

С. П. Кононов

## **Основи радіомовлення**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

С. П. Кононов

## ОСНОВИ РАДІОМОВЛЕННЯ

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як лабораторний практикум для студентів спеціальності “Апаратура радіозв’язку радіомовлення і телебачення”. Протокол № 5 від 30 грудня 2004р.

Вінниця ВНТУ 2005

УДК 621.396.97  
К 64

*Рецензенти:*

*Осадчук В.С.* , доктор технічних наук, професор  
*Злепко С.М.* , доктор технічних наук, професор  
*Рудик С.Д.* , кандидат технічних наук

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

**Кононов С.П.**

К 64 **Основи радіомовлення.** Лабораторний практикум. - Вінниця: ВНТУ, 2005.- 47с.

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

УДК 621.396.97

## 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 досліду, 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 дозволити 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 вміщувати:

- 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 чорнилом або пастою на спеціальних бланках 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 досліджування вони відносяться і вказують постійні величини, які відображають початкові умови досліджування. На координатні осі наносять масштабні позначки і вказують розмірності. Для графічного зображення вимірних 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 написи до рисунків, графіків, формулювання у розділі "Висновки по роботі" і та ін. Чітка рубрикація матеріалу звіту полегшує його захист.

У стислих висновках повинні бути:

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

Студент не починає виконувати наступну лабораторну роботу, якщо не оформив звіт з попередньої роботи і не виправив його відповідно до зауважень викладача.

### 3 Лабораторна робота № 1

#### "Визначення основних параметрів пристрою формування стереосигналів"

Мета роботи - ознайомитись з особливостями роботи пристрою формування стереосигналів, експериментально дослідити та зняти його основні параметри і характеристики.

#### Стислі теоретичні відомості

Неодмінними ланками мовного каналу, зокрема пульта звукорежисера, є підсилювачі. Залежно від призначення розрізняють підсилювачі мікрофонні, проміжні, вихідні, розділові, лінійно-розділові.

Мікрофонні підсилювачі призначені для збільшення рівня сигналів, що поступають на входи пульта звукорежисера. Для них характерні велике підсилення (до 80 дБ), низький приведений до входу рівень власних шумів (-120. ...-130 дБ) і висока захищеність від синфазної вхідної завади (не менше 70 дБ).

Висока захищеність забезпечується симетричним входом. В мікрофонних підсилювачах є можливість регулювати чутливість або за допомогою подільника напруги, або за допомогою зміни глибини негативного зворотного зв'язку.

Мікрофонні підсилювачі виконують з трансформаторним і безтрансформаторним входом. У першому випадку простіше реалізувати узгодження невеликого електричного опору мікрофона з великим вхідним опором підсилювача. Подача фантомного живлення на конденсаторний мікрофон здійснюється через середню точку первинної обмотки трансформатора. Безтрансформаторна схема простіша і дешевша, забезпечує малі частотні спотворення, більші межі зміни підсилення. Як наслідок відсутності трансформатора в такому підсилювачі не виникає мікрофонного ефекту, обумовленого магнітострикцією сердечника. Проте для організації фантомного живлення ускладнюється схема.

Проміжні підсилювачі — найпоширеніший вид підсилювальних пристроїв пульта звукорежисера. Їх використовують для компенсації послаблень, що вносять регулятори рівня і спектру, як розділові ланки в мікшерах і в ланцюгах контролю. Ці підсилювачі звичайно виконують за безтрансформаторною схемою із симетричним входом і симетричним або несиметричним виходом з невеликим коефіцієнтом підсилення (у середньому 10 або 20 дБ). В схемах застосовується глибокий негативний зворотний зв'язок. Рівень власних шумів проміжних підсилювачів -120... -130 дБ, вхідний опір великий, а вихідний, як правило, малий.

Вихідні підсилювачі працюють на симетричні лінії з хвильовим опором 150...600 Ом. Вони забезпечують номінальні вихідні рівні від +6 дБ до +15(17) дБ. Запас підсилення дозволяє піднімати вихідний рівень до 21...25 дБ, вхід в таких підсилювачах несиметричний.

Розділові підсилювачі служать для усунення взаємних впливів в пристроях змішування, захисту трактів від короткого замикання і попадання завад в точках розгалуження схеми, а також підключення зовнішніх контрольних пристроїв. Для усунення проникнення зовнішніх завад розділові підсилювачі повинні мати велике загасання між виходом і входом.

Лінійно-розділові підсилювачі виконують функції лінійного і розділового підсилювачів при підключенні до виходу пульта звукорежисера декількох ліній. Як правило, вони мають симетричні вхід і вихід.

Основою всіх малопотужних підсилювачів тракту звукового мовлення є операційний підсилювач (ОП), ввімкнений за інвертувальною (рис. 3.1,а) або неінвертувальною (рис. 3.1,б) схемою.

Для зміни спектра звукових сигналів використовують різні пристрої, що створюють спади або підйоми АЧХ у області нижніх і верхніх частот або в обмежених ділянках на середніх частотах. До числа цих пристроїв відносяться:

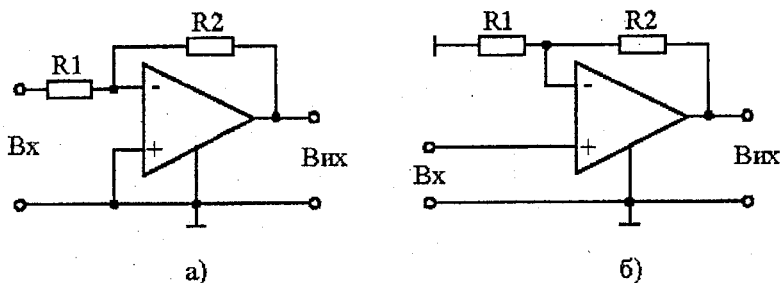


Рисунок 3.1- Схеми ввімкнення операційного підсилювача

- регулятори плавного підйому і спаду АЧХ на нижніх і верхніх частотах;
- фільтри, які різко обмежують смугу пропускання на нижніх і верхніх частотах;
- багатосмугові регулятори АЧХ (графічні коректори або еквалайзери);
- фільтр "присутність" та інші.

При побудові названих пристроїв звичайно використовують активні RC ланки на ОП.

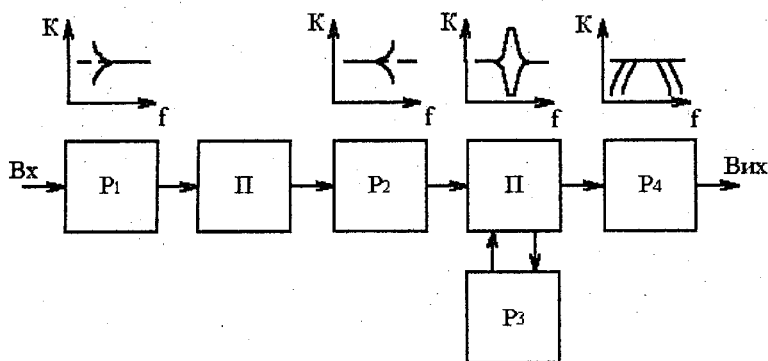


Рисунок 3.2 – Структурна схема блока регуляторів АЧХ

Різні регулятори АЧХ (P) конструктивно об'єднують в загальному блоці. Його структурна схема і вигляд одержуваних АЧХ показані на рис. 3.2. Щоб уникнути взаємних впливів плавні або, частіше, дискретні регулятори відділяють один від одного підсилювачами (Pi).



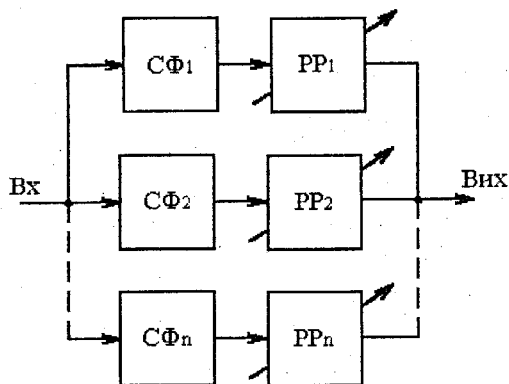


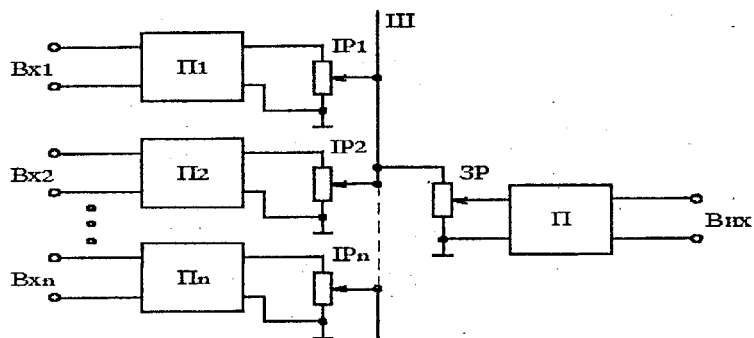
Рисунок 3.3 - Структурна схема багатосмугового регулятора АЧХ

Широкі можливості зміни АЧХ має багатосмуговий регулятор. Він містить декілька смугових фільтрів (СФ) (рис. 3.3). Коефіцієнт передачі в кожній частотній смузі змінюється плавно або дискретно регуляторами рівня (РР). Положення ручок регуляторів відповідають формі АЧХ, звідси його друга назва — графічний коректор. Використовують октавні, напівоктавні, третинноктавні багатосмугові регулятори.

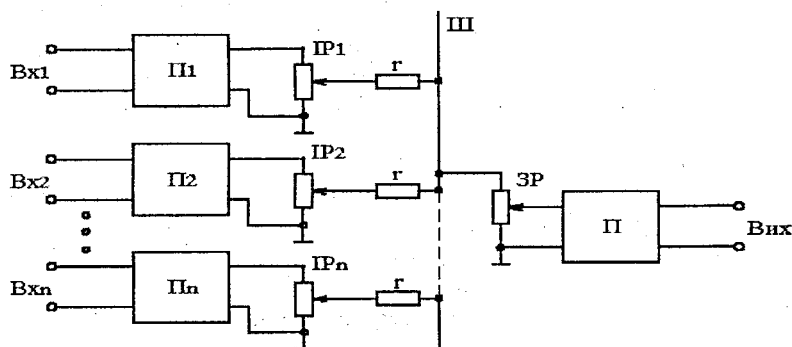
Мікшером або змішувачем називають пристрій, в якому додаються мовні сигнали декількох вхідних або групових трактів. Мікшер суміщають з комутатором, за допомогою якого вхідні або групові тракти пульта підключаються до шини змішувача і через неї до подальших ланок пульта.

В простій схемі змішувача (рис. 3.4,а) сигнали з усіх входів поступають через індивідуальні регулятори (ІР) - потенціометри з опором  $R$  на шину змішувача Ш і загальний регулятор (ЗР). Ця схема має два недоліки. Перший полягає у тому, що зміна числа підключених до шини ІР приводить до зміни рівня сигналу на шині, оскільки навантаженням кожного ІР служить не тільки вхідний опір ЗР, але і вихідні опори інших ІР. По - друге, із переміщенням щітки повзунка з верхнього на схемі положення в нижній вихідний опір ІР все більш шунтуватиме шину змішувача і в нижньому положенні замкне її на "землю", що призведе до припинення передачі сигналів зі всіх інших ІР до виходу.

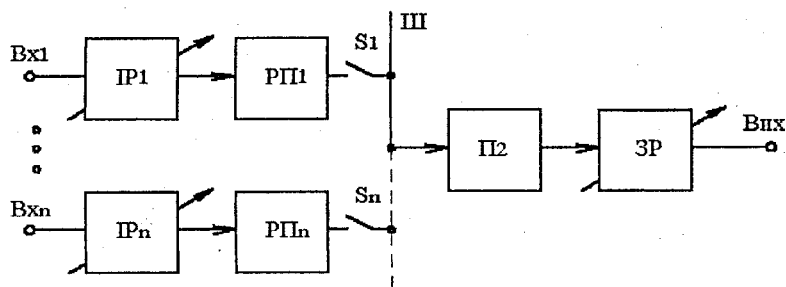
Зазначених недоліків в значній мірі немає в схемі, що наведена на рис. 3.4,б, в якій введені розв'язувальні резистори  $r$ . Максимальна зміна вихідного рівня  $\Delta N$  у децибелах нерегульованих ІР при регулюванні одного з них:



а)



б)



в)

Рисунок 3.4 – Схеми мікшерів (а – проста, б – з розв'язувальними резисторами, в – з розділовими підсилювачами)

$$\Delta N = 20 \lg \left( 1 + \frac{n-1}{4n} \cdot \frac{R}{r} \right).$$

де  $n$  — загальне число ІР;  $R$  — опір регулятора ІР;  $r$  — опір розв'язувальних резисторів. При великому числі ІР  $(n-1)/n$  наближується до 1 і тоді

$$\Delta N = 20 \lg \left( 1 + \frac{R}{4r} \right).$$

Чим більше  $R/r$ , тим менший взаємний вплив регуляторів. Недоліком схеми є те, що розв'язувальні резистори створюють помітні втрати потужності сигналу.

Дієвий засіб захисту від взаємних впливів - розділові підсилювачі (рис. 3.4,в). Вони забезпечують повний захист від взаємних впливів регуляторів, хоча і ускладнюють змішувач. Наявність розділових підсилювачів розширює можливості змішувача, наприклад, дозволяє підключати до шини декілька трактів, не порушуючи встановлених рівнів.

Змішування сигналів за допомогою ОП здійснюється за схемою, приведеною на рис. 3.5, в якій  $R_0 = R_{i1} = R_{i2} = \dots = R_{in}$ . Для кожного з  $n$  входів змішувача коефіцієнт передачі за напругою  $K_i = R_0/R_i = 1$ . Завдяки "віртуальному нулю" напруги на інвертувальному вході ОП така схема забезпечує достатньо високу розв'язку між входами.

### Опис лабораторного макета

Пристрій формування стереосигналів призначений для виконання таких операцій:

- підсилення сигналів;
- регулювання тембру звукових сигналів від двох джерел;
- регулювання рівнів звукових сигналів від двох джерел;
- змішування сигналів у різних співвідношеннях;
- формування двох стереосигналів.

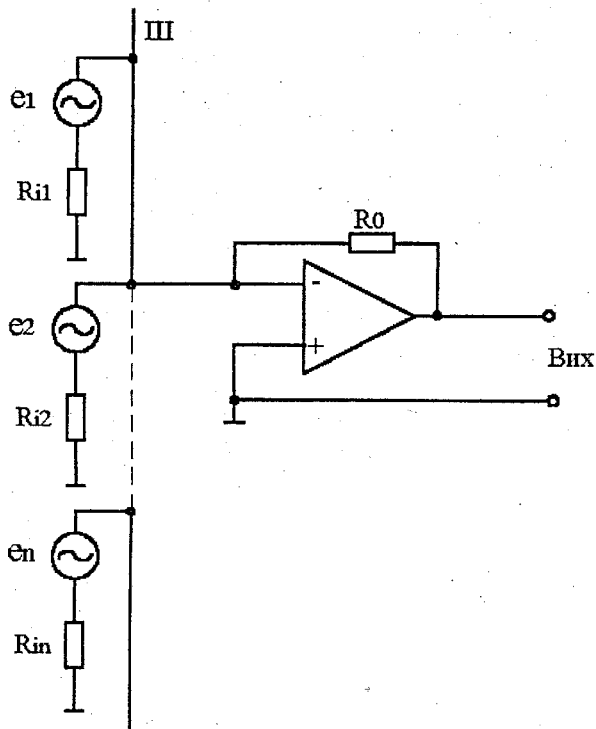


Рисунок 3.5 – Мікшер на операційному підсилювачі

Структурна схема пристрою формування стереосигналів наведена на рис.3.6. Вона складається з операційних підсилювачів, регуляторів тембру (РТ), регуляторів рівня сигналу (РС), регуляторів панорами (РП) та змішувачів сигналів (ЗС).

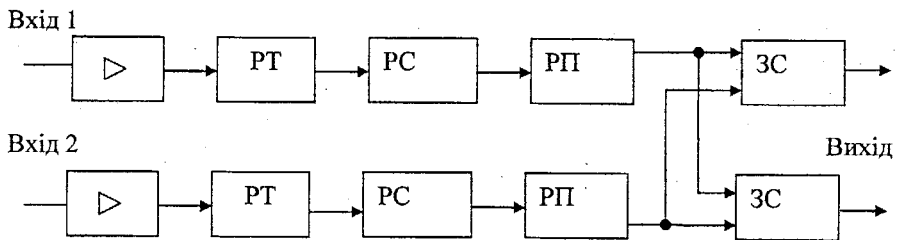


Рисунок 3.6 - Структурна схема пристрою формування стереосигналів

В пристрої формування стереосигналу (рис.3.7) регулювання тембру здійснюється за допомогою резисторів R13, R16 на НЧ і R20, R21 на ВЧ для першого та другого каналу, відповідно. Регулювання гучності здійснюється за допомогою резисторів R23, R24. Регулятори панорами R32, R33 призначені для встановлення будь-якого співвідношення рівнів вхідних сигналів у вихідних стереосигналах. На ІМС DA1, DA2 зібрані попередні підсилювачі, ІМС DA3, DA4 - інвертувальні суматори.

### Домашнє завдання

1. Проробити лекційний матеріал з даної теми. З'ясувати призначення звукового пульта і його складових - підсилювачів, регуляторів тембру, рівня, панорами, а також мікшерів.

2. Ознайомитись з лабораторним макетом, методикою експериментального визначення його основних параметрів і характеристик.

3. Вивчити схемотехніку пристрою формування стереосигналів та його аналогів промислового виготовлення.

### Вимірювальна і досліджувана апаратура

1. Лабораторний макет.
2. Лабораторне джерело живлення ТЕС-88.
3. Генератор стандартних сигналів ГЗ-118.
4. Мілівольтметр ВЗ-38 (ВЗ-40).
5. Осцилограф С1-83.
6. Вимірювач нелінійних спотворень С6-7.

### Програма експериментальних досліджень

1. Скласти схему для дослідження.
2. Зняти та побудувати амплітудну характеристику (U<sub>вх</sub>=0...500мВ) каналів:
  - вхід 1 - вихід А;
  - вхід 2 - вихід В.
3. Зняти частотні характеристики каналів
  - вхід 1 - вихід А;
  - вхід 2 - вихід В.

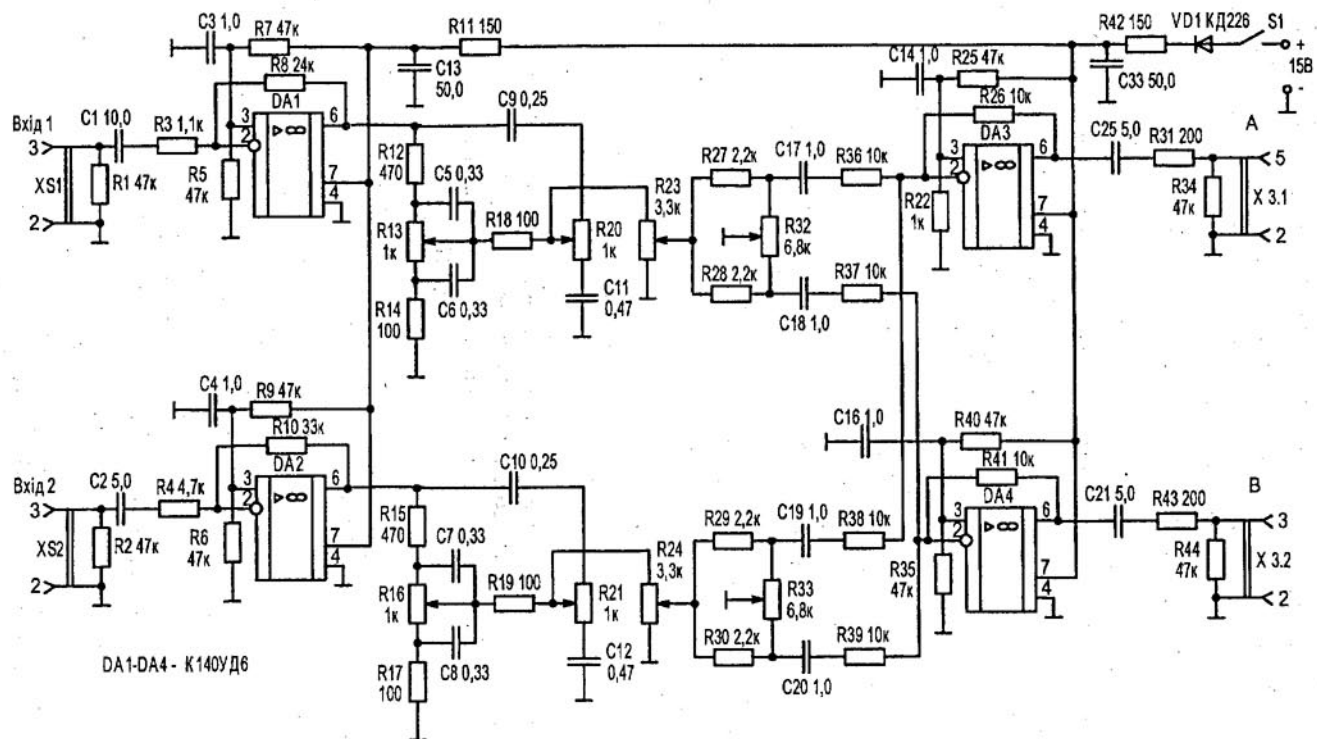


Рисунок 3.7 - Пристрій формування стереосигналів

Характеристики знімати в діапазоні 20...20 000 Гц, для середніх і крайніх положень регуляторів тембра. За результатами досліджень побудувати АЧХ та визначити коефіцієнт регулювання і нерівномірність АЧХ в смузі.

4. Визначити розділення між каналами на частотах сигналу 1 кГц і 10 кГц. Для чого дослідити вплив між такими каналами.

- вхід 1 - вихід В;
- вхід 2 - вихід А.

5. Визначити співвідношення сигнал/шум, сигнал/фон для каналів, зазначених в п. 2.

6. На частотах 316 Гц, 1 кГц, 10 кГц визначити загальні нелінійні спотворення в каналах "вхід 1 – вихід А", "вхід 2 – вихід В". При необхідності збільшити вхідну напругу на 6 – 10 дБ відносно номінальних умов.

7. Визначити вплив регуляторів панорами на форму вихідних сигналів, для чого подати на „вхід 1„ номінальну напругу з частотою 1 кГц, на вхід 2 - з частотою 10 кГц. Зарисувати для крайніх і середніх положень регуляторів панорами осцилограми напруг на виходах макета.

8. Скласти схему-прототип пульта звукорежисера. Застосувати пульт для формування стереосигналу від двох джерел звуку, суб'єктивно оцінити його якість.

### Короткі методичні вказівки

До початку випробувань необхідно встановити номінальні умови:

- макет підключити до джерела живлення з напругою 15В;
- на вхід 1 або 2 підсилювачів (рис.3.7) подається сигнал частотою 1000 Гц, напруга цього сигналу дорівнює 100 мВ;
- регулятори гучності (рис. 3.7) встановлюються в положення, при яких на виходах номінальна (неспотворена) напруга становить  $U_{вих}=50\text{мВ}$ ;
- регулятори тембру і регулятори панорами встановлюються у середнє положення.

Настройку необхідно провести для двох каналів окремо.

Для вимірювання відношення сигнал/фон підсилювач встановлюють в номінальні умови. Потім генератор вимикають і вимірюють вихідну напругу на частоті мережі 50 Гц та на частотах гармонік (100 Гц, 150 Гц). Для вимірювань застосовують ФНЧ з частотою зрізу 150 Гц. Відношення сигнал/фон визначають за формулою

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

де  $U_C$  – напруга сигналу,  $U_{\phi}$  - напруга фону.

Для вимірювання співвідношення сигнал/шум використати смуговий фільтр 20 Гц ... 20кГц. Результат визначають за виразом:

$$D_{ш} = 20 \lg(U_C / U_{ш}),$$

де  $U_C$  – напруга сигналу,  $U_{ш}$  – напруга шуму.

Розділення між каналами визначається в номінальних умовах з подальшим переведенням регулятора панорами каналу "вхід 1 – вихід А" ("вхід 2 – вихід В") в положення, при якому на вихід В (вихід А) не надходить напруга.

### Контрольні запитання

1. Яке призначення пристрою формування стереосигналів, з яких основних вузлів він складається?

2. Яке призначення мають мікшери? Яка для них існує класифікація?

3. Перелічіть основні електричні показники пристрою формування стереосигналів і дайте їх означення.

4. За якими методиками експериментально вимірюються основні параметри і характеристики мікшера?

5. Назвіть причини появи фону і шуму в мікшері і засоби боротьби з ними, які фактори впливають на погіршення розділення між каналами.

6. Для чого змінюють форму АЧХ пристрою формування стереосигналів?

7. У чому полягають переваги використання ОП в підсилювачах, фільтрах, змішувачах тракту обробки мовного сигналу.

### Література

1. Радиовещание и электроакустика/Под ред. М.В. Гитлица- М.: Радио и связь, 1989.- 432с.

2. Справочник по радиовещанию/Под ред. А.В. Выходца- К.: Техника, 1981.- 264 с.

3. Алексенко А.Г. и др. Применение прецизионных аналогових микросхем. -М.: Радио и связь, 1985.- 256с.

4. Шкритек П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике:



Пер. с нем.-М.: Мир, 1991.- 446с.

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

#### 4 Лабораторна робота №2

#### “Визначення основних параметрів звукового процесора”

Мета роботи - ознайомитись з особливостями роботи простого звукового процесора, експериментально дослідити та зняти основні параметри звукового процесора

#### Стислі теоретичні відомості

При формуванні стереофонічних сигналів використовують звукові процесори, які виконують функції регулятора ширини бази (РШ), напрямку (РН) і панорами (РП). Деякі з них діють спільно з сумарно-різницевим перетворювачем (СРП). За допомогою цих регуляторів формують бажану звукову картину (звукову панораму) в приміщенні слухача шляхом правильного розташування уявних джерел звуку (УДЗ), протяжності окремих груп УДЗ, зміни по ширині бази сторін звукової картини, тобто інверсії їх, переміщення УДЗ по базі. Ці ефекти досягаються чисто електричним шляхом. Попередньо з початкових сигналів  $L$  і  $P$  за допомогою СРП формують сигнали  $M=L+P$  і  $S=L-P$ .

Принцип дії СРП зрозумілий з рис. 4.1. Нехай в якийсь момент полярність початкових сигналів  $L$  і  $P$  така, як позначено. Струми сигналів  $L$  і  $P$  на резисторах  $R_2$  і  $R_3$  збігаються за напрямом, тобто утворюють

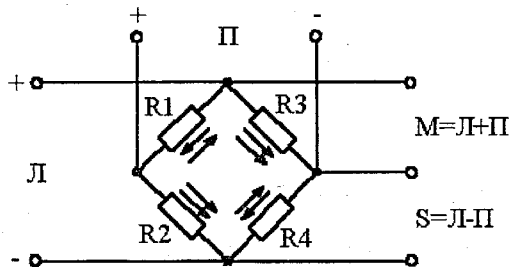


Рисунок 4.1- Схема СРП

сигнал  $M$ , а на резисторах  $R1$  і  $R4$  — протилежні, тобто утворюють сигнал  $S$ . У такому вигляді стереофонічні сигнали подаються на регулятори РШ і РН.

Розглянемо дію РШ (рис.4.2,а). Будемо змінювати напругу сигналу  $S$  від максимальної до нуля. При максимальній напрузі сигналу  $S$  звукова картина утворюється між лівим гучномовцем і правим. При  $S = 0$  на виході РШ одержимо  $L = \Pi = M$ , тобто звукова картина стягнеться в точку, розташовану посередині між гучномовцями.

Розглянемо дію РН (рис.4.2,б). Нехай сигнал  $S$  формується з сигналу  $M$ . Будемо підмішувати сигнал  $M$  в тракт сигналу  $S$ , змінюючи його величину і знак в межах  $M$ . При  $S = M$  маємо  $L = M + M = 2M$ ,  $\Pi = M - M = 0$  і звучить лівий гучномовець. При  $S = 0$   $L = \Pi = M$  і звук виходить з точки, розташованої посередині між гучномовцями. При  $S = -M$  сигнали  $L = M + (-M) = 0$ ,  $\Pi = M - (-M) = 2M$  і звучить правий гучномовець. Отже, при зміні в тракті сигналу  $S$  в межах  $+M \dots -M$  в звуковій картині УДЗ переміщається зліва направо.

Дуже часто звукову панораму формують з початкових моносигналів. Для цього їх підмішують в певних співвідношеннях в канали  $L$  і  $\Pi$  за допомогою регулятора панорами (РП) (рис.4.3). При переміщенні щітки регулятора з позиції 1 в позицію 3 УДЗ зміщується зліва направо. Сумісною дією декількох таких регуляторів одержують бажане розміщення усіх УДЗ в звуковій картині.

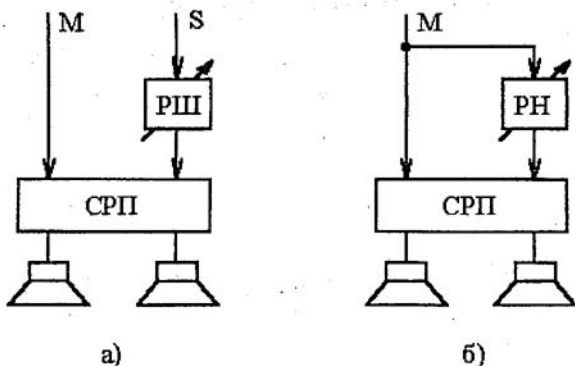


Рисунок 4.2 – Структурні схеми РШ (а) і РН (б)

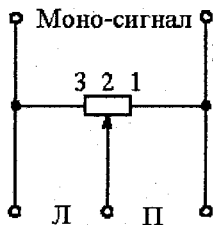


Рисунок 4.3 – Схема РП

Особливим видом ручних регуляторів є регулятор кросфейдер. За допомогою кросфейдера здійснюють плавний перехід від одного сигналу до іншого (рис. 4.4). Цим регулятором управляють вручну або автоматично. Залежно від бажаного результату тривалість переходу змінюють від одиниць мілісекунд до декількох секунд.

Пристрій, що змінює ширину стереопанорами чи ширину стереобазиса, може складатися з двох сумарно-різницевих перетворювачів СРП із роздільними регуляторами рівнів сумарного ( $\Sigma$ ) і різницевого ( $\Delta$ ) сигналів (рис.4.5).

Нехай на виході стереомікрофона маємо сигнал довільної форми  $S(t)$ , причому в лівому каналі  $aS(t)$ , а в правому  $bS(t)$ . Положення УДЗ для даної стереопари визначається величиною  $\Delta L = 20 \lg(b/a)$ .

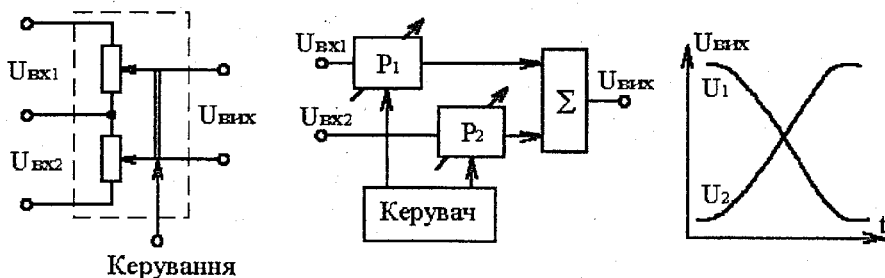


Рисунок 4.4 – Практична схема (а), структурна схема (б) і зміни напруг кросфейдера (в)

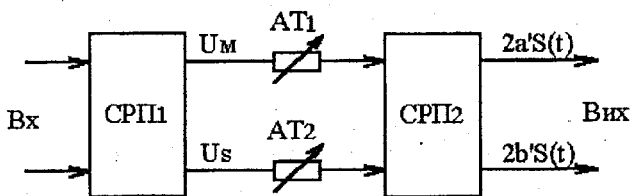


Рисунок 4.5 - Структурна схема звукового процесора

На виході СПП отримуються сигнали суми  $U_M$  і різниці  $U_s$ :

$$U_M = aS(t) + bS(t); \quad U_s = aS(t) - bS(t).$$

Оскільки в каналах суми і різниці є атенуатори (АТ), їхній вплив на сумарний і різницевий сигнали можна врахувати введенням коефіцієнтів  $m_1$  і  $m_2$ :

$$U'_M = m_1 U_M = m_1 S(t)(a+b), \quad 0 \leq m_1 \leq 1,$$

$$U'_s = m_2 U_s = m_2 S(t)(a-b), \quad 0 \leq m_2 \leq 1.$$

Після СПП<sub>2</sub>:

$$U'_M + U'_s = S(t)[m_1(a+b) + m_2(a-b)] = 2a'S(t),$$

$$U'_M - U'_s = S(t)[m_1(a+b) - m_2(a-b)] = 2b'S(t),$$

$$2a' = m_1(a+b) + m_2(a-b); \quad 2b' = m_1(a+b) - m_2(a-b).$$

Якщо рівні сумарного і різницевого сигналів не змінюються ( $m_1 = m_2 = 1$ ), то  $a' = a$ ,  $b' = b$ , тобто на виході СПП<sub>2</sub> отримаємо вихідні сигнали стереопари.

При регулюванні співвідношення сумарного і різницевого сигналів змінюється і, отже, змінюється напрямок на УДЗ.

Слід зазначити, що мова тут йде тільки про сигнали суміщеного стереомікрофона, при якому різниця фаз не позначається на стереоефекті.

## Опис лабораторного макета

Звуковий процесор призначений для отримання двох сигналів  $A'$ ,  $B'$ . Він складається з двох сумарно-різницевих перетворювачів з розділеними регуляторами рівнів сумарного і різницевого сигналів. Структурна схема пристрою має вигляд (рис.4.6). Звуковий процесор (рис.4.7) зібрано на операційних підсилювачах мікросхем DA1 та DA2.

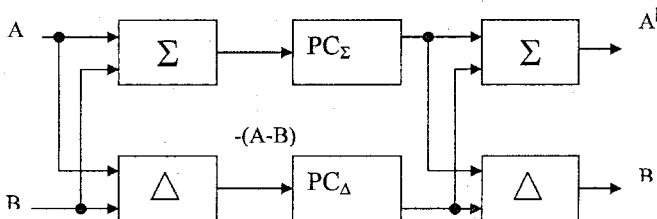


Рисунок 4.6 - Структурна схема звукового процесора

Підсилювач на DA1.1 це інвертувальний суматор напруги. На елементі DA1.2 на основі диференціального ввімкнення реалізовано вузол, який виконує функцію віднімання двох сигналів. Аналогічно на підсилювачі DA2.1 зібрано інвертувальний суматор, а на DA2.2 зібрано вузол, який виконує віднімання двох сигналів. Регулювання рівня сигналу  $-A-B$  здійснюється за допомогою резистора R9 а регулювання рівня сигналу  $-A+B$  здійснюється за допомогою резистора R11. Підсилювачі DA2.1, DA2.2 перетворюють отримані сумарно-різницеві сигнали у встановлених співвідношеннях, внаслідок чого утворюються сигнали  $A'$ ,  $B'$ .

### Домашнє завдання

1. Проробити лекційний матеріал з даної теми. З'ясувати призначення звукових пультаів, мікшерів, процесорів.

2. Ознайомитись зі схемою лабораторної установки, методикою експериментального визначення основних параметрів.

3. Вивчити схемотехніку побудови описаного вище пристрою та його аналогів.

### Вимірювальна і досліджувана апаратура

1. Лабораторний макет.
2. Лабораторне джерело живлення ТЕС-88.
3. Генератор стандартних сигналів ГЗ-118.
4. Осцилограф С1-83.
5. Вимірювач нелінійних спотворень С6-7.
6. Фільтр нижніх частот з частотою зрізу 150 Гц.
7. Смуговий фільтр 20 Гц .. 20000 Гц.
8. Мілівольтметр ВЗ-38.

### Програма експериментальних досліджень

1. Скласти схему для дослідження. Встановити її у номінальні умови, регулятори  $PC_B, PC_A$  (R9, R11) в крайнє праве положення.

2. Зняти та побудувати амплітудну характеристику каналів ( $U_{ВХ}=0...2500\text{мВ}$ ):

- вхід А - вихід А';
- вхід В - вихід В'.

3. Зняти частотні характеристики каналів (стандартні умови, вхідна напруга зменшена на 10 дБ):

- вхід А-вихід А';
- вхід В - вихід В'.

Характеристики знімати в діапазоні частот 20...200 000 Гц. За результатами досліджень побудувати АЧХ та визначити коефіцієнт передачі і нерівномірність АЧХ в смузі.

4. Визначити розділення між каналами. Для чого дослідити такі паразитні шляхи проходження сигналу:

- вхід А - вихід В';
- вхід В - вихід А'.

5. Визначити співвідношення сигнал/фон, сигнал/шум для каналів зазначених в п.2.

6. На частотах 316 Гц, 1 кГц, 10 кГц визначити загальні нелінійні спотворення в каналах "вхід А - вихід А'", "вихід В - вихід В'" (номінальні умови).

7. Визначити вплив регулювання сумарно-різницевого сигналів на

форму вихідних сигналів, для чого подати на вхід А номінальну напругу з частотою 1 кГц, на вхід В – з частотою 10 кГц. Зарисувати для крайніх положень резисторів R9, R11 осцилограми напруг на виходах А', В'. Після цього подати на входи А, В сигнал з частотою 1000 Гц і зарисувати осцилограми у контрольних точках.

8. Скласти повну схему-прототип пульта звукорежисера. Застосувати пульт для формування стереосигналу від двох джерел звуку, дати суб'єктивну оцінку якості роботи звукового процесора.

### Короткі методичні вказівки

До початку випробувань необхідно встановити номінальні умови:

- макет підключити до джерела живлення з напругою  $\pm 15\text{В}$ ;

- на вхід А (або В) (рис.4.7) подати сигнал напругою 500 мВ і частотою 1000 Гц. Частотні характеристики слід знімати за стандартних умов, для чого вихідну напругу генератора зменшити на 10 дБ порівняно із номінальною.

При вимірюванні відношення сигнал/фон, сигнал/шум макет встановлюють в номінальні умови.

Для вимірюванні співвідношення сигнал/фон використати ФНЧ з частотою зрізу 150 Гц.

Для вимірювання співвідношення сигнал/шум використати смуговий фільтр 20 Гц .. 20 кГц.

Результат співвідношення сигнал/фон (сигнал/шум) визначають за виразом:

$$D_{\Phi} = 20 \lg(U_{\Phi} / U_{\Phi(\text{ш})}),$$

де -  $U_{\Phi}$  - напруга сигналу;  $U_{\Phi(\text{ш})}$  - напруга фону(шуму).

### Контрольні запитання

1. Яке призначення мають звукові процесори?
2. Перелічіть основні електричні параметри та характеристики звукового процесора, дайте їх означення.
3. Якою є методика експериментального визначення основних показників звукового процесора?
4. Назвіть причини появи шуму, фону в звуковому процесорі і засоби боротьби з ними.
5. Від яких факторів залежить розділення між каналами в звуковому процесорі?

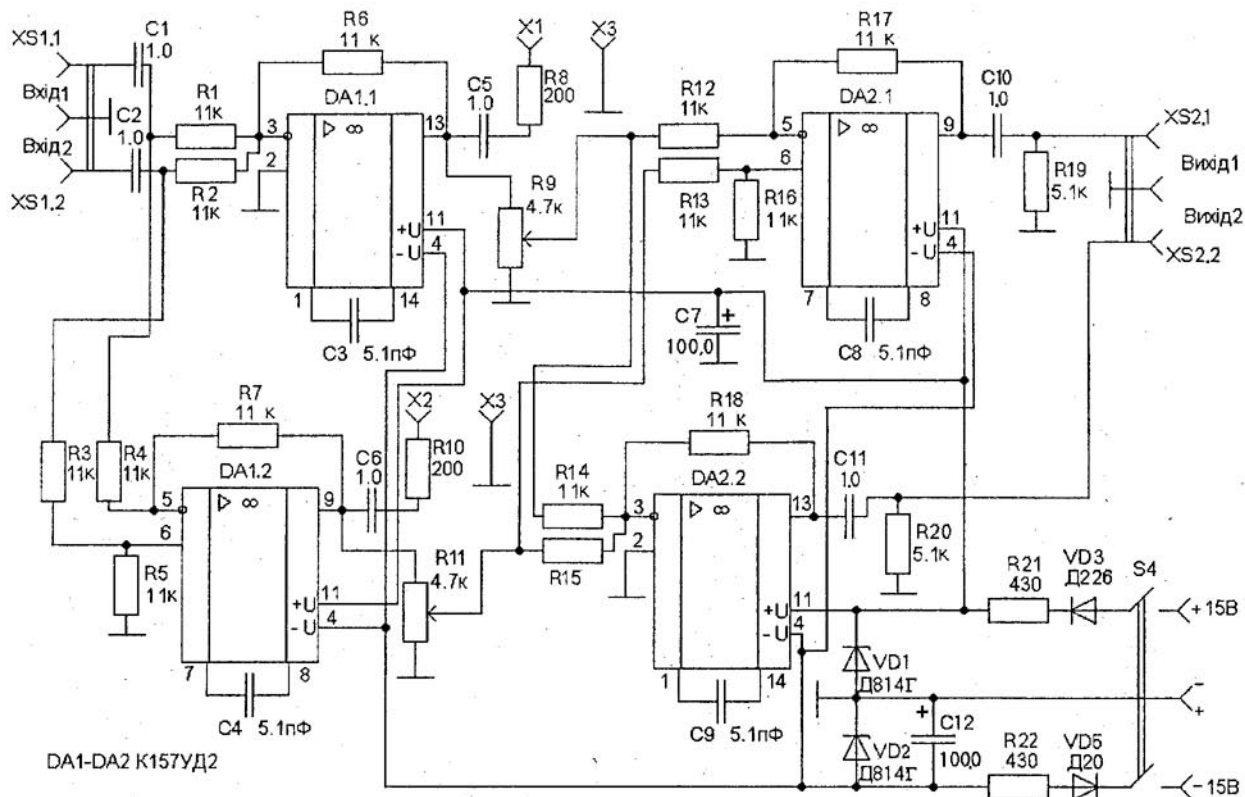


Рисунок 4.7 – Схема електрична принципова звукового процесора



## Література

1. Радиовещание и электроакустика/Под ред. М.В. Гитлица - М.: Радио и связь, 1989. - 432с.
2. Справочник по радиовещанию/Под ред. А.В. Выходца - К.: Техника, 1981. - 264 с.
3. Алексенко А.Г. и др. Применение прецизионных аналогових микросхем. - М.: Радио и связь, 1985. - 256с.
4. Шкритек П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике: Пер. с нем. - М.: Мир, 1991. - 446с.

### 5 Лабораторна робота № 3

“Дослідження передавальної частини радіомовного тракту АМ діапазону”

Мета роботи - ознайомитись зі схемотехнікою та принципом роботи передавального тракту АМ діапазону, вивчити методики експериментального зняття основних параметрів і характеристик даного тракту, а також навчитись їх знімати.

#### Стислі теоретичні відомості

Структурна схема передавальної частини радіомовного тракту показана на рис. 5.1. До входу передавача підключається джерело сигналу. Через компресор сигнал подається на регулятор рівня модуляції (РРМ), з нього на підсилювач низької частоти (ПНЧ). З ПНЧ сигнал подається на амплітудний модулятор, який модулює автогенератор (АГ). Далі сигнал підсилюється підсилювачем потужності (ПП) і випромінюється у простір антеною. У даному макеті кінцевого підсилювача немає, і звичайно автогенератори не модулюють, оскільки при будь-якому впливі їхня частота змінюється. В такому автогенераторі виявляється неможливим одержання глибокої модуляції із задовільною лінійністю, можливий зрив генерації при зменшенні напруги або струму транзистора нижче певної межі.

Компресори призначені для стискання динамічного діапазону сигналу. Для керування динамічним діапазоном сигналу компресор принципово повинен мати в своєму складі нелінійні елементи, наприклад діоди, біполярні або польові транзистори.

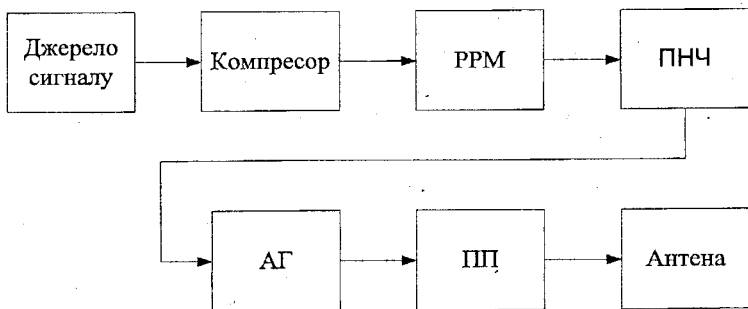


Рисунок 5.1 – Структурна схема передавальної частини радіомовного тракту АМ діапазону

Амплітудна характеристика компресора показана на рис.5.2.

Поріг спрацювання компресора – це точка перегину амплітудної характеристики, тобто залежності напруги вихідного сигналу від напруги вхідного сигналу в усталеному режимі.

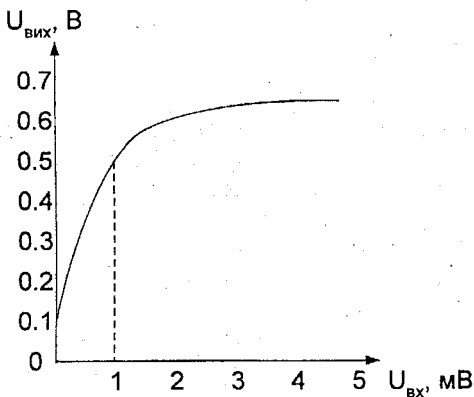


Рисунок 5.2 – Амплітудна характеристика компресора

Ступінь компресії – це параметр, який показує на скільки децибел потрібно в усталеному режимі збільшити рівень вхідного сигналу для зміни рівня вихідного сигналу на 1дБ.

Стискання динамічного діапазону і обмеження спектра передаваного сигналу значно підвищує розбірливість повідомлень на фоні завад, збільшує коефіцієнт корисної дії передавача.

## Опис лабораторної установки і схеми макета

Структурна схема лабораторної установки наведена на рис. 5.3.

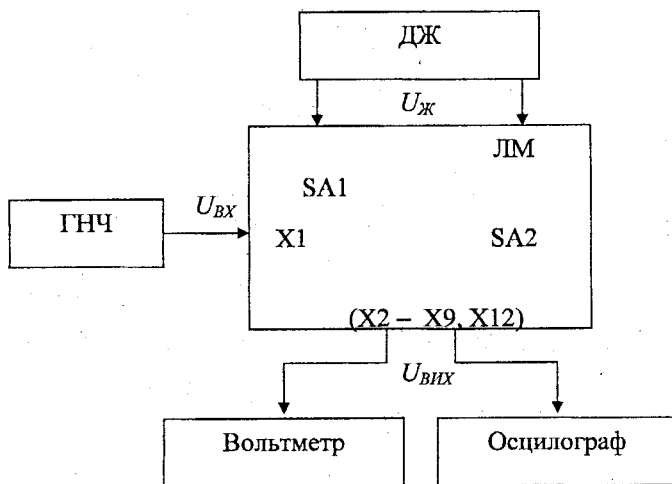


Рисунок 5.3 – Структурна схема лабораторної установки  
ЛМ – лабораторний макет; ДЖ – джерело живлення; ГНЧ – генератор низької частоти;  $U_{ВХ}$  – вхідна напруга;  $U_{Ж}$  – напруга живлення;  $U_{ВИХ}$  – напруга генерування або напруга низької частоти

Схема електрична принципова передавальної частини досліджуваного АМ тракту наведена на рис 5.4. Передавач містить два компресори на мікросхемах DA1 і DA2, які можна вмикати по черзі, або пропускати сигнал без них – за допомогою перемикача SA1.

Компресор на DA1 виконаний на спеціалізованій мікросхемі фірми Philips, ввімкненій за типовою схемою.

Компресор на DA2 працює таким чином. На неінвертувальний вхід подається напруга з ГНЧ, а на інвертувальний вхід – сигнал керованого атенюатора. Останній утворений резисторами R5, R6 і опором каналу польового транзистора VT3. На резисторах R8, R9 виконане коло негативного зворотного зв'язку із стоку на затвор польового транзистора, завдяки якому значно зменшуються нелінійні спотворення сигналу, обумовлені нелінійністю атенюатора.

При збільшенні рівня сигналу вихідна напруга випрямляча на діодах VD1, VD2 падає. Одночасно збільшується опір каналу польового

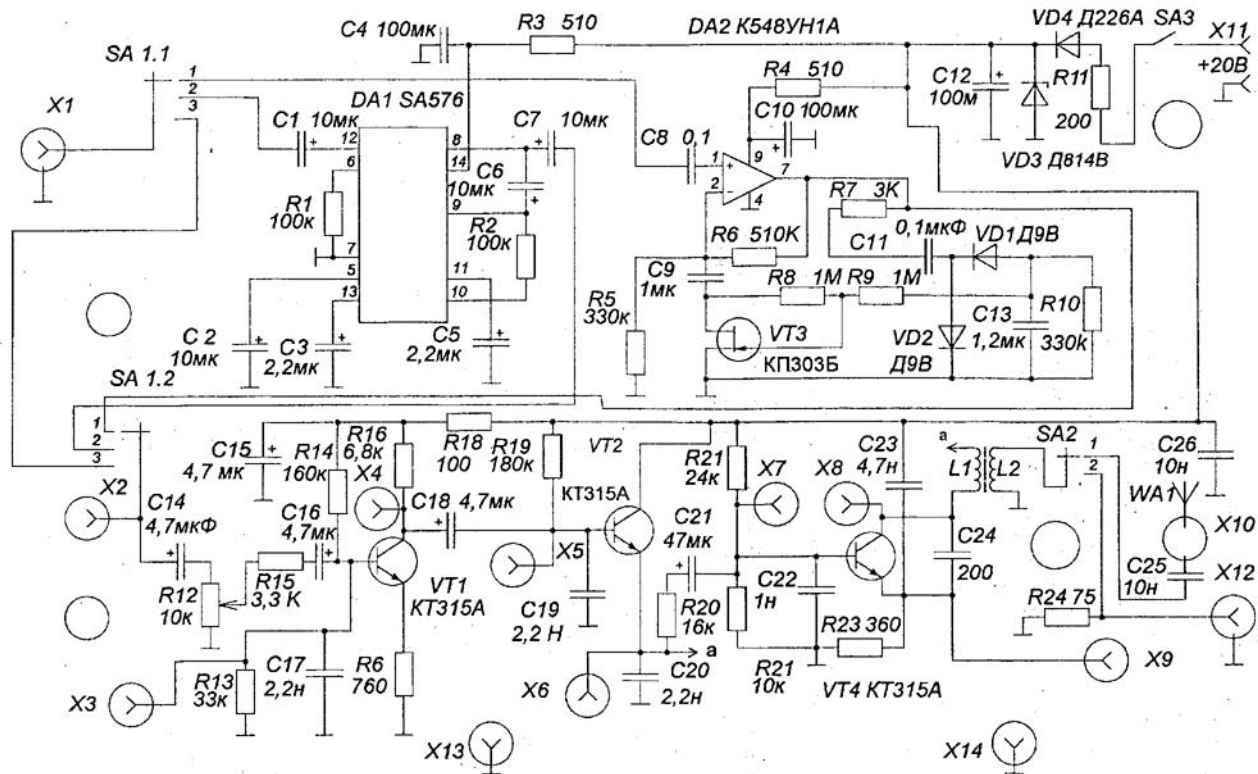


Рисунок 5.4 – Схема передавальної частини радіомовного тракту АМ діапазону

транзистора, що призводить до зменшення коефіцієнта передачі підсилювача (він визначається відношенням опору резистора R6 до паралельно ввімкнених опорів резистора R5 і каналу транзистора VT3).

Резистором R12 здійснюється регулювання глибини модуляції. До складу передавача також входить ПНЧ на транзисторі VT1, модулятор на транзисторі VT2 та модульований ВЧ - генератор на транзисторі VT4. За допомогою перемикача SA2 можна вихідний сигнал подавати або на антену, або в еквівалент навантаження.

Модуляція ВЧ - генератора на транзисторі VT4 комбінована. Вона здійснюється шляхом зміни напруги зміщення на базі транзистора і напруги на колектор.

### Домашнє завдання

1. Проробити лекційний матеріал за даною темою.
2. Ознайомитись зі схемою лабораторного макета і установки.
3. Вивчити методику експериментального визначення основних показників передавальної частини радіомовного тракту.

### Вимірювальна і досліджувана апаратура

1. Лабораторний макет.
2. Осцилограф С1-83.
3. Генератор ГЗ-118.
4. Вольтметр ВЗ-39.
5. Джерело постійної напруги ТЕС-88.
6. Частотомір ЧЗ-54.

### Програма експериментальних досліджень

1. Скласти схему лабораторної установки, перевірити, чи працює макет ( чи є вихідний ВЧ сигнал, проходження НЧ сигналу через компресори).

1. Зняти статичну модуляційну характеристику – залежність напруги генерування  $U_T$  від напруги живлення  $U_{Ж}$ .

2. Визначити частоту генерації і вплив на цю частоту напруги живлення.

3. Зняти карту напруг за постійним струмом (напруга живлення  $U_{Ж}=20$  В).

5. Визначити амплітудну характеристику – залежність вихідної напруги  $U_{X2}$  від  $U_{BX}(F=1 \text{ кГц})$ :

- компресора на DA1 (перемикач SA1 в положенні 1);
- компресора на DA2 (перемикач SA1 в положенні 2).

6. Зняти амплітудно-частотні характеристики ( $F=50 \text{ Гц} - 10 \text{ кГц}$ ,  $U_{BX}=10 \text{ мВ}$ ):

- компресора на DA1(перемикач SA1 в положенні 1);
- компресора на DA2(перемикач SA1 в положенні 2).

7. Зняти амплітудно-частотну характеристику модулятора –  $K = U_{X6} / U_{X2}$ .

8. Визначити АЧХ модуляції без компресії – характеристику  $M=f(F)$  при  $U_{ex} = const$ , або  $U_{ex} = f(F)$  при  $M = const$ . У другому випадку – контролювати коефіцієнт модуляції  $M$  за максимальною і мінімальною амплітудами високочастотного коливання (максимум і мінімум обвідної вихідного АМ сигналу).

### Контрольні запитання

1. Сформулюйте вимоги до передавального тракту АМ сигналу (частоти, частотних і нелінійних спотворень і т. ін.).

2. Яке призначення компресора динамічного діапазону в передавачі?

3. Поясніть як працює компресор на дискретних елементах?

4. За якими способами здійснюється амплітудна модуляція в радіомовних передавачах?

5. Назвіть основні фактори, які погіршують частотну стабільність автогенератора.

6. Чому важливо обмежувати верхню частоту модуляції?

### Література

1. Радиопередающие устройства /Под ред. В. В. Шахильдяна. – М.: Радио и связь, 1990 - 432с.

2. Радиовещание и электроакустика/Под ред. М.В. Гитлица - М.: Радио и связь, 1989. - 432с.

3. Кононов С.П., Бардаченко В.Ф. Основы радиомовлення. Навч. посібник. - Вінниця: ВДГУ, 2003. - 69с.

## 6 Лабораторна робота № 4

### “Дослідження основних параметрів і характеристик стереокодера системи з пілот-тоном”

Мета роботи – ознайомитись з особливостями роботи стереокодера, передавача; експериментально дослідити та зняти їх основні параметри

#### Стислі теоретичні відомості

Основною ознакою, яка відрізняє стереопередавач від звичайного монопередавача, є наявність стереокодера. Він формує комплексний стереосигнал (КСС), який надходить на частотний модулятор передавача.

Спектр КСС (рис.6.1) складається з тональної і надтональної складових.

З сигналів лівого і правого каналів створюється сумарний сигнал Л+П і різницевий сигнал Л-П. Різницевим сигналом Л-П балансно модулюється піднесуча 38 кГц, утворюється надтональна частина спектра в смузі від 23 до 53 кГц. Сигнал Л+П в смузі 30Гц —15 кГц розташовується в тональній частині спектра. Для точного відновлення піднесучої в приймачі, яка необхідна для нормального детектування, в КСС заміщується пілот-тон з частотою точно в 2 рази меншою частоти піднесучої - 19 кГц. В приймачі з пілот-тону, шляхом подвоєння частоти, отримується частота піднесучої.



Рисунок 6.1 - Спектр КСС (Л, П - сигнали лівого і правого каналів)

Стереокодер виконується на основі балансного модулятора - помножувача сигналів (ПС) зі смуговим фільтром (СФ) на виході (рис. 6. 2).

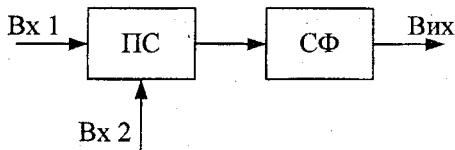


Рисунок 6.2 - Структурна схема балансного модулятора

Для одержання КСС за допомогою балансного модулятора використовують таку структурну схему (рис.6.3).

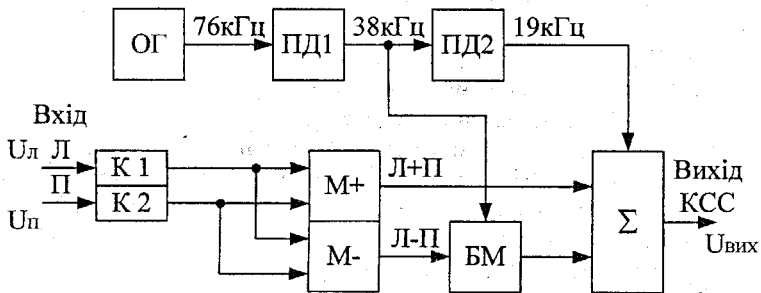


Рисунок 6.3 - Одержання КСС за допомогою балансного модулятора

К1, К2 – кола корекції; ОГ – опорний генератор; ПД – подільник частоти; М – сумарно-різницева матриця; БМ – балансний модулятор; Σ – суматор

Сигнали лівого і правого каналів через кола частотної корекції подаються на сумарно-різницеву матрицю. Різниця Л-П подається на модулятор БМ, на який ще подається сигнал з напругою піднесучої. Сигнали в БМ перемножуються і результуючий сигнал подається на суматор Σ. На суматор також подається сигнал Л+П та пілот-тон з подільника ПД2. Після додавання цих сигналів на виході суматора отримуємо сигнал КСС:

$$U_{\text{вих}}(t) = k_{K1} k_M k_{\Sigma} (U_L + U_{\Pi}) + k_{K2} k_M k_{\text{БМ}} k_{\Sigma} (U_L - U_{\Pi}) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{П}} \cdot t) + k_{\text{ПТ}} \cos(2 \cdot \pi \cdot f_{\text{ПТ}} \cdot t),$$



де:  $k_{K1}$ ,  $k_{K2}$  – коефіцієнти передачі кіл корекції;  $k_M$  – коефіцієнт передачі сумарно-різницевої матриці;  $k_{БМ}$  – коефіцієнт передачі балансного модулятора;  $k_{\Sigma}$  – коефіцієнт передачі суматора;  $k_{ПТ} = 0,05 \dots 0,1$ .

### Опис лабораторного макета

Стереокодер з передавачем призначений для передачі стереосигналу на відстань до 10м, його робоча частота знаходиться в межах діапазону УКХ2 (87,5...108 МГц), вихідна потужність 0.3 мВт, номінальний вхідний сигнал - 250мВ. Напряга живлення складає 9 В. Кодер формує КСС за допомогою з пілот-тоном.

Схема макета приведена на рис. 6.4.

Схема складається з задавального генератора на двох ключах мікросхеми DD1 типу K561КТ3, подільника частоти імпульсів на мікросхемі DD2 типу K561ТМ2, балансного модулятора на третьому та четвертому ключах мікросхеми DD1, і ЧМ УКХ генератора на транзисторі VT1 типу КТ315. Задавальний генератор формує імпульси з частотою 76 кГц, що встановлюється резистором R1. На виводах 1,2 мікросхеми DD2 подільника частоти формуються протифазні імпульси з частотою 38 кГц, а на виході 13 – імпульси пілот-тона з частотою 19 кГц. Останні через резистор R12 додаються до вихідної напруги балансного модулятора. КСС, що виділився на резисторі R11, модулює за частотою УКХ генератор на транзисторі VT1. Інтегральний стабілізатор DA1 типу K142ЕН5 призначений для підтримання номінального значення напруги живлення. Резистор R11 призначений для частотної корекції НЧ сигналу. Вимикач S1 дозволяє відмикати домішування пілот-тону. Перемикач S2 в положенні 1 подає напругу живлення на УКХ-генератор і дозволяє реєструвати височастотний сигнал на виході X11, а в положенні 2 дозволяє на виході X11 спостерігати КСС, в цьому положенні УКХ-генератор не працює.

### Домашнє завдання

1. Проробити лекційний матеріал з даної теми. З'ясувати основні принципи передачі стереосигналів, формування КСС, ЧМ радіосигналу.
2. Вивчити схемотехніку і принципи роботи стереокодерів системи з пілот-тоном.
3. Ознайомитись зі схемою лабораторного макета, розібратися із призначенням радіоелементів.
4. Вивчити методику експериментального визначення основних параметрів стереокодера.

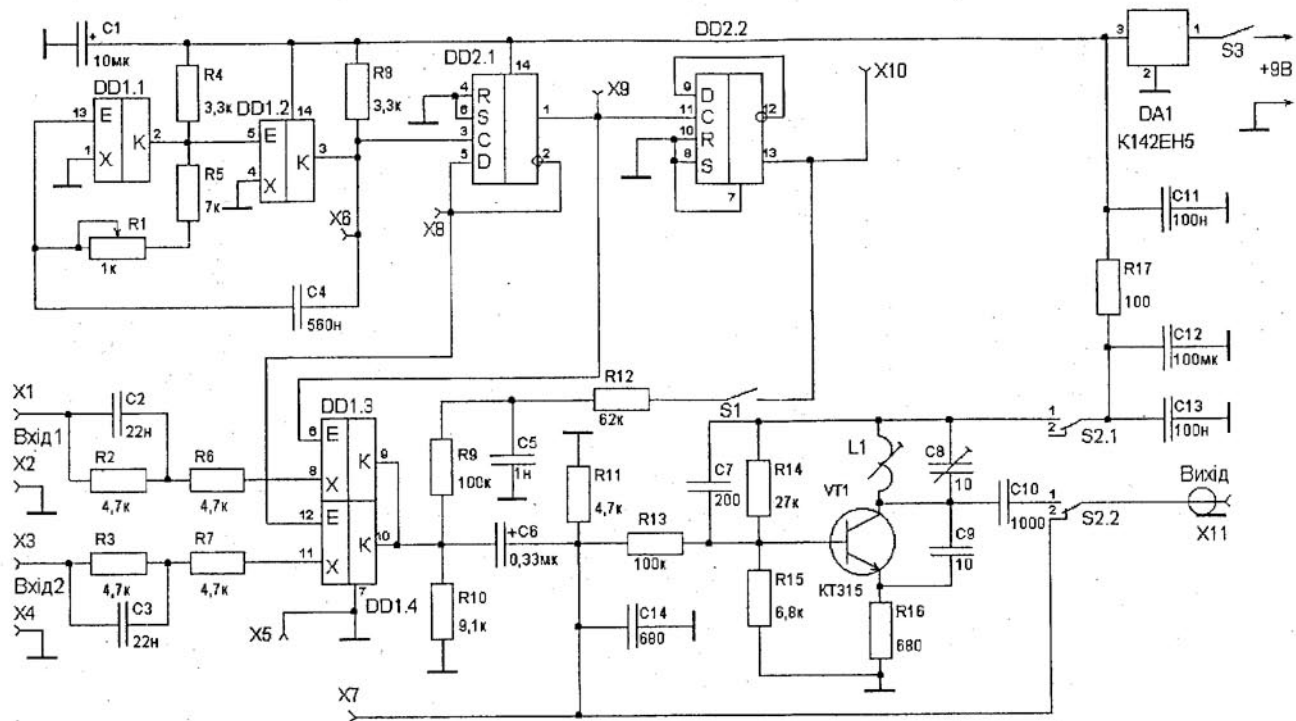


Рисунок 6.4 – Електрична схема макета

### Схема лабораторної установки

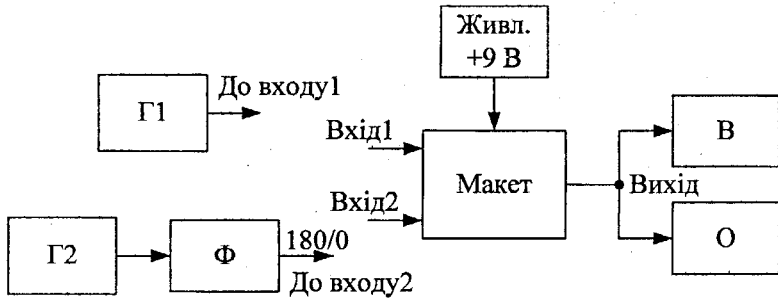


Рисунок 6.5 - Схема лабораторної установки

Г – генератор НЧ, Ф – фазоінвертор, В – вольтметр, О – осцилограф

### Вимірювальна і досліджувана апаратура

1. Лабораторне джерело живлення ТЕС-88.
2. Генератор сигналів низькочастотний ГЗ-118.
3. Генератор ВЧ Г4-116.
4. Мілівольтметр ВЗ-38.
5. Осцилограф СІ-83.
6. Магнітофон "Маяк 232".
7. Радіомовний стереоприймач.

### Програма експериментальних досліджень

1. Скласти схему лабораторної установки (рис. 6.5), під'єднати живлення до макета.
2. Визначити межі зміни частоти опорного генератора, встановити номінальну частоту. Зарисувати форму вихідної напруги (контрольна точка Х6), визначити її амплітуду.
3. Зарисувати форму сигналів в контрольних точках Х8 - Х10, визначити їх частоту і амплітуду.
4. За допомогою осцилографа спостерігати КСС в контрольній точці Х7 або на виході макета, зарисувати сигнали для різних варіантів подачі вхідних сигналів, визначити спектр КСС.
5. При відсутності вхідних сигналів зарисувати форму напруги пілотону в контрольній точці Х7, визначити її амплітуду. Розімкнувши тумблер S1 перевірити, чи не проходять на вихід макета паразитні залишки напруг комутації ключів.

6. Зняти та дослідити амплітудну характеристику формувача КСС  $U_{X7}=f(U_{BX})$ .

7. Зняти та дослідити АЧХ формувача КСС  $U_{X7}=f(F)$ .

8. Визначити частоту, на якій працює УКХ-автогенератор стереопередавача.

9. Подати на вхід макета музикальний стереосигнал, який прослухати за допомогою радіомовного приймача, оцінити суб'єктивно його якість.

### Короткі методичні вказівки

1. До початку досліджень необхідно встановити номінальні умови:

- макет підключити до джерела живлення з напругою 9В;

- на вхід1 та вхід2 (рис.6.4) подати сигнали напругою 250мВ і частотою 500Гц та 1000Гц, відповідно.

2. Дослідження максимального і мінімального значення частоти  $f_{ог}$  опорного генератора здійснюється шляхом зміни опору резистора R1, номінальна частота опорного генератора 76 кГц.

3. Під час виконання п.4 програми експериментальних досліджень на входи макета подавати сигнали згідно з табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Варіант	Вхід 1	Вхід 2
1	500Гц	-
2	-	1000Гц
3	500Гц	1000Гц
4	1000Гц(0°)	1000Гц(0°)
5	1000Гц(0°)	1000Гц(180°)

Примітка. Усі сигнали напругою 250 мВ, тумблер S1 у розімкненому стані.

4. При виконанні п. 6 частоту вхідного сигналу встановити за варіантом 4 (табл. 6.1), напругу змінювати в межах від 0 до 1500 мВ, тумблер S1 у розімкненому стані.

5. При визначенні АЧХ за п. 7 частоту вхідного сигналу змінювати від 20 Гц до 200 кГц. Вхідний сигнал за 4 варіантом (табл.6.1) з рівнем напруги на 20 дБ меншим номінального. Тумблер S1 у розімкненому стані.

6. Частоту автогенератора за п. 8 знайти по шкалі генератора ВЧ, настроєного на центральну частоту стереопередавача.

### Контрольні запитання

1. Поясніть принцип дії стереопередавача.

2. З яких вузлів складається стереопередавач?
3. Поясніть як працює стереопередавач, що використовується в даній лабораторній роботі, яке призначення елементів схеми макета?
4. Назвіть всі можливі фактори, що впливають на якість передачі стереосигналу в ефір.
5. З чого складається спектр КСС?
6. Чому, на ваш погляд, частота пілот-тону в 2 рази менша за частоту піднесучої?
7. Які методи передачі стереосигналу в радіомовленні ви ще знаєте?

### Література

1. Радиовещание и электроакустика/Под ред. М.В. Гитлица - М.: Радио и связь, 1989.-432с.
2. Радиовещание и электроакустика/Под ред. Ю.А. Ковалгина – М.: Радио и связь, 2000.-792с.
3. Годинар Карол. Стерефоническое радиовещание - М.: Энергия, 1974.-192с.
4. Огорельцев С. Сверхмаломощный стереопередатчик// Радио.-1995- №4.-С.20.
5. <http://upx.narod.ru/fmcode/fmcode.htm>

### 7 Лабораторна робота №5

#### “Вимірювання рівня звуку за допомогою шумоміра ІШВ – 1”

Мета роботи: ознайомитись з побудовою шумоміра ІШВ-1, порядком роботи з ним; вивчити методику експериментального визначення рівня звуку; визначити частотні характеристики шумоміра, рівень акустичного фону; дослідити акустичні залежності в умовах реального приміщення.

#### Стислі теоретичні відомості

Звуком називають механічні коливання в твердих, рідких і газоподібних середовищах, частоти яких знаходяться в діапазоні 20-20000 Гц. Частоти нижче 20 Гц називаються інфразвуковими, а вище 20000 Гц – ультразвуковими. В звукотехніці розглядається поширення звукових хвиль в повітрі.

Простір, в якому відбувається поширення звукових хвиль, називається звуковим полем. Звукові хвилі мають поздовжній характер, тобто сили, що створюють пружні деформації в середовищі, нормальні до

фронту хвилі. Зміни стану середовища під дією звукових хвиль характеризуються звуковим тиском і коливальною швидкістю частинок середовища. Різниця між миттєвим значенням тиску середовища і середнім тиском у відсутності звуку називається звуковим тиском. Вимірюється звуковий тиск в паскалях (Па). Один паскаль в приблизно у  $10^5$  разів менший нормального атмосферного тиску. Коливальна швидкість руху частинок середовища при поширенні звукової хвилі величина векторна. За позитивний напрям вектора приймається напрям, який збігається з напрямом поширення звукової хвилі. Вимірюється коливальна швидкість в метрах за секунду (м/с). Звуковий тиск і коливальна швидкість однозначно пов'язані. В полі плоскої хвилі цей зв'язок має вигляд:

$P_{3B} = \rho V_{3B} V_K$ , де  $\rho$  - густина середовища,  $V_K$  - коливальна швидкість,  $V_{3B}$  - швидкість поширення звуку в ній (при нормальному тиску і температурі  $20^\circ\text{C}$   $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$ ,  $V_{3B} = 340 \text{ м/с}$ ).

В полі сферичної хвилі  $P_{3B} = \rho V_{3B}(r+ix)V_K$ , де  $r$  і  $x$  - безрозмірні коефіцієнти, залежні від відстані ( $R$ ) між точкою спостереження і джерелом сферичних хвиль, а також від частоти звуку:

$$r = \frac{(kR)^2}{1 + (kR)^2}; \quad x = \frac{kR}{1 + (kR)^2},$$

$k = 2\pi/\lambda$  - хвильове число.

Зсув фаз між звуковим тиском і коливальною швидкістю в полі сферичної хвилі

$$\text{tg}\varphi = \frac{x}{r} = \frac{1}{2\pi R} \lambda.$$

В полі сферичної хвилі амплітудні значення звукового тиску і коливальної швидкості пов'язані співвідношенням:

$$P_m = \sqrt{r^2 + x^2} V_{Km} \rho V_{3B} = \rho V_{3B} V_{Km} \cos\varphi,$$

Енергія звукової хвилі характеризується інтенсивністю ( $W_I$ ) і густиною ( $\epsilon$ ). Інтенсивність або сила звуку є середня кількість звукової енергії, що проходить за одиницю часу через одиничну площу, розташовану нормально до напрямку поширення звукової хвилі. Тобто це потужність, що переноситься звуковою хвилею через одиничну площу. Густина звукової енергії - це середня в часі енергія, що міститься в одиниці об'єму середовища. Інтенсивність звуку і густина звукової енергії визначаються через тиск і коливальну швидкість таким чином:

$$W_I = \frac{1}{2} V_{Km} P_m \cos \varphi = \frac{P_{3B0}^2}{\rho V_{3B}}; \quad \varepsilon = \frac{W_I}{V_{3B}} = \frac{P_{3B0}^2}{\rho V_{3B}^2}.$$

Інтенсивність звуку вимірюється у ватах на квадратний метр ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), а густина – в джоулях на кубічний метр ( $\text{Дж}/\text{м}^3$ ).

Звуковий тиск, густину звукової енергії і силу звуку зручно визначати в рівнях (одиниця вимірювання – децибел):

$$L_p = 20 \lg \frac{P_{3B}}{P_0}; \quad L_w = 10 \lg \frac{W_I}{W_{I0}}; \quad L_\varepsilon = 10 \lg \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0},$$

де  $P_0$ ,  $W_{I0}$ ,  $\varepsilon_0$  – порогові значення відповідно тиску, сили звуку та густини звукової енергії, рівень яких приймається за нульовий:  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па,  $W_{I0} = 10^{-12}$   $\text{Вт}/\text{м}^2$ ,  $\varepsilon_0 = 3 \cdot 10^{-15}$   $\text{Дж}/\text{м}^3$ .

Оскільки в одній і тій же точці поля  $L_p = L_w = L_\varepsilon$ , то індекси звичайно не пишуть, а коли йдеться про рівні тиску, інтенсивності або густини скорочено говорять - рівень звуку.

### Принцип роботи і будова шумоміра

Вимірювач шуму та вібрації ИШВ – 1, далі шумомір, побудований за принципом перетворення звукових та механічних коливань досліджуваних об'єктів в пропорційні їм електричні сигнали, які потім підсилюються та вимірюються за допомогою приладу вимірювального ПИ – 6 (рис. 7.1).

Електричні сигнали з капсуля мікрофона 1 надходять на попередній підсилювач 3, який призначений для узгодження капсуля з приладом ПИ-6. Прилад складається з двох підсилювачів (11, 12). Підсилювачі складені за схемою з динамічним навантаженням у колах колектора транзисторів. На вході приладу є подільник напруги 8. Він розрахований на послаблення сигналу від 30 до 90 дБ з кроком ділення 10 дБ. З виходу першого підсилювача 11 сигнал надходить на блок фільтрів 13, в якому розташовані фільтри А, В, С та октавні фільтри. Подільник 14 ділить напругу в межах 40 дБ з кроком 10 дБ. Вихід підсилювача 12 підключений до середньоквадратичного детектора 9, який навантажений на стрілковий індикатор 7. Коефіцієнт підсилення пристрою плавно регулюється в межах 15 дБ. Для обмеження частотного діапазону приладу ПИ-6 на частотах вище 12,5 кГц служить фільтр з частотою зрізу приблизно 12 кГц. РС-фільтри типу А, В, С формують частотні характеристики, близькі до характеристик чутливості вуха людини при рівнях гучності 40, 70, 90 фон, відповідно (рис. 7.2).

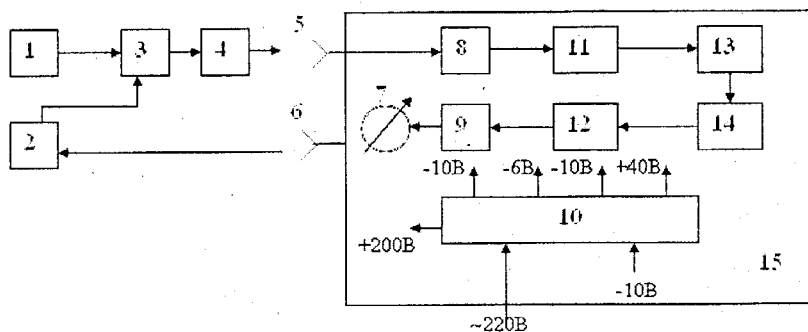


Рисунок 7.1 – Структурна схема шумоміра ИШВ – 1.

- 1 – капсуль мікрофона конденсаторного М-101,
- 2 – еквівалент капсуля,
- 3 – попередній підсилювач мікрофонний ПМ-4,
- 4 – штекер,
- 5 – роз'єм ВХОД,
- 6 – роз'єм КАЛИБР,
- 7 – стрілковий індикатор,
- 8 – подільник напруги,
- 9 – середньоквадратичний детектор,
- 10 – блок живлення,
- 11,12 – підсилювачі,
- 13 – блок фільтрів,
- 14 – подільник напруги,
- 15 – прилад вимірювальний ПИ-6

Як перетворювач звукових коливань в електричні сигнали використовується капсуль мікрофонний ємнісний М-101, а механічних коливань - перетворювачі п'єзоелектричні вібровимірювальні Д13 і Д14. Електричні сигнали, що знімаються з перетворювачів, пропорційні віброприскоренню об'єкта. Для перетворення електричних сигналів перетворювача Д13 в сигнали, пропорційні віброшвидкості, передбачений інтегратор.

Електричний сигнал, пропорційний віброшвидкості, віброприскоренню чи звуковому тиску, в залежності від роду вимірювань, підсилюється приладом вимірювальним ПИ – 6 до величини, необхідної для нормальної роботи середньоквадратичного детектора і потім надходить на стрілковий індикатор, який проградуєований в децибелах (рівні діючих значень віброприскорення, віброшвидкості або звукового тиску).



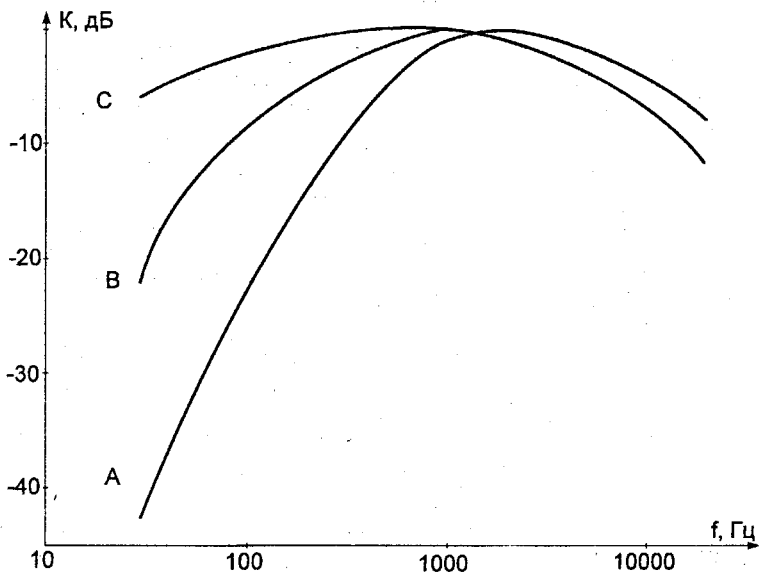


Рисунок 7.2 – АЧХ фільтрів типу А, В, С

Результат визначається додаванням положень подільників та показу стрілкового індикатора.

Вимірювання рівнів звукового тиску віброшвидкості, віброприскорення в октавних смугах частот здійснюється за допомогою вбудованих в прилад вимірювальних октавних фільтрів. Октавні фільтри на центральних частотах мають коефіцієнт передачі близький до одиниці і вмикаються у вимірювальний тракт при положенні перемикача РОД ИЗМЕРЕНИЙ – ФИЛЬТРЫ.

Для підтримання постійним коефіцієнта підсилення тракту в апаратурі передбачене електричне калібрування приладу ПИ-6.

#### Домашнє завдання

1. Проробити лекційний матеріал з даної теми.
2. Ознайомитися зі схемою лабораторної установки, конструкцією та принципом дії шумоміра.
3. Вивчити порядок роботи з шумоміром, як виміряти ним рівень звукового тиску?

4. Розібратися, за якими методиками визначаються запропоновані в програмі експериментальних досліджень основні акустичні та електричні характеристики.

### Вимірювальна і досліджувана апаратура

1. Шумомір ИШВ-1.
2. Підсилювач “Радіотехніка У-101-1-СТЕРЕО”.
3. Акустична система “ОРБИТА 35 АС-016”.
4. Генератор НЧ ГЗ-118.
5. Вольтметр ВЗ-38.
6. Осцилограф С1-83.
7. Додатковий опір 120 Ом.

### Програма експериментальних досліджень

1. Підготувати прилад до проведення вимірювань. Для цього необхідно:

а) встановити стрілку приладу вимірювального на крайню ліву риску шкали за допомогою механічного коректора;

б) провести контроль живлення; для цього ввімкнути прилад до мережі 220В і встановити перемикач РОД РАБОТЫ у положення КОНТР ПИТАНИЯ; при цьому сигнальна лампа повинна мигати, а стрілка приладу знаходитися у секторі БАТАРЕЯ; після 5 хв самопрогріву прилад готовий до роботи;

в) провести електричне калібрування приладу вимірювального; електричне калібрування проводиться з використанням еквівалента капсуля за схемою (рис. 7.3).

Попередній підсилювач 3 з'єднати з еквівалентом капсуля 2. Вставити штекер 4 в роз'єм ВХОД, а еквівалент капсуля – у роз'єм КАЛИБР на передній панелі приладу вимірювального 15.

Органи керування на передній панелі приладу вимірювального встановити у такі положення:

ДЕЛИТЕЛЬ I-40;

ДЕЛИТЕЛЬ II-40;

РОД ИЗМЕРЕНИЯ – ЛИН;

РОД РАБОТЫ – БЫСТРО;

Тумблер ЗВУК / ВИБРАЦИЯ – ЗВУК.

Змінним резистором, що виведений на передню панель під шпіль з написом ЗВУК, встановити стрілку індикатора приладу з оцифрованою рисою “7” на його шкалі.

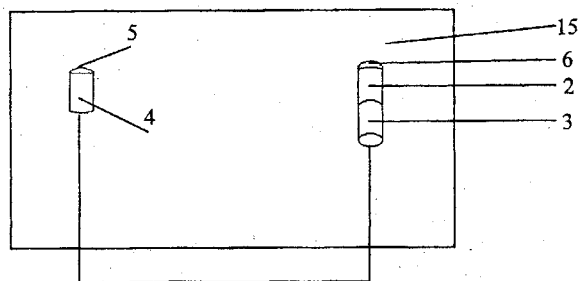


Рисунок 7.3 – Схема електричного калібрування приладу вимірювального.

- 2 – еквівалент капсуля,
- 3 – попередній підсилювач мікрофонний ПМ-4,
- 4 – штекер,
- 5 – роз'єм ВХОД,
- 6 – роз'єм КАЛИБР,
- 15 – прилад вимірювальний ПИ-6

2. Зняти амплітудно частотні характеристики приладу з еквівалентом капсуля.

Вимірювання провести для режиму ЛИН фільтрів А, В, С, а також одного октавного фільтра (вказує викладач). Скласти установку (рис. 7.4). На вхід шумоміра подати сигнал з генератора низької частоти. Змінюючи частоту генератора зняти показання стрілкового індикатора. Побудувати графіки.

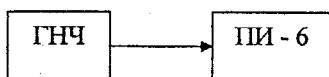


Рисунок 7.4 – Схема установки для дослідження АЧХ приладу

2. Виміряти рівень акустичного фону.

Вимірювання рівня акустичного фону (рис. 7.5) проводиться за характеристиками А, В, С і в октавних смугах частот переведенням перемикача РОД ИЗМЕРЕНИЙ та ЧАСТОТА у відповідні положення.

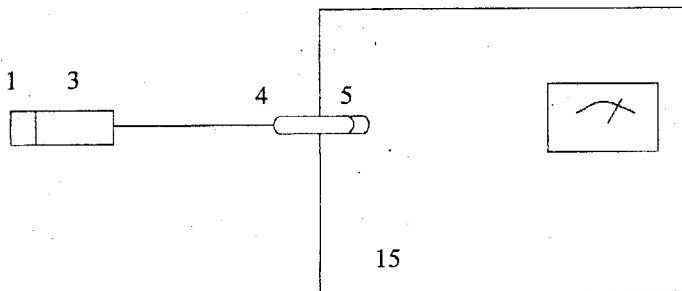


Рисунок 7.5 – Схема для вимірювання рівня акустичного фону.

- 1 – капсуль мікрофона конденсаторного М – 101,
- 3 – попередній підсилювач мікрофонний ПМ-4,
- 4 – штекер,
- 5 – роз'єм ВХОД,
- 15 – прилад вимірювальний ПИ-6

Встановити РОД РАБОТЫ в положення ОТКЛ. Капсуль з'єднати з попереднім підсилювачем 2.

Встановити перемикачі на передній панелі приладу вимірювального в такі положення:

ДЕЛИТЕЛЬ I – 90;

ДЕЛИТЕЛЬ II – 40;

РОД ИЗМЕРЕНИЙ – ЛИН;

РОД РАБОТЫ – МЕДІЕННО (в положенні БЫСТРО вимірювання провести один раз і впевнитись, що середні значення відліків збігаються);

Тумблер ЗВУК / ВИБРАЦИЯ – ЗВУК.

Якщо при вимірюваннях стрілка приладу знаходиться в лівій частині шкали, вона виводиться в праву частину зміною положення перемикачів ДЕЛИТЕЛЬ I, а потім ДЕЛИТЕЛЬ II.

Відлік за приладом вимірювальним проводиться додаванням середніх значень показів перемикачів ДЕЛИТЕЛЬ I, ДЕЛИТЕЛЬ II і стрілкового індикатора.

4. Дослідити різні джерела звуку.

4.1. Дослідити рівні звукового тиску акустичної системи.

Скласти установку (рис. 7.6), до якої входять генератор ГНЧ, підсилювач П, акустична система АС та шумомір.

Зняти залежність рівня звукового тиску від електричної напруги та потужності сигналу, що підводиться до акустичної системи. Параметри

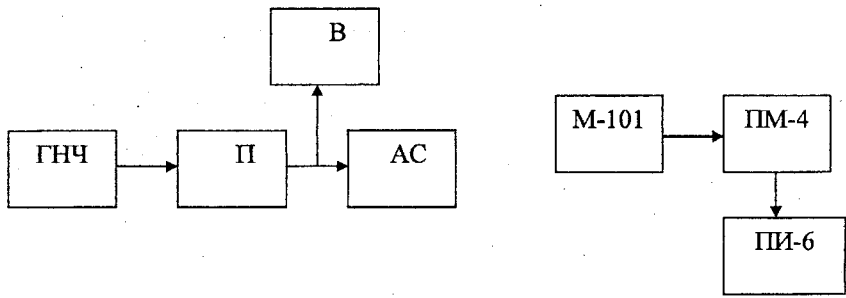


Рисунок 7.6 – Схема вимірювання рівня звукового тиску акустичної системи

сигналу і відстань між акустичною системою і мікрофоном узгодити з викладачем.

4.2. Дослідити залежність рівня звукового тиску від відстані мікрофона до акустичної системи. Початкова умова згідно з п.4.1.

4.3. Дослідити рівні звукового тиску від джерела спотвореного сигналу. Скласти установку (рис. 7.7).

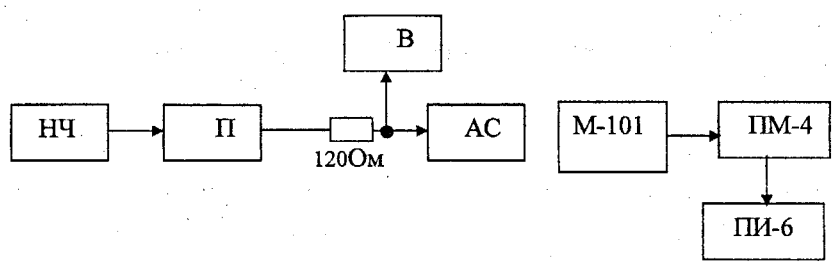


Рисунок 7.7 – Схема для вимірювання рівня звукового тиску при спотворені сигналу

Встановити на виході підсилювача спотворений сигнал. Зняти залежність рівня для двох значень спотвореного звукового тиску сигналу, що підводиться до акустичної системи. Вимірювання провести для фільтрів А, В, С і октавних фільтрів.

За даними пунктів 4.1. - 4.3. побудувати відповідні графіки.

### Контрольні запитання

1. Яке призначення має шумомір ИШВ-1, з яких основних вузлів він складається?

2. Поясніть принцип роботи шумоміра ИШВ-1.
3. Для чого до складу ПИ-6 введені фільтри А,В,С і октавні фільтри?
4. Поясніть призначення еквівалента капсуля мікрофона, для чого проводиться калібрування приладу?
5. Як зняти АЧХ фільтрів, що входять до складу шумоміра?
6. Як провести вимірювання рівня акустичного фону?
7. Поясніть методику вимірювання рівня звукового тиску акустичної системи.

#### Література

1. Измеритель шума ИШВ-1. Паспорт.
2. Радиовещание и электроакустика/ Под ред. М.В. Гитлица. – М.: Радио и связь, 1989. – 342с.
3. Акустика/Под ред. Сапожникова – М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.
4. Кононов С.П. Основи звукотехніки. Навчальний посібник. – Вінниця, ВДТУ, 2001. – 70с.

## Зміст

1 Загальні положення.....	3
2 Оформлення звіту.....	4
3 Лабораторна робота №1 “Визначення основних параметрів пристрою формування стереосигналів”.....	5
4 Лабораторна робота №2 “Визначення основних параметрів звукового процесора”.....	16
5 Лабораторна робота №3 “Дослідження передавальної частини радіомовного тракту АМ діапазону”.....	24
6 Лабораторна робота №4 “Дослідження основних параметрів і характеристик стереокодера системи з пілот-тоном”.....	30
7 Лабораторна робота №5 “Вимірювання рівня звуку за допомогою шумоміра ИШВ-1”.....	36

Навчальне видання

Сергій Павлович Кононов

## Основи радіомовлення

Лабораторний практикум

Оригінал-макет підготовлено автором

Редактор В.О.Дружиніна

Коректор З.В.Поліщук

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

Підписано до друку 8.11.05р. Гарнітура Times New Roman

Формат 29,7x42  $\frac{1}{4}$

Папір офсетний

Друк різнографічний

Ум. друк. арк. 2.48

Наклад 75 прим.

Зам. № 2005-184

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