спаді АЧХ вибирається з умови:

$$Q = \frac{\sqrt{K}}{K-1}. \quad (3.3)$$

Застосування фільтрів другого порядку в діапазоні звукових частот шляхом використання RLC-кіл є технологічно недоцільним з точки зору вартості та габаритних показників індуктивностей, а використання пасивних RC-фільтрів не дає змоги отримати достатню добротність. Виходом з даної ситуації є застосування активних RC-фільтрів на операційних підсилювачах. В таких фільтрах, окрім отримання незначних

габаритів, є можливість реалізувати, завдяки охопленню частотно-залежним зворотним зв'язком операційного підсилювача, високі добротність та коефіцієнт підсилення кожної ланки еквалайзера.

Найпростішим прикладом такого фільтра є фільтр, принципова схема якого зображена на рис. 3.3 [2].

В схемі конденсатор С2 перешкоджає проникненню на вихід напруги з частотою, яка нижче мінімальної частотного діапазону даного фільтра, а конденсатор С1, увімкнений в коло негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) операційного підсилювача, подавляє сигнали з частотами вище максимальної смуги пропускання. Резистором R4 регулюється рівень вихідного сигналу. Для визначення параметрів фільтра приймається [1]:

$$R = R_1 // R_2. \quad (3.4)$$

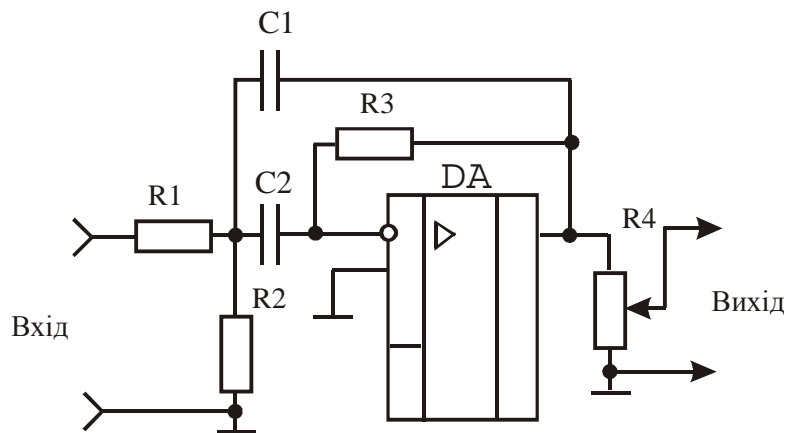


Рисунок 3.3 – Схема смугового RC-фільтра на операційному підсилювачі

Тоді резонансна частота фільтра :

$$F_0 = \frac{1}{2 \cdot p \cdot \sqrt{R \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2}}. \quad (3.5)$$

Добротність :

$$Q = \frac{\sqrt{R_3 \cdot C_1 / R \cdot C_2}}{1 + C_1 / C_2}. \quad (3.6)$$

Коефіцієнт передачі на резонансній частоті:

$$K_0 = Q^2 (1 + C_2 / C_1). \quad (3.7)$$

За допомогою виразів (3.4 – 3.7) легко знаходити параметри фільтра при відомих значеннях елементів, але знаходження значень самих елементів за даними виразами досить складно. Тому на практиці, після

довільного вибору значення резистора R_3 , застосовують такі співвідношення [3]:

$$R_1 = \frac{Q \cdot R_3}{2 \cdot K_p}, \quad (3.8)$$

$$R_2 = \frac{1}{(2 \cdot Q - 1) \cdot 2 \cdot p \cdot F_0 \cdot C_1}, \quad (3.9)$$

$$C_1 = C_2 = \frac{2 \cdot Q}{2 \cdot p \cdot F_0 \cdot R_3}. \quad (3.10)$$

Даний фільтр є ланкою еквайзера, який застосовується у звуковій апаратурі, де кількість смуг регулювання не перевищує десяти, а вимоги до точності настройки середньої частоти кожного фільтра невисокі. В професійній апаратурі використовуються більш складні схеми активних фільтрів з використанням прецизійних активних елементів з метою отримання більших значень добротності та зменшення похибки встановлення резонансних частот фільтрів.

Окремою різновидністю схем є еквайзери на RLC-режекторних фільтрах (рис. 3.4) [2].

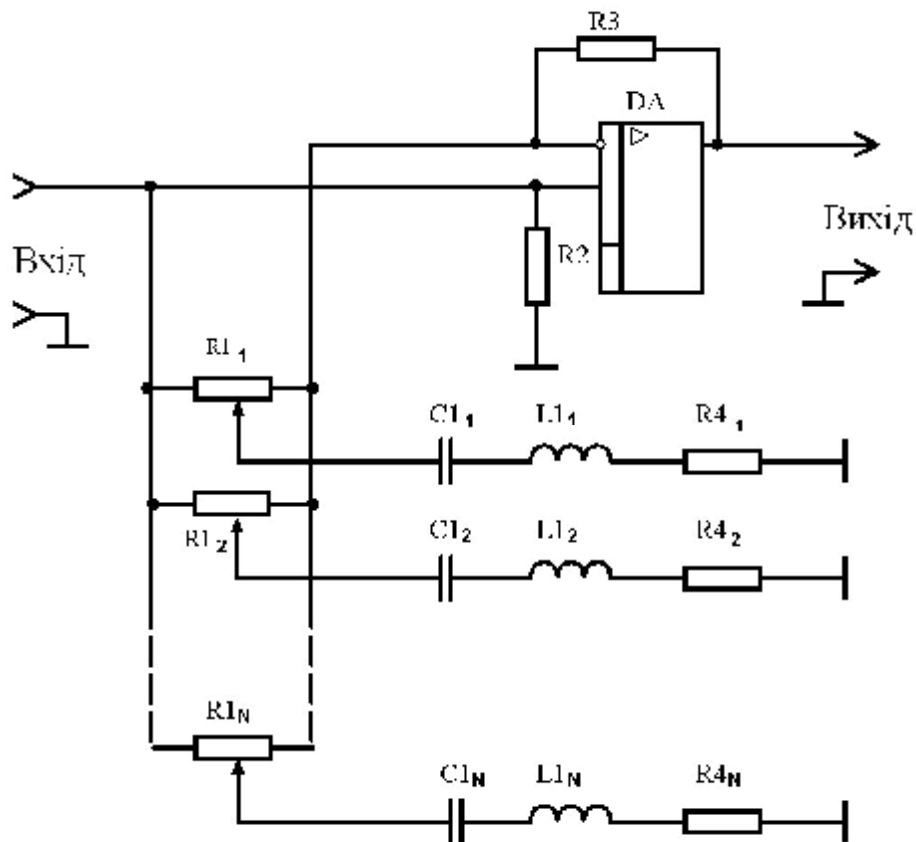


Рисунок 3.4 – Схема еквайзера на режекторних фільтрах

В схемі як фільтрувальні елементи використані режекторні фільтри (виділено пунктиром), кожний з яких настроюється на середню частоту смуги, яку він виділяє. При крайньому лівому положенні повзунка змінного резистора коефіцієнт передачі еквалайзера на середній частоті мінімальний. Схема має достатньо непогані показники: велику добротність, маленьку похибку настроювання середньої частоти. Але в схемі застосовуються індуктивності, що, як вказано вище, є недоцільним в області звукових частот. Для того, щоб уникнути труднощів із використанням громіздких катушок індуктивності, їх імітують електронними засобами шляхом застосування гіраторних схем [3].

З метою зменшення габаритів та вартості апаратури ряд іноземних фірм виготовляє еквалайзери у інтегральному виконанні на п'ять і більше смуг регулювання. В таких мікросхемах виносними елементами є частото задавальні кола та змінні резистори, якими регулюється форма АЧХ.

Для мовної апаратури високої якості та спеціалізованих професійних пристроїв провідними фірмами виготовляються інтегральні мікросхеми (ІМС) з цифровим керуванням АЧХ і класичною аналоговою схемотехнікою самих фільтрів еквалайзерів. Найпростішим прикладом мікросхем такого зразку є ІМС фірми Philips TEA6360 (рис. 3.5).

ІМС TEA6360 має у своєму складі два канали регулювання АЧХ по п'ять фільтрів, кожний з яких керується мікропроцесором по шині I²S. Фільтри побудовані на основі операційних підсилювачів до яких підімкнені зовнішні елементи. Вони визначають форму АЧХ та середні частоти кожного з фільтрів. Глибина регулювання фільтрів від – 15 до +15 дБ змінюється дискретно за рівнями 0 дБ; 2,7 дБ; 5,5 дБ; 8,4 дБ; 11,6 дБ; 15 дБ як в меншу, так і в більшу сторону. Діапазон робочих частот мікросхеми при нерівномірності 1 дБ від 20 Гц, до 20 кГц, коефіцієнт гармонік не більше 0,1%.

Опис лабораторного макета

Лабораторний макет має у своєму складі два п'ятисмугових еквалайзера – на спеціалізованій ІМС ВА3822L (рис.3.6) та на операційних підсилювачах (рис. 3.7).

Схема першого графічного еквалайзера макета (рис. 3.6) зібрана на основі спеціалізованої ІМС ВА3822L фірми Rohm.

ІМС ВА3922L являє собою аналоговий п'ятисмуговий стереоеквалайзер з такими основними параметрами:

- смуга робочих частот 20 Гц – 20 кГц;
- діапазон регулювання ± 11 дБ;
- коефіцієнт гармонік 0,1%;
- напруга живлення 3,5...14 В.

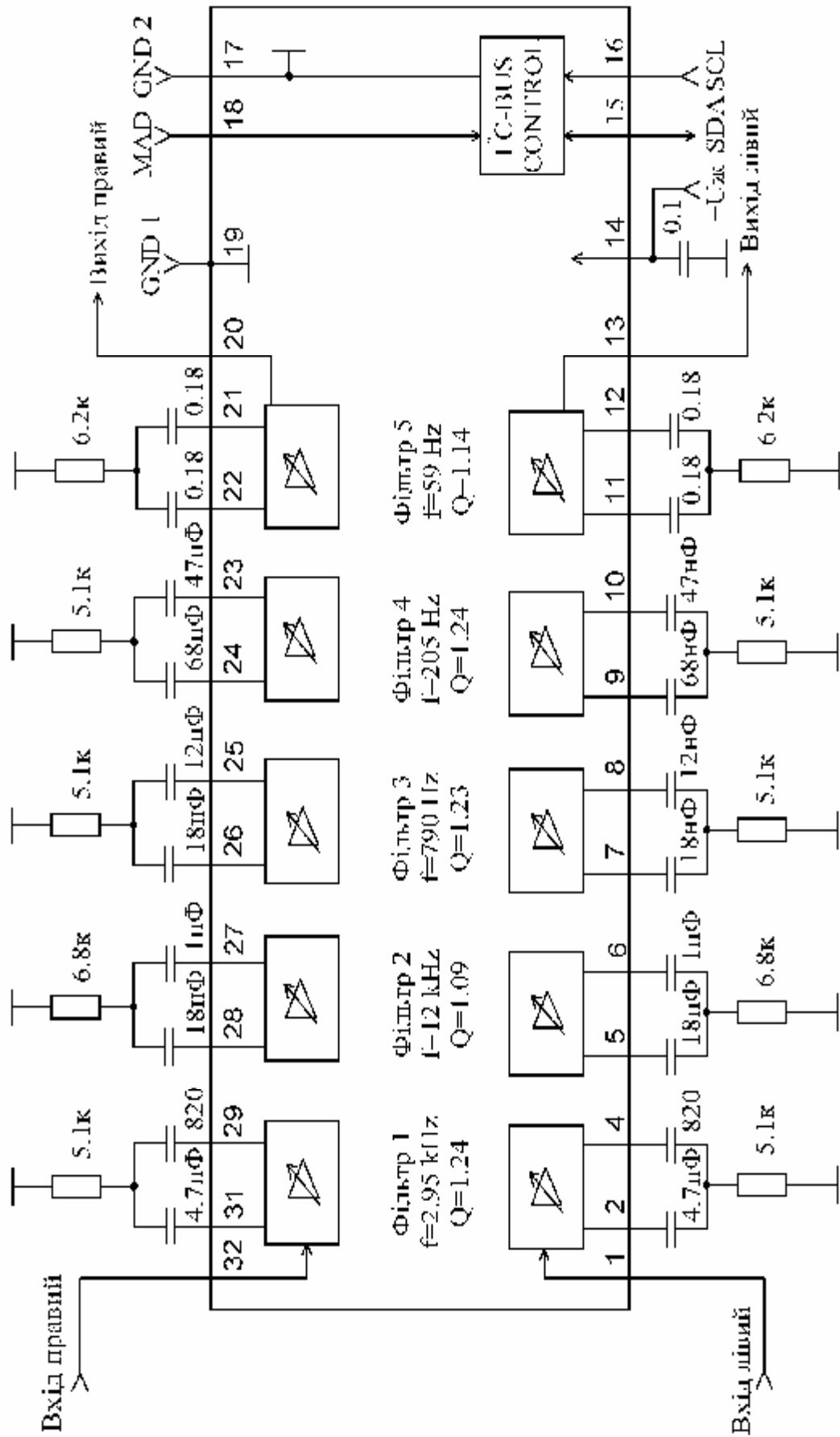


Рисунок 3.5 – Схема увімкнення ІМС TEA6330

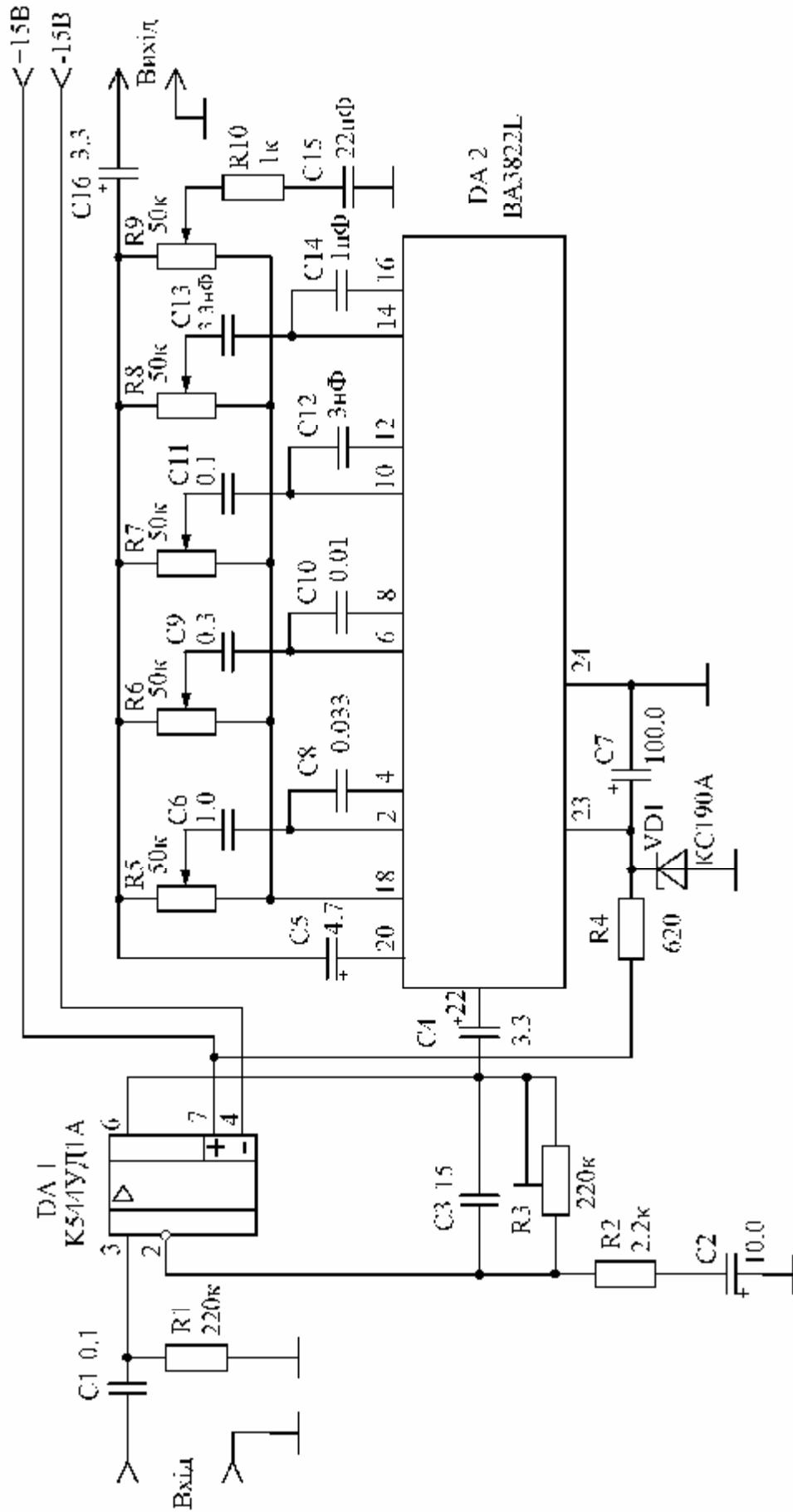


Рисунок 3.6 – Схема лабораторного макета на ІМС BA3822L

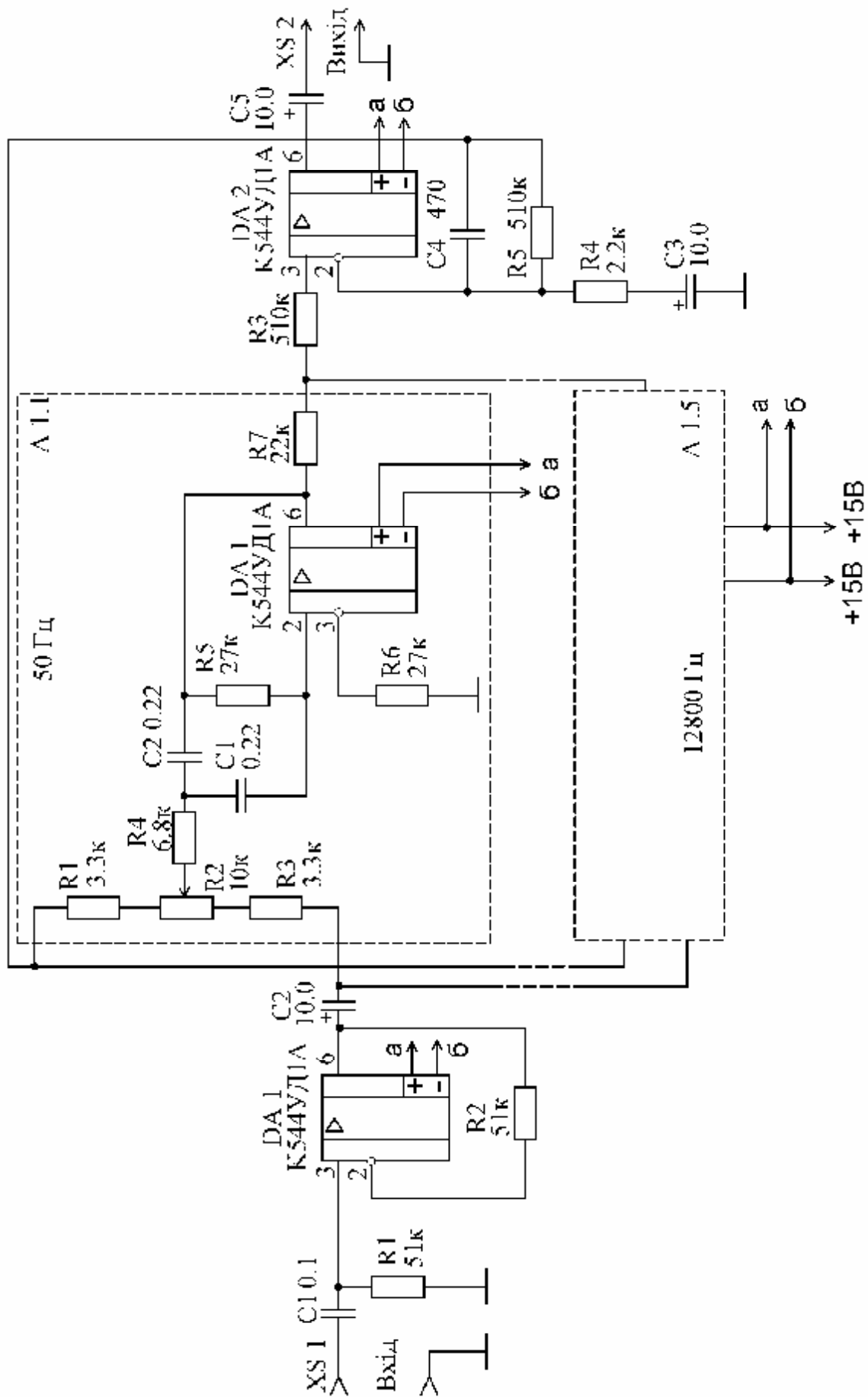


Рисунок 3.7 – Схема лабораторного макета на операційних підсилювачах

В лабораторному макеті використаний один канал еквайзера. Регулювання форми АЧХ здійснюється змінними резисторами R5 – R9, на центральних частотах фільтрів 100 Гц, 300 Гц, 1 кГц, 3кГц, 10 кГц, відповідно.

Як буферний каскад використаний операційний підсилювач типу К544УД1А в неінвертувальному ввімкненні. Підстроювальний резистор R3 дає змогу змінювати коефіцієнт підсилення буферного каскаду, а конденсатор С3 перешкоджає збудженню на високих частотах.

Макет живиться напругою ± 15 В, для живлення ІМС ВА3922L застосовано параметричний стабілізатор напруги, який складається з стабілітрона VD1 та баластного резистора R4.

Схема другого графічного еквайзера макета зображена на рис. 3.7. Він зібраний на операційних підсилювачах типу К544УД1А, його основою є схема смугового RC-фільтра (рис. 3.3).

В схемі макета на операційних підсилювачах регулювання АЧХ еквайзера в діапазоні ± 12 дБ здійснюється за допомогою змінних резисторів R4 вузлів А1.1– А1.5 на центральних частотах фільтрів 50 Гц, 200 Гц, 800 Гц, 3200 Гц та 12800 Гц, відповідно. На ІМС DA1 зібраний буферний підсилювач за схемою неінвертувального підсилювача з одиничним коефіцієнтом передачі. Кожний з активних фільтрів також має коефіцієнт передачі рівний одиниці, тому як основний підсилювач використано ІМС DA7. Резистори R7 вузлів А1.1–А1.5 застосовані аналогічно резисторам входних подільників активних фільтрів з метою усунення взаємного впливу фільтрів один на одного.

Ємності конденсаторів С1, С2 у вузлі А1.2 дорівнюють 56 нФ, А1.3 – 15 нФ, А1.4 – 3900 пФ, А1.5 – 1000 пФ.

Схема лабораторної установки

Експериментальні дослідження пропонується проводити за структурної схемою, зображеною на рис. 3.8.

До входу макета підімкнені низькочастотний генератор ГНЧ і вольтметр В1. З виходом макета з'єднані вимірювач нелінійних спотворень, осцилограф О і вольтметр В2. Фільтр використовується для виділення шуму або фонових складових шуму.

Домашнє завдання

1. Проробити лекційний матеріал з даної теми. З'ясувати призначення еквайзера і його складових – підсилювачів, фільтрів, суматорів та регуляторів.

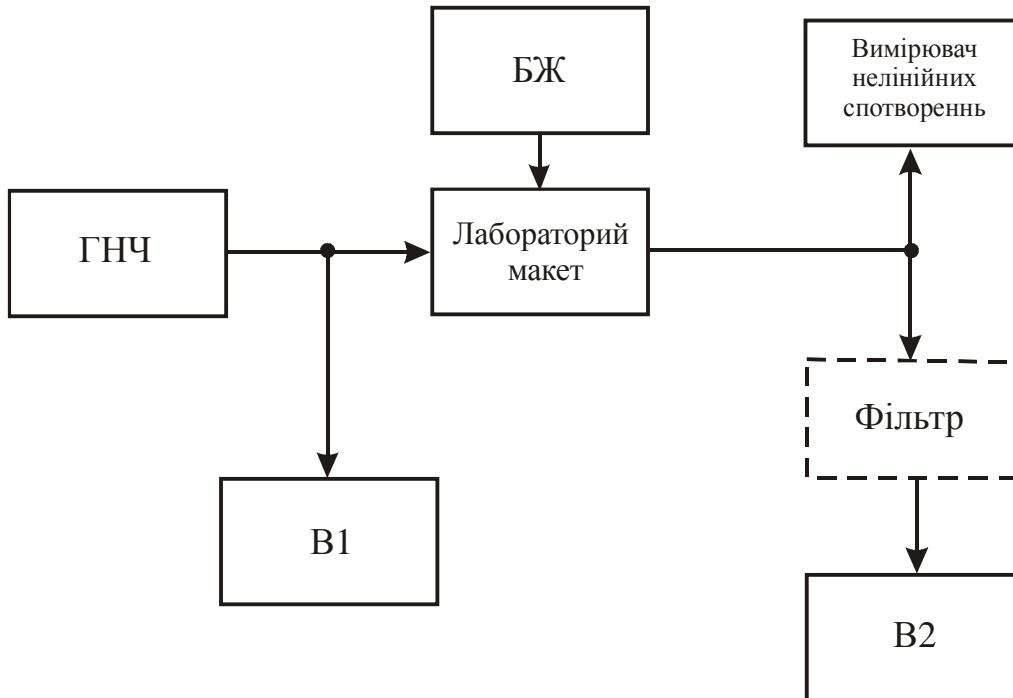


Рисунок 3.8 – Структурна схема лабораторної установки

2. Проробити методику та порядок проведення експериментальних досліджень.

3. Розрахувати основні параметри еквалайзера на операційних підсилювачах – добротність та значення середніх частот фільтрів (початкові умови задаються викладачем).

Вимірювальна і досліджувана апаратура

1. Лабораторний макет.
2. Лабораторне джерело живлення ТЕС-88.
3. Генератор низької частоти ГЗ-118.
4. Мілівольтметр ВЗ-38 (ВЗ-40).
5. Осцилограф С1-83.
6. Вимірювач нелінійних спотворень С6-7.
7. Фільтр НЧ 150 Гц.
8. Смуговий фільтр 20 Гц – 20 кГц.

Програма експериментальних досліджень

1. Зняти амплітудні характеристики еквалайзерів при середніх, мінімальних та максимальних положеннях регуляторів АЧХ. З отриманих характеристик визначити динамічний діапазон еквалайзерів та значення оптимальної вхідної напруги, яка буде використовуватись далі. При вимірюванні амплітудних характеристик частота вхідного сигналу задається викладачем.

2. Визначити відношення сигнал/шум та сигнал/фон при середніх, мінімальних та максимальних положеннях регуляторів АЧХ, а також при почерговому підвищенні коефіцієнта передачі в кожній із частотних смуг. Для визначення шуму застосовувати смуговий фільтр 20 Гц – 20 кГц, а фону – фільтр НЧ 150 Гц.

3. Визначити вплив на значення коефіцієнта гармонік зміни частотної характеристики еквалайзера. Для цього необхідно визначити коефіцієнт гармонік для середніх, мінімальних та максимальних положень регуляторів АЧХ, а також при підвищенні коефіцієнта передачі в області вищих частот.

4. Дослідити частотні характеристики еквалайзерів. Дослідження проводити при середніх, мінімальних та максимальних положеннях регуляторів АЧХ, а також для кожного регулятора АЧХ окремо при середньому положенні інших регуляторів.

5. З результатів дослідження частотних характеристик визначити діапазон регулювання, добротності фільтрів, центральні частоти фільтрів та величину відхилення центральних частот від значень, отриманих при виконанні домашнього завдання.

Література

1. Гитлиц М.В. Радиовещание и электроакустика. – М.: Радио и связь, 1989. – 432с.

2. Мошиц Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.

3. Петренко Т.А. Підсилювальні пристрої. – К.:Вища школа, 1995. – 259с.

4. Шкритек П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1991. – 446с.

4 Лабораторна робота № 2

Розрахунок акустичних систем за допомогою програми JBL SpeakerShop

Мета роботи – ознайомлення з програмою JBL SpeakerShop і робота з нею, набуття навичок в розрахунках акустичних систем (сабвуферів) і фазоінверторів даною програмою.

Стислі теоретичні відомості

Короткий огляд програми

Комп'ютерна програма JBL SpeakerShop виробництва американської фірми JBL допомагає розробляти акустичне оформлення (корпус) басового (низькочастотного) гучномовця. Вона дозволяє визначати об'єм і розміри корпусу акустичної системи, дає можливість оцінити якість її звучання. Властивості конструкції гучномовця визначаються двома способами. Перш за все оцінюється, як конструкція працюватиме при нормальних рівнях прослуховування. Ця процедура називається аналізом на малих рівнях сигналу і включає амплітудно-частотну характеристику, характеристику опору звукової котушки, фазову характеристику і групову затримку. У другу чергу моделюється режим максимальної гучності. Ця частина називається аналізом на великих рівнях сигналу і включає норми термальної акустичної потужності в діапазоні середніх частот і характеристику максимальної потужності.

При запуску програми JBL SpeakerShop перший раз, за замовчуванням задається режим інтерфейсу, у якому змінюваними величинами є характеристики акустичного оформлення (рис.4.1). Електронна таблиця містить колонки для конструювання шести корпусів. Перші три призначені для розрахунку корпусів з фазоінвертором — для оптимальної, заданої проектувальником конструкції та для корпусів, розрахованих на визначену смугу частот. Наступна колонка призначена для заданої конструкції корпусу з пасивним випромінювачем. Останні дві колонки призначені для оптимальної і заданої конструкцій для корпусів закритого типу. Оскільки в електронній таблиці одночасно демонструються конструкції різного типу, є можливість легко їх порівнювати. Параметри динамічної головки показані в нижній лівій області електронної таблиці.

Опис інтерфейсу програми. Команди меню Меню файлів (File Menu)

New Design – створення нової конструкції. Після вибору даної команди існуючі конструкції будуть стерті і відкриється вікно Full Loudspeaker Parameters (повні параметри гучномовця).

Open Design – відкрити файл конструкції гучномовця, який був раніше збережений на диску.

Open JBL Sample – відкриття файлу прикладів конструкцій корпусів, який зберігається на диску. В цьому файлі записане більше 200 прикладів заводських конструкцій фірми JBL. Файли прикладів конструкцій можуть бути відкриті, але не можуть бути відредаговані. Для того, щоб редагував-

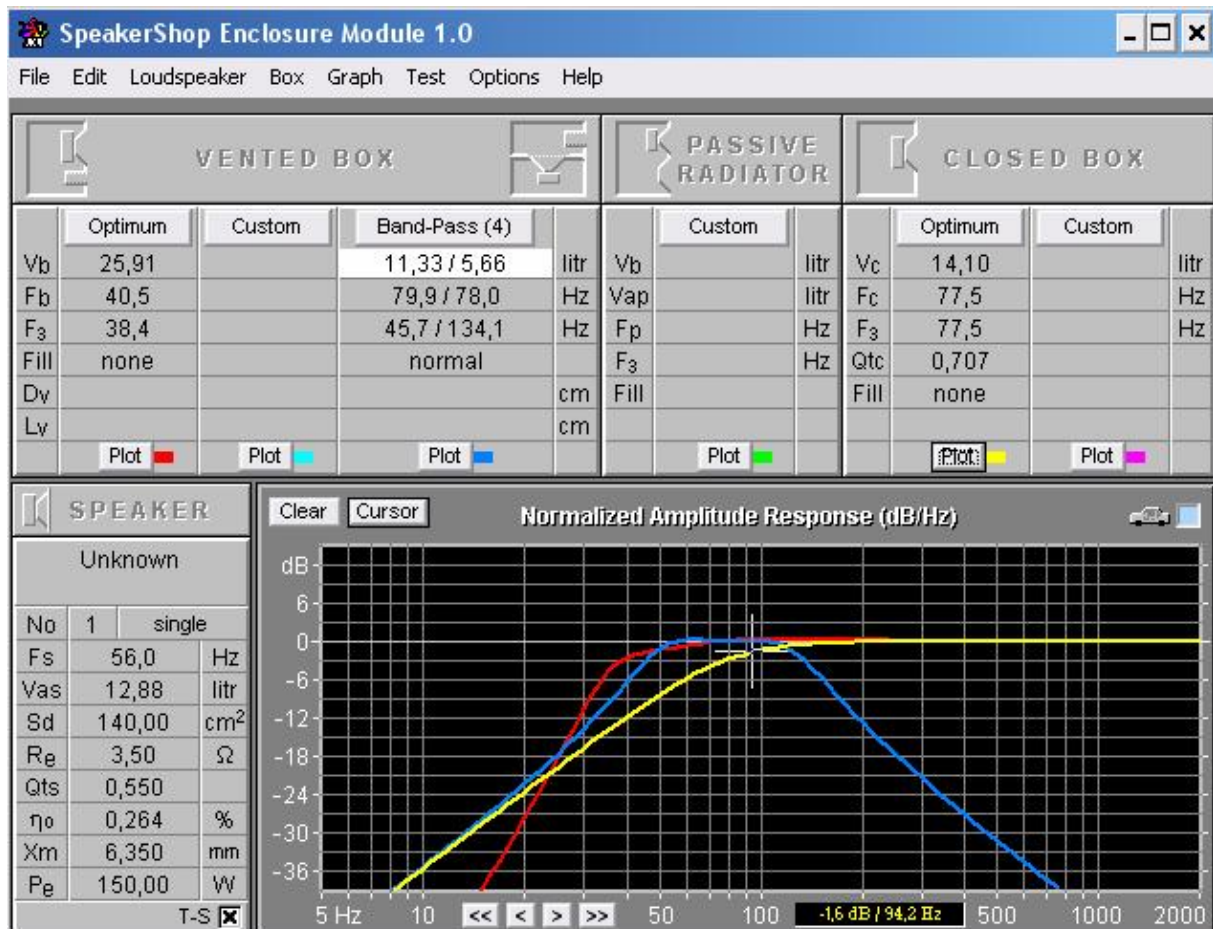


Рисунок 4.1 – Інтерфейс програми

ти файл конструкції, скопіюйте його, вибравши Save Design As в меню File і збережіть цей файл під новим ім'ям як нормальний файл конструкції. Після цього ви можете редагувати копію.

Save Design – збереження змін в існуючому файлі конструкції.

Save Design As – збереження копії існуючої конструкції під новим ім'ям файлу. Назви закінчуються з розширеннями файлів DOS *.BB5.

Print... – друк розрахунку конструкції. Для того, щоб Ви могли змінювати настройку друку, з'явиться вікно Print Setup. Ви можете роздрукувати графіки і параметри вибраної конструкції. Також можуть бути роздруковані інші характеристики, які пропонуються програмою.

Printer Setup – вибір іншого принтера та зміна настройки драйвера принтера. Важливо переконатись в тому, що принтер готовий здійснювати друк на папері розміром Letter в потрібному режимі. До вікна Printer Setup є доступ з вікна Print Setup.

Quit – закрити програму.

Меню гучномовця (Loudspeaker Menu)

Parameters – Full – введення та редагування електромеханічних параметрів головки гучномовця, в тому числі гучномовця з декількома головками.

Parameters – minimum – для швидкого введення тільки мінімальної кількості параметрів гучномовця, необхідних для базового конструювання. Це параметри F_s , V_{as} і Q_{tc} . Для корпусів з певною смугою пропускання також необхідна еталонна ефективність або чутливість. (Комбінація клавіш (Ctrl + Z)).

Acoustic Response – введення вимірної акустичної амплітудної характеристики гучномовця. Характеристика Acoustic Response будується за 94 точками в межах частот від 5 до 2000 Гц і повинна бути нормалізована до нуля (це може бути зроблено одним з декількох методів, які надає вікно Acoustic Response). Можуть бути імпортовані файли даних амплітудної характеристики від певної кількості джерел звуку. Після введення акустична характеристика може бути подана сама по собі або додана до амплітудної характеристики конструкції. Треба бути упевненим, що акустичні дані точно виміряні з використанням відповідних акустичних екранів або в тестовій камері, інакше вони можуть внести неузгодженні дані в розрахунок конструкції. (Комбінація клавіш Ctrl + A).

Load from Database – здійснення пошуку в базі даних головок гучномовців і завантаження параметрів головки гучномовця в програму. Вибір даної команди не дозволяє здійснювати редагування бази даних гучномовців.

Меню корпусу (Box Menu)

Optimum Vented Parameters – відкриття вікна Optimum Vented Box і введення або редагування параметрів для оптимального корпусу з фазоінвертором.

Custom Vented Parameters – відкриття вікна Custom Vented Box і введення або редагування параметрів для призначеного користувачем корпусу з фазоінвертором.

Band-Pass Parameters – відкриття вікна Band-Pass Vented Box і введення або редагування параметрів корпусу з фазоінвертором, розрахованого на певну смугу частот.

Passive Radiator Parameters – відкриття вікна Passive Radiator Box і введення або редагування параметрів корпусу з пасивним випромінювачем.

Optimum Closed Parameters – відкриття вікна Optimum Closed Box і введення або редагування параметрів для оптимального закритого корпусу.

Custom Closed Parameters – відкриття вікна Custom Closed Box і введення або редагування параметрів для призначеного користувачем закритого корпусу.

Vent – відкриття вікна Vent Dimensions для розрахунку внутрішніх розмірів одного або декількох отворів для кожної з конструкцій Vented Box. (Комбінація клавіш Ctrl + V).

Використовуються два типи отворів фазоінвертора: порти і повітроводи (рис.4.2). Порт являє собою отвір, прорізаний у стінці корпусу. Отвір може бути круглим, квадратним або прямокутним. Повітровід являє собою трубу, що закріплена на стінці корпусу.



Рисунок 4.2 – Приклади розміщення фазоінверторів

Порти й повітроводи повинні бути досить великими, щоб уникнути накладення небажаного звучання, наприклад, свисту, створюваного турбулентністю повітря, що переміщується усередину й назовні корпусу через порт. Площа поперечного перерізу – розмір, що найбільше впливає на появу таких перешкод. Чим більша площа поперечного перерізу, тим довше повинні бути порти або повітроводи.

Dimensions – обчислення внутрішніх розмірів корпусу. Для певного корпусу може бути введено до 20 різних об'ємів. Також доступно багато форм цих об'ємів. (Комбінація клавіш: Ctrl + D).

Параметри, що застосовані у програмі JBL SpeakerShop Механічні параметри головок гучномовців

Fs – власна резонансна частота головки (Гц);

Q_{ms} – добротність головки гучномовця на частоті F_s , коли враховуються її механічні (не електромагнітні) втрати або згасання;

V_{as} – об'єм повітря, що має пружність, еквівалентну пружності підвісу головки (літри, а також кубічні фути або дюйми);

C_{ms} – коефіцієнт механічної гнучкості підвісу (міліметри на ньютон або дюйми на фунт);

M_{ms} – механічна маса дифузора з урахуванням аеродинамічного навантаження (грами або унції);

R_{ms} – механічний опір підвісу головки (кілограми в секунду або фунти в секунду);

X_{mas} – максимальна або пікова лінійна амплітуда коливань звукової котушки головки гучномовця (сантиметри або міліметри, дюйми); як правило, визначається як відстань, яку може пройти котушка в одному напрямі при збереженні здатності підтримки постійного числа коливань в зазорі магніту; параметр визначає максимальну амплітуду коливань, при якій не з'являються спотворення;

S_d – площа поршня/дифузора головки (квадратні сантиметри або квадратні дюйми); ϵ значенням площі рухомої частини головки;

D_{ia} – діаметр поршня (сантиметри або дюйми).

Комбіновані параметри

Q_{ts} – добротність головки для частоти F_s з урахуванням всіх електромагнітних і механічних втрат;

h_o – номінальна ефективність головки при акустичному навантаженні в половину об'єму (відбивач розташований з віддаленням в нескінченність);

SPL – номінальна чутливість головки при акустичному навантаженні в половину об'єму (відбивач розташований з віддаленням в нескінченність).

Електричні параметри

Q_{es} – добротність головки для значення частоти F_s ; допускає тільки електромагнітні (не механічні) втрати або згасання коливань;

R_e – опір звукової котушки за постійним струмом (Ом);

L_e – індуктивність звукової котушки (мГн);

Z – номінальний електричний опір головки (як правило, 8 або 4 Ом);

BL – потужність електропривода головки (ньютон/ампер, метр/тесла, фунт/ампер або фут/тесла);

P_e – термічно обмежена максимальна електрична потужність (Вт), динамічної головки. Це та максимальна електрична потужність, що не приводить до перегорання звукової котушки.

Параметри корпусу

V_b – внутрішній об'єм корпусу;

F_3 – номінальна частота (Гц) при половинній потужності -3 дБ; є точкою, розташованою на 3 дБ нижче за злам частотної характеристики, за яким починається спад у області низьких частот;

F_b – резонансна частота для корпусу з фазоінвертором (Гц);

Q_L – значення добротності для корпусу, складається зі всіх втрат; корпуси з об'ємом менше 311 літрів (11 кубічних футів), як правило, мають значення Q_L близьке до 7; у корпусів більшого об'єму Q_L приблизно рівне 5;

V_{ap} – об'єм повітря, що має пружність, еквівалентну пружності підвісу пасивного випромінювача (літри, а також кубічні фути або дюйми);

F_p – власна резонансна частота пасивного випромінювача (Гц);

Q_{tc} – значення добротності для корпусу закритого типу;

D_v – діаметр або площа поперечного перерізу порту в корпусі з фазоінвертором;

L_v – довжина порту в корпусі з фазоінвертором;

$Fill$ – згасання коливань у корпусі гучномовця; визначається кількістю матеріалу, який додається усередину корпусу для поглинання звуку. Може сильно впливати на внутрішній об'єм (V_b або V_c) конструкції. Акустичне поглинання часто використовується для згасання коливань гучномовця й зниження внутрішнього резонансу корпусу. Доступні чотири режими: немає заповнення, мінімальне заповнення, нормальне заповнення й сильне заповнення (рис. 4.3).

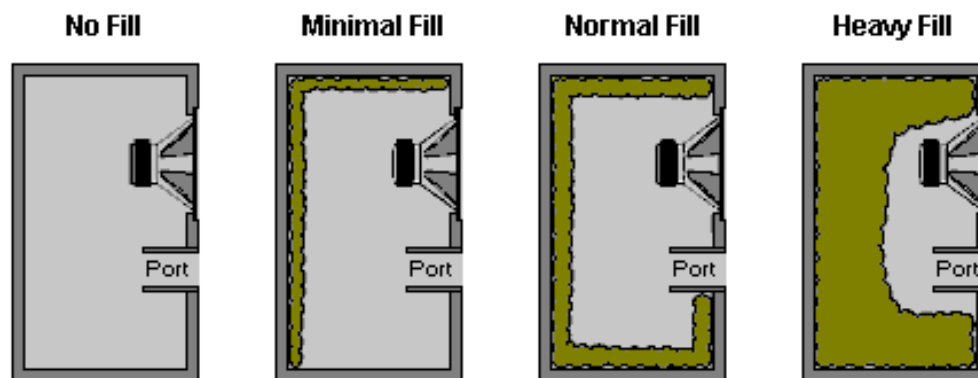


Рисунок 4.3 – Варіанти заповнення корпусу (Box Damping)

Режими роботи програми

Існує два способи конструювання корпусів за допомогою програми JBL SpeakerShop. Перший полягає в конструюванні корпусу для певних головок гучномовців. При виборі даного способу можна змінювати корпус. Другий спосіб полягає в підборі головок гучномовців для існуючого корпусу. Метод конструювання може бути вибраний за допомогою команди Variable в меню Options.

При зміні режиму через меню Options програма видасть запит, який корпус або головку гучномовця потрібно використовувати у вибраному режимі. Наприклад, при перемиканні з режиму Loudspeaker Variable в режим Box Variable, програма запитає, яка з введених головок буде використовуватись в режимі Box Variable. Коли перемикання завершено, на дисплеї залишаться тільки параметри вибраної головки гучномовця. Проте дані інших головок гучномовців не будуть загублені. Можна отримати до них доступ, перемкнувшись в режим Loudspeaker Variable. Оскільки в режимі Loudspeaker Variable вводиться тільки одна конструкція корпусу, вона автоматично переноситься в режим Box Variable у вигляді вибраної конструкції корпусу гучномовця. Також конструкції оптимального корпусу з фазоінвертором і оптимального закритого корпусу будуть розраховані автоматично при перемиканні.

При перемиканні з режиму Box Variable в режим Loudspeaker Variable програма запитає, який корпус необхідно використовувати в режимі Loudspeaker Variable. Оскільки в режимі Box Variable вводиться тільки один тип головки гучномовця, вона автоматично переноситься в режим Loudspeaker Variable як перша головка.

Домашнє завдання

1. Уважно опрацюйте теоретичний матеріал з даної теми. Вивчіть можливості програми JBL SpeakerShop і порядок роботи з нею.
2. Ознайомтесь з ходом роботи та методикою розрахунку основних параметрів та характеристик акустичних систем.
3. Вивчіть конструкції та схемотехніку багатосмугових гучномовців.

Обладнання

1. Комп'ютер.
2. Пакет прикладної програми JBL SpeakerShop.

Хід роботи

1. Запустити програму JBL SpeakerShop.
 2. Комбінацією клавіш Ctrl+N викликати меню „Loudspeaker Parameters”, згідно з запропонованим викладачем варіантом ввести в комп'ютер основні параметри:
 - власна резонансна частота басової головки гучномовця при її коливаннях у відкритому повітрі (F_s);
 - еквівалентний об'єм даної головки (V_{as}) в літрах;
 - демпфінг-фактор або іншими словами повна добротність головки (Q_{ts});
 - параметр, який забезпечує тільки оцінювання очікуваного значення SPL (рівня звукового тиску) або чутливості за напругою (Sensitivity);
 - термічно обмежена максимальна електрична потужність (P_e), з якою може оперувати динамічна головка (P_e);
 - площа поршня/дифузора головки гучномовця (квадратні сантиметри або квадратні дюйми); є значенням площі рухомої частини головки (S_d);
 - максимальна або пікова лінійна амплітуда коливань звукової котушки головки (сантиметри або міліметри, дюйми); як правило, визначається як відстань, яку може пройти котушка в одному напрямі при збереженні здатності підтримки постійного числа коливань в зазорі магніту; параметр визначає максимальну амплітуду коливань, при якій не з'являються спотворення (X_{mas}).
 - зайти до меню Optimum Vented Box (Box>Parameters>Optimum Vented) вибрати тип заповнення футляра звукопоглинаючим матеріалом для двох випадків:
 - мінімального заповнення;
 - максимального заповнення.
- Результати розрахунку занести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Закритий корпус (Closed Box)					Корпус з фазоінвертором (Vented Box)			
V_b (літри)	F_c (Гц)	F_3 (Гц)	Q_{tc}	Fill	V_c (літри)	F_b (Гц)	F_3 (Гц)	Fill

3. Комбінацією клавіш Ctrl+D заходимо до меню Обчислення Внутрішніх Розмірів Корпусу (Internal Box Dimensions). Для стандартної конструкції корпусу виписуємо розміри в табл.4.2 за результатами обчислення.

4. Для розрахунку розмірів фазоінвертора комбінацією клавіш Ctrl+V заходимо в меню Розміри Фазоінвертора (Vent Dimensions) та натисканням клавіші Minimum Size отримуємо дані D_v і L_v , які заносимо в табл. 4.2.

Зарисувати конструкцію корпусу гучномовця з фазоінвертором.

5. Зарисувати АЧХ для корпусу з фазоінвертором та закритого корпусу і визначити на графіках відповідні частоти F_b , F_3 та F_c , F_3 .

6. Зробити висновки по роботі. Визначити, в яких пристроях може використовуватись розроблений гучномовець.

Таблиця 4.2

Fill (заповнення корпусу)	Розміри закритого корпусу			Розміри корпусу з фазоінвертором			Розміри фазоінвертора	
	h (см)	w (см)	d (см)	h (см)	w (см)	d (см)	D_v (см)	L_v (см)
Min								
Max								

Варіанти завдань

Тип головки	F_s , Гц	V_{as} , л	Q_{ts}	S_d , см ²	X_{max} , мм	P_e , Вт
Alpine 6560	62	8,5	0,52	342,45	8,636	50
75ГДН-1-4	37	42	0,55	550,68	3,298	75
JBL GT152D	24	319,13	0,449	856,13	7,62	125

Контрольні запитання

1. Які ви знаєте основні акустичні параметри гучномовців?
2. Які вам відомі основні електричні параметри гучномовців?
3. Дайте класифікацію конструкцій гучномовців, які переваги та недоліки кожної з них?
4. Назвіть основні режими роботи програми JBL SpeakerShop.
5. Для чого в акустичних системах використовують фазоінвертори, що вам відомо про їх конструкції?
6. На що впливають звукопоглинальні матеріали, які розташовують всередині акустичних систем?

Література

1. Гитлиц М.В. Радиовещание и электроакустика. – М.: Радио и связь, 1989. – 432 с.

2. Радиовещание и электроакустика: Учебник для вузов / Под ред. Ю.А. Ковалгина – М.: Радио и связь, 2000. – 792 с.
3. www.alteam.ru
4. Эфрусси М. М. Громкоговорители и их применение. – М.: Энергия, 1971. – 96 с.
5. Enclosure Module SpeakerShop Версия 1.0. Руководство пользователя, 1998г. – 48 с.

5 Лабораторна робота № 3 **Дослідження параметрів та характеристик CD програвача**

Мета роботи – ознайомитись з конструкцією CD-програвача радіомовного тракту формування програм; визначити його технічні параметри та характеристики і провести порівняльний аналіз отриманих даних з відповідним стандартом на даний вид апаратури.

Стислі теоретичні відомості

Загальні положення. Система «компакт-диск» (CD) складається з диска, який містить звукову програму, записану в цифровому вигляді, і програвача, який відтворює записану інформацію за допомогою променя лазера. Діаметр компакт-диска складає 120 мм, товщина - 1,2 мм. Компакт-диск може бути поміщений в тонкий конверт або спеціальну касету, що забезпечує портативність і зручність його зберігання в домашніх умовах.

Якість звучання в системі CD визначається, як і в будь-якій цифровій системі звукозапису, параметрами аналого-цифрового і цифро-аналогового перетворень. Частота дискретизації для цієї системи прийнята рівною 44,1 кГц, число розрядів квантування – 16 при лінійній характеристиці квантування. Вибір дробового значення частоти дискретизації був обумовлений таким. Майстер-стрічка для першої копії диска записувалась комбінацією відеомагнітофона в системі PAL- та ІКМ-процесора, частота дискретизації якого складала 44,1 кГц.

Цифровий запис з такими параметрами забезпечує високі якісні показники системи CD:

- діапазон відтворюваних частот – від одиниць Гц до 20 кГц;
- відношення сигнал-шум – не менше 90 дБ;
- динамічний діапазон – не менше 90 дБ (у грамплатівки – не більше 70 дБ);
- коефіцієнт нелінійних спотворень – 0,003 % при максимальному рівні сигналу (у грамплатівки – 0,3 %);
- коефіцієнт детонації – нижче межі вимірювання;
- розділення каналів – не менше 90 дБ (у грамплатівки – 30 дБ).

На відміну від грамплатівки в системі CD відсутні гуркіт і шуми, пов'язані із запиленістю і пошкодженнями поверхні носія інформації. Відсутні також спрацьовування компакт-диска і головки зчитування.

Записування цифрових сигналів на відміну від звичайної грамплатівки здійснюється тільки з одного боку компакт-диска. Зона записування сигналу обмежена. Її внутрішній діаметр рівний 50 мм, а зовнішній – 116 мм. Поза цією зоною розташовується зона «введення і виведення», що містить інформацію, яка дозволяє автоматизувати процес програвання. Компакт-диск не має канавки запису, характерної для грамплатівки. Значення цифрового сигналу записуються на поверхні диска за допомогою маленьких заглиблень, що називаються пітами. Розташовані в ряд піти утворюють доріжку запису, яка наноситься на диск у вигляді спіралі, направленої від центра диска до його краю. Відстань між сусідніми витками спіралі рівна 1,6 мкм. В порівнянні з довгограючою пластинкою, де крок між канавками складає близько 160 мкм, тут щільність запису дуже висока. Завдяки цьому забезпечується безперервне відтворення однієї сторони диска діаметром 120 мм протягом більше однієї години.

Спочатку на поверхні прозорого пластмасового диска формують піти. Потім на диск із боку пітів наноситься тонка металева плівка з високим коефіцієнтом відбиття випромінювання лазера. Вона покривається непрозорим захисним шаром. Захисний шар використовується також як етикетка. Доріжка запису, таким чином, залишається всередині компакт-диска. Сигнал зчитується з боку прозорої основи за допомогою сфокусованого променя лазера, який відбивається від поверхні металевої плівки і попадає в оптичну систему головки зчитування. Металева плівка товщиною близько 0,1 мкм виготовляється з алюмінію, що надає компакт-диску характерний срібний колір.

Матеріал прозорої основи повинен бути теплостійким, вологостійким, добре формуватися й мати гарні оптичні властивості. Захисний шар виготовляється з непрозорої твердої пластмаси.

Істотною перевагою системи CD є відсутність контакту між поверхнею диска і головкою зчитування. Промінь лазера фокусується до плями, що має розмір одного порядку з розмірами пітів. Прогрес останніх років привів до появи дешевих за ціною напівпровідникових лазерів маленьких розмірів. Вони встановлюються в малогабаритну оптичну головку зчитування програвача CD. Необхідна потужність випромінювання лазерів становить $2\div 3$ мВт.

Розглянемо як відбувається зчитування цифрових сигналів, записаних на компакт-диск.

Сфокусований промінь лазера попав на ділянку, де немає пітів, майже повністю відбивається назад. Якщо промінь попадає на ділянку, де є піт, то він розсіюється. Довжина піта може змінюватися від 0,9 до 3,1 мкм і приймати дев'ять значень. Відбитий промінь лазера модулюється

відповідно до наявності чи відсутності пітів на доріжці запису. Детектором відбитого випромінювання є фотодіод, він перетворює модуляцію світлового потоку в електричний сигнал.

Внаслідок того, що промінь лазера фокусується на поверхні шару відбиття, дрібні подряпини й пилинки на диску не впливають на відтворений сигнал.

На відміну від грамплатівки, що обертається з постійною швидкістю, частота обертання компакт-диска при відтворенні змінюється від 500 до 200 об/хв. Це робиться для забезпечення постійного значення лінійної швидкості (1,25 м/с). Підтримка постійної лінійної швидкості дозволяє здійснювати записування з однаковою щільністю по всій поверхні компакт-диска.

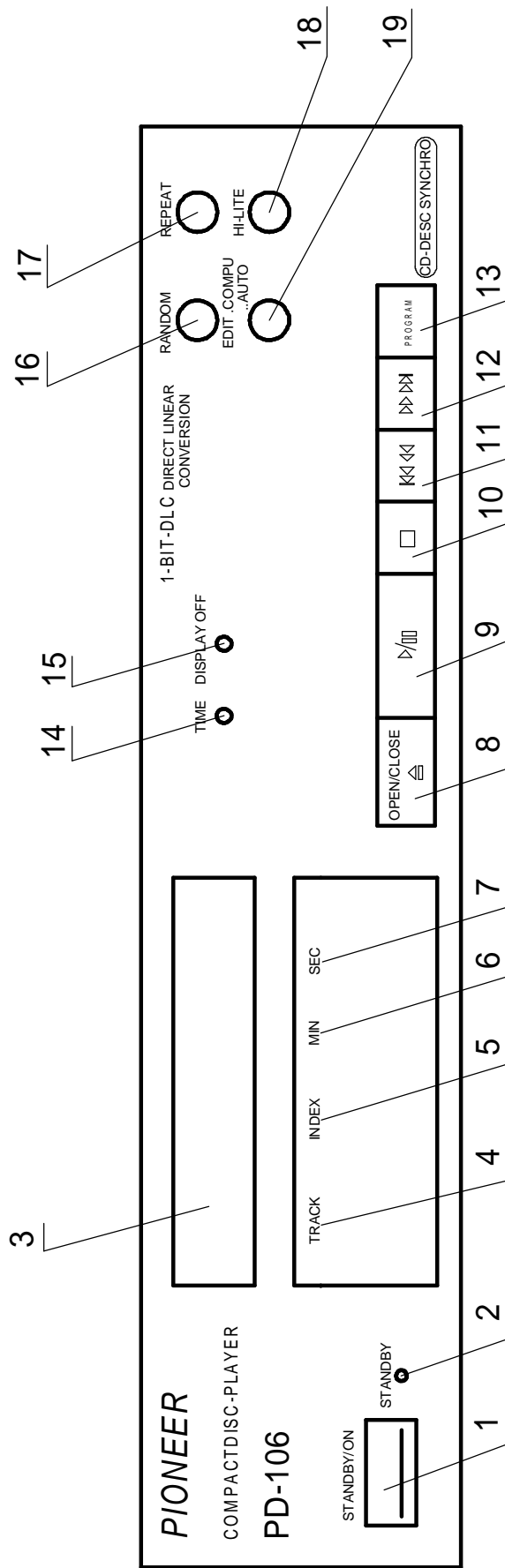
У зв'язку з малими розмірами пітів і кроком доріжок існують проблеми забезпечення точного проходження променя лазера по доріжці запису. Компакт-диск встановлюється безпосередньо на вал двигуна. Реально важко забезпечити точне з'єднання осі двигуна із центром диска. Неминуче існує зсув, викликаний ексцентриситетом і похибкою встановлення компакт-диску на вал двигуна. Спостереження за доріжкою запису при відтворенні здійснюється системою автотрекінга.

Через неідеальність виробничого процесу при тиражуванні компакт-дисків можливо також деяке скривлення доріжок запису. Крім того, виробничі можливості й умови експлуатації не дозволяють мати абсолютно плоский диск. Реальне биття поверхні диска при обертанні не може бути зроблене менше ніж 0,5 мм. Це створює певні труднощі в забезпеченні правильного фокусування променя лазера на поверхні металевої плівки, оскільки глибина піта становить 0,1 мкм. Щоб уникнути розфокусування при відтворенні, використовується спеціальна сервосистема, за допомогою якої підтримується постійна відстань між компакт-диском і об'єктивом. Ця система називається системою автофокусування.

Таким чином, промінь лазера постійно автоматично фокусується на шарі відбиття компакт-диска й безупинно стежить за доріжкою запису.

Призначення органів керування, рознімів програвача CD-дисків Pioneer PD-106. На рис. 5.1 подано програвач CD-дисків Pioneer PD-106. Лицьова панель (рис. 5.1,а) має такі основні частини:

- 1 – кнопка вмикання та переведання програвача в режим очікування;
- 2 – індикатор режиму очікування (STANDBY);
- 3 – дека для CD-диска;
- 4 – цифровий індикатор, що вказує порядковий номер треку;
- 5 – кнопка для пошуку/пропуску треку назад;
- 6 – кнопка для пошуку/пропуску треку вперед;
- 7 – кнопка за допомогою якої вмикається режим програмування;



а

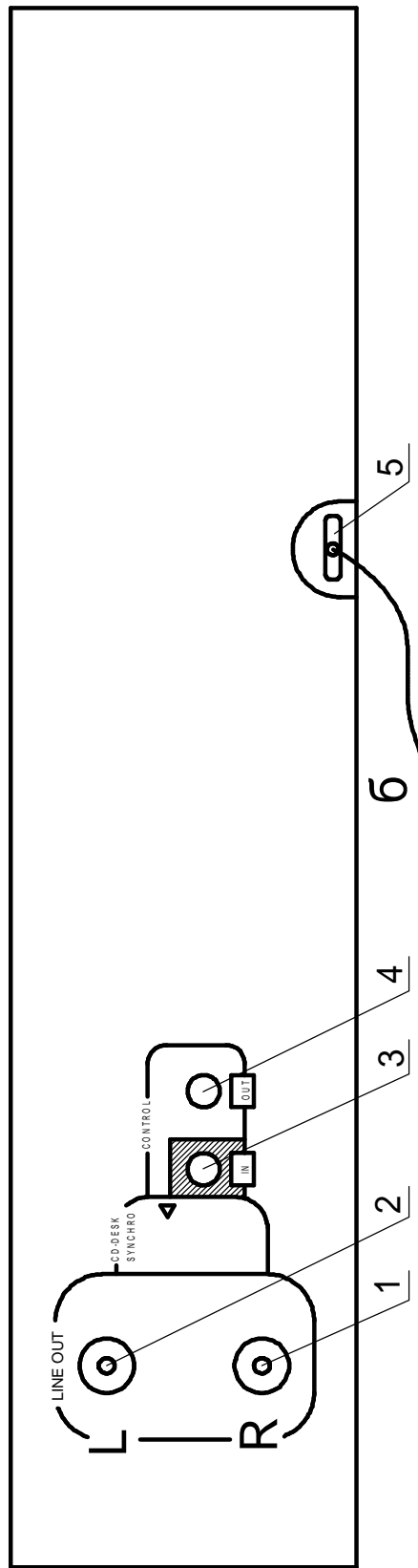


Рисунок 1- Загальний вигляд лицьової (а) та тильної (б) панелей програвача

- 8 – перемикає в режим „час до закінчення треку”;
 - 9 – вмикає цифровий дисплей;
 - 10 – вмикає випадковий вибір треків для програвання;
 - 11 – вмикає повтор треку, що програється;
 - 12 – вмикає режим швидкого програвання треків;
 - 13 – клавіша вибору треків в режимі PROGRAM.
 - 14 – перемикає в режим час до закінчення треку;
 - 15 – вмикає цифровий дисплей;
 - 16 – вмикає випадковий вибір треків для програвання;
 - 17 – вмикає повтор треку що програється;
 - 18 – вмикає режим швидкого програвання треків;
 - 19 – клавіша вибору треків в режимі PROGRAM.
- Тильна панель (рис. 5.1,б) має такі основні частини:
- 1 – вихід для правого каналу;
 - 2 – вихід для лівого каналу;
 - 3 – вхід для подачі контрольних сигналів при ремонті пристрою;
 - 4 – вихід для зняття контрольних сигналів;
 - 5 – шнур живлення.

Лабораторна установка

Структурна схема лабораторної установки наведена на рис. 5.2. В ній штриховими лініями позначено вузли, які використовуються лише при виконанні окремих пунктів досліджень.

Домашнє завдання

1. Уважно опрацюйте теоретичний матеріал. Вивчіть призначення кожної клавіші програвача компакт-дисків.
2. Ознайомтесь з ходом роботи та методикою вимірювань основних параметрів та характеристик програвача.
3. Вивчіть схемотехніку програвачів компакт-дисків.

Вимірювальна і досліджувана апаратура

1. Тест-диск „Контроль и настройка оборудования в радиовещании и звукозаписи”.
2. Програвач CD-дисків „Pioneer PD-106”.
3. Осцилограф С1-83.
4. Вольтметр ВЗ-38.
5. Вимірювач нелінійних спотворень С6-5.
6. Фільтр НЧ 150Гц.
7. Підсилювач „Радиотехника У-101С ”.

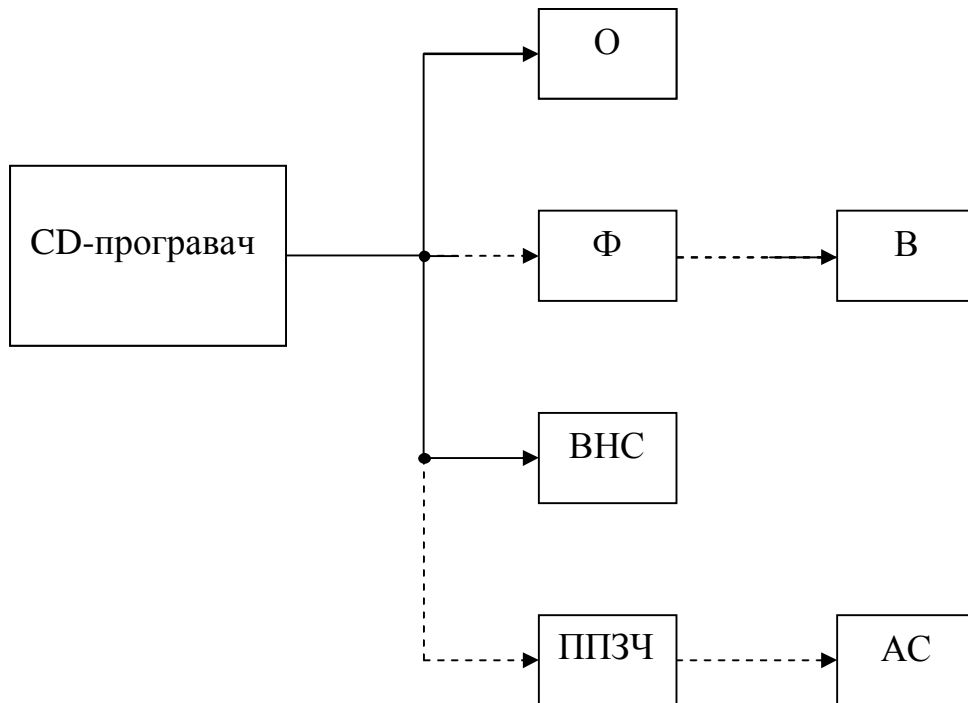



Рисунок 5.2 – Структурна схема лабораторної установки (О – осцилограф, Ф – ФНЧ 150 Гц або смуговий фільтр 20 Гц – 20 кГц, В – вольтметр, ВНС – вимірювач нелінійних спотворень, ППЗЧ – підсилювач потужності звукової частоти, АС – акустична система)

8. Акустична система 35АС-016.
9. Смуговий фільтр 20 Гц – 20 кГц.

Програма експериментальних досліджень

1. Вивчити опис та структуру тест-диска „ Контроль и настройка оборудования в радиовещании и звукозаписи”

Увага! Треки відмічені знаком , не призначені для прослуховування і можуть пошкодити акустичну систему. При підімкненні гучномовців та підсилювача слід уникати програвання даних треків.

2. Ознайомитись з принципом дії та роботою програвача CD-дисків Pioneer PD-106.

3. Вивчити призначення функціональних клавіш та індикаторів на лицьовій панелі пристрою.

4. Виміряти амплітудно-частотну характеристику програвача CD-дисків для кожного з каналів. Для цього послідовно увімкнути треки

82..99, що відповідають частотам, наведеним у табл. 5.1, та виміряти напруги лівого і правого каналів. Отримані дані занести до табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вимірювання АЧХ

f, Гц	20	25	30	40	50	63	125	250	400	1000	2000	4000	6300	7000	10000	12500	16000	20000	
U _л , В																			
U _п , В																			

5. Визначити розділення між каналами. Щоб визначити, чи присутні складові лівого каналу в правому, і навпаки — правого в лівому, необхідно сигнали обох каналів подати на осцилограф. Далі, ввімкнувши на програвачі треки 46 (для лівого каналу) та 51 (для правого), спробувати знайти на екрані осцилографа зображення синусоїдальних складових за рахунок паразитного проходження напруги лівого каналу в правий (правого в лівий). Якщо ці складові будуть знайдені, розділення між каналами розрахувати за формулою:

$$D_p = 201g(U_{л(п)} / U_{п(л)}),$$

де в чисельнику напруга лівого або правого каналу, а в знаменнику – паразитна напруга, відповідно, в правому або лівому каналі.

6. Виміряти за допомогою смугового фільтра 20Гц – 20кГц, відношення сигналу до шуму в обох каналах. Якщо при виконанні п. 5 паразитне проходження сигналів із каналу в канал не було зареєстровано, то вимірювання відношення сигналу до шуму можна проводити за допомогою треку 46 (для лівого каналу) і треку 51 (для правого каналу). Додатково визначити співвідношення сигнал/шум на частоті 5кГц, для чого використати трек 37 для лівого і правого каналів. Отримані дані занести до табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Вимірювання відношення сигнал/шум

F, Гц	1000	5000	F, Гц	1000	5000
U _л , В			U _п , В		
U _л шум, мВ			U _п шум, мВ		

Співвідношення сигнал/шум визначають за виразом:

$$D_{ш} = 201g(U_c / U_{ш}),$$

де: U_C – напруга сигналу; $U_{\text{ш}}$ – напруга шуму.

Виміряйте шумову напругу в режимі „Стоп”. Порівняйте відношення сигнал/шум в режимі „Стоп” і у режимі „Програвання”.

7. Виміряти за допомогою фільтра НЧ 150Гц відношення сигнал/фон для двох каналів.

8. Вимірювання за цим пунктом виконуються у відповідності до рекомендацій п. 6. Отримані дані занести до табл. 5.3.

Таблиця 5.3 — Вимірювання відношення сигнал/фон

F, Гц	1000	5000	F, Гц	1000	5000
U_L , В			U_P , В		
$U_{\text{ЛФОН}}$, мВ			$U_{\text{ПФОН}}$, мВ		

Зарисуйте осцилограми фонових напруг для лівого і правого каналів.

Співвідношення сигнал/фон визначають за виразом:

$$D_{\text{ф}}=20\lg(U_C/U_{\text{ф}}),$$

де: U_C – напруга сигналу; $U_{\text{ф}}$ – напруга фону.

9. Визначити за допомогою треків 14...28 амплітудну характеристику програвача CD. Для цього виміряйте вихідну напругу каналів та занесіть її до табл. 5.4.

Таблиця 5.4 — Вимірювання АХ

$U_{\text{ВХ}}$, дБ	0	-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-16	-20	-26	-32	-40
U_L , В															
U_P , В															

10. Визначити коефіцієнт гармонік програвача. Вимірювання цього коефіцієнта здійснюється на частоті 1кГц за допомогою тестового сигналу з треку 93 або 14.

11. Перевірте синфазність вихідних напруг програвача. Якщо осцилограми сигналів лівого і правого каналів при відтворенні треків 29 і 30 протилежні, то це означає, що в програвачі порушена синфазність між лівим і правим каналами.

Зарисуйте осцилограми треків 29, 30 для обох каналів.

12. Дослідіть вихідні сигнали програвача CD на високих частотах, послідовно вмикаючи треки 38..43, що відповідають частотам 19; 20; 20,5;

21; 21,5; 22 кГц. Зарисуйте осцилограми, зробіть їх аналіз. Наведіть необхідні висновки.

13. Дайте суб'єктивну оцінку якості звучання програвача CD. При виконанні цього пункту потрібно під'єднати до програвача стереопідсилювач з акустичними системами та запустити на компакт-диску музичний трек 72.

Контрольні запитання

1. Поясніть принцип роботи програвача CD.
2. Яким чином відбувається зчитування звукової інформації з компакт-диска?
3. Що зроблено в програвачі для того, щоб надійно зчитувати інформацію з доріжки диска?
4. Від чого залежить шумова напруга програвача і чому при програванні відношення сигнал/шум гірше, ніж в режимі „Стоп”.
5. Чому можливо для вимірювання шумової та фонові напруги використовувати треки, де є відсутніми сигнали почергово в лівому і правому каналах (тобто треки для перевірки розділення між лівим і правим каналами)?
6. На основі отриманих результатів порівняйте параметри досліджуваного програвача з існуючими стандартами на подібну звукотехнічну апаратуру.

Література

1. Гитлиц М.В. Радиовещание и электроакустика. – М.: Радио и связь, 1989. – 432с.
2. Шкритек П.О. Справочное руководство по звуковой схемотехнике. – М. : Мир, 1991. – 446с.
3. Злотухин И.П. Цифровые звуковые магнитофоны. – Томск: Радио и связь, 1990. – 160с.
4. Авраменко Ю. Ф. Схемотехника проигрывателей компакт-дисков. – М.: Наука и техника, 1999. – 128с.
5. Колаич Н.И. Ремонт CD проигрывателей: принципы работы, типичные неисправности. – М.: Радиотон, 1998. – 224с.
6. Ленк Дж. Мой домашний аудиовидеокomплекс.–М.: Энергоатомиздат, 1994. – 318с.

6 Лабораторна робота № 4 Дослідження аналогового помножувача сигналів

Мета роботи – ознайомитись із схемотехнікою аналогових помножувачів сигналів (АПС); дослідити роботу радіотехнічних пристроїв на основі АПС та промоделювати їх основні параметри та характеристики.

Стислі теоретичні відомості

Інтегральними АПС є кола на основі операційних підсилювачів (ОП), що виконують операцію аналогового перемноження, або спеціалізовані конфігурації у вигляді інтегральних схем (ІС), що виконують ті ж функції. В останньому випадку в структуру ІС вводять ланцюги, що зменшують помилку перемноження.

Помножувачі є основою широкого класу радіотехнічних перетворювачів. Високоточні і порівняно низькочастотні помножувачі застосовуються у вимірювальній техніці й апаратурі, що виконує обчислювальні перетворення над аналоговими величинами. Високочастотні помножувачі є основою нелінійних радіотехнічних перетворень.

1. Перемноження аналогових сигналів у диференціальному каскаді (ДК)

При побудові АПС використовується пропорційність між максимальним значенням крутості і струмом ДК (рис. 6.1):

$$|S_{0\max}| = kI_0.$$

Для керування струмом I_0 використовується транзистор VT3. При виконанні умови:

$$V \gg U_{be\ VT3} \quad (6.1)$$

справедлива наближена рівність:

$$I_0 \approx \frac{V}{R_0}.$$

При подачі на входи ДК приростів напруг $\Delta U_1 = \Delta U$, $\Delta U_2 = -\Delta U$ вихідна напруга між симетричними виходами ДК отримає приріст:

$$\Delta U_{вих} = 2\Delta U S_{0\max} R_n = k' V \Delta U,$$

де значення k' залежить від R_n та I_0 .

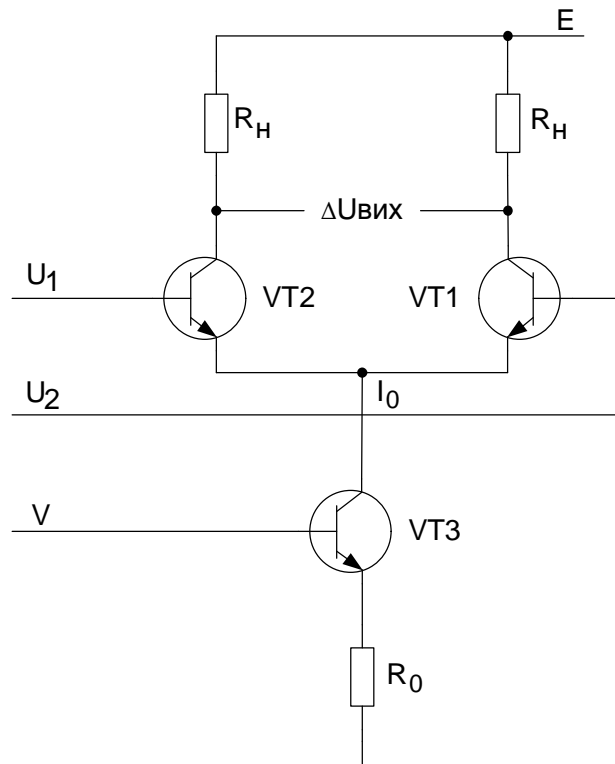


Рисунок 6.1 – Спрощена схема АПС на ДК

Недоліком схеми (рис.6.1) є занадто малий динамічний діапазон, обмежений умовою (6.1).

2. Інтегральна схема (ІС) помножувача

ІС К174ПС1 являє собою подвійний балансний змішувач для частоти до 200МГц і призначена для перетворення частот УКХ-діапазону в радіоприймальній і апаратурі зв'язку.

Основним вузлом ІС (рис. 6.2) є диференціальний підсилювач з перехресними зв'язками на транзисторах VT1, VT3, VT4, VT6. Подаючи різну напругу на бази транзисторів VT2, VT5, регулюють струми емітерів VT1, VT3, VT4, VT6. Внутрішній стабілізатор (резистор R1 і діоди VD1-VD4) забезпечують стабільну роботу ІС за постійним струмом, задаючи зміщення на транзистори.

Параметри ІС наведені у таблиці 6.1.

3. Радіотехнічні перетворення на основі аналогових помножувачів

Балансний модулятор. Припустимо, що на входах помножувача (рис.6.3,а) діють періодичні коливання:

$$U_1(t) = U_{m1} \cos \omega_1 t; \quad U_2(t) = U_{m2} \cos \omega_2 t.$$

Сигнал на виході помножувача:

$$U_{\text{вх}}(t) = 0,5 \cdot k \cdot U_{m1} U_{m2} [\cos(\omega_2 - \omega_1) \cdot t + \cos(\omega_2 + \omega_1) \cdot t]. \quad (6.2)$$

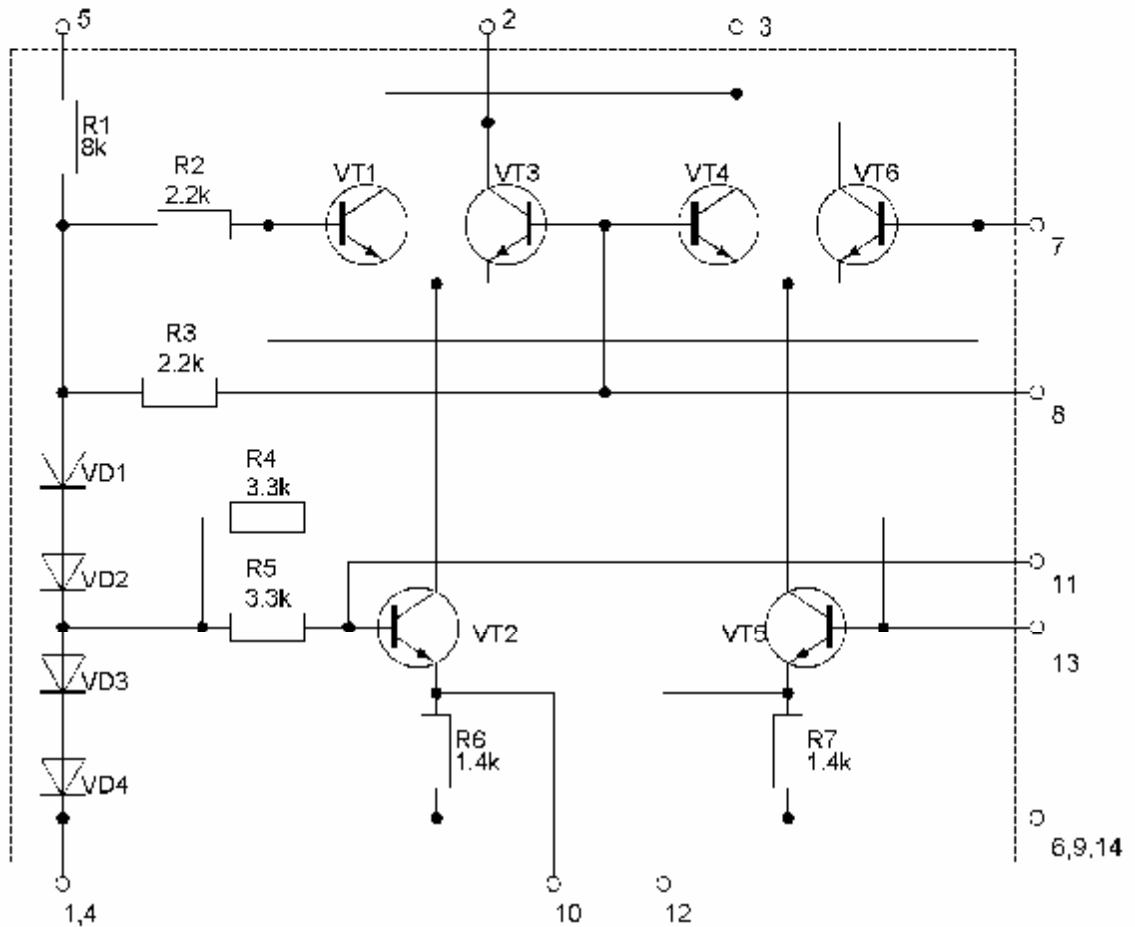


Рисунок 6.2 – Електрична схема ІС К174ПС1

Таблиця 6.1 – Параметри ІС К174ПС1

Параметри	Значення
Крутість перетворення S_{np} , mA/B	не менше 4,5
Верхня гранична частота f_{cp} , МГц	не менше 200
Коефіцієнт послаблення сигнальної напруги, дБ	не менше 30
Коефіцієнт послаблення опорної напруги, дБ	не менше 30
Напруга живлення, В	
- мінімальна	4
- максимальна	15
Максимальна вхідна $U_{\text{вх}}$ і опорна $U_{\text{он}}$ напруга, В	не більше 1
Вхідна $U_{\text{вх}}$ і опорна $U_{\text{он}}$ напруга, В	не більше 0,1

З (6.2) видно, що спектр $A(\omega)$ коливань на виході помножувача складається з двох складових, які рівні різницевій $\omega_2 - \omega_1$ і сумарній $\omega_2 + \omega_1$ частотам. Амплітуди A_1 і A_2 складових спектра (рис.6.3,б) однакові і рівні:

$$A_1 = A_2 = 0,5 \cdot k \cdot U_{m1} U_{m2}.$$

У той же час складові з частотами ω_1 і ω_2 у спектрі $A(\omega)$ відсутні.

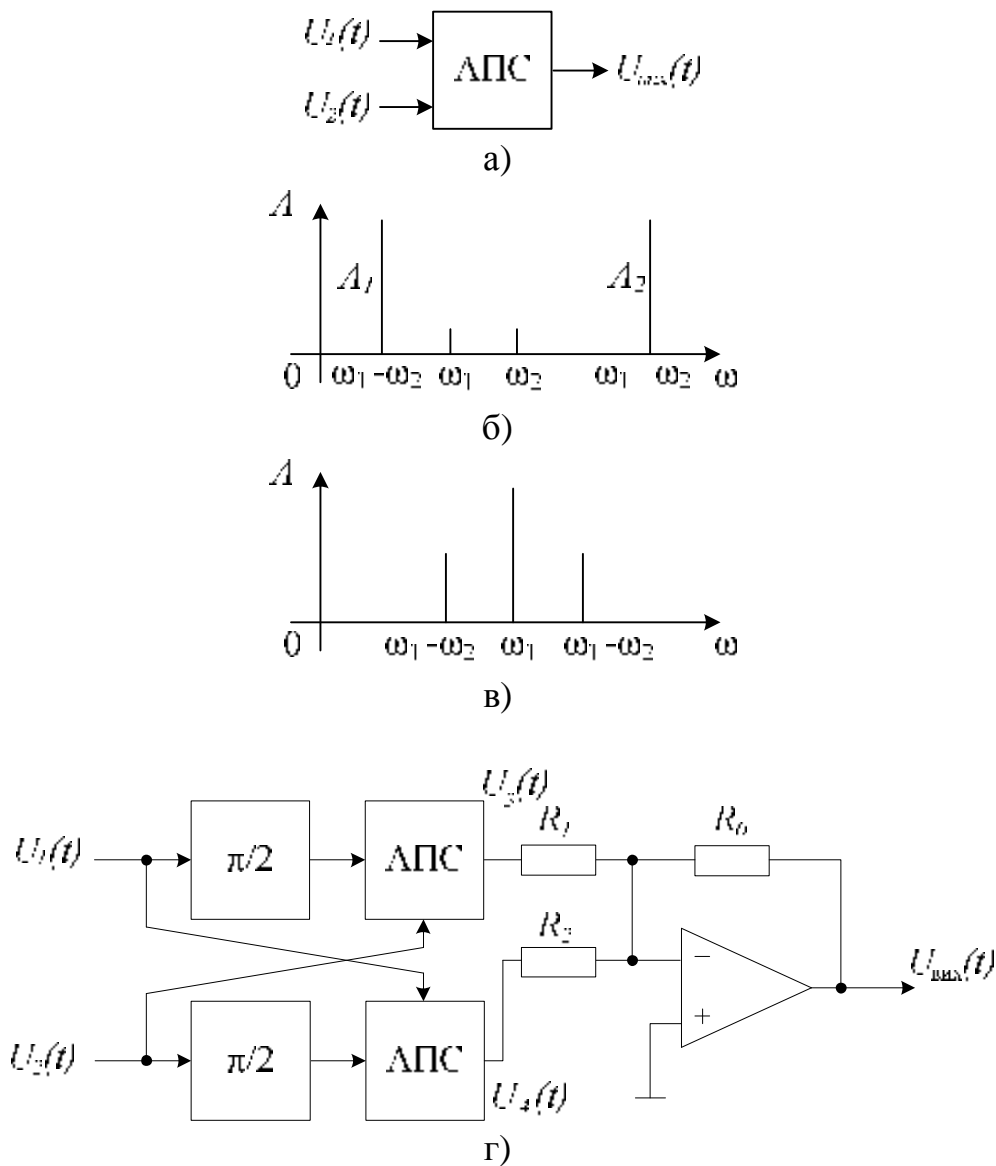


Рисунок 6.3 – Кола на основі аналогового помножувача:
 а – балансний модулятор; б – спектр коливань на виході балансного модулятора; в – спектр коливань на виході амплітудного модулятора; г - однополосний модулятор

Їхне послаблення поряд з одержанням спектрів A_1 і A_2 (рис.6.3,б) і є функцією ідеального балансного модулятора. У реального балансного модулятора складові з частотами w_1 , w_2 послаблюються не повністю (рис.6.3,б).

Амплітудний модулятор. Подавши на схему рис.6.3,а сигнали:

$$U_1(t) = U_{m1} \cos w_1 t; U_2(t) = U_{m2} (1 + m \cos w_2 t);$$

на виході одержимо сигнал

$$U_{вих}(t) = k \cdot U_{m1} U_{m2} \cos w_1 t + 0,5 \cdot m \cdot k \cdot U_{m1} U_{m2} [\cos (w_1 - w_2) \cdot t + \cos (w_1 + w_2) \cdot t].$$

Спектр сигналу на виході складається з несучої частоти w_1 і двох бічних частот $w_1 - w_2$ і $w_1 + w_2$ (рис.6.3,в).

Однополосний модулятор. Схема (рис.6.3,г) дозволяє використовувати можливість балансової роботи двох помножувачів з метою послаблення не тільки несучої, але і бічних частот. Власне кажучи, у цьому випадку відбувається фільтрація потрібної частоти.

Нехай нам необхідно із сигналів

$$U_1(t) = U_{m1} \cos w_1 t; U_2(t) = U_{m2} \cos w_2 t;$$

одержати сигнал з частотою $w_1 + w_2$ і послабити інші складові спектра. Для сигналів $U_3(t)$ і $U_4(t)$ одержимо:

$$U_3(t) = -k U_{m1} U_{m2} \sin w_1 t \cos w_2 t; U_4(t) = -k U_{m1} U_{m2} \sin w_2 t \cos w_1 t;$$

(коефіцієнти передачі помножувачів приймаються рівними k).

Позначивши коефіцієнт передачі ОП в схемі інвертувального суматора через K , отримаємо вираз для вихідної напруги у вигляді:

$$U_{вих}(t) = k \cdot K \cdot U_{m1} U_{m2} \sin(w_1 + w_2) \cdot t. \quad (6.3)$$

Виразу (6.3) відповідає одна спектральна лінія частоти $w_1 + w_2$.

Подвоювач частоти. В схемі подвоювача (рис. 6.4,а) помножувач здійснює зведення вхідного сигналу в квадрат; на виході кола використовується фільтр, який пропускає високі частоти. Маємо

$$U_1(t) = U_2(t) = U_m \cos w \cdot t; U_3(t) = kU_m^2 \cos^2 w \cdot t.$$

Тому

$$U_3(t) = 0,5 \cdot k \cdot U_m^2 [1 + \cos 2w \cdot t]. \quad (6.4)$$

Постійна складова $\frac{kU_m^2}{2}$ через фільтр не пройде, тому сигнал на виході виявиться рівним:

$$U_{\text{вих}}(t) = 0,5 \cdot k \cdot U_m^2 \cos 2w \cdot t. \quad (6.5)$$

З (6.4) і (6.5) видно, що в спектрі на виході не міститься складова з частотою w . Відфільтрувати ж постійну складову, звичайно, не складає труднощів.

Подільник частоти. В схемі подільника використаний фільтр, що затримує вхідну частоту w , але пропускає низькі частоти, і застосований регенеративний зворотний зв'язок з виходу схеми на один із входів помножувача (рис. 6.4,б). Коефіцієнти передачі петлі позитивного зворотного зв'язку підібрані так, що умови самозбудження виконуються лише в присутності вхідного сигналу $U_1(t)$ для коливань частоти $\frac{w}{2}$, близької до половини частоти вхідного сигналу.

Якщо $U_1(t) = U_m \cos w \cdot t$, а на виході фільтра виник малий сигнал:

$$U_4(t) = U_{m4} \cos \frac{w \cdot t}{2}, \quad (6.6)$$

то після підсилення на вхід помножувача надійде:

$$U_2(t) = U_{m4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cos \frac{w}{2} t.$$

Миттєве значення сигналу $U_3(t)$ на виході помножувача буде дорівнювати:

$$U_3(t) = kU_1(t)U_2(t) = k \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{1}{2} U_m U_{m4} \left[\cos \frac{3}{2} w \cdot t + \cos \frac{w}{2} t \right].$$

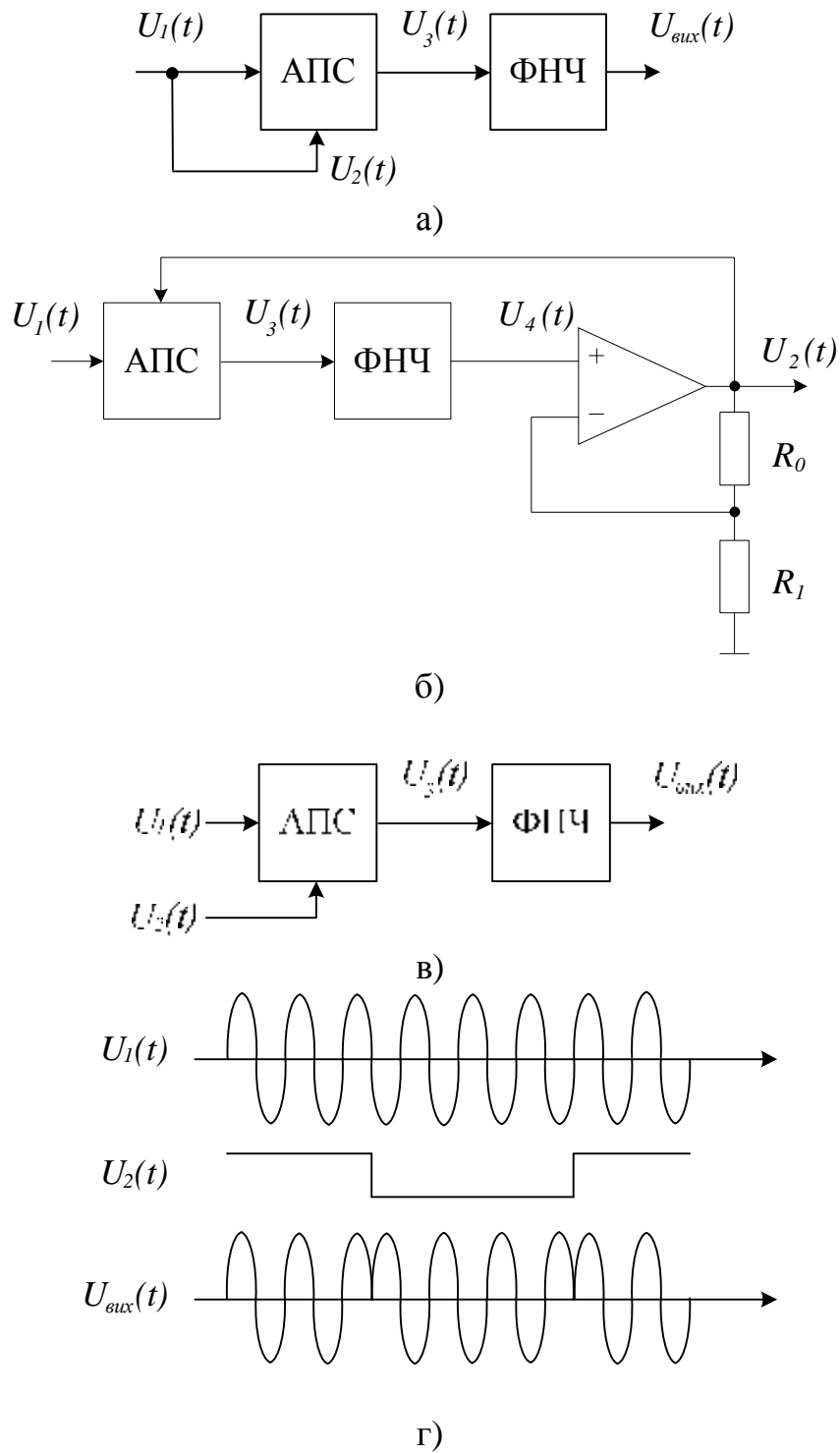


Рисунок 6.4 – Радіотехнічні перетворення, які виконуються за допомогою аналогового помножувача: а – подвоювач частоти; б – подільник частоти; в – фазовий детектор; г – епюри сигналів біфазного модулятора

Фільтр пропустить лише низькочастотну складову цього сигналу так, що

$$U_4(t) = \frac{1}{2} \cdot k \cdot K_\phi \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot U_m U_{m4} \cos \frac{\omega}{2} t, \quad (6.7)$$

де K_ϕ - коефіцієнт передачі фільтра.

Порівнюючи (6.7) з (6.6), бачимо, що для самозбудження необхідне виконання умови

$$T = \frac{1}{2} \cdot k \cdot K_\phi \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot U_m > 1.$$

Фазовий демодулятор. Ця схема (рис. 6.4,в) містить фільтр низьких частот; на один із входів помножувача подаються напруга $U_1(t)$, яка підлягає детектуванню, і опорний сигнал $U_2(t)$ з фіксованою фазою:

$$U_1(t) = U_{m1} \cos(\omega_0 t + j); \quad U_2(t) = U_{m2} \cos \omega_0 t.$$

Напруга $U_3(t)$ визначається як:

$$U_3(t) = \frac{k \cdot U_{m1} U_{m2}}{2} [\cos(2\omega_0 t + j) + \cos j]. \quad (6.8)$$

Сигнал, що описується першим доданком (6.8), через фільтр низьких частот не пройде, таким чином:

$$U_{\text{вих}}(t) = k \cdot K_\phi \frac{U_{m1} U_{m2}}{2} \cos j.$$

Біфазний модулятор. Основна функція цього пристрою – зміщення на 180° (рис. 6.4,г) фази миттєвого значення сигналу в момент зміни значення перемикальної функції:

$$U_2(t) = \begin{cases} +1, \\ -1. \end{cases}$$

При цьому (рис. 6.4,в)

$$U_{\text{вих}}(t) = k \cdot U_1(t) \cdot U_2(t) = \begin{cases} +k \cdot U_m \cos \omega_1 t, \\ -k \cdot U_m \cos \omega_1 t; \end{cases} \quad (6.9)$$

що відповідає часовим діаграмам на рис.4,г.

Біфазний демодулятор. Основна функція цього пристрою – виділення модульованої двійкової перемикальної функції з модульованого сигналу (6.9), тобто з $U_1(t) = \pm U_{m1} \cos \omega_1 t$.

Для роботи демодулятора на вхід помножувача (рис. 6.5,а) необхідно подати опорний сигнал $U_2(t) = U_{m2} \cos w_2 t$, причому $w_2 = w_1$.

На виході помножувача при цьому одержимо:

$$U_3(t) = \pm 0,5k U_{m1} U_{m2} [1 + \cos 2w_1 t].$$

Напруга $U_{\text{вих}}(t)$ на виході фільтра низької частоти дорівнює:

$$U_{\text{вих}}(t) = \pm 0,5k U_{m1} U_{m2} K_{\phi},$$

тобто ця напруга приймає два значення, що відповідають логічним рівням модульованого сигналу.

Лінійний амплітудний демодулятор. Основна функція цього пристрою – виділення низькочастотної обвідної $U_m(t)$ вхідного модульованого сигналу:

$$U_c(t) = U_m(t) \cos w_c t. \quad (6.10)$$

Ця напруга подається на помножувач разом із сигналом $U_{on}(t)$, що знімається з виходу обмежувача Обм (рис. 6.5,б):

$$U_{on}(t) = U_0 \cos w_c t. \quad (6.11)$$

Амплітуда U_0 може бути постійною в широких межах зміни вхідного сигналу. З (6.10) і (6.11) знайдемо часову діаграму сигналу на виході помножувача:

$$U'_{\text{вих}}(t) = 0,5 \cdot U_m(t) \cdot U_0 \cdot k \cdot [1 + \cos 2w_c t]. \quad (6.12)$$

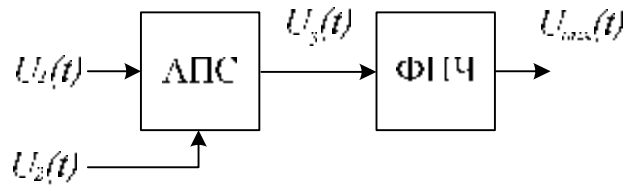
На виході фільтра (рис. 6.5,б) із приведених вище двох доданків залишиться лише низькочастотна складова:

$$U'_{\text{вих}}(t) = 0,5 \cdot U_0 \cdot k \cdot K_{\phi} \cdot U_m(t), \quad (6.13)$$

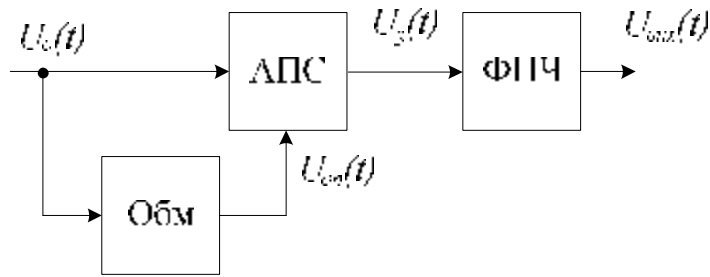
що пропорційна обвідній $U_m(t)$.

Квадратичний демодулятор. Основна функція цього кола – одержання сигналу, пропорційного квадрату обвідної вхідного сигналу.

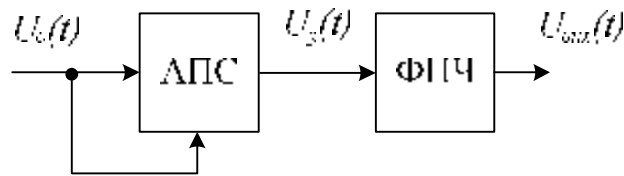
Це коло (рис. 6.5,в) відрізняється від розглянутого (рис. 6.5,б) тим,



а)



б)



в)

Рисунок 6.5 – Демодулятори:

а – біфазний; б – лінійний амплітудний; в – квадратичний амплітудний

що не містить обмежувача. Повторивши аналогічні (6.10) – (6.13) міркування для $U_{вих}(t)$, одержимо:

$$U_{вих}(t) = 0,5 \cdot k \cdot K_{\phi} U_m^2(t). \quad (6.14)$$

Низькочастотне значення $U_{вих}(t)$ виявилось пропорційним квадрату U_m , тобто потужності вхідного сигналу. Лінійні і квадратичні детектори, які здійснюють перетворення (6.12) і (6.14), широко використовуються у пристроях радіозв'язку.

Описані вище застосування АПС дозволяють говорити про нього як про універсальний елемент – основі великого числа нелінійних спеціальних аналогових функцій, характерних для сучасної радіотехніки.

Опис лабораторної установки

До складу лабораторної установки (рис. 6.6) входять досліджувані схеми ДС1, ДС2 на основі АПС, сигнальні та опорні входи яких підімкнені до вимірювальних генераторів високої частоти Г1, Г2. Контроль рівнів вхідних напруг здійснюється за шкалою генераторів Г1 і Г2. Рівень та форма вихідної напруги визначається за допомогою вольтметра В та осцилографа О. Спектр вихідної напруги досліджується за допомогою спектроаналізатора СА. Для живлення ДС1, ДС2 застосовується джерело постійної напруги Дж. Для усунення впливу на досліджувані схеми вимірювальної апаратури до складу лабораторної установки включений буферний каскад БК.

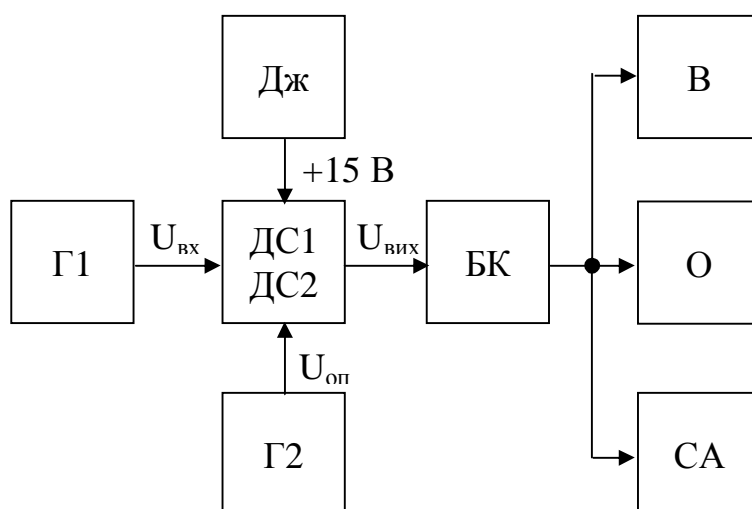


Рисунок 6.6 – Структурна схема лабораторної установки

На рис. 6.7 зображена ДС1 АПС для режимів балансного модулятора, амплітудного модулятора та змішувача. За допомогою перемикача S1 на сигнальний вхід АПС подається постійна напруга зміщення, внаслідок чого схема починає працювати в режимі амплітудного модулятора. Рівень постійної складової змінюється за допомогою потенціометра R3.

Перемикач S2 дозволяє підімкнути до виходу АПС навантаження R5, R6 (для режимів балансного та амплітудного модуляторів) і коливальний

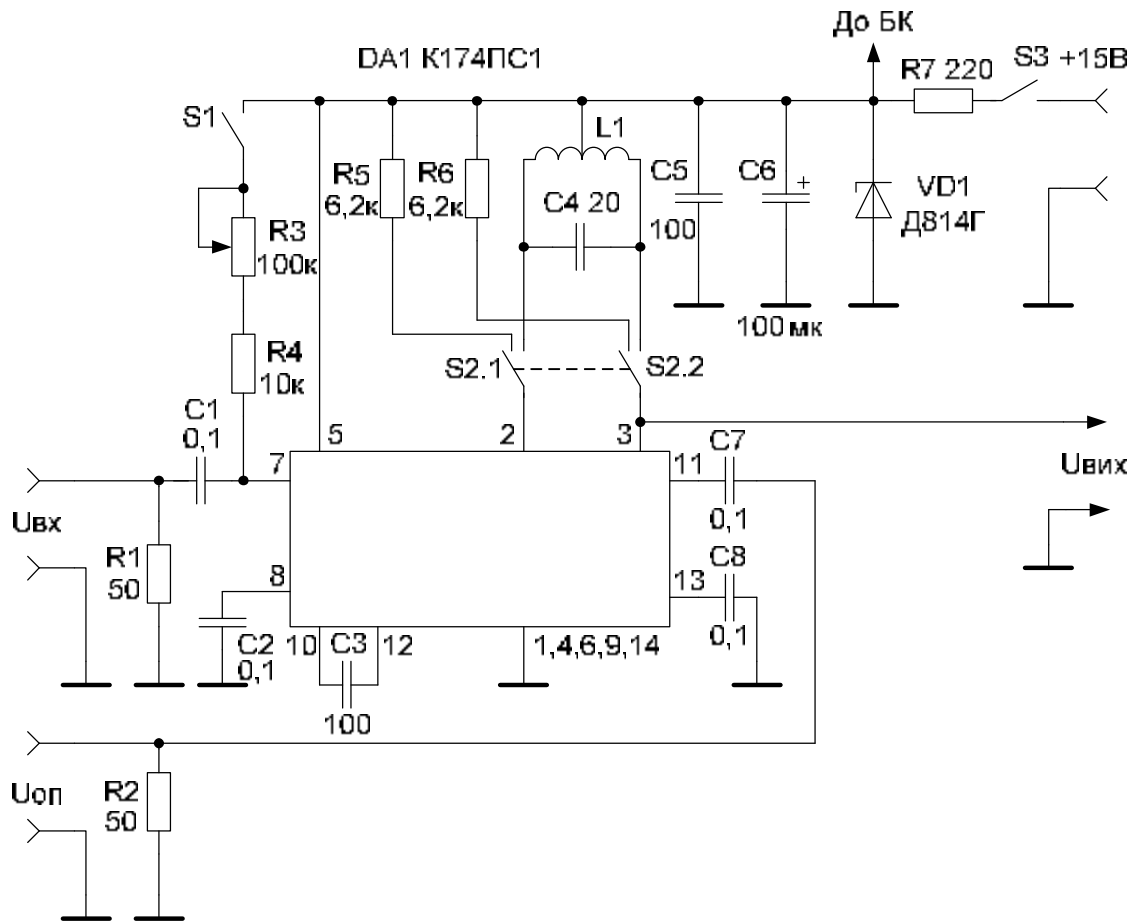


Рисунок 6.7 – Схема електрична принципова ДС1 для дослідження АП в режимах балансного, амплітудного модуляторів та змішувача

контур L1C4 (в режимі змішувача). Перемикач S3 потрібний для підімкнення напруги живлення.

ДС2 для випадку перетворювача частоти без окремого гетеродина наведена на рис. 6.8. Коливальний контур L2, C6 настроєний на частоту $f_r = 11,165 \text{ МГц}$. Контур L1, C4 настроєний на проміжну частоту $f_{np} = 465 \text{ кГц}$.

Схема буферного каскаду наведена на рис. 6.9.

Домашнє завдання

1. Проробити лекційний матеріал з даної теми.
2. Ознайомитись зі схемотехнікою АПС на ІС. З'ясувати якими електричними параметрами характеризується ІС АПС.
3. Вивчити схемотехніку радіотехнічних пристроїв на основі АПС.
4. Ознайомитись зі схемою лабораторної установки, методикою

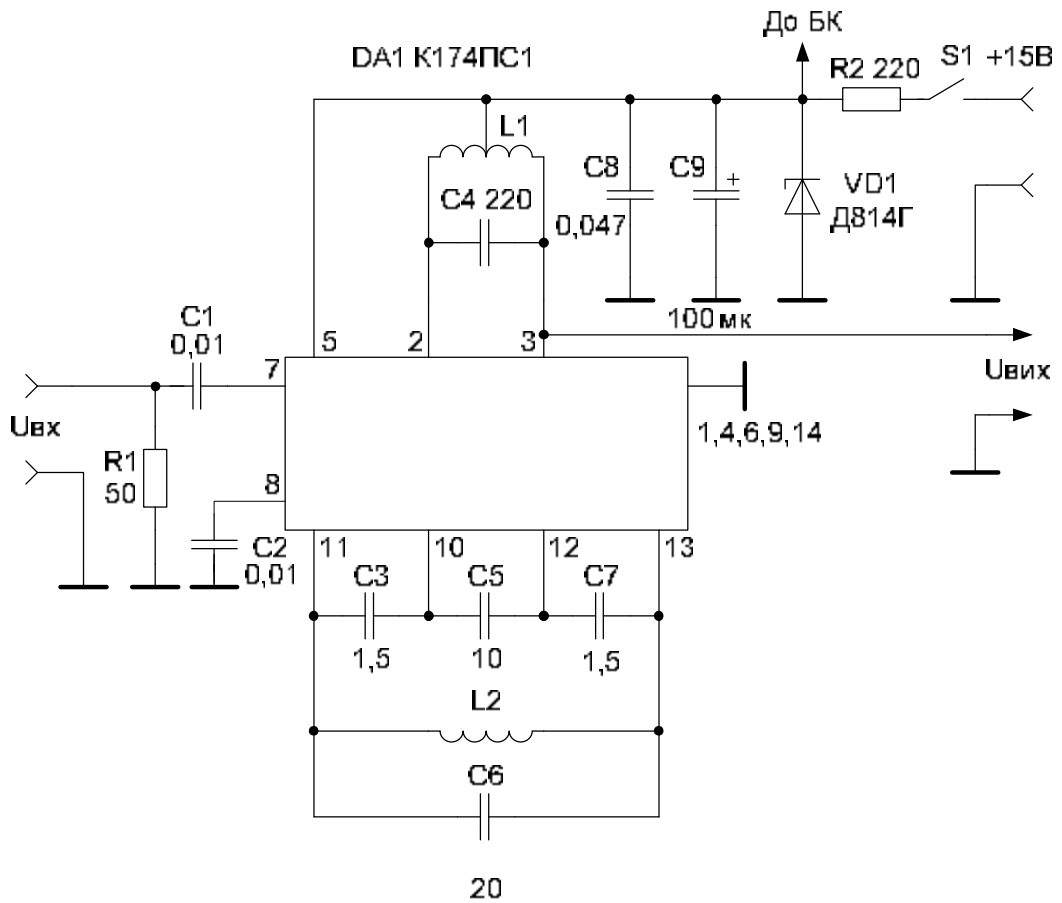


Рисунок 6.8 – Схема електрична принципова ДС2 – перетворювача частоти на основі АПС без окремого гетеродина

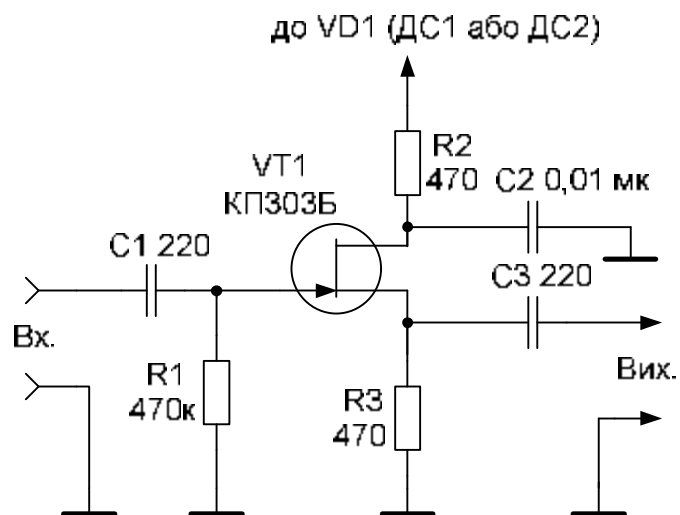


Рисунок 6.9 – Схема електрична принципова буферного каскаду

експериментального дослідження основних характеристик АПС.

5. Розрахувати коефіцієнт передачі АПС в схемі балансного модулятора, що працює на аперіодичне навантаження ($R_H = 1\text{кОм}$).

Вимірювальна і досліджувана апаратура

1. Досліджувані схеми ДС1, ДС2.
2. Лабораторне джерело живлення ТЕС-88.
3. Генератор сигналів високочастотний Г4-102.
4. Мілівольтметр ВЗ-45.
5. Осцилограф С1-64 (С1-75).
6. Спектроаналізатор С4-46.

Програма досліджень

1. Зібрати схему лабораторної установки для дослідження схеми ДС1.

2. Дослідити карту постійних напруг схеми. Зробити висновки щодо збалансованості схеми за постійним струмом. Дослідити вплив напруги живлення на режим за постійним струмом активних елементів схеми, для чого змінювати напругу живлення в межах $+4\dots 15\text{В}$.

3. Дослідити амплітудну характеристику АПС $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$ за сигнальним та опорним входами. Зробити висновки щодо максимально допустимої амплітуди напруг на сигнальному та опорному входах АПС.

4. Дослідити роботу АПС в режимі балансного модулятора, для чого:

– подати на входи АПС сигнали з частотами $f_C = 8\text{МГц}$, $f_{\text{оп}} = 43\text{МГц}$ та амплітудами напруги, що забезпечують роботу АПС в лінійному режимі;

– дослідити форму вихідної напруги;

– отримати спектр вихідної напруги та при необхідності пояснити можливі причини його відмінності від очікуваного.

5. Повторити дослідження п.4 для випадку ідеального АПС для таких значень частот вхідного та опорного сигналів: $f_C = 35\text{МГц}$, $f_{\text{оп}} = 36\text{МГц}$; $f_C = 1\text{МГц}$, $f_{\text{оп}} = 35\text{МГц}$. Зробити висновок про застосовану у даному випадку модель АПС.

6. Дослідити роботу АПС в режимі амплітудного модулятора, для чого в схемі п.4 задати відмінне від нуля значення постійної складової напруги джерела сигналу; дослідити форму вихідної напруги та її спектральний склад, порівнявши отримані результати з даними п.4.

Зробити висновки про вплив рівня постійної складової вхідного сигналу на глибину АМ вихідного сигналу.

7. Дослідити роботу змішувача на основі АПС, для чого:

– подати на входи АПС сигнали з частотами $f_c = 10,7 \text{ МГц}$;
 $f_r = 11,165 \text{ МГц}$;

– отримати спектр вихідного струму АПС та проаналізувати його характер;

– отримати спектр вихідної напруги змішувача та, порівнявши його зі спектром вихідного струму, аргументувати необхідність використання коливального контура.

8. Перевірити можливість роботи АПС як перетворювача частоти без окремого гетеродина, для чого застосувати схему рис. 6.7; провести дослідження аналогічно п.7; проаналізувати відмінність результатів від отриманих в п.7; за отриманими результатами зробити висновки щодо умов застосування схем досліджених в п.7 та п.8.

Примітка: В повному обсязі пп. 5, 7, 8 можуть бути виконані шляхом комп'ютерного моделювання.

Контрольні запитання

1.Опишіть принципи схемотехнічної побудови інтегральних аналогових помножувачів.

2.Які радіотехнічні перетворення можна виконати на основі аналогових помножувачів?

3.Організуйте на основі АПС балансний модулятор, амплітудний модулятор, односмуговий модулятор, біфазний модулятор?

4.Поясніть принцип дії та наведіть структурну схему подвоювача та подільника частоти.

5.Опишіть принцип дії фазового та біфазного демодуляторів, зобразіть їх структурні схеми.

6.Наведіть структурну схему лінійного амплітудного демодулятора, поясніть його принцип дії та переваги.

7.Зобразіть структурну схему квадратичного демодулятора на основі АПС, обґрунтуйте його принцип дії та область застосування.

Література

1.Алексенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника: Учеб. пособие для вузов. –2–е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1990. – 416с.

2.Атаев Д.И., Болотников В.А. Аналоговые интегральные микросхемы для бытовой радиоаппаратуры.: Справочник. 2–е изд. – М.: Изд-во МЭИ, ПКФ „Печатное дело”, 1992. – 240с.

7 Лабораторна робота № 5

Дослідження амплітудних коректорів для з'єднувальних ліній

Мета роботи – ознайомитись з основними схемами амплітудних коректорів, вивчити методики корегування з'єднувальних ліній.

Стислі теоретичні відомості

Для провідних ліній електрозв'язку справедливі умови передавання сигналів без спотворень: послаблення всіх гармонічних складових сигналу, а також груповий час запізнення в робочій смузі частот повинні бути постійними. Проте в реальних передавальних лініях завжди мають місце амплітудно-частотні і фазочастотні спотворення. Основною причиною їх виникнення є залежність первинних параметрів ліній від частоти. Поки спотворення не перевищують встановлених норм, якість зв'язку залишається досить високою, якщо ж перевищують – коректують частотні характеристики послаблення і фази кіл, тим самим забезпечують зменшення спотворень до допустимих значень [1].

Лінійні електричні кола, що коректують амплітудно-частотні характеристики (АЧХ), є невід'ємною частиною лінійних підсилювачів, групових і лінійних трактів, каналів аналогових та цифрових систем передавання, а також багатьох інших пристроїв, які призначені для організації радіо-, телемовлення.

Наприклад, в тракті первинного розподілу радіомовних програм низькочастотні мовні сигнали від комутаційної апаратної надходять по з'єднувальним лініям до центральної міжміської мовної апаратної, де встановлюють коректори АЧХ в складі апаратури АВ-2/3, MST-15 [2]. Принцип корекції АЧХ лінії за допомогою амплітудного коректора пояснює рис. 7.1. Згасання з'єднувальної лінії $a_{л}$ зростає на верхніх частотах, а згасання коректора $a_{к}$ спадає, причому його згасання підібране так, щоб при додаванні обох згасань утворилась горизонтальна лінія. Це і буде свідчити про рівномірну АЧХ лінії разом з коректором. Припущення про те, що загальне згасання з'єднувальної лінії $a_{л}$ та коректора $a_{к}$ рівне сумі цих згасань справедливе лише в тому випадку, коли вхідний опір коректора постійний в робочому діапазоні частот і рівний опору навантаження коректора.

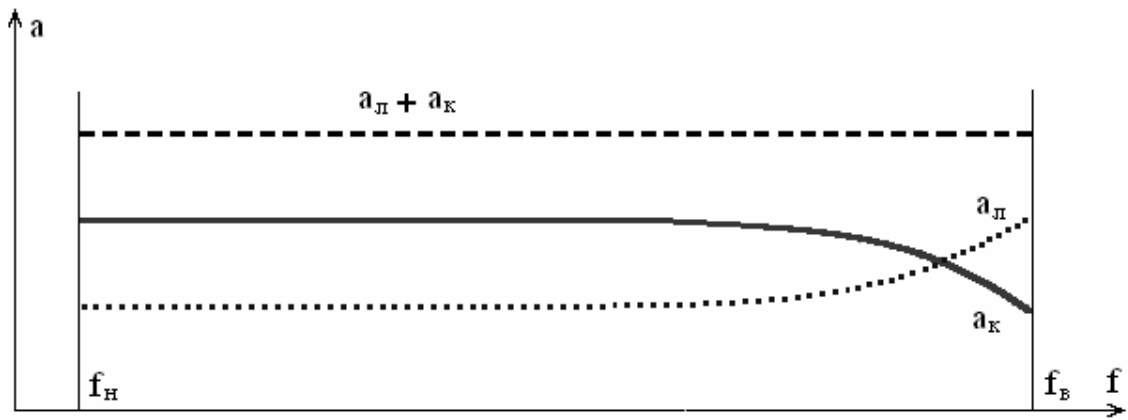


Рисунок 7.1 – Принцип корекції АЧХ лінії

Для реалізації нерегульованого амплітудного коректора найбільше підходить Т-подібна схема (рис.7.2), в якій Z_1 і Z_2 - зворотні двополюсники, тобто $Z_1 \cdot Z_2 = R^2$ [3].

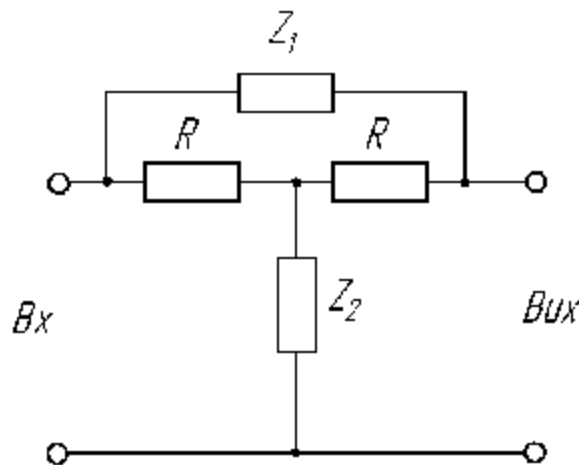


Рисунок 7.2 – Т-подібна схема коректора

Чотирьополіусник на рис. 7.2 має активний характеристичний опір, який не залежить від частоти і рівний R . За таких умов характеристичні параметри чотирьополіусника збігаються з його робочими параметрами при роботі між активними навантаженнями, рівними R , а загальне згасання каскадно з'єднаних ланок визначається сумою згасань складових. Зазвичай, Z_1 є паралельним з'єднанням активного опору та реактивного двополюсника. Складність схеми визначається числом елементів реактивного двополюсника. Постійна передачі Т-подібного мостового чотирьополіусника при $Z_1 Z_2 = R^2$ визначається з такого виразу:

$$e^s = \left(1 + \frac{Z_1}{R}\right) = \left(1 + \frac{R}{Z_2}\right).$$

Згасання і фаза такого чотирьохполюсника визначаються з таких виразів:

$$a = \ln \left|1 + \frac{Z_1}{R}\right| = \ln \left|1 + \frac{R}{Z_2}\right|; \quad (7.1)$$

$$b = \arg \left(1 + \frac{Z_1}{R}\right) = \arg \left(1 + \frac{R}{Z_2}\right). \quad (7.2)$$

Розглянемо шаблони згасання ланок амплітудного коректора з одного двохелементними реактивними опорами [3]. Схеми ланок амплітудного коректора з одноелементними реактивними опорами наведені на рис. 7.3.

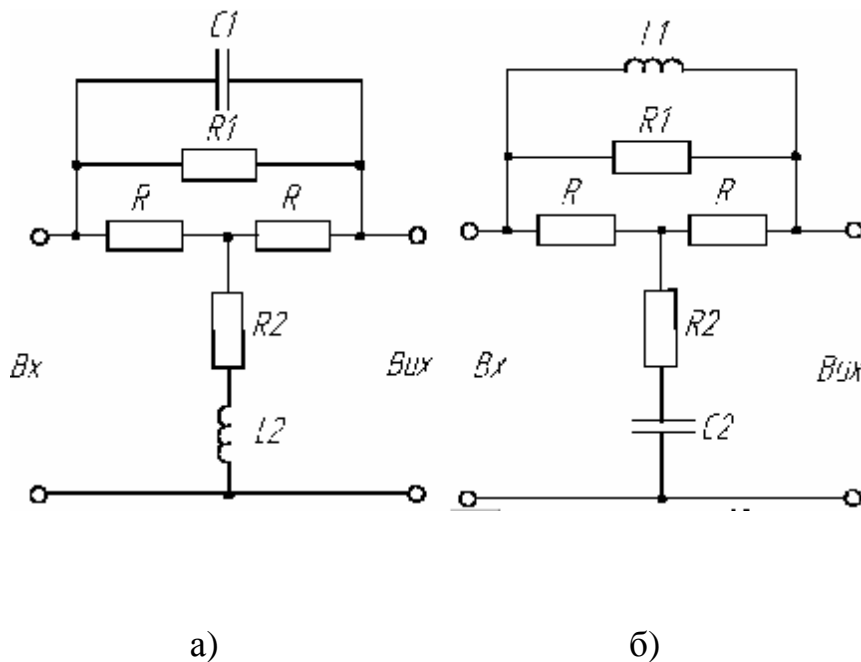


Рисунок 7.3 – Схеми ланок амплітудного коректора з одноелементними реактивними опорами

Для ланки коректора рис. 7.3,а $Z_2 = R_2 + j\omega L_2$, тому згасання визначається виразом

$$a = \ln \left|1 + \frac{R}{R_2 + j\omega L_2}\right| = \frac{1}{2} \ln \frac{(R + R_2)^2 + \omega^2 L_2^2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}. \quad (7.3)$$

При $\omega = 0$ $a = a_0 = \ln \left[1 + \frac{R + R_2}{R_2}\right] = \ln k$, де $k = e^{a_0}$; a_0 - згасання даної коректувальної ланки на нульовій частоті.

Після ряду нескладних перетворень (7.3) можна переписати в такому вигляді:

$$a = \frac{a_0}{2} + \frac{1}{2} \ln \frac{k + x^2}{1 + kx^2}, \quad (7.4)$$

$$\text{де } x = \frac{w}{w_0}; w_0 = \sqrt{k} \frac{R_2}{L_2}.$$

Фаза ланки після перетворення (7.3) при $Z_2 = R_2 + j\omega L_2$ визначається як $b = \arctg \frac{x}{\sqrt{k}} - \arctg x\sqrt{k}$. Груповий час запізнення може бути обчислений за формулою

$$t = \frac{db}{dw} = \frac{\sqrt{k}(k-1)}{w_0} \frac{(x^2-1)}{(k+x^2)(1+kx^2)}.$$

Аналізуючи (7.4), можна побачити, що при $w = w_0$ ($x = 1$) $a = \frac{a_0}{2}$.

Таким чином, частота w_0 є характерною частотою для даного типу ланки – на цій частоті згасання ланки дорівнює половині згасання на нульовій частоті.

Аналіз другого члена (7.4) показує, що при нормованій частоті $x_1 = \frac{1}{x_2} \ln \left[\frac{k + x_1^2}{1 + kx_1^2} \right] = -\ln \left[\frac{k + x_2^2}{1 + kx_2^2} \right]$, тобто характеристика ланки має зворотну арифметичну симетрію відносно w_0 при логарифмічній шкалі частот.

Крім того, з (7.4) випливає, що всі ланки коректора з однаковою величиною a_0 , якщо вони побудовані в залежності від нормованої частоти $x = \frac{w}{w_0}$, мають характеристики згасання, які збігаються. Така характеристика в логарифмічному масштабі приведена на рис. 7.4 і є шаблоном згасання для ланки рис. 7.3,а.

Форма шаблона залежить тільки від величини a_0 . Чим більше a_0 , тим більша крутість зміни згасання. Крутість характеристики може бути оцінена величиною зміни згасання на октаву.

Затухання ланки при $x = 1$ дорівнює $\frac{a_0}{2}$, затухання ланки при $x = 2$ ($w = 2w_0$) буде

$$a = \frac{a_0}{2} + \frac{1}{2} \ln \frac{k+4}{1+4k}, \text{ тобто } \Delta a = -\frac{1}{2} \ln \frac{k+4}{1+4k}. \quad (7.5)$$

За (7.5) можна побудувати залежність крутості Δa (в одиницях згасання на октаву) від a_0 . Таким чином, коректувальна ланка, що розглядається, характеризується двома параметрами: a_0 або k і ω_0 .

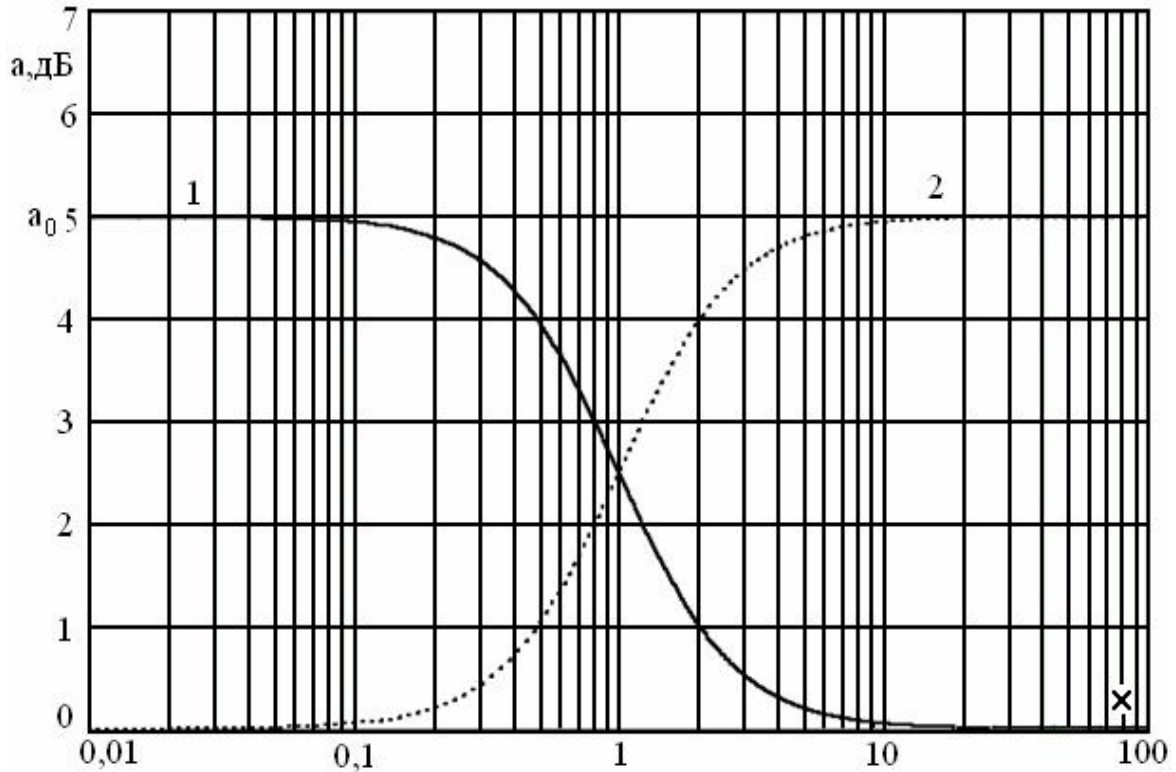


Рисунок 7.4 – Шаблони згасання для ланок корекції рис. 7.3 (крива 1 – для ланки рис. 7.3,а; крива 2 – для ланки рис. 7.3,б)

Для амплітудної ланки (рис 7.3,б) $Z_2 = R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}$, тому згасання ланки визначається виразом

$$a = \ln \left| 1 + \frac{R}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}} \right| = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \omega^2 C_2^2 (R + R_2)^2}{1 + \omega^2 C_2^2 R_2^2}.$$

При $\omega = 0$ $a = 0$, при $\omega = \infty$ $a = a_0 = \ln \left[\frac{R + R_2}{R_2} \right] = \ln k$, тобто $k = e^{a_0}$.

Після нескладних перетворень цей вираз можна звести до вигляду:

$$a = \frac{a_0}{2} + \frac{1}{2} \ln \frac{1 + kx^2}{k + x^2}, \quad (7.6)$$

де $x = \frac{w}{w_0}$; $w_0 = \frac{1}{\sqrt{kC_2R_2}}$. При $w = w_0$ ($x = 1$) $a = \frac{a_0}{2}$.

Таким чином, шаблон згасання ланки (рис. 7.3,б) є дзеркальним відображенням шаблону ланки (рис. 7.3,а). Шаплони зручно будувати відносно нормованої частоти x . Будуючи шаплони згасання ланок корекції, потрібно вказувати на них величину a_0 або k і відмічати частоту $x = 1$, на якій згасання ланки рівне $\frac{a_0}{2}$.

Згасання ланки з двохелементним реактивним опором (рис. 7.5) визначається виразом:

$$a(w) = \ln \left| \left[1 + \frac{R_1 Z_1(w)}{R[R_1 + Z_1(w)]} \right] \right| = \ln \left[1 + \frac{r_1 z_1(w)}{r_1 + z_1(w)} \right], \quad (7.7)$$

$$\text{де } z_1(w) = \frac{Z_1(w)}{R} = \frac{jwL_1}{R} \left(1 - \frac{w^2}{w_0^2} \right) = \frac{jxl_1}{(1-x^2)}; \quad x = \frac{w}{w_0};$$

$r_1 = \frac{R_1}{R}$ – нормований опір; $l_0 = \frac{R}{w_0}$ – одинична індуктивність.

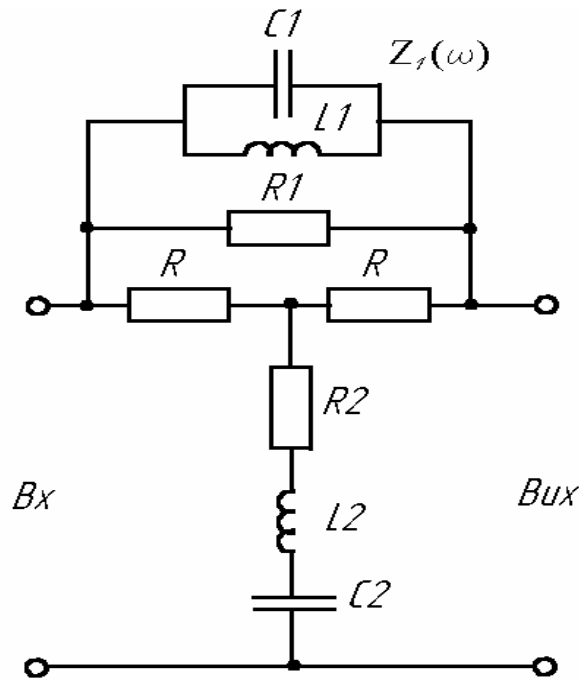


Рисунок 7.5 – Ланка з двохелементним реактивними опором

При резонансній частоті $w = w_0$ максимальне значення згасання ланки буде

$$a_0 = a(w_0) = \ln(1 + r_1) = \ln k. \quad (7.8)$$

Після підстановки (7.7) у вираз (7.8) і простих перетворень отримаємо

$$a = \frac{1}{2} \ln \left[1 + \frac{k^2 - 1}{1 + \left(\frac{k-1}{l_1} \right)^2 \left(x - \frac{1}{x} \right)^2} \right] = \frac{1}{2} \ln \left[1 + \frac{k^2 - 1}{1 + k \left(\frac{x - \frac{1}{x}}{x_{1/2} - \frac{1}{x_{1/2}}} \right)^2} \right], \quad (7.9)$$

де $x_{1/2} = \frac{w_{1/2}}{w_0}$, а $w_{1/2}$ - частота, на якій згасання ланки дорівнює $\frac{a_0}{2}$.

Аналізуючи (9), можна зробити такі висновки:

а) згасання ланки визначається трьома параметрами: a_0 , l_1 , w_0 або a_0 , $x_{1/2}$, w_0 ;

б) згасання ланки однакове на частотах, що пов'язані співвідношенням $w_1 w_2 = w_0^2$ ($x_1 x_2 = 1$), тобто характеристиці згасання властива геометрична симетрія відносно $w = w_0$. Ця властивість є суттєвою при побудові шаблона, тобто крива згасання ланки амплітудного коректора, що побудована в логарифмічному масштабі, буде симетричною відносно точки $x = 1$.

Шаблон згасання коректувальної ланки (рис.7.5) можна розрахувати за (7.9). Для розрахунку шаблона достатньо задати a_0 та $l_1(x_{1/2})$ і розрахувати згасання для значень $x < 1$. Згасання для частот $x > 1$ визначається з умови геометричної симетрії. Значення l_1 та $x_{1/2}$ пов'язані між собою співвідношенням $l_1 = \frac{(1 - x_{1/2}^2)(k - 1)}{x_{1/2} \sqrt{k}}$. Величина $l_1(x_{1/2})$

характеризує крутість зміни згасання.

Будувати шаблони слід на сітці, зразок якої для шаблона згасання при $a_0 = 4$ дБ і $l_1 = 0,4$ наведений на рис. 7.6. На шаблоні повинні бути вказані значення a_0 та l_1 .

Зазначимо, що існує також ланка, характер зміни згасання якої є оберненим відносно характеру зміни згасання коректувальної ланки (рис.7.5) [3].

В ряді випадків в залежності від форми заданої частотної характеристики згасання можна використовувати ланки з одно- та двохелементними реактивними опорами в будь-якій комбінації.

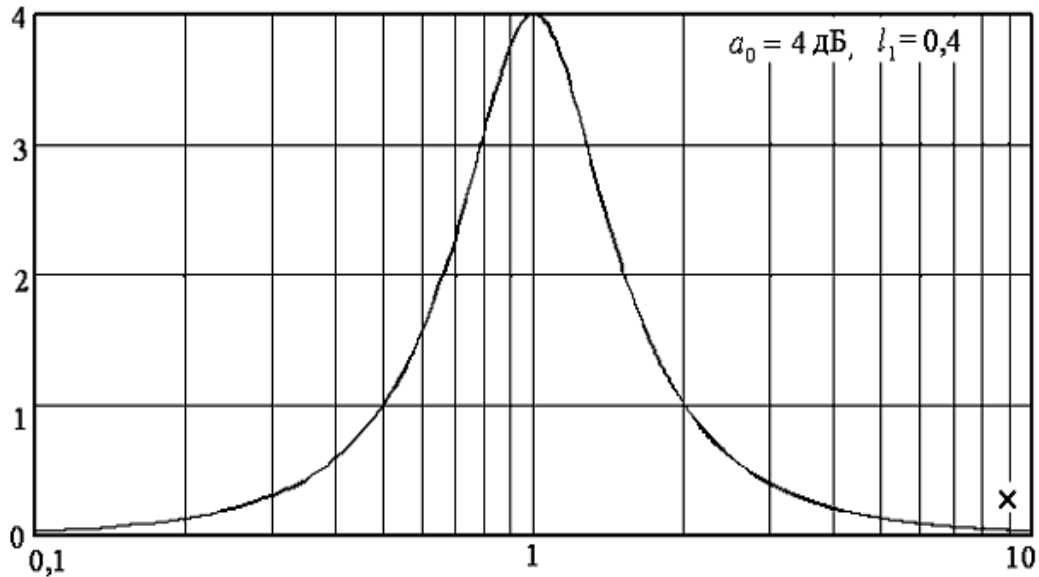


Рисунок 7.6 – Шаблон згасання ланки (рис. 7.5)

Обладнання

1. Комп'ютер.
2. Пакет прикладних програм Electronics WorkBench .

Програма експериментальних досліджень

1. Дослідити АЧХ еквівалента лінії в діапазоні 10 Гц - 100 кГц, схема якого зі вказаними номіналами елементів та приєднаними навантаженням і приладами в програмі Electronics WorkBench показана на рис.7.7. Визначити максимальний рівень амплітудно-частотних спотворень, що вносяться лінією, в діапазоні 10-20000 Гц. Побудувати залежність модуля хвильового опору еквівалента лінії від частоти $|Z_{xв}(f)|$ в діапазоні 10-20000 Гц. Визначити $|Z_{xв}(f)|$ на середній частоті діапазону ($f_{сер} = \sqrt{f_n \cdot f_в}$, де f_n , $f_в$ - граничні частоти) і оброти R_n рівним цьому значенню.

2. На ділянці АЧХ, де згасання складає 6-12дБ, визначити середню крутість зростання згасання еквівалента лінії Δa , дБ/окт.

3. За формулою, що наведена в розділі “Короткі методичні вказівки”, визначити параметр a_0 коректора (рис. 7.3, а) для лінії.

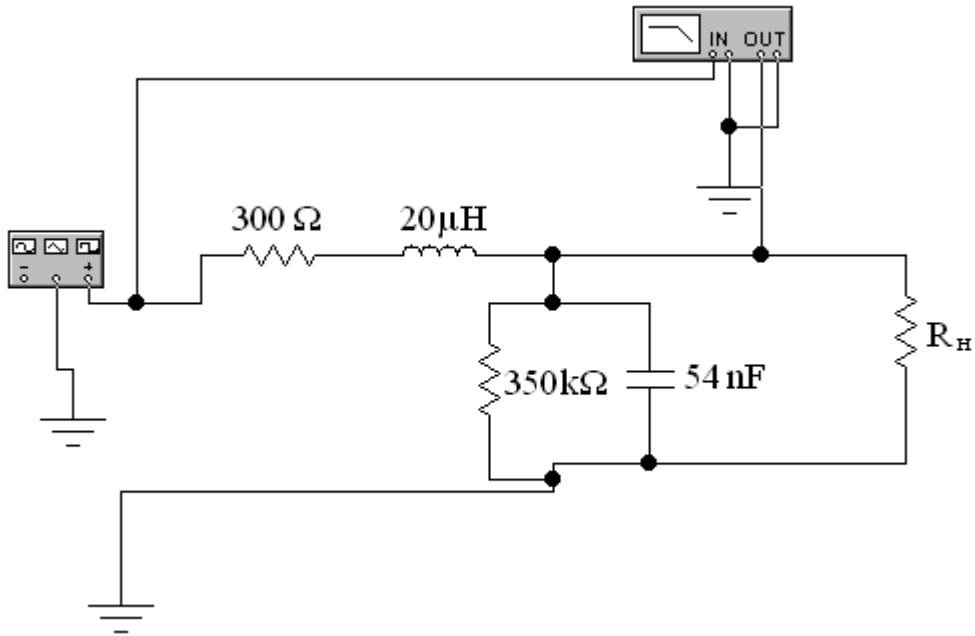


Рисунок 7.7 – Схема вимірювання АЧХ еквівалента лінії

4. Знайти частоту $f_{1/2}$, на якій затушення еквівалента лінії збільшилось на $a_0/2$ порівняно з затушенням на частоті 10 Гц.

5. Розрахувати коректор лінії, вихідними даними для розрахунку якого є отримані a_0 та $f_{1/2}$. Характеристичний опір коректора Z_C обрати рівним $|Z_{xв}|$ лінії на середній частоті. Дослідити АЧХ такого Т-подібного амплітудного коректора (рис. 7.8) в діапазоні 10 Гц - 100 кГц. До виходу коректора потрібно приєднати опір R_H рівний Z_C .

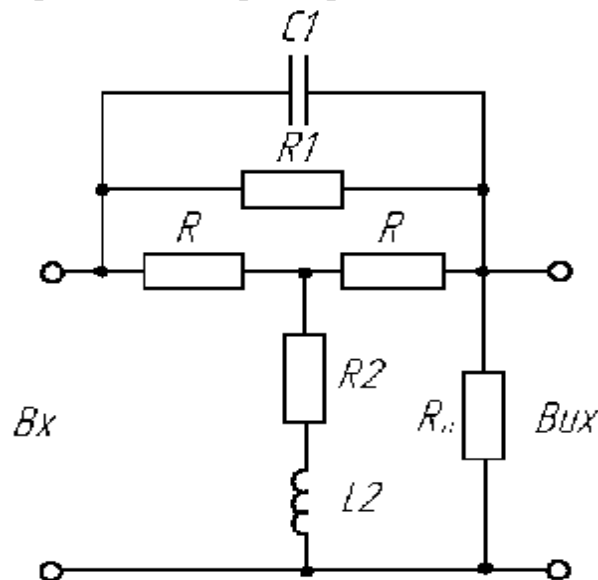


Рисунок 7.8 – Т-подібний амплітудний коректор

Домашнє завдання

1. Проробити теоретичний матеріал з даної теми.
2. Розрахувати елементи Т-подібного амплітудного коректора з одноелементними реактивними опорами (рис.7.3,а) за початковими даними згідно з табл. 7.1.
3. Розрахувати елементи Т-подібного амплітудного коректора з двохелементними реактивними опорами (рис. 7.5) за початковими даними згідно з табл. 7.1.
4. Вивчити програму експериментальних досліджень та методи отримання амплітудно-частотних характеристик за допомогою моделювальної програми Electronics WorkBench.

Таблиця 7.1 – Варіанти завдань

Варіант	Z_C , Ом	$F_{рез}$, кГц	$F_{1/2}$, кГц	a_0 , дБ
1	100	100	50	3
2	150	150	50	4
3	200	200	50	5
4	250	250	50	6
5	300	300	50	7
6	350	350	50	8
7	400	400	50	9
8	450	450	200	10
9	500	500	200	11
10	550	550	200	12
11	600	600	200	13
12	650	650	200	14
13	700	700	200	15
14	750	750	200	16
15	800	800	200	17

Короткі методичні вказівки

В роботі буде скорегована АЧХ однорідної проводової з'єднувальної лінії на звукових частотах. Така лінія може бути замінена еквівалентною схемою (рис. 7.9) [4].

Нехай лінія має довжину $l = 1$ км і її параметри такі:

- активний опір $R = 300 \text{ Ом}$;
- провідність ізоляції G , $1/G = 350\,000 \text{ Ом}$;
- ємність $C = 54 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$;
- індуктивність $L = 20 \text{ мкГн}$.

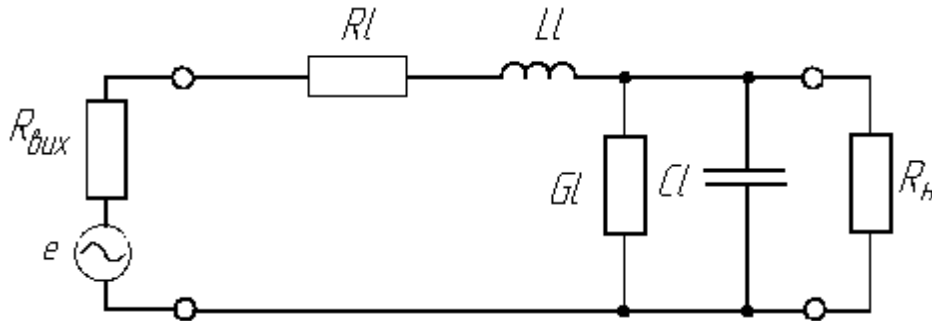


Рисунок 7.9 – Еквівалентна схема лінії (R, L, G, C – первинні параметри лінії; l – її довжина)

Модуль хвильового опору лінії через її первинні параметри визначається за формулою [5]:

$$|Z_{xв}| = \sqrt{\frac{R + i2p fL}{\frac{1}{G} + i2p fC}}$$

З'єднувальна лінія розглядається як чотирьополіусник з зосередженими параметрами, в якому відсутні хвильові процеси. Еквівалентна схема справедлива, якщо довжина лінії не перевищує чвертини довжини хвилі сигналу, що передається ($l < l/4$). На частоті 15 кГц допустима довжина лінії складе 5 км. Наближені первинні параметри обрані для проводової лінії і вважаються постійними в даному діапазоні частот. З'єднувальна лінія є навантаженням для лінійного підсилювача, який для того щоб виключити спотворення, пов'язані зі зміною вхідного опору лінії в діапазоні частот, має малий вихідний опір $R_{вix}$, прийmemo його рівним 0. Якщо лінія приєднується до амплітудного коректора, то його характеристичний опір Z_c обирають рівним $|Z_{xв}|$ лінії на середніх звукових частотах. Узгодити лінію з навантаженням неможливо, оскільки її хвильовий опір змінюється в діапазоні звукових частот від тисяч до сотень Ом. Активний вхідний опір радіомовної апаратури, який є навантаженням коректора, повинен бути рівним Z_c коректора на середніх звукових частотах.

Коректор (рис. 7.3,а) розраховують за формулами:

$$R_1 = Z_C(k-1), R_2 = Z_C/(k-1), C_1 = \frac{1}{2 \cdot p \cdot f_{1/2} \cdot Z_C} \frac{\sqrt{k}}{k-1}, L_2 = \frac{Z_C}{2 \cdot p \cdot f_{1/2}} \frac{\sqrt{k}}{k-1},$$

де Z_C – характеристичний опір коректора; $f_{1/2}$ – частота, на якій згасання коректувального контуру дорівнює половині його згасання на нульовій частоті; $k = 10^{\frac{a_0}{20}}$; a_0 – згасання коректора на нульовій частоті, дБ.

Для розрахунку коректора необхідні такі початкові дані: a_0 , $f_{1/2}$ та Z_C . Якщо відомий шаблон згасання лінії, то знаходять середню крутість зростання згасання Δa в дБ на октаву. Потім за формулою, що наведена нижче, розраховують a_0 коректора, дБ:

$$a_0 = \ln \left(\frac{10^{\frac{-2\Delta a}{20}} - 4}{1 - 10^{\frac{-2\Delta a}{20}}} \right).$$

При такому значенні a_0 крутість спадання згасання коректора відповідатиме крутості Δa . Потім графічно визначають частоту $f_{1/2}$ таку, щоб результуюче згасання коректора і лінії було постійним в діапазоні частот.

Коректор (рис. 7.3,б) розраховують за формулами:

$$R_1 = Z_C(k-1), R_2 = Z_C/(k-1), C_2 = \frac{1}{2 \cdot p \cdot f_{1/2} \cdot Z_C} \frac{k-1}{\sqrt{k}}, L_1 = \frac{Z_C}{2 \cdot p \cdot f_{1/2}} \frac{k-1}{\sqrt{k}},$$

де $f_{1/2}$ – частота, на якій згасання коректувального контуру дорівнює половині його згасання на нульовій частоті, $k = 10^{\frac{a_0}{20}}$.

Коректор (рис. 7.5) розраховують за формулами:

$$R_1 = Z_C(k-1), R_2 = Z_C/(k-1), L_1 = \frac{Z_C}{2 \cdot p \cdot f_{рез}} \frac{(1-x_{1/2}^2)(k-1)}{x_{1/2}\sqrt{k}},$$

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot p \cdot f_{рез} \cdot Z_C} \frac{x_{1/2}\sqrt{k}}{(1-x_{1/2}^2)(k-1)}, L_2 = \frac{Z_C}{2 \cdot p \cdot f_{рез}} \frac{x_{1/2}\sqrt{k}}{(1-x_{1/2}^2)(k-1)},$$

$$C_2 = \frac{1}{2 \cdot p \cdot f_{рез} \cdot Z_C} \frac{(1 - x_{1/2}^2)(k - 1)}{x_{1/2} \sqrt{k}},$$

де $x_{1/2} = f_{1/2} / f_{рез}$; $f_{1/2}$ – частота, на якій згасання коректувального контура дорівнює $a_0 / 2$; $f_{рез}$ – резонансна частота контура; a_0 – максимальне згасання коректувального контура.

Контрольні запитання

1. Поясніть призначення амплітудних коректорів.
2. Дайте класифікацію амплітудних коректорів.
3. Наведіть переваги Т-подібної схеми ланки корекції з активним характеристичним опором.
4. Наведіть особливості шаблонів згасання ланок амплітудного коректора з одноелементними реактивними опорами.
5. Назвіть початкові дані, необхідні для розрахунку ланки амплітудного коректора з одноелементними реактивними опорами.
6. Наведіть особливості шаблонів згасання ланок амплітудного коректора з двохелементними реактивними опорами.
7. Наведіть початкові дані, необхідні для розрахунку ланки амплітудного коректора з двохелементними реактивними опорами.

Література

1. Шинаков Ю. С., Колодяжный Ю. М. Теория передачи сигналов электросвязи. – М.: Радио и связь, 1989 – 288 с.
2. Радиовещание и электроакустика: Учебное пособие для вузов / Под ред. М. В. Гитлица. – М.: Радио и связь, 1989 – 429 с.
3. Сильвинская К. А, Гольшко З. И. Расчет фазовых и амплитудных коректоров. – М.: Связь, 1980 – 104 с.
4. Радиовещание и электроакустика : Учебник для вузов / Под ред. Ю. А. Ковалгина. – М.: Радио и связь, 2000 – 792с.
5. Жураковский Ю.П., Назаров В.Д. Каналы связи. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985. – 232 с.

8 Лабораторна робота № 6

Дослідження аналогових видів модуляції радіомовного сигналу

Мета роботи – дослідити основні характеристики та особливості аналогових видів модуляції сигналів в радіомовних трактах.

Стислі теоретичні відомості

Амплітудна модуляція (АМ). При АМ відповідно до мовного сигналу змінюється амплітуда несучого коливання, а частота і фаза залишаються незмінними. Таким чином для АМ-сигналу вираз буде мати вигляд:

$$U_{AM}(t) = U(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (8.1)$$

де $U(t)$ – обвідна амплітудно-модульованого коливання.

Обвідні АМ-сигналу за формою збігаються з мовним сигналом і пов'язані з ним, у випадку гармонічного мовного сигналу з частотою Ω , таким співвідношенням:

$$U(t) \approx U_m (1 + M \cdot \cos \Omega t), \quad (8.2)$$

де $M = \frac{\Delta U}{U_m}$ – коефіцієнт амплітудної модуляції;

U_m – амплітуда коливання при відсутності модуляції;

ΔU – найбільше відхилення амплітуди АМ-сигналу від U_m .

Коефіцієнт амплітудної модуляції можна визначити також за формулою:

$$M = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}, \quad (8.3)$$

де U_{\min}, U_{\max} – відповідно максимальне і мінімальне значення амплітуди АМ-сигналу.

Для запобігання спотворень переданої інформації значення M повинне бути в межах від нуля до одиниці.

Односмугова модуляція (ОСМ). Спектр радіомовного АМ-сигналу вдвічі більший, ніж мовного сигналу, що модулює. Однак спектри двох бічних смуг АМ-сигналу є дзеркальним відбиттям одне одного, тобто вони несуть ту саму інформацію. Тому одну з бічних смуг та несучу можна видалити. Такий вид модуляції називається ОСМ (англійський термін - Single Side Band (SSB)).

В залежності від того, яка бічна смуга зберігається, говорять про ОСМ з використанням верхньої або нижньої бічної смуги.

Очевидно, що ширина спектра ОСМ-сигналу дорівнює ширині спектра сигналу, що модулює.

Вираз для верхньої бічної смуги у випадку гармонічного мовного сигналу буде мати вигляд:

$$U_{ОСМ}(t) = \frac{1}{2} U_m M \cos[(\omega_0 + \Omega)t + f_0 + j_0]. \quad (8.4)$$

Вираз для нижньої бічної смуги аналогічний:

$$U_{ОСМ}(t) = \frac{1}{2} U_m M \cos[(\omega_0 - \Omega)t + f_0 - j_0], \quad (8.5)$$

де f_0 – початкова фаза несучої;

j_0 – початкова фаза моделювального коливання.

ОСМ-сигнал можна подати як суму або різницю двох АМ-сигналів, несучі яких і сигнали модуляції зсунуті на 90° .

Квадратурна амплітудна модуляція (КАМ). Сигнал із КАМ являє собою суму двох несучих коливань однієї й тієї ж частоти, зсув за фазою між якими становить 90° . Кожне коливання модульовано за амплітудою своїм сигналом:

$$U_{КАМ}(t) = a(t) \cos(\omega_0 t) + b(t) \sin(\omega_0 t), \quad (8.6)$$

де $a(t)$, $b(t)$ – перший і другий сигнали модуляції.

Косинусна складова називається синфазною, синусна – квадратурною.

Сигнал з КАМ можна подати в такому вигляді:

$$U_{КАМ}(t) = \sqrt{a^2(t) + b^2(t)} \cos \left(\omega_0(t) - \arctg \frac{b(t)}{a(t)} + \frac{p}{2} (\text{sign}(a(t)) - 1) \right). \quad (8.7)$$

Як видно з (8.7) КАМ-сигнал – це сигнал з амплітудно-кутовою модуляцією.

Якщо спектри сигналів $a(t)$ і $b(t)$ займають ту саму смугу частот, то спектр КАМ-сигналу буде в два рази ширший, ніж спектри першого та другого сигналів. Перевагою квадратурної модуляції є можливість розділити квадратурні складові $a(t)$ і $b(t)$ при прийомі.

Частотна модуляція (ЧМ). При ЧМ амплітуда коливання лишається постійною, а частота $w(t)$ змінюється в часі відносно свого центрального значення w_0 за законом зміни мовного сигналу $s(t)$:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega(t), \quad (8.8)$$

де $\Delta\omega(t)$ – відхилення миттєвої частоти ω від центрального значення w_0 , яке називається девіацією частоти. Відхилення $\Delta\omega(t)$ прямо пропорційне амплітуді мовного сигналу $s(t)$.

$$\Delta w(t) = k \cdot s(t), \quad (8.9)$$

де k – крутість перетворення, $\frac{\Gamma_{\omega}}{B}$.

Відношення $b = \frac{\Delta w}{\Omega}$ – називають індексом частотної модуляції.

Таким чином, загальний вираз для ЧМ-коливання буде мати вигляд:

$$U_{\text{ЧМ}} = U_m \cos\left(w_0 t + \int_0^t k \cdot s(t) dt\right) \quad (8.10)$$

Ширину спектра ЧМ-сигналу можна знайти з виразу:

$$\Delta w_{\text{ЧМ}} \approx 2(b\Omega + \Omega). \quad (8.11)$$

З виразу (8.11) видно, чим менший індекс b , тим вужчий спектр ЧМ-сигналу. Таким чином, в залежності від індексу b розрізняють вузькосмугову при $b < 1$ та широкосмугову при $b > 1$ модуляцію.

Основною перевагою широкосмугової ЧМ, яка використовується в радіомовленні, є висока завадостійкість, значно більша, ніж при АМ.

Полярна модуляція (ПМ). ПМ застосовується в стереофонічному радіомовленні в УКХ-діапазоні. Для здійснення стереомовлення необхідно передавати два сигнали лівого $s_L(t)$ й правого $s_R(t)$ каналів одночасно. У той же час, при розробці такої системи накладається ще й вимога сумісності із уже наявними монофонічними приймачами. Тому для стереомовлення модифікується сигнал, що надходить на вхід модулятора. Низькочастотна складова цього сигналу лежить у звуковому діапазоні та являє собою монофонічний сигнал, тобто суму сигналів лівого й правого каналів:

$$S_{\text{MONO}}(t) = s_L(t) + s_R(t). \quad (8.12)$$

В області ультразвукових частот за допомогою амплітудної модуляції передається додатковий компонент. Це дозволяє згодом виділити сигнали $s_L(t)$ і $s_R(t)$ окремо. Оскільки монофонічний сигнал – це сума двох сигналів (8.12), цим додатковим компонентом природно вибрати їхню різницю:

$$S_{DIFF}(t) = S_L(t) - S_R(t). \quad (8.13)$$

Розглянемо конкретний приклад для випадку:

$$\begin{aligned} S_L(t) &= A_L \cos(\Omega_L t), \\ S_R(t) &= A_R \cos(\Omega_R t). \end{aligned} \quad (8.14)$$

Додаванням і відніманням (8.12) та (8.13) можна відновити сигнали лівого й правого каналів:

$$\begin{aligned} S_L(t) &= \frac{S_{MONO}(t) + S_{DIFF}(t)}{2}, \\ S_R(t) &= \frac{S_{MONO}(t) - S_{DIFF}(t)}{2}. \end{aligned} \quad (8.15)$$

Монофонічний сигнал, як уже було сказано, для сумісності повинен передаватися без додаткового перетворення, а різницевий сигнал модулює піднесучу, розташовану трохи вище звукового діапазону частот. Таким чином, вираз для ПМ-сигналу буде мати вигляд:

$$S(t) = S_{MONO}(t) + (A_0 + S_{DIFF}(t)) \cos(\omega_0 t). \quad (8.16)$$

де A_0 – постійна напруга, яка визначає коефіцієнт АМ;

ω_0 – частота піднесучої.

Спектр сигналу з ПМ втричі ширше спектра мовного сигналу.

Домашнє завдання

1. АМ-сигнал описується виразом

$$U(t) = 100 \left[1 + 0.25 \cos(100t + 30^\circ) + 0.75 \cos(300t + 45^\circ) \right] \cos(1000t + 60^\circ).$$

Подати спектральну діаграму цього сигналу, знайти амплітуди та початкові фази всіх спектральних складових.

2. Визначити індекс ЧМ-сигналу, якщо частота девіації 75 кГц, а частота мовного сигналу 1 кГц?

3. Радіопередавач, що працює в УКХ-діапазоні з частотою несучої 70 МГц, випромінює ЧМ-сигнал, який модульований мовним сигналом з частотою 15 кГц, індекс модуляції 3,5. Знайти в яких межах змінюється миттєва частота і яка ширина спектра такого сигналу?

Обладнання

1. Комп'ютер.
2. Пакет прикладних програм MATLAB ver.7.0.

Лабораторне обладнання складається з комп'ютера та встановлених програм MATLAB, SIMULINK та пакету розширення Communications Blockset. На початку роботи потрібно відкрити вікно для створення нової моделі та побудувати схему із блоків. Блок-схема складається з генератора сигналів, модулятора, віртуального осцилографа та віртуального аналізатора спектра.

Генератор є джерелом сигналу, параметри якого задаються при подвійному натисканні лівої клавіші миші на зображення генератора. Він може видавати один з чотирьох типів сигналів: синусоїдальний, пилкоподібний, послідовність прямокутних імпульсів та випадковий сигнал. Для отримання відповідного коливання потрібно лише вибрати його у відповідному меню генератора сигналів та вказати частоту і амплітуду. Модулятор сигналів та його параметри вибираються відповідно до виду модуляції. Блоки модуляторів знаходяться у бібліотеці Modulation пакету Communications Blockset.

За допомогою віртуального осцилографа можна спостерігати сигнал у часовій області і при необхідності роздрукувати чи записати у файл графічний вигляд сигналу. Віртуальний аналізатор спектра призначений для відображення сигналу у часовій та частотній областях. Спектр розраховується, на основі швидкого перетворення Фур'є. Точність відображення спектра залежить від розміру буфера пам'яті, початкове значення якого 128. Підвищення точності можливе при збільшенні значення розміру буфера до 256, 512, 1024 і т.д. Однак при збільшенні розміру буфера зростає також час, за який відбуваються обчислення на базі швидкого перетворення Фур'є. Він залежить від швидкодії комп'ютера.

Дослідження різних типів модуляцій можна також виконувати за допомогою редактора М-файлів. Для цього необхідно створити свій М-файл, набрати програму та клавішею F5 запустити її.

Програма експериментальних досліджень

1. Дослідити модель формувача ОСМ-сигналу (рис. 8.1).

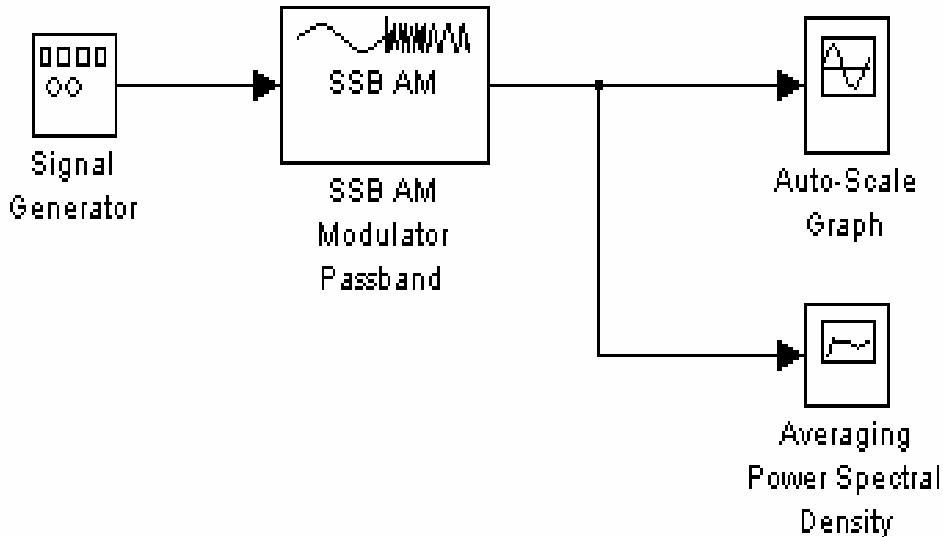


Рисунок 8.1 – Блок-схема дослідження ОСМ-сигналу

2. Сформувати ОСМ-коливання з частотою несучої 160 кГц та частотою модуляції 10 кГц. Глибину модуляції встановити 40%. Отримати осцилограму та спектр ОСМ- сигналу, зарисувати їх.

3. Запустити із пакета MATLAB програму редактор m-файлів. Створити новий файл та набрати програму, яка імітує полярну модуляцію. Дослідити осцилограму і спектр сигналу, побудувати відповідні графіки.

Приклад програми:

Полярна модуляція здійснюється формуванням сигналу з двох моносигналів для лівого і правого каналів, в результаті якого отримуємо полярно-модульоване коливання (ПМК).

```
t = 0:0.01:20
w_L = 1
w_R = 2
s_L = cos(w_L*t)
s_R = cos(w_R*t)
s_mono = s_L + s_R
s_diff = s_L - s_R
w0 = 10
A0 = 2
s = s_mono + (A0 + s_diff) .* cos(w0*t)
plot(t, s)
hold on
plot(t, s_mono+A0+s_diff, '--')
```

```
plot(t, s_mono-A0-s_diff, '--')
hold off
```

4. Дослідити модель формувача ЧМ- сигналу (рис. 8.2).

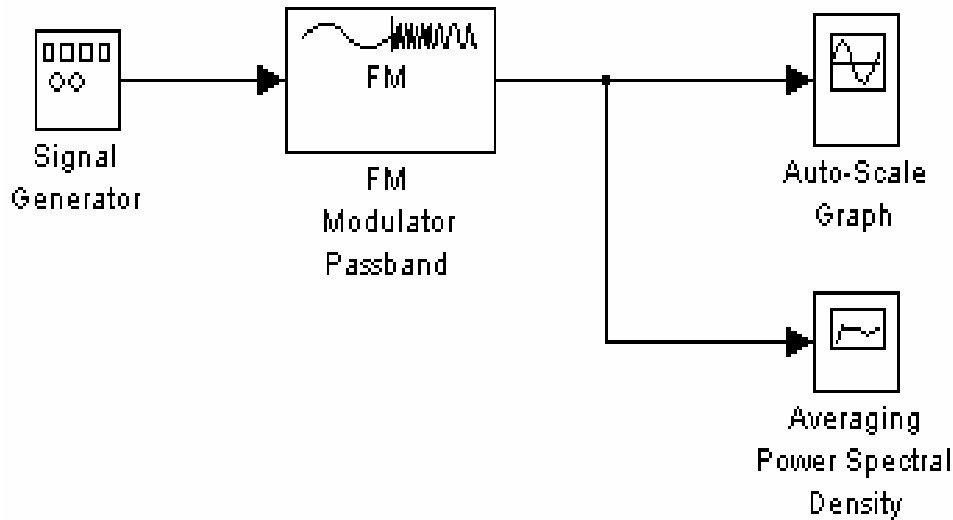


Рисунок 8.2 – Блок-схема дослідження ЧМ - сигналу

5. Отримати ЧМ коливання з частотою несучої 10кГц і частотою модуляції 1кГц. Амплітуду синусоїдального коливання від генератора встановити 1В, а моделювальну константу прийняти рівною 5000. Моделювання провести при двох індексах модуляції – 2,5 і 5,0.

6. Спостерігати та зарисувати осцилограми та спектрограми сигналу з ЧМ.

7. Запустити із пакета MATLAB програму редактор m-файлів. Створити новий файл та набрати програму, яка імітує КАМ. Дослідити осцилограму та спектр КАМ-сигналу, побудувати відповідні графіки.

Приклад програми

```
>> Fs = 14e3; % частота дискретизації
>> T = 2; % тривалість сигналу
>> t = 0:1/Fs:T; % вектор значень часу
>> F_a = 200; % частота синфазного модульованого сигналу
>> F_b = 500; % частота квадратурного модульованого сигналу
>> s_M_a = cos(2*pi*F_a*t); % синфазний модульований сигнал
>> s_M_b = cos(2*pi*F_b*t); % квадратурний модульований сигнал
>> s_M = [s_M_a' s_M_b']; % двоканальний модульований сигнал
>> Fc = 1e3; % несуча частота
>> s_QAM = amod(s_M, Fc, Fs, 'qam'); % КАМ-сигнал
>> figure
>> subplot(1, 2, 1)
>> plot(t(1:200), s_QAM(1:200)) % графік сигналу
>> hold on
```

```

>> A_m = abs(s_M_a + i*s_M_b); % обвідної
>> plot(t(1:200), A_m(1:200), 'r-') % графік верхньої обвідної
>> plot(t(1:200), -A_m(1:200), 'r-') % графік нижньої обвідної
>> ylim([-1.5 1.5])
>> hold off
>> N = floor(length(t)/2);
>> f = (0:N)/length(t) * Fs; % вектор значень частот для графіків
>> spec_QAM = fft(s_QAM); % розрахунок спектра
>> subplot(1, 2, 2)
>> plot(f, abs(spec_QAM(1:N+1))) % графік спектра

```

Контрольні запитання

1. Що таке глибина амплітудної модуляції?
2. Що відбувається при перемодуляції АМ-сигналу?
3. В якому співвідношенні знаходяться між собою частоти несучого і модульовального коливання?
4. Які переваги та недоліки амплітудної модуляції в порівнянні з односмуговою модуляцією?
5. Поясніть принцип дії модулятора ОСМ-сигналу.
6. Дайте визначення індексу частотної модуляції.
7. Що таке девіація частоти?
8. Як пов'язані між собою частота модуляції, індекс модуляції, девіація частоти та ширина спектра ЧМ-сигналу?
9. У якому випадку амплітудні спектри АМ-сигналу та ЧМ-сигналу мають однаковий вигляд?
10. Від чого залежить величина амплітуди складових спектра ОСМ-сигналу?
11. Яким в радіомовленні обирають значення індексу частотної модуляції і чому?
12. Як формується сигнал з полярною модуляцією?
13. Де застосовується полярна модуляція?
14. У чому полягають особливості формування сигналу з квадратурною модуляцією?
15. Як при прийомі розділити квадратурні складові радіосигналу?

Література

1. Гитлиц М.В. Радиовещание и электроакустика. – М.: Радио и связь, 1989. – 432с.

2. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.
3. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя. – М.: СОЛОН – Пресс, 2003. – 576с.
4. Жураковский Б.Я., Назаров М.В. Каналы связи: Учебник для вузов. - К.: Вища школа, 1985. – 232с.
5. Пенин П.И., Филлипов Л.И. Радиотехнические системы передачи информации: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1984. – 232с.

9 Лабораторна робота № 7

Дослідження приймальної частини радіомовного тракту ЧМ УКХ-діапазону

Мета роботи – ознайомитись із схемотехнікою та принципом роботи приймального тракту ЧМ УКХ-діапазону, вивчити методику експериментального визначення основних параметрів тракту ЧМ.

Стислі теоретичні відомості

Структура і конструкція радіоприймачів залежить від їх призначення, діапазону частот, в якому здійснюється радіоприйом, від виду радіосигналу. Всі ці показники взаємопов'язані. Тому побудова кожного типу радіоприймача має свої особливості.

Основна функція радіомовного приймача – це прийом сигналів радіостанцій звукового мовлення та відтворення звукових програм через гучномовці (акустичні системи). Сучасні радіомовні приймачі за якісними характеристиками поділяють на чотири групи складності. Краща якість радіоприйому забезпечується приймачами вищої, першої та другої груп складності. Сучасні радіоприймачі мають значну кількість додаткових та сервісних функцій.

Радіоприймальні тракти, зазвичай, будуються за супергетеродинним принципом. Приймачі прямого підсилення, хоч і є більш простими, мають невисокі технічні показники. В них не досягається висока вибірність і чутливість. Крім того, їх основні параметри дуже змінюються в межах робочого діапазону частот.

Узагальнена структурна схема супергетеродинного приймача з додатковими вузлами зображена на рис. 9.1. Розглянемо детальніше призначення і характеристики окремих вузлів схеми.

В діапазоні УКХ використовуються переважно телескопічні антени, конструкція яких достатньо проста та зручна, а діаграма

спрямованості має тороїдальну форму і рівномірна в площині, перпендикулярній осі антени.

Вхідний пристрій виконує дві основні функції:

- забезпечує попередню селекцію сигналів;
- узгоджує параметри антени з входом першого активного елемента підсилювача радіочастоти.

Як вхідний пристрій використовують прості одноконтурні чи двоконтурні вибірні вузли. Застосування більш складних вузлів ускладнює процес перестройки в робочому діапазоні частот. Зв'язок з антеною та активним елементом підсилювача радіочастоти (ПРЧ) здійснюється за допомогою ємностей та котушок індуктивності. Смугу пропускання вхідного пристрою роблять достатньо широкою (ширше смуги спектра корисного сигналу), а коефіцієнт передачі – якомога більш високим.

ПРЧ, як правило, є першим активним каскадом радіоприймального пристрою (без цього підсилювача будуються лише найпростіші приймачі). Частіше за все ПРЧ будується за резонансною схемою з одноконтурним чи двоконтурним фільтром в навантаженні. Іноді зустрічаються й аперіодичні схеми. Основною функцією ПРЧ є селекція за дзеркальним каналом і підсилення сигналу до рівня, достатнього для роботи приймача.

В технічній літературі ПРЧ разом з вхідним пристроєм часто називають преселектором. Він забезпечує вибірність радіоприймача за дзеркальним каналом, каналом проміжної частоти та за іншими додатковими каналами. Смуга пропускання преселектора, як правило, ширша від спектра корисного сигналу, тому вважається, що преселектор практично не впливає на вибірність за сусіднім каналом.

Перетворювач частоти є найбільш важливим блоком супергетеродинного приймача. Він складається із змішувача та гетеродина. Задача перетворювача частоти полягає в перенесенні спектра корисного сигналу з високої частоти несучої на більш низьку, яка називається проміжною. Слід також зауважити і про так звані інфрадини, в яких проміжна частота перевищує частоту сигналу.

Підсилювач проміжної частоти (ППЧ) реалізує основне підсилення корисного сигналу, забезпечує необхідну вибірність за сусіднім каналом і необхідну ширину смуги пропускання тракту. Вихідна напруга ППЧ повинна бути достатньою для нормального функціонування детектора. Вибірні елементи ППЧ настроєні на проміжну частоту і є досить високодобротними, а в смугі пропускання сумарна нерівномірність їх амплітудно-частотних характеристик не повинна перевищувати 3–6 дБ.

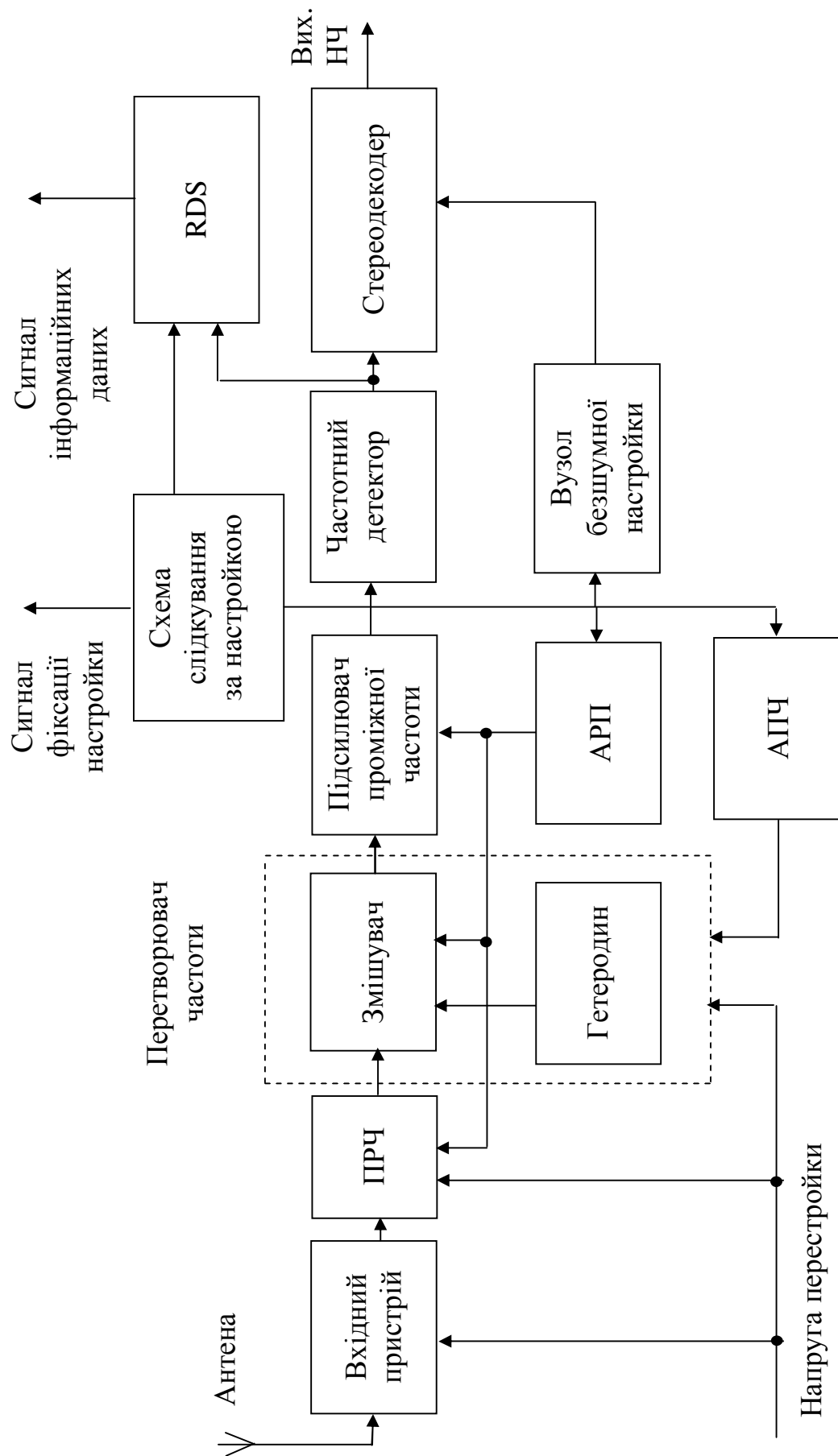


Рисунок 9.1 – Узагальнена структурна схема супергетеродинного ЧМ-приймача

Частотний детектор або демодулятор сигналів призначений для виділення низькочастотного аудіосигналу із коливань проміжної частоти. В моделях високого класу для прийому стереофонічних програм в УКХ-діапазоні після частотного детектора встановлюється стереодекодер. Він виділяє низькочастотні коливання лівого і правого стереоканалів із комплексного стереосигналу з виходу частотного детектора.

Петля автоматичного регулювання підсилення (АРП) призначена для підтримки певного рівня сигналу на вході детектора при зміні рівня вхідного сигналу. Тобто, АРП призначена для розширення динамічного діапазону приймача.

Якщо в приймачі наявна функція автоматичного настроювання, то приймач повинен містити схему слідкування за настройкою. Ця схема оцінює рівень приймального сигналу на виході останніх каскадів ППЧ. В той момент, коли цей рівень стає достатнім для нормальної роботи наступних каскадів, формується керувальна напруга, яка фіксує настройку приймача.

За цим же принципом працює і вузол безшумної настройки (БШН) радіоприймача. В його задачу входить заборона проходження сигналу в низькочастотні кола в процесі настройки, коли прослуховуються тільки шуми ефіру.

Для підвищення частотної стабільності прийому використовується петля автоматичного підстроювання частоти (АПЧ), завдяки якій компенсується нестабільність частоти гетеродина.

Декодер RDS (Radio Data System) призначений для обробки сигналів текстової інформації за допомогою додаткового детектування вихідного сигналу частотного детектора.

Більшість сучасних радіоприймачів діапазону УКХ реалізуються на основі спеціалізованих мікросхем, які являють собою окремі функціонально завершені блоки, або містять увесь приймальний тракт, починаючи від антени і завершуючи попереднім підсилювачем звукової частоти.

Мікросхема TDA7021 (аналог K174XA34) являє собою низьковольтний інтегральний приймач ЧМ-сигналів. Вона призначена для використання в портативних радіоприймачах в діапазоні УКХ.

Мікросхема TDA7021 (рис. 9.2) містить такі вузли: вхідний каскад, змішувач, гетеродин, підсилювач з фільтрами проміжної частоти, обмежувач, частотний детектор, детектор наявності сигналу, стабілізатор живлення, вузол блокування звуку, попередній підсилювач звукової частоти, схему індикації точної настройки.

Високочастотний сигнал надходить до антенного контура, підсилюється вхідним каскадом і попадає до змішувача. На інший вхід змішувача надходить сигнал від гетеродина.

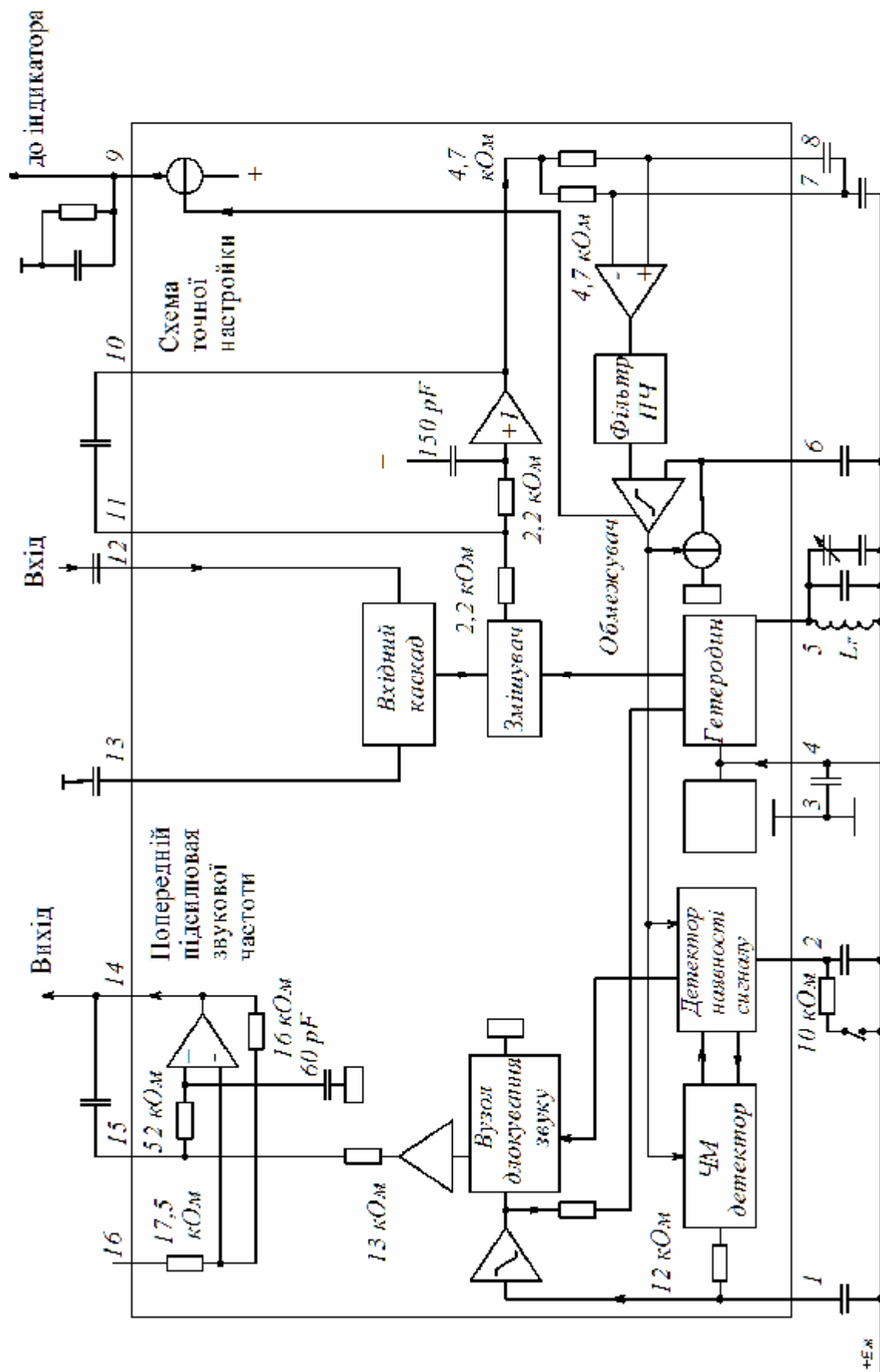


Рисунок 9.2 - Структурна схема TDA7021

Сигнал з виходу змішувача подається на фільтр проміжної частоти (проміжна частота вибрана досить низькою – близько 76 кГц). Підсилений сигнал подається на підсилювач-обмежувач. Далі підсилений та обмежений до певного рівня сигнал подається на частотний детектор. Продетектований низькочастотний сигнал надходить до попереднього підсилювача звукової частоти.

Схема типового ввімкнення TDA7021 зображена на рис. 9.3.

Основні параметри мікросхеми TDA7021:

- напруга живлення..... 1,8—6В;
- максимальний струм споживання.....6,6 мА;
- максимальна частота вхідного сигналу, не менше 110 МГц;
- чутливість при рівні обмеження -3 дБ та вимкнутій системі безшумної настройки.....4 мкВ;
- вихідна напруга ЗЧ при девіації частоти ± 50 кГц.....180 мВ;
- відношення сигнал/шум.....60 дБ;

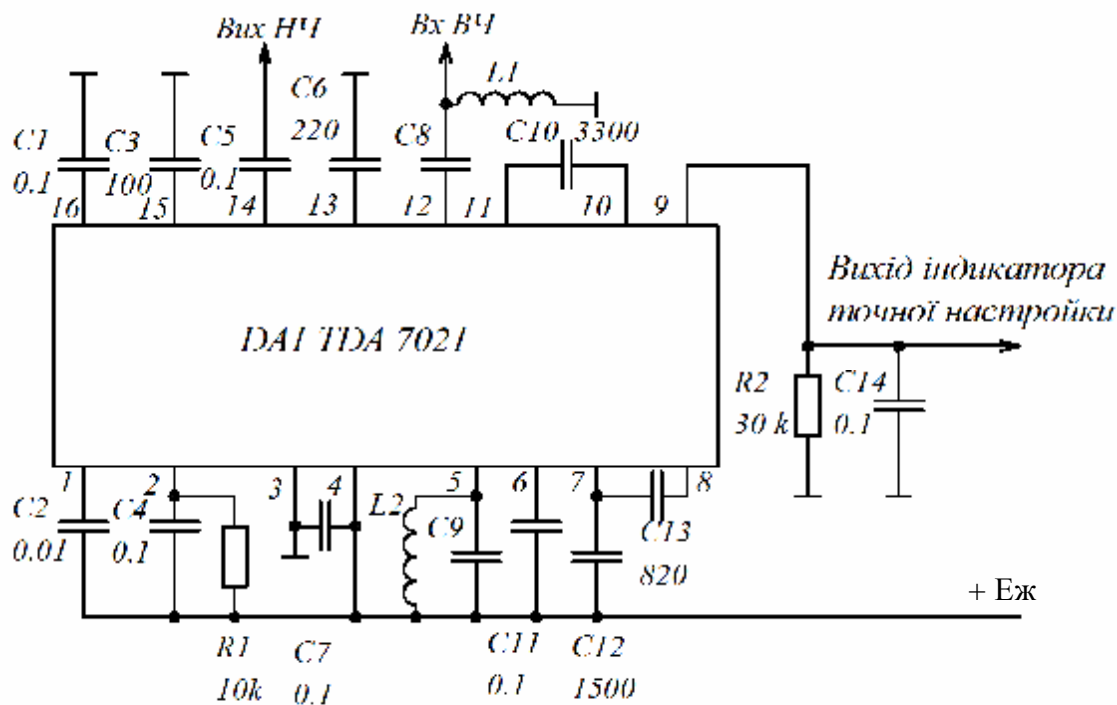


Рисунок 9.3 – Схема типового ввімкнення TDA7021

- коефіцієнт гармонік.....0,7 %;
- коефіцієнт послаблення сигналу з АМ.....50 дБ;
- максимально допустимий рівень вхідного сигналу.....200 мВ.

Мікросхема СХА1191 являє собою низьковольтний приймач АМ- і ЧМ-сигналів. Вона призначена для використання в портативних радіомовних приймачах в діапазонах ДХ, СХ, КХ, УКХ.

Структурна схема СХА1191 зображена на рис. 9.4.

Мікросхема містить такі вузли: окремі підсилювачі ВЧ та змішувачі ВЧ трактів АМ, ЧМ; ППЧ трактів АМ і ЧМ, детектор АМ, АРП і детектор ЧМ, схему електронного регулювання гучності та підсилювач звукової частоти (ПЗЧ).

Схема типового ввімкнення СХА1191 зображена на рис. 9.5

Працює приймач таким чином. Вхідний сигнал надходить на вхід АМ (вивід 10 ІМС) або на вхід ЧМ (вивід 12 ІМС). Після підсилення та змішування з напругою гетеродинів сигнали надходять на фільтри Z1, Z2 проміжних частот АМ та ЧМ, відповідно. Після фільтрів сигнали надходять на підсилювачі проміжних частот. Після основного підсилення сигнали детектуються та надходять до підсилювача звукової частоти.

Основні параметри ІМС СХА1191:

- напруга живлення.....2-8,5 В;
- струм споживання максимальний.....7 мА;
- чутливість по входу ЧМ при рівні обмеження –3дБ.....1,5 мкВ;
- максимальна частота вхідного сигналу.....110 МГц;
- максимальна вихідна потужність вбудованого ПЗЧ.....0,5 Вт;
- діапазон відтворюваних частот40..16000 Гц.

Опис лабораторної установки

Лабораторний макет роботи складається з двох окремих приймачів: перший побудований на ІМС TDA7021, другий побудований на ІМС СХА1191. Приймач на ІМС TDA7021 настроєний на фіксовану частоту (68 МГц), а приймач на ІМС СХА1191 має плавну настройку в діапазоні 88..108 МГц.

Схеми електричні принципові приймачів лабораторного макета зображені на рис. 9.6.

На вхід ІМС СХА1191 високочастотний сигнал подається через рознім XS1, на ІМС TDA7021 – через XS4, рознім XS2 є виходом НЧ ІМС СХА1191, XS3 – виходом НЧ ІМС TDA7021; рознім XS5 є входом тракту ПЧ ІМС TDA7021, а XS6 – його виходом. Світлодіоди VD1 та VD4 призначені для індикації точної настройки приймачів на частоту передавальної станції.

Вимірювання параметрів ІМС TDA7021 слід проводити за схемою, зображеною на рис. 9.7, а вимірювання параметрів ІМС СХА1191 – за схемою, зображеною на рис. 9.8.

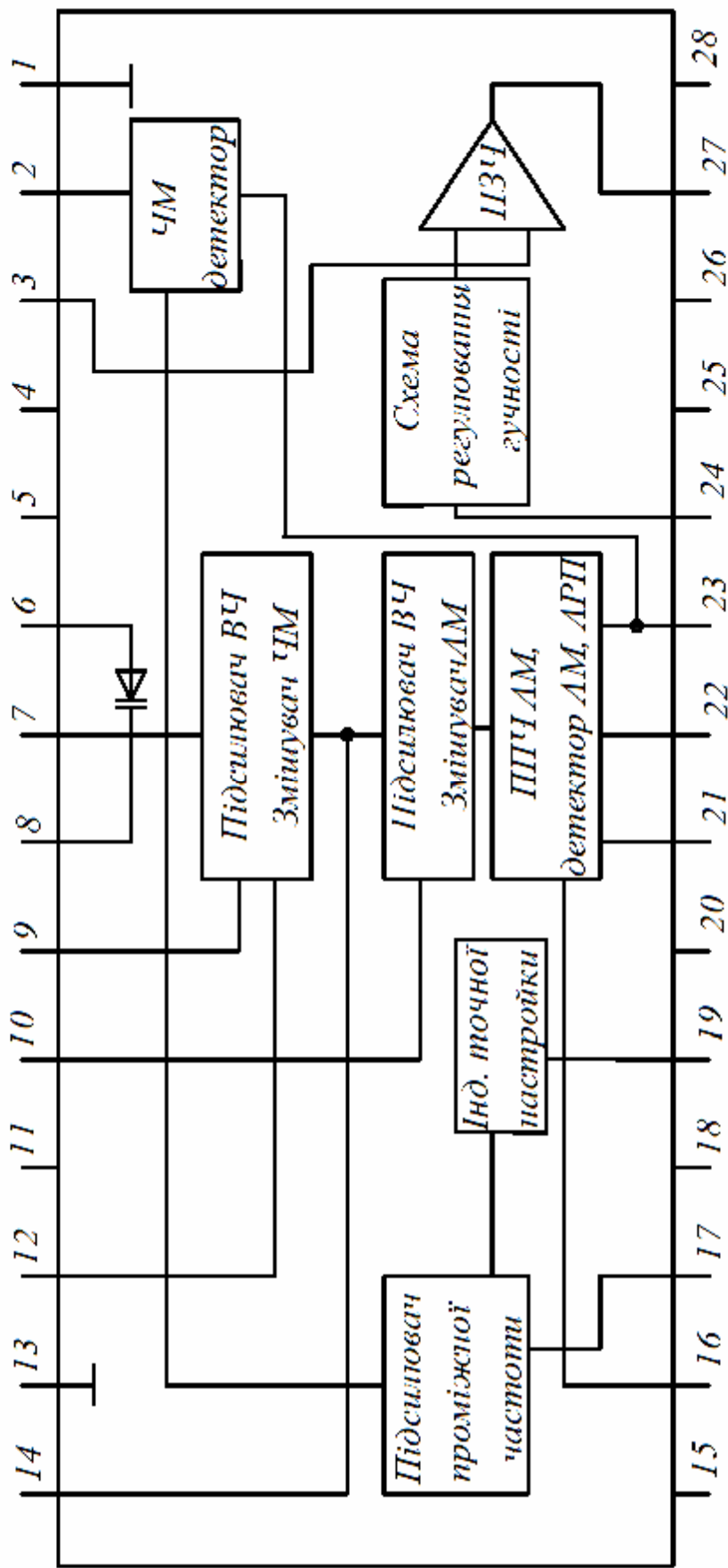


Рисунок 9.4 – Структурна схема мікросхеми СХА1191

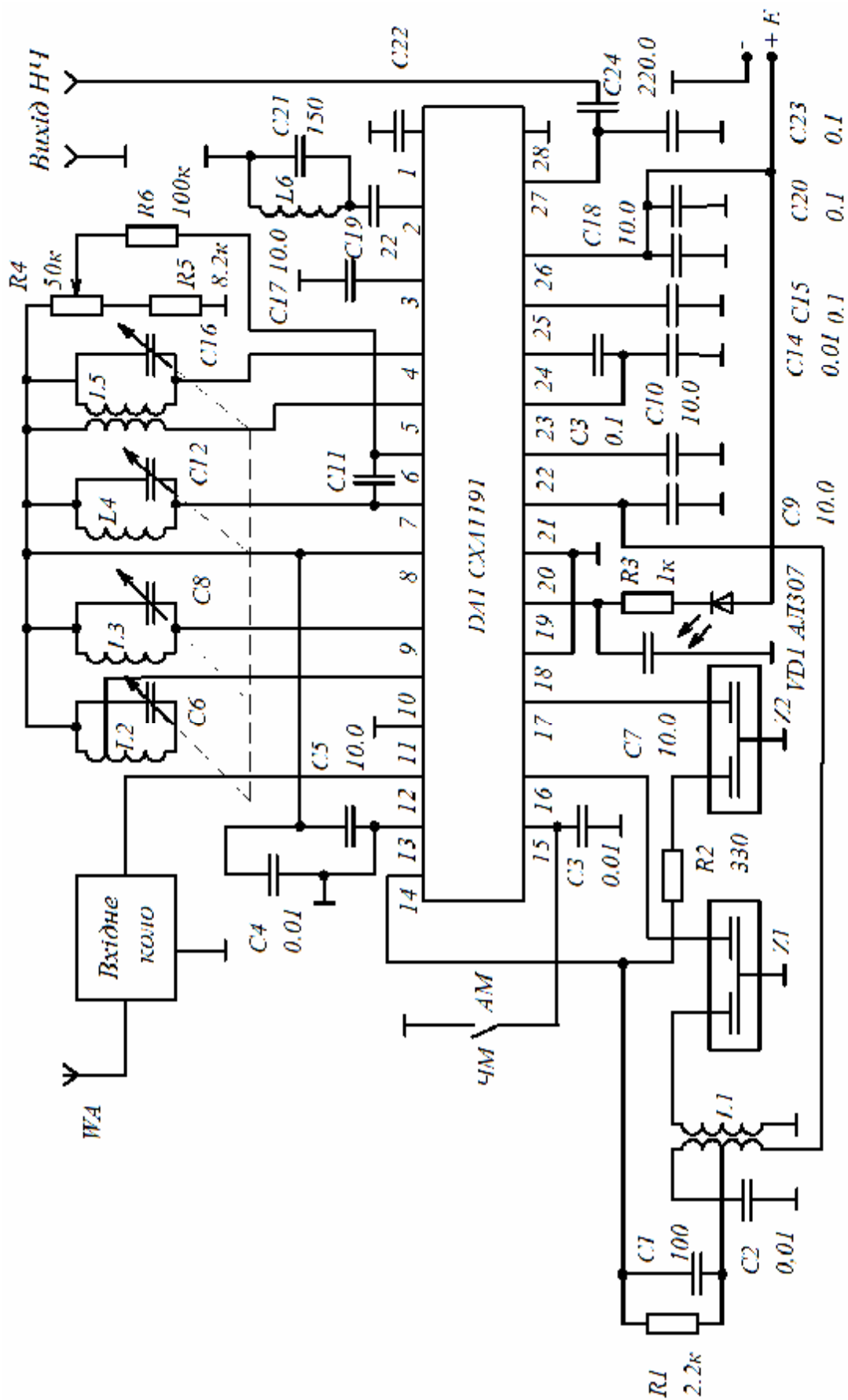


Рисунок 9.5 – Схема типового ввімкнення мікросхеми СХА1191

Домашнє завдання

1. Проробити теоретичний матеріал з даної теми. З'ясувати, якими основними параметрами характеризуються радіомовні приймачі.
2. Ознайомитись зі схемами сучасних радіомовних приймачів, з'ясувати особливості побудови ЧМ-радіоприймачів, яка елементна база застосовується в сучасних радіоприймачах.
3. Ознайомитись зі схемою лабораторної установки, методикою експериментального визначення основних параметрів ЧМ-радіоприймачів.

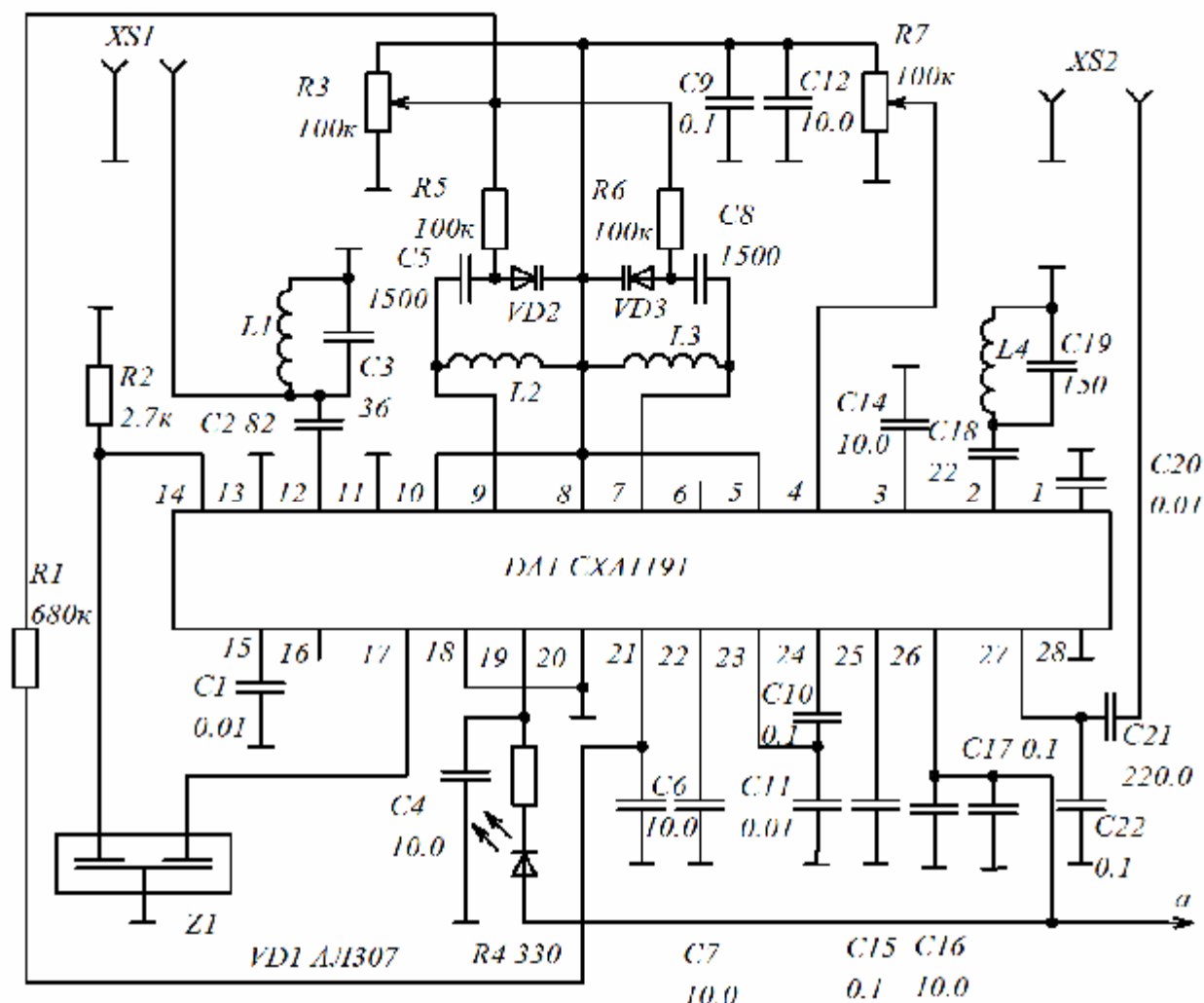


Рисунок 9.6 – Схема електрична принципова лабораторного макета

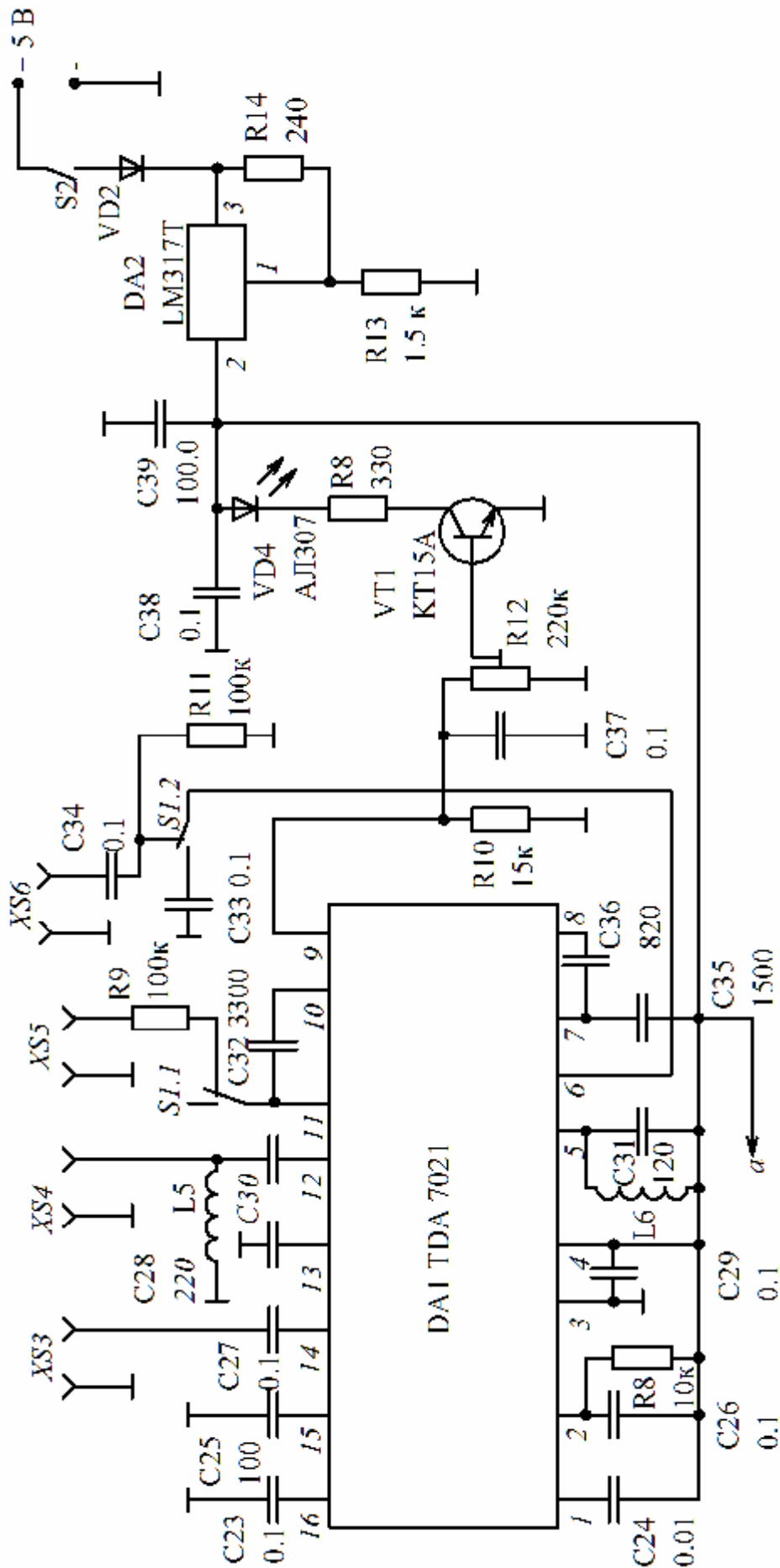


Рисунок 9.6 – продолжения

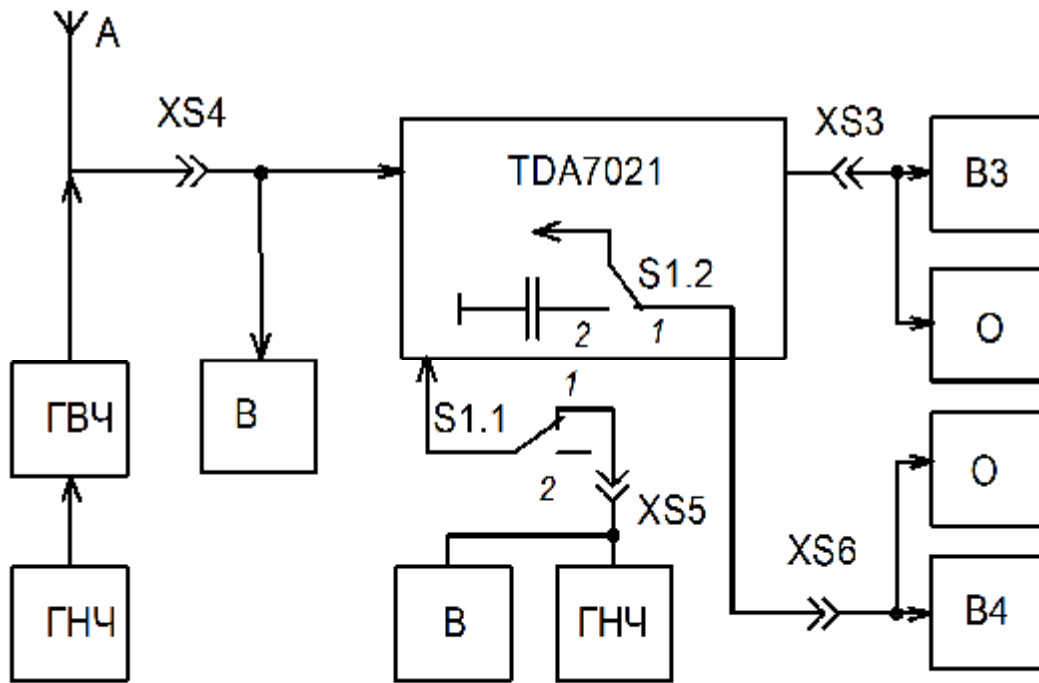


Рисунок 9.7 – Схема вимірювання параметрів приймача на ІМС TDA7021 (ГВЧ – генератор високої частоти, ГНЧ – генератор низької частоти, В – вольтметр, О – осцилограф)

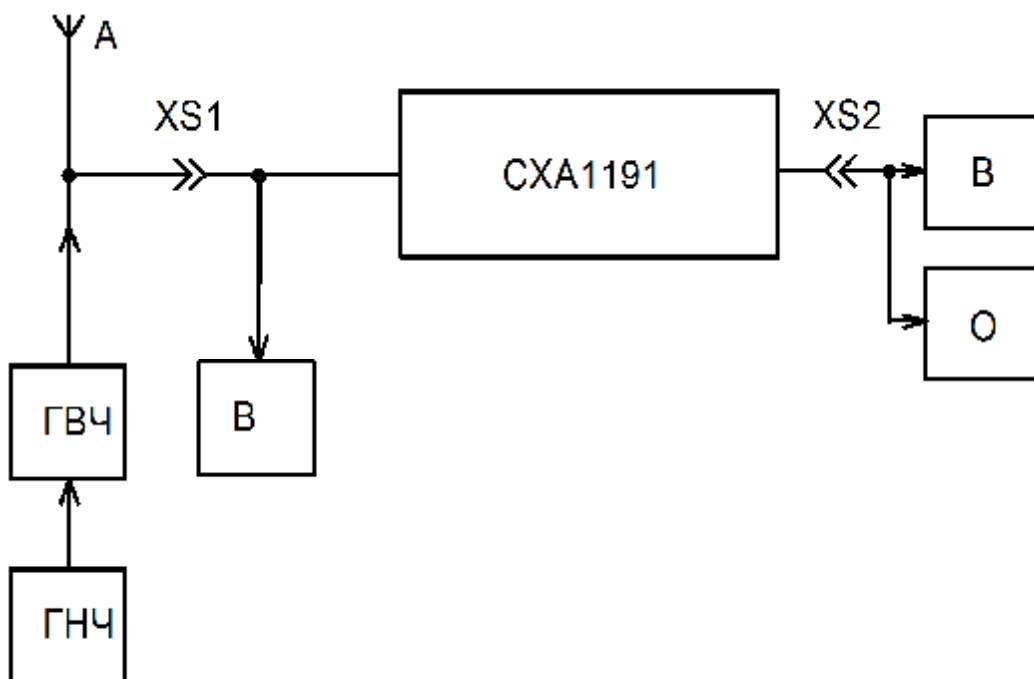


Рисунок 9.8 – Схема вимірювання параметрів приймача на ІМС CXА1191 (ГВЧ – генератор високої частоти, ГНЧ – генератор низької частоти, В – вольтметр, О – осцилограф)

Вимірювальна і досліджувана апаратура

1. Лабораторний макет.
2. Генератор сигналів низькочастотний Г3-118.
3. Генератор сигналів високочастотний Г4-116.
4. Мілівольтметр В3-38.
5. Мікрівольтметр В3-40.
6. Осцилограф С1 -71

Програма експериментальних досліджень

1. Зібрати схеми лабораторних установок. Переконатись в її роботоздатності.
2. Визначити порогову чутливість та реальну чутливість (при відношенні сигналу до шуму 26 дБ) приймача на ІМС TDA7021.
3. Зняти та побудувати АЧХ тракту проміжної частоти ІМС TDA7021.
4. Зняти та побудувати модуляційну характеристику приймача на ІМС TDA7021.
5. Провести необхідні вимірювання для визначення вибірності за сусіднім каналом приймача на ІМС TDA7021.
6. Визначити порогову чутливість та реальну чутливість (при відношенні сигналу до шуму 26 дБ) приймача на ІМС СХА1191.
7. Зняти та побудувати модуляційну характеристику приймача на ІМС СХА1191.
8. Провести необхідні вимірювання для визначення вибірності за сусіднім каналом приймача на ІМС СХА1191.
9. Порівняти отримані результати для приймачів з різним значенням проміжної частоти та пояснити можливі причини їх відмінностей.

Короткі методичні вказівки

1. Для визначення чутливості приймачів необхідно:
 - до відповідних входів приймачів під'єднати вихід високочастотного генератора Г4-116;
 - до відповідних виходів приймачів під'єднати осцилограф та

мілівольтметр;

- перемикач S1 (рис. 9.7) перевести в положення 2 (для приймача на ІМС TDA7021);

- подати з генератора ВЧ сигнал напругою 100 мкВ;

- контролюючи рівень вхідної та вихідної напруги зменшують напругу на вході приймача до виконання заданого співвідношення сигнал/шум на виході приймача;

- встановлений рівень вхідної напруги приймача приймають за необхідну чутливість.

2. Для зняття АЧХ тракту проміжної частоти приймача на ІМС TDA7021 необхідно:

- до входу тракту ПЧ приймача XS5 під'єднати вихід генератора НЧ;

- до виходу тракту ПЧ приймача XS6 під'єднати мілівольтметр та осцилограф;

- подати на вхід ТПЧ приймача сигнал напругою 10 мВ, перевівши перемикач S1 в положення 1;

- змінюючи частоту вхідного сигналу в межах 25... 125 кГц записують значення вихідної напруги.

3. Модуляційна характеристика приймача являє собою залежність вихідної напруги приймача $U_{\text{вих.нч}}$ від частоти модуляції $F_{\text{мод.нч}}$. Тому для зняття модуляційної характеристики приймача необхідно:

- на вхід відповідного приймача подати від генератора ВЧ сигнал з рівнем 100 мкВ;

- до виходу приймача під'єднати осцилограф та мілівольтметр;

- змінюючи значення частоти модуляції генератора Г4-116 в межах 30 Гц... 18 кГц, записують значення вихідної напруги приймача.

4. Для визначення вибірності за сусіднім каналом $S_{\text{СК}}$ приймачів необхідно:

- встановити вхідну напругу $U_{\text{ВХО}}$, яка відповідає чутливості приймача; виміряти вихідну напругу звукової частоти;

- не змінюючи настройки приймача, перестроїти генератор ВЧ на частоту сусіднього каналу;

- збільшити вхідну напругу з частотою сусіднього каналу $U_{\text{ВХСК}}$ до отримання такої ж вихідної напруги звукової частоти;

- вибірність за сусіднім каналом обчислюють за виразом:

$$S_{\text{СК}} = 20 \lg \frac{U_{\text{ВХСК}}}{U_{\text{ВХО}}}, \text{ дБ}$$

Контрольні запитання

1. Назвіть основні параметри радіомовних приймачів, дайте їм

означення та наведіть приклади реальних показників сучасних радіомовних приймачів ЧМ.

2. Які особливості побудови сучасних ЧМ-приймачів.

3. Нарисуйте структурні схеми для вимірювання основних показників радіомовних ЧМ-приймачів. Запропонуйте методику вимірювань.

4. Для чого в приймачах більш високого класу застосовується подвійне перетворення частоти?

5. Чому радіомовні приймачі ЧМ-сигналу мають кращу чутливість, ніж радіомовні приймачі АМ - сигналу?

6. Назвіть основні способи побудови амплітудного обмежувача ППЧ і частотного детектора в сучасних ЧМ-приймачах.

Література

1. Радиовещание и электроакустика: Учебник для вузов / Под ред. Ю.А. Ковалгина - М.: Радио и связь, 2000. – 792 с.

2. Волернер Н.П.Радіоприймальні пристрої: Навч. посібник. – К.: Вища шк., 1993. – 391 с.

3. Кононович Л. М. Современный радиовещательный приемник. - М.: Радио и связь, 1986 – 144 с.

4. Радиовещание и электроакустика : Учебник для вузов / Под ред. Ю. А. Ковалгина. – М.: Радио и связь, 2000 – 792с.

Зміст

1 Загальні положення.....	3
2 Оформлення звіту.....	4
3 Лабораторна робота №1 Визначення основних параметрів еквалайзерів.....	5
4 Лабораторна робота №2 Розрахунок акустичних систем за допомогою програми JBL SpeakerShop.....	17
5 Лабораторна робота №3 Дослідження параметрів та характеристик CD-програвача.....	26
6 Лабораторна робота №4 Дослідження аналогового помножувача сигналів.....	35
7 Лабораторна робота №5 Дослідження амплітудних коректорів для з'єднувальних ліній”.....	50
8 Лабораторна робота №6 Дослідження аналогових видів модуляції радіомовного сигналу.....	63
9 Лабораторна робота №7 Дослідження приймальної частини радіомовного тракту ЧМ УКХ-діапазону.....	71

Навчальне видання

Сергій Павлович Кононов
Микола Артемович Шутило

Радіомовні тракти

Лабораторний практикум

Оригінал-макет підготовлено Кононовим С.П.

Редактор О.Д. Скалоцька

Науково-методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку
Формат 29,7x42 $\frac{1}{4}$
Друк різнографічний
Наклад прим.
Зам. №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ