

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інформаційних технологій та електроніки

(повне найменування факультету)

Кафедра _____ електронних апаратів _____

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня _____ бакалавр _____

(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(шифр і назва напрямку підготовки)

на тему

«РОЗРОБКА МІКРОФОННОГО ПІДСИЛЮВАЧА ДЛЯ ЕЛЕКТРЕТНОГО МІКРОФОНУ»

Виконав: студент групи РЕА-
20бд _____

В.О. Пасічник

Керівник _____

Ж.Г. Самойлова

Завідувач кафедри _____

Ю.Е. Паеранд

Рецензент _____

І.С. Тюндер

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення інформаційних технологій та електроніки

Кафедра, циклова комісія Електронних апаратів

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕА

_____ Ю.Е.Паеранд

“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ
Пасічнику Владиславу Олеговичу

1. Тема проекту: **Розробка мікрофонного підсилювача для електретного мікрофону**
2. Керівник проекту: Самойлова Жанна Георгіївна, доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від р. № _____
3. Строк подання студентом проекту 31 травня 2024 р.
4. Вихідні дані до проекту:
 - 4.1. Виріб ЕА- мікрофонний підсилювач для електретного мікрофону
 - 4.2. Схема електрична принципова.
 - 4.3. Температура навколишнього повітря від +15 до +50°C; відносна вологість повітря 75% при температурі 30 °С, атмосферний тиск від 84 до 107 кПа.
 - 4.4. Напруга живлення – 30±0,25 В, струм – не більше 5,0 А.; тип виробництва – дрібносерійне багатонаменклатурне
5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - 5.1. Вступ.
 - 5.2. Аналітичний огляд аналогів проєктованого пристрою
 - 5.3. Конструкторсько-технологічний аналіз технічного завдання.
 - 5.3 Створення конструкції пристрою.
 - 5.4. Моделювання електричних параметрів операційного підсилювача
 - 5.5. Загальні висновки по роботі

7. Дата видачі завдання 10 лютого 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проектування	Строк виконання етапів	Примітка
1	Вивчення літератури з теми проекту	15.02.24 – 28.02.24	
2	Формування напрямів і задач дослідження	01.03.24 – 15.03.24	
3	Визначення методів і принципів проведення дослідження	16.03.24 - 30.03.24	
4	Дослідження та модулювання об'єктів або процесів	01.04.24 – 19.04.24	
5	Аналіз та узагальнення отриманих результатів	20.04.24 – 04.05.24	
6	Формування розділів роботи	05.05.24 – 15.05.24	
7	Оформлення пояснювальної записки та презентації	16.05.23 – 31.05.23	

Студент _____

Пасічнику В. О.

Керівник проекту _____ Самойлова Ж.Г.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить:

78 сторінок , 37 рисунків, 9 таблиць, 12 джерел, мова - українська.

МІКРОФОННИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, ЕЛЕКТРЕТНИЙ МІКРОФОН,
ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТ, РЕЗИСТОР, КОНДЕНСАТОР, МІКРОСХЕМА,
ДРУКОВАНИЙ ПРОВІДНИК, МОНТАЖНИЙ ОТВІР, КОНТАКТНА
ПЛОЩАДКА, КОНСТРУКЦІЯ, ТРАСУВАННЯ, ОПЕРАЦІЙНИЙ
ПІДСИЛЮВАЧ

Об'єкт розробки – дослідження процесу розробки мікрофонного підсилювача для електретного мікрофону, топологічне проектування параметрів мікрофонного підсилювача для електретного мікрофону.

Мета роботи - дослідити процес розробки мікрофонного підсилювача для електретного мікрофону, спроектувати топологію плати мікрофонного підсилювача для електретного мікрофону на основі схеми електричної принципової відповідно до вимог технічного завдання та розрахувати показники безвідмовності.

Метод дослідження - теоретичний із застосуванням комп'ютерної техніки.

У дипломній роботі досліджені процеси розробки мікрофонного підсилювача для електретного мікрофону, розраховані показники безвідмовності та спроектована топологія плати мікрофонного підсилювача для електретного мікрофону на основі схеми електричної принципової. Проведені конструктивні розрахунки, розрахунки по постійному та змінному струму. Проаналізовані та узагальнені отримані результати. При моделюванні електричних параметрів використовувалась програма **ELECTRONICS WORKBENCH 5_12**.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АНАЛОГІВ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ.....	9
1.1 Призначення та сфера застосування.....	9
1.2. Аналітичний огляд аналогів проектного пристрою.....	10
1.2.1. Підключення електретного мікрофона до фантомного живлення.....	11
1.2.2. Схема високоякісного мікрофонного попереднього підсилювача на операційному підсилювачі (ОП).....	12
1.2.3. Мікрофонний підсилювач на одному біполярному транзисторі.....	14
1.2.4. Підсилювач для електретного мікрофона з автоматичним регулюванням посилення (АРП).....	16
2.АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	19
2.1. Аналіз схеми електричної принципової.....	19
2.2. Вибір елементної бази.....	20
3.РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ.....	37
3.1. Вибір конструкції друкованої плати.....	37
3.2. Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу.....	38
3.3 Визначення мінімальної ширини друкованих провідників.....	39
3.4 Визначення діаметрів контактних майданчиків.....	42
3.5. Розрахунок надійності.....	46
4. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОФОННОГО ПІДСИЛЮВАЧА ЕЛЕКТРЕТНОГО МІКРОФОНА	50

4.1. Операційні підсилювачі. Основні характеристики.....	50
4.2. Підсилювач, що інвертує.....	52
4.3.Інвертуючий суматор (підсилювач, що підсумовує).....	54
4.4. Не інвертуючий підсилювач.....	55
4.5. Суматор, що не інвертує.....	56
4.6. Диференціюючий пристрій.....	57
4.7. Інтегруючий пристрій (інтегратор).....	57
4.8. Імпульсні підсилювачі.....	58
4.9. Вибір підсилювачів.....	60
4.10. Вибір базового операційного підсилювача.....	62
4.11. Розробка вимірювальної схеми підсилювача, що інвертує.....	64
4.12. Моделювання електричних параметрів операційного підсилювача в схемі проекту за допомогою програми Electronic Workbench.....	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	74
Додаток А.....	75
Додаток В	77

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ПП - підсилювач потужності;

ЕМ -електретний мікрофон;

ЕРЕ - електрорадіоелемент;

ТЗ - технічне завдання;

ТУ - технічні умови;

НЕ - начіпний елемент;

ДП - друкована плата;

ІС - інтегральна схема;

РЕА - радіоелектронна апаратура;

УГП - умовне графічне позначення;

ДДП - двостороння друковна плата;

ОП – операційний підсилювач;

АРП - автоматичне регулювання посилення;

НЗЗ – негативний зворотній зв'язок.

ВСТУП

Електретні мікрофони широко застосовуються в сучасній побутовій та спеціальній апаратурі. Вони відрізняються компактними розмірами та високою якістю передачі звукового сигналу. Основним недоліком конструкції є дуже слабкий вихідний сигнал і обов'язкова подача на капсуль поляризуючої напруги. Попередній підсилювач мікрофона може бути зроблений на будь-якій елементній базі. У саморобних конструкціях застосовуються як транзистори, і інтегральні мікросхеми. Схеми пристроїв відрізняються кількістю каскадів, наявністю автоматичного регулювання посилення та іншими технічними рішеннями.

Підсилювач для мікрофона – пристрій, що встановлюється в систему між мікрофоном, який підключається до нього на вході, і підсилювачем або мікшером, до яких підсилювач підключається на виході.

У даній дипломній роботі розробляється мікрофонний підсилювач для електретного мікрофону. В ході виконання роботи було зроблено аналіз вихідних даних на предмет оптимального вибору електричної принципової схеми та типу електронних компонентів, що входять до складу пристрою, розрахунок ланцюгів підсилювача та параметрів його компонентів.

Оптимізація вибору складових компонентів полягає в тому, що при проектуванні підсилювача слід використовувати такі елементи, щоб їх параметри забезпечували максимальну ефективність пристрою за заданими характеристиками, а також його економічність з точки зору витрати енергії живлення та собівартості компонентів, що входять до нього.

У ході виконання дипломної роботи було запропоновано принципову електричну схему мікрофонного підсилювача для електретного мікрофону.

Актуальність, теоретична та практична значущість проблеми, що вивчається, зумовили вибір теми дипломної роботи.

1.АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АНАЛОГІВ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ

1.1 Призначення та сфера застосування

Часто виникає потреба записати на комп'ютер звук (або відео зі звуком). Всі комп'ютерні мікрофони (у тому числі і в гарнітурах та в WEB-камерах) мають низьку чутливість, навіть розмовляючи Skype і використовуючи вбудований в WEB-камеру мікрофон доводиться голосно розмовляти, сидячи за метр від камери. Тому для якісної роботи мікрофона треба використовувати спеціальний підсилювач.

Мікрофонний підсилювач підключається в систему між мікрофоном, який підключається до нього на вході, і підсилювачем або мікшером, до яких підсилювач підключається на виході. Він зазвичай використовується в аудіо- та відеообладнанні, такому як підсилювачі звуку, ресивери, програвачі компакт-дисків, телевізори тощо. потужності.

Необхідно було розробити мікрофонний підсилювач, що дозволяє зробити розбірливий запис тихої розмови на відстані двох метрів.

Мікрофонний підсилювач мікрофона використовується для посилення слабких сигналів, величиною 0,1-15 mV до рівня 200-400 mV. Схема підсилювача для мікрофона проста і включає один або два каскади посилення і, при необхідності, ланцюга корекції амплітудно-частотної характеристики мікро. Основними параметрами конструкцій є такі величини:

- Частотний діапазон;
- Коефіцієнт нелінійних спотворень;
- Відношення сигнал/шум;
- Коефіцієнт посилення.

Оскільки мікрофонний пристрій є першим каскадом, всі внутрішні шуми будуть посилюватися низькочастотним трактом. Тому в схемах мікрофонних

підсилювачів використовуються малошумливі транзистори та інтегральні операційні підсилювачі.

Технічні характеристики:

Напруга, В	2,5,
Струм короткого замикання, мА	від 0,5 до 1.
Вихідна потужність, Вт	150
Коефіцієнт гармонік, не більше %	0,2
Діапазон частот, Гц	20...20000
нерівномірність АЧХ, дБ	не більше $\pm 1,5$.
ККД, %	68
Номінальна вхідна напруга, В	1
Вхідний опір, кОм	10
Характеристика надійності	
Середній час напрацювання на відмову, год	5000
Умови експлуатації	
Температура довкілля, ° С	-10...+50
Відносна вологість повітря за температури +20 0 С, %	до 90

1.2. Аналітичний огляд аналогів проектованого пристрою

Чутливість нинішніх мікрофонів, чи це капсулі в гарнітурах або екземпляри, які вбудовані, за своїми параметрами далекі від ідеалу. Більш-менш прийнятних результатів можна досягти лише при розміщенні мікрофона безпосередньо біля

губ, що створює певні незручності. Підвищити параметри чутливості мікрофона до бажаного рівня можна кількома надійними та випробуваними методиками.

1.2.1. Підключення електретного мікрофона до фантомного живлення

Фантомне живлення має на увазі передачу сигналу та живлення по одним проводам, що є величезним плюсом, бо це позбавляє живлення сторонніми джерелами. Електретні мікрофони можна використовувати від різних пристроїв, починаючи від старих магнітофонів і закінчуючи непотрібними стільниковими телефонами. Схема з'єднання виводів штекера для фантомного живлення електретного мікрофона показана на рисунку 1. Підключаючи мікрофон необхідно дотримуватись полярності включення.

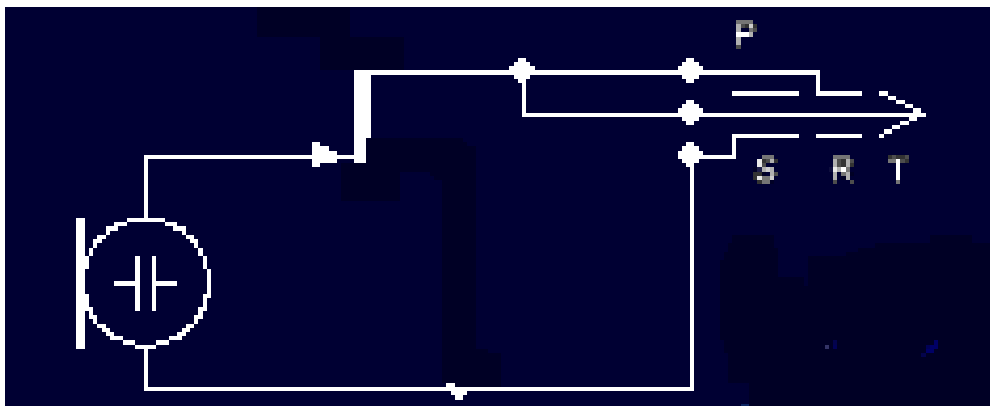


Рисунок 1. Схема фантомного живлення

Розглянемо схему ефективного підсилювача електретного мікрофона на одному транзисторі (рисунок 2) в якій використовується фантомне живлення.

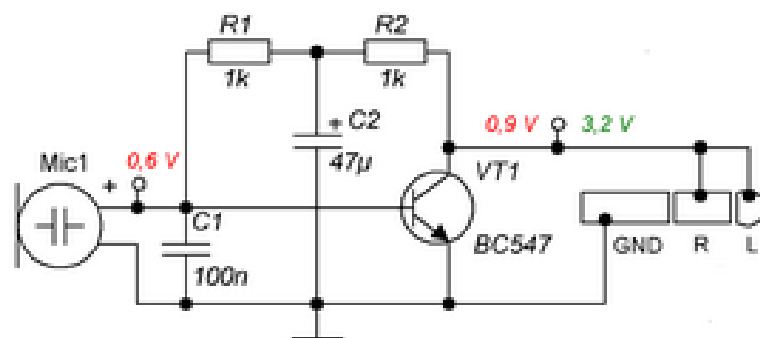


Рисунок 2. Схема ефективного підсилювача електретного мікрофона на одному транзисторі

Транзистор зворотної провідності можна використовувати, як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва. Підсилювач може працювати з кількома транзисторами КТ3102 та КТ315.

Запропонована схема відрізняється своєю простотою та прекрасною повторюваністю. У схемі всього два однакові резистори ($R_1, 2$), два конденсатори (C_1 і C_2), штекер 3,5 (J1), будь-який електретний мікрофон і транзистор. Конденсатор C_1 функціонує як фільтр мікрофона. Ємністю C_2 бажано не нехтувати, тобто номінал повинен відповідати значенню вказаному за схемою, інакше не уникнути безлічі перешкод.

1.2.2. Схема високоякісного мікрофонного попереднього підсилювача на операційному підсилювачі (ОП).

Запропонований мікрофонний підсилювач виконаний на операційному підсилювачі. При якісному складанні та ретельному підборі номіналів схеми, мікрофон може послужити у багатьох конструкціях як звукозаписний пристрій вищої якості.

Для цього мікрофонного підсилювача використовується мікросхема - поширений операційний підсилювач ВА4558 або аналог JRC4558.

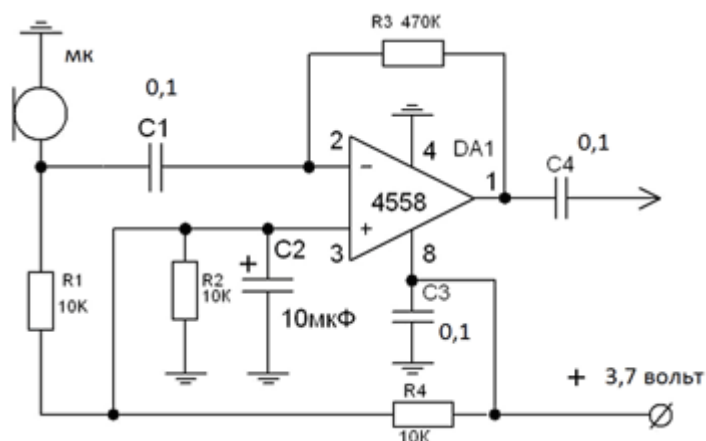


Рисунок 3. Схема мікрофонного підсилювача на операційному підсилювачі

C1 та C4 на схемі можуть мати ємність 0,1-0,22мкф. Даний мікрофонний підсилювач відмінно підходить для контролю звукової обстановки як у приміщеннях, так і на вулиці, а також може бути використаний у багатьох саморобних радіожучках, або в інших «шпигунських штучках». При використанні мініатюрного активного мікрофона гарантовано забезпечується якісний звук при застосуванні в області прихованого відеоспостереження та охорони.

Відмінна риса цієї конструкції - це висока чутливість і дуже низький рівень шумів. При підключенні пристрою до входу підсилювача низької частоти - виходить мікрофон із студійними характеристиками.

Технічні характеристики мікрофонного підсилювача на операційному підсилювачі:

- * Акустична дальність дії – до 7 метрів
- * Вихідна напруга – близько 0,25В
- * Максимальна довжина лінії – до 300 м
- * Живлення в межах - DC 3,5 ... 12V
- * Споживаний струм ~ 0,02А

Для того, щоб зберегти подібні характеристики, бажано не змінювати рекомендовані номінали деталей схеми, проте деяке відхилення ємностей вхідного

та вихідного конденсатора допускається. За наявності справних деталей пристрій збирається лише за 20-30 хвилин. Електретний мікрофон, можна застосувати практично будь-який (навіть від гарнітури мобільного телефону), але більш високу чутливість дають мікрофони від китайських побутових магнітофонів.

Для отримання найкращих результатів (щодо шумів і наведень) переважно живити підсилювач від батарейок, тим більше, що струм дуже малий. мікрофонів.

1.2.3. Мікрофонний підсилювач на одному біполярному транзисторі.

Невід'ємною частиною будь-якого трансівера, що працює телефоном, незалежно від модуляції, є мікрофон. Мікрофон це, як відомо пристрій, що перетворюють звукові або акустичні коливання в електричний струм. Рівень вихідної напруги мікрофона, як правило, є недостатнім для подальшої обробки, внаслідок чого необхідно застосовувати додатковий підсилювач.

Нижче представлена схема мікрофонного підсилювача на одному біполярному транзисторі. Підсилювач може працювати як з динамічним, так і з електретним мікрофоном. Схема практично випробувана і тривалий час експлуатувалася разом із трансіверами Радіо-76М2 та Аматор-160. Підсилювач, схема якого представлена на рисунку 4 має однополярне живлення, внаслідок чого його вихідна напруга обмежена половиною напруги живлення і в нашому випадку становить 6В.

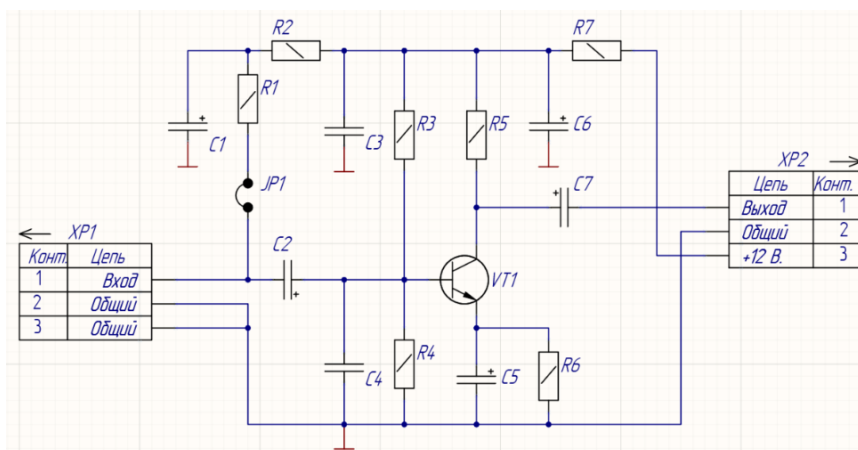


Рисунок 4. Мікрофонний підсилювач на одному транзисторі. Схема електрична принципова

Схема є класичним підсилювальним каскадом на біполярному транзисторі, включеному за схемою із загальним емітером. Резистори R3, R4 є дільником напруги, що задає робочу точку транзистора. Навантаженням транзистора є резистор R5. Елементи R7, C3, C6 є RC-фільтром живлення підсилювального каскаду, а R1, R2 та C1 – RC-фільтром електретного мікрофона. У разі застосування останнього необхідно, щоб перемичка JP1 була встановлена. Якщо спільно з підсилювачем застосовується динамічний мікрофон, ланцюг живлення мікрофона повинен бути розірваний шляхом вимкнення перемички JP1. Коефіцієнт посилення схеми дорівнює 10. Його можна регулювати, у невеликих межах, регулюючи глибину зворотного зв'язку емітерним резистором R6.

Підсилювач зібраний на двосторонній друкованій платі фольгованого склотекстоліту FR-4, тривимірний образ якої представлений на рисунку 5.

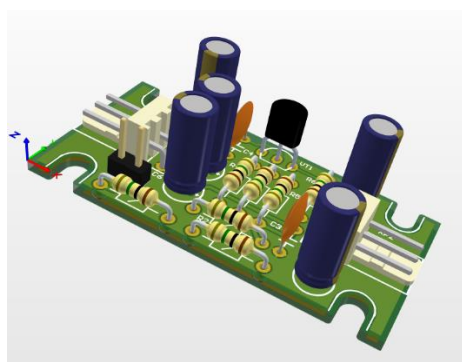


Рисунок 5. Тривимірний образ друкарського вузла мікрофонного підсилювача

Друкована плата дуже компактна та має розміри 50 на 25 мм. Кріпильні отвори дозволяють закріпити плату гвинтами М3.

1.2.4. Підсилювач для електретного мікрофона з автоматичним регулюванням посилення (АРП)

При вивченні схеми підключення електретних мікрофонів викликає глибоке здивування їх одноманітністю. Точка з'єднання мікрофона і резистора навантаження підключається до власне підсилювача через розділовий конденсатор (рисунок 6).

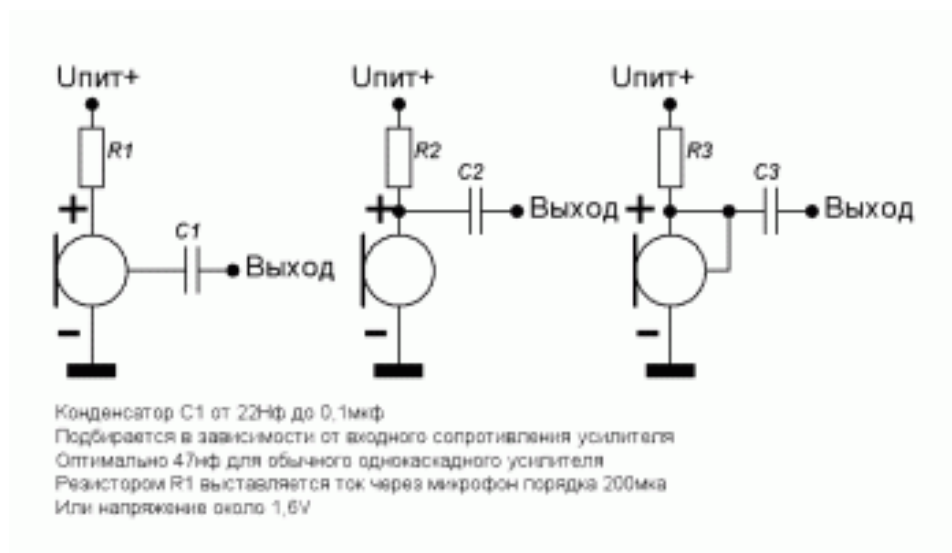


Рисунок 6. Основна схема включення підсилювача

Будь-який конденсатор на шляху звукового сигналу є небажаним компонентом. Особливо це стосується електролітичних конденсаторів, які мимоволі застосовують у разі досить низького вхідного опору підсилювального каскаду.

Дослідження режимів роботи електретних мікрофонів показало, що, по-перше, вони є джерелами струму і, по-друге, максимальна амплітуда їх вихідного

сигналу спостерігається, коли падіння напруги на мікрофоні і резисторі навантажень однакові.

Розглянемо одну із відомих схем мікрофонного підсилювача із системою АРП, виконаного на ОП (рисунок 7).

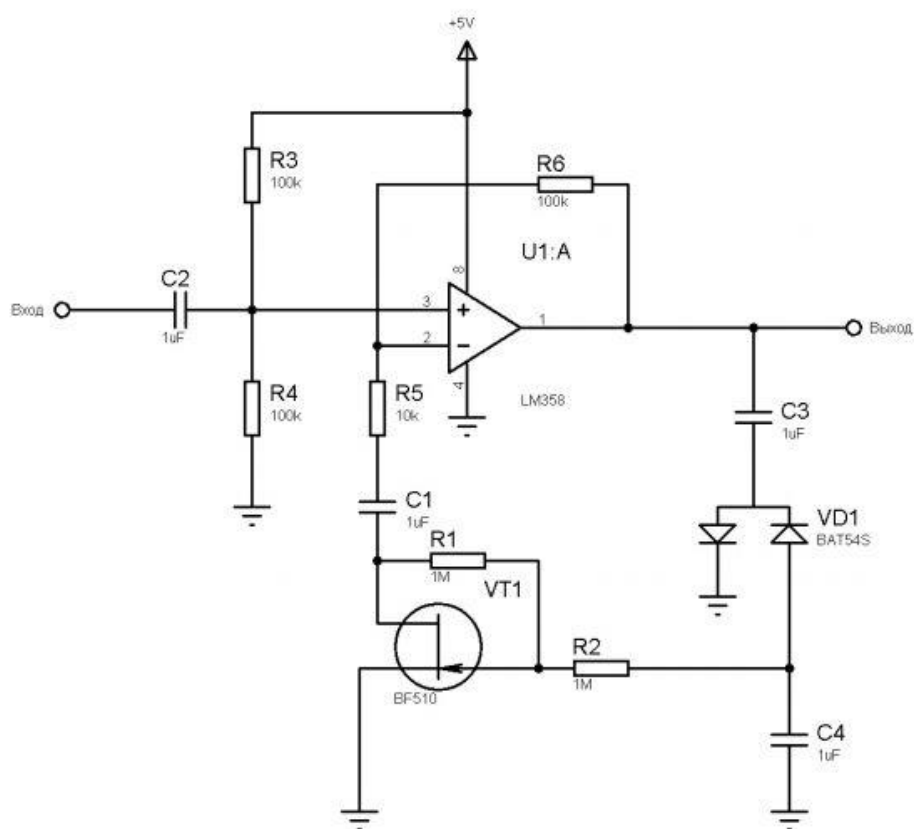


Рисунок 7. Схема мікрофонного підсилювача із системою АРП, виконаного на ОП

Схема складається з власне неінвертованого підсилювача на ОП DA1, на неінвертуючий вхід якого надходить штучна середня точка з дільника R3R4, а також вхідний сигнал через конденсатор роздільний C2; керований дільник сигналу негативного зворотнього зв'язку (НЗЗ) (резистор R5, конденсатор C1 та опір каналу польового транзистора з P-N переходом VT1); детектора вихідного посиленого сигналу (конденсатори C3, C4 та діоди VD1, VD2). Продетектований вихідний сигнал негативної полярності управляє провідністю каналу VT1, збільшуючи його, з допомогою чого знижується коефіцієнт посилення ОП.

Враховуючи наявність постійної складової ділянки, утвореного електретним мікрофоном та його резистором навантаження, можна зробити висновок, що компоненти C2R3R4 - зовсім зайві. Роль R4 чудово виконує сам мікрофон, а R3 - його резистор навантаження. Конденсатор же C2 взагалі зайвий.

У результаті вийшла схема, наведена на рисунку 8.

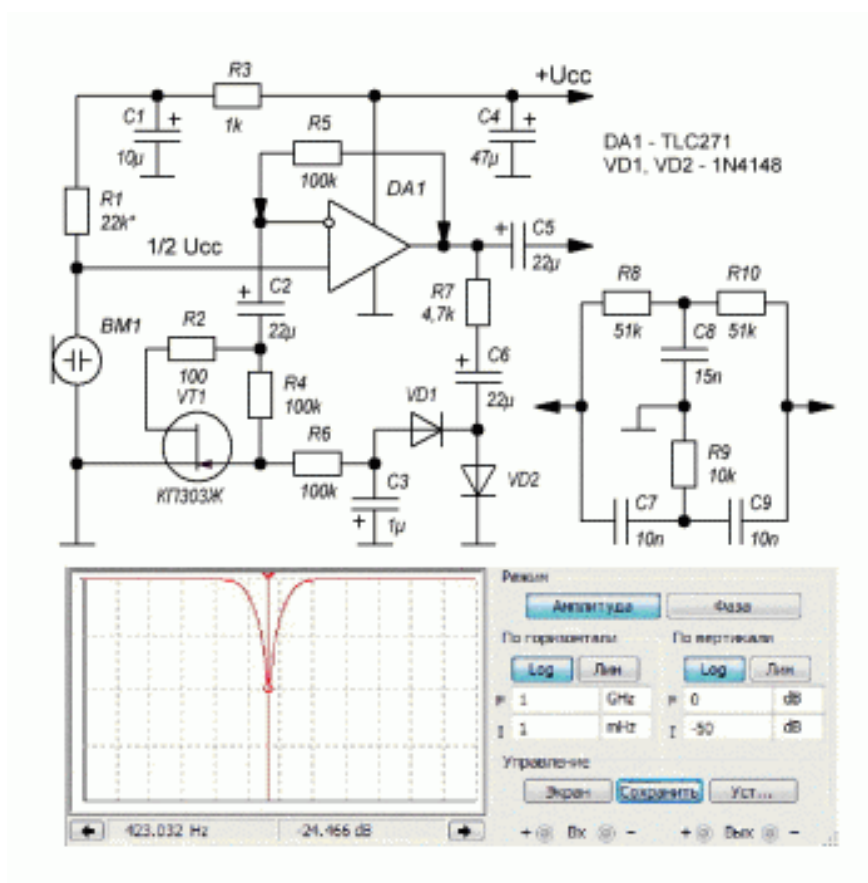


Рисунок 8. Перетворена схема мікрофонного підсилювача із системою АРЧ, виконаного на ОП

RC-фільтр R3C1 забезпечує додаткову фільтрацію напруги живлення електретного мікрофона. У принципі він опціональний (необов'язковий), але взагалі-то, досить корисний. Номінал резистора R1 підбирається такої величини, щоб у точці його з'єднання з мікрофоном була приблизно половина напруги живлення. Резистори R4R6 лінеаризують передавальну функцію керованого резистора на польовому транзисторі VT1.

Замість резистора R5 у ланцюзі НЗЗ може бути включений подвійний Т-подібний фільтр (праворуч), що піднімає смугу частот, що відповідає діапазону голосу.

2.АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1. Аналіз схеми електричної принципової

Мікрофонний підсилювач для електретного мікрофона, як і передпідсилювач для мікрофона, з успіхом може бути використан в апаратах для слабчуючих, а також у ролі мікрофонного підсилювача у спільній роботі з підсилювачем звукової частоти на TDA2030.

Опис роботи мікрофонного підсилювача

Цей мікрофонний підсилювач відрізняється від інших мікрофонних підсилювачів тим, що споживає мало струму. Загальне споживання дорівнює 0,7мА і вся схема вимагає 0,33мА, а електретний мікрофон порядку 0,37мА. Такий результат отримується внаслідок використання інтегральної мікросхеми, яка може функціонувати в режимі мікроструму. Резистор R7 здійснює обмеження струму споживання.

Голосовий сигнал з електретного мікрофона пройшовши крізь ділянку напруги, побудованого на опорах R2, R3 і польовому транзисторі VT1, подається на вхід 2 операційного підсилювача DD1.

Транзистор VT2 відіграє роль активного детектора, а транзистор VT1 застосований як опір, величина якого змінюється напругою, що додається до нього.

Режим автоматичного регулювання посилення мікрофона (АРП) починає роботу зі збільшенням звукового сигналу понад 200 мВ на виході операційного підсилювача (ОП). При цьому перевищенні конденсатор С5 заряджається напругою, що надходить з колектора VT1.

Заряд конденсатора $C5$ здійснює керування транзистором $VT1$. Збільшення заряду на конденсаторі призводить до зменшення опору стік-витік польового транзистора $VT1$, а це призводить до зменшення входної напруги на ОП. Якщо входний сигнал збільшиться, припустимо, на 50 дБ (це майже в 1000 разів), то на виході він збільшиться лише на 20%.

Регулювання підсилювача електретного мікрофона зводиться лише до встановлення опором резистора $R9$ робочої точки $VT2$ таким чином, щоб вузол автоматичного регулювання вмикався при необхідному перевищенні рівня вихідного сигналу. Ємністю конденсатора $C5$ і опором резистора $R10$ визначається ступінь інертності автоматичного регулятора посилення. При рівні посилення близько 3 дБ частота посиленого сигналу лежить у межах 300...6300 Гц

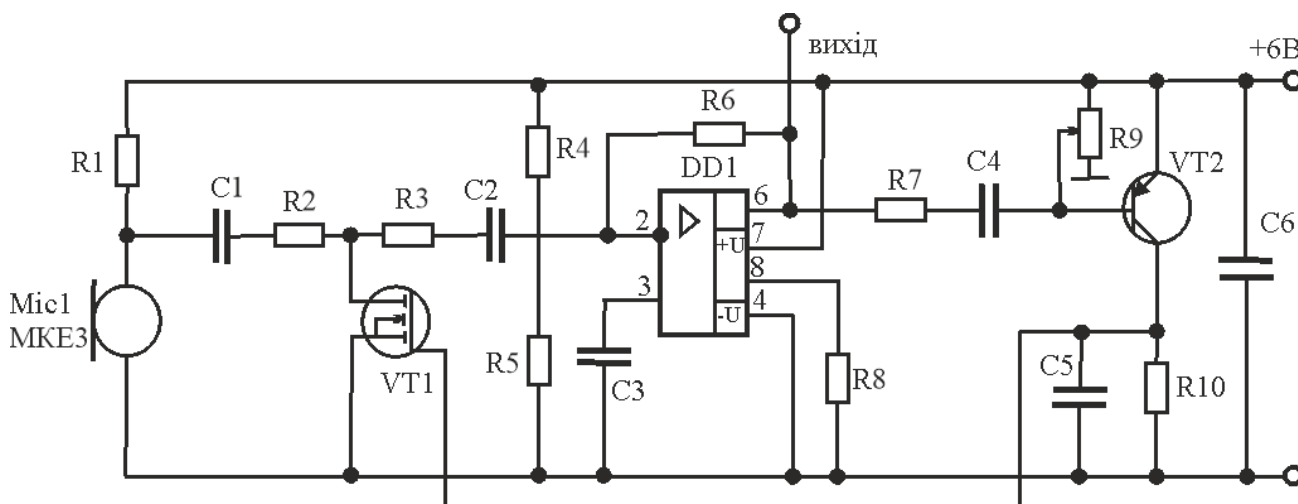


Рисунок 9. Електрична принципова схема розроблюваного пристрою

2.1. Вибір елементної бази

Мікросхема операційний підсилювач КР140УД1208

Мікросхеми є мікропотужні багатфункціональні операційні підсилювачі з регульованим споживанням струму, з внутрішньою частотною корекцією та

захистом виходу від короткого замикання . Корпус КР1407Д1208 типу 2101.8-1.
Найменування КР1407Д1208 DIP8.

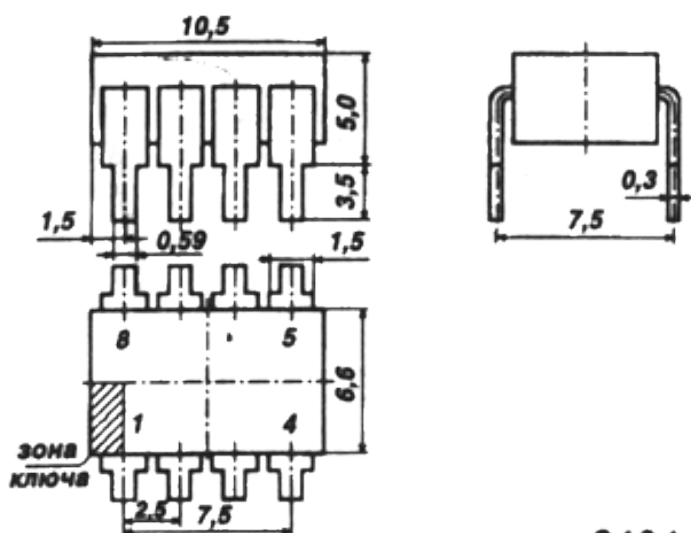
Мікросхема

Функціональна група	Інтегральна
Функціональний тип	операційний підсилювач
Типорозмір корпусу	вітчизняний 2101
Тип приймання	"1"
Метод монтажу.....	tht
Робоче положення	будь-яка
Фактичне маркування	УД1208
Колір виробу	чорний
Габарит Н	10x8x8
Довжина, mm	8
Висота корпусу, mm.....	3
Кількість виводів або контактів	8
Довжина виводів, mm	5
Маса виробу, г.	0,43
Транслітерація	KR140UD1208
Інтервал робочих температур	від -10 до +70°C
Вихідна напруга	Не менше ± 2 V
Вхідний струм	не більше 5 nA
Споживаний струм	не більше 190 mA

Операційний підсилювач КР1407Д1208 - інтегральна напівпровідникова мікросхема є мікропотужним операційним підсилювачем з регульованим споживанням потужності і призначений для побудови активних фільтрів, інтеграторів та інших типів вирішальних підсилювачів

Призначення виводів КР1407Д1208:

- 1,5 – балансування;
- 2 - інвертуючий вхід;
- 3 - вхід неінвертуючий;
- 4 – напруга живлення – $U_{п}$;
- 6 – вихід;
- 7 - напруга живлення + $U_{п}$;
- 8 - струм, що задає;



2101.8-1

Рисунок 10. Операційний підсилювач КР140УД1208

Транзистор КР501А

Транзистори КР501А кремнієві епітаксійно-планарні польові з ізольованим затвором, збагаченням n-каналу.

Призначені для використання як елемент комутації електричних ланцюгів в апаратурі засобів зв'язку, телефонних апаратах та іншій радіоелектронній апаратурі, що виготовляється для народного господарства.

Транзистори випускаються у пластмасовому корпусі з гнучкими висновками.

Тип приладу вказується на корпусі.

Маса транзистора трохи більше 0,3 р.

Тип корпусу КТ-26 (ТО-92).

Кліматичне виконання: "УХЛ", категорія розміщення "2.1".

Категорія якості: ВТК.

Прототип: ZVN2120.

Розшифровка маркування польового транзистора:

КР501А

К - буква, що позначає вихідний матеріал, з якого виготовлений транзистор та його категорію якості, де К - кремнієвий транзистор категорії якості «ОТК»;

П - літера, що визначає клас або підгрупу напівпровідникових приладів, де П - польовий транзистор;

5 - буква, що позначає функціональне призначення, де 5 - транзистор середньої потужності з максимальною потужністю, що розсіюється, від 0,3 до 1,5

Вт і граничною частотою коефіцієнта передачі струму або максимальною рекомендованою частотою від 3 до 300 МГц;

01 – число, що вказує на порядковий номер розробки польового транзистора;

А - літера, що визначає класифікацію транзисторів за параметрами, виготовленими за єдиним технологічним процесом.

Таблиця 1. Характеристики польових МОП транзисторів з каналом n-типу КП501А, КП501Б, КП501В:

Тип польового транзистора	$P_{\text{макс}}$	$f_{\text{макс}}$	Граничні значення параметрів за $T=25^{\circ}\text{C}$				Значення параметрів за $T=25^{\circ}\text{C}$										$T_{\text{нак}}$	
			$U_{\text{СВ макс}}$	$U_{\text{ЗС макс}}$	$U_{\text{ЗВ макс}}$	$I_{\text{С макс}}$	$U_{\text{ЗВ пор}}$	$R_{\text{СВ відкр}}$	$I_{\text{З вит}}$	S	$I_{\text{С ост}}$	$C_{11\text{В}}$	$C_{12\text{В}}$	$C_{22\text{В}}$	$K_{\text{Ш}}$	$K_{\text{шп}}$		
	мВт	МГц	В	В	В	мА	В	Ом	нА	мА/В	мкА	пФ	пФ	пФ	дБ	дБ	$^{\circ}\text{C}$	
КП501А	500	-	240	-	± 20	180	1...3	<10	<20	-	<10	-	-	-	-	-	-	-40...+85
КП501Б	500	-	200	-	± 20	180	1...3	<10	<20	-	<10	-	-	-	-	-	-	-40...+85
КП501В	500	-	200	-	± 20	180	1...3	<20	<20	-	<10	-	-	-	-	-	-	-40...+85

Умовні позначення електричних параметрів польових транзисторів:

- $P_{\text{макс}}$ - максимально допустима постійна потужність польового транзистора, що розсіюється.
- $f_{\text{макс}}$ – максимально допустима робоча частота польового транзистора.
- $U_{\text{СВ макс}}$ - максимально допустима напруга сток-витік.
- $U_{\text{ЗС макс}}$ - максимально допустима напруга затвору.
- $U_{\text{ЗВ макс}}$ - максимально допустима напруга затвора.
- $I_{\text{С макс}}$ – максимально допустимий струм стоку польового транзистора.

- $U_{ЗВ\text{ відс}}$ - напруга відсікання польового транзистора. Напруга між затвором та витоком транзистора з р-n переходом або із ізольованим затвором, що працює в режимі збіднення, при якому струм стоку досягає заданого низького значення.
- $R_{СВ\text{ відкр}}$ - опір сток-витік у відкритому стані польового транзистора.
- g_{22I} - активна складова вихідної провідності польового транзистора у схемі із загальним джерелом.
- $I_{З\text{ вит}}$ - струм витоку затвора. Струм затвора при заданій напрузі між затвором та іншими виводами, замкнутими між собою.
- S – крутість характеристики польового транзистора. Відношення зміни струму стоку до зміни напруги на затворі при короткому замиканні змінного струму на виході транзистора у схемі із загальним витоком.
- $I_{С\text{ поч}}$ – початковий струм стоку. Струм стоку при напрузі між затвором і витоком, що дорівнює нулю, і при напрузі на стоку, що дорівнює або перевищує напругу насичення.
- C_{11I} – вхідна ємність польового транзистора. Ємність між затвором та витоком при короткому замиканні змінного струму на виході із загальним витоком.
- C_{12I} – прохідна ємність польового транзистора. Ємність між затвором і стоком при короткому замиканні змінного струму на вході у схемі із загальним витоком.
- C_{22I} – вихідна ємність польового транзистора. Ємність між стоком та витоком при короткому замиканні по змінному струму на вході у схемі із загальним витоком.
- $K_{Ш}$ – коефіцієнт шуму транзистора.
- $K_{ПП}$ – коефіцієнт посилення за потужністю транзистора.
- $T_{\text{навк}}$ – температура навколишнього середовища.

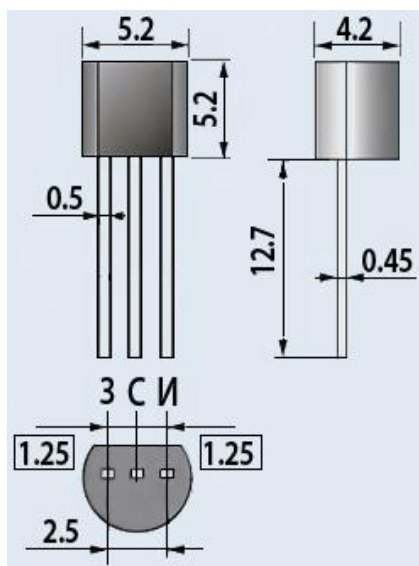


Рисунок 11. Транзистор КР501А

Биполярный транзистор КТ3107Д

Биполярний кремнієвий транзистор КТ3107 за своїми характеристиками найчастіше застосовується у виробництві підсилювачів високої та низької частот у генераторах ВЧ та НЧ, а також приладах перемикачів. Має структуру р-п-р, вага становить менше 0,4 г

Розглядатимемо цоколівку КТ3107 в пластиковому корпусі КТ-26 (ТО-92). Він оснащений гнучкими виводами, довжина яких трохи різні. Найдовший є емітер, короткий колектор, а посередині розташований вивід бази. Максимальний допуск позицій до 2 мм.

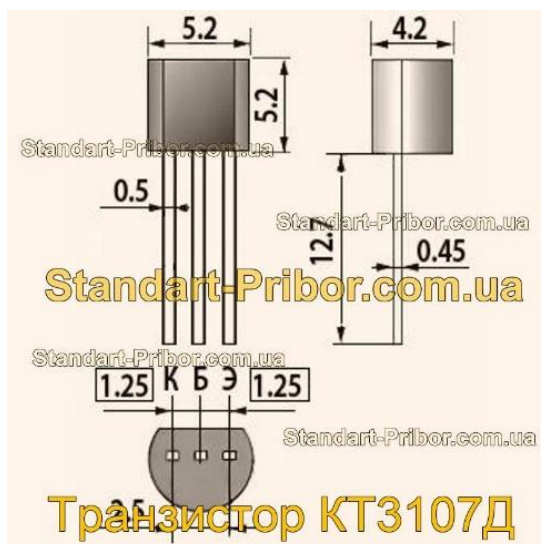


Рисунок 12. Биполярный транзистор КТ3107D



Рисунок 13. Розпинування біполярного транзистора КТ3107D

Характеристики

Група транзисторів КТ3107 ділиться на підвиди, що не сильно відрізняються один від одного характеристиками. Зокрема за напругою насичення, статичним коефіцієнтом посилення струму. Також може відрізнитись і коефіцієнт шуму.

Загальні дані для всієї серії КТ3107:

матеріал кристала - кремній (Si);

технічні умови - аА0.336.170 ТУ/04;

корпус – пластик КТ-26. Зарубіжного виробництва ТО-92;

структура - PNP.

Таблиця 2. Технічні характеристики транзисторів КТ3107

Показник	Транзистор									
	КТ3107 А	КТ3107 Б	КТ3107 В	КТ3107 Г	КТ3107 Д	КТ3107 Е	КТ3107 Ж	КТ3107 И	КТ3107 К	КТ3107 Л
$U_{кбо(и),В}$	50	50	30	30	30	25	25	50	30	25
$U_{кзо(и), В}$	45	45	25	25	25	20	20	45	25	20
$I_{кmax(и),мА}$	100 (200)	100 (200)	100 (200)	100 (200)	100 (200)	100 (200)	100 (200)	100 (200)	100 (200)	100 (200)
$P_{кmax(т),мВт}$	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
h_{21e}	70- 140	120- 220	70- 140	120- 220	180- 460	120- 220	180- 460	180- 460	380- 800	380- 800
$f_{гр., МГц}$	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

Розшифровка позначень:

$I_{К max}$ – верхній рівень постійного струму;

$I_{К. I. max}$ - верхній рівень імпульсних струмів колектора;

$U_{КЕР max}$ - вищий рівень напруги між емітером і колектором при певному значенні струму на колекторі та опору в з'єднанні база емітер;

$U_{КЕ0 max}$ — допустима напруга між емітером та колектором при певному значенні струму колектора та струму на базі = 0;

$U_{ЕБ0 max}$ — верхній рівень постійної напруги в ланцюзі емітер-база, за умови, що струм на колекторі дорівнюватиме 0;

$P_{К max}$ - верхня планка постійної потужності, що розсіюється на колекторі пристрою;

$P_{К. I. max}$ - вищий рівень імпульсної потужності, що розсіюється на колекторі;

h_{21E} - постійний коефіцієнт передачі струму;

h_{21E} - коефіцієнт передачі струму при низькому струмі в схемі із загальним емітером;

U_{KB} – рівень стабільної напруги в зчипці колектор-база;

U_{KE} - постійна напруга в ланцюжку колектор-емітер;

I_E – стабільний струм на емітері;

I_K - стабільний струм на колекторі;

$U_{KE \text{ нас.}}$ - напруга, що забезпечує насичення в ланцюзі колектор-емітер;

I_{KB0} - зворотні струми колектора;

$f_{гр}$ - допустимий рівень частоти коефіцієнта передачі струмів;

f_{h21} – допустима частота коефіцієнта передачі струмів

$K_{ш}$ -коефіцієнт шуму;

T – допустимий рівень температури.

Паяння контактів повинно проводитись на відстані не менше 5 мм від корпусу. Здійснюється вона припоєм, температура якого має перевищувати 250 грн. С. Час занурення у припій висновків має бути не більше 3 сек.

Теплові характеристики впливають на роботу пристрою і є граничними значеннями.

Таблиця 3. Граничні значення теплових характеристик

№ п/п	Параметр	Показник
1.	Загальний тепловий опір	420 К/Вт
2.	Температура переходу	423 К
3.	Температура навколишнього середовища	от 213 до 398 К

Маркування

Маркування у всіх КТ3107 виконано у вигляді різнокольорових 4 точок, які розташовуються праворуч зверху та відображають групу:

КТ3107А – рожева

КТ3107В – синя

КТ3107Б – жовта

КТ3107Д – помаранчева

КТ3107Г - бежева

КТ3107Ж – салатова

КТ3107Е - кольори електрик

КТ3107К – червона

КТ3107І – зелена

КТ3107Л - сіра

Електретний мікрофон МКЕ-3

Мікрофон МКЕ-3 призначений для роботи у складі апаратури зв'язку та звукопідсилення.

Технічні характеристики мікрофону МКЕ-3:

- Діапазон частот 50-15000 Гц
- Модуль повного опору на частоті 1000Гц 4000 Ом
- Чутливість на частоті 1000 Гц 4-20 мВ/Па
- Габаритні розміри 13x21 мм

- Маса мікрофона не більше 8 г

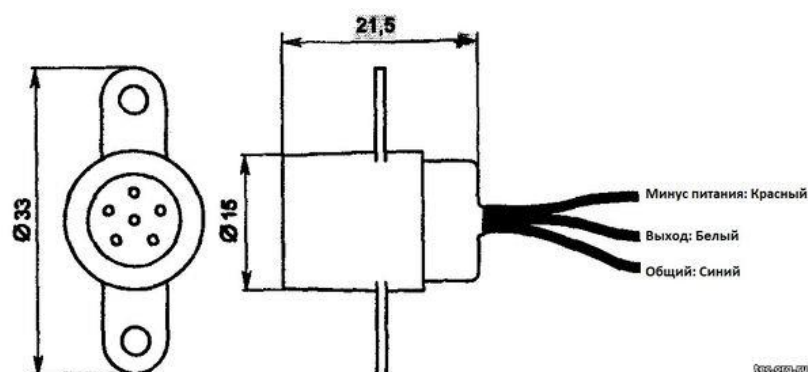


Рисунок 14. Електретний мікрофон МКЕ-3

Конденсатор електролітичний JWCO

Конденсатор 100 мкФ 25 105°C

Номінальна ємність 100 мкФ

Номінальна напруга 25 В

Максимальна робоча температура: 105°C

– Електролітичний конденсатор 100 мкФ 25 В 105°C в алюмінієвому циліндричному корпусі, з односпрямованими гнучкими дротяними виводами радіального типу (radial lead). Подані конденсатори мають полярний тип конструкції. Полярність виводів, номінальна напруга та ємність, а також маркування конденсатора вказані на корпусі за допомогою фарби. Визначити де плюс або мінус конденсатора можна за відмітками на корпусі або довжиною виводів (мінусовий вивод короткий). Допустиме відхилення ємності становить $\pm 20\%$. Перед встановленням конденсатори слід розрядити, замикаючи виводи через резистор опором 1кОм.

Характеристики електролітичних конденсаторів 100 мкФ 25 В 105°C:

Полярність та характеристики

Допустиме відхилення ємності $\pm 20\%$

Струм витоку 3 мкА

Тангенс кута втрат, $\text{tg}\delta$ 0,1 - 0,24

Напрацювання на відмову, не менше 2000 год

Максимально допустиме значення ESR 0,3 Ом

Маркування конденсаторів електролітичних радіальних: 100мкФ 25В 105°C
100мкФ

– Номінальна ємність. 25В

- Номінальна напруга. 105°C

- Робоча температура:

Нічна температура повітря 85°C, 105°C.

Розміри електролітичних конденсаторів 100 мкФ 25 В 105°C:

Гнучкі виводи

Розміри (D×L, мм)

JWCO 6,3×11

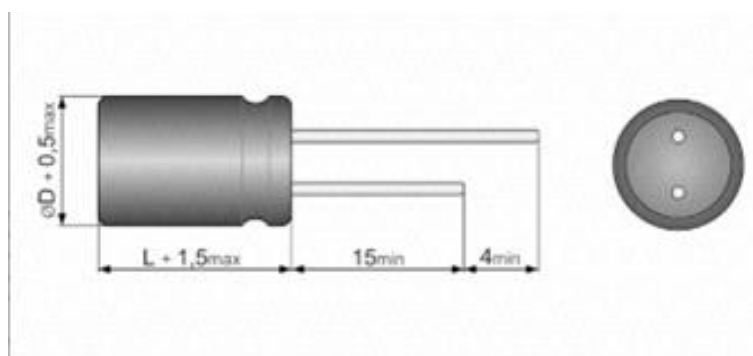


Рисунок 15. Конденсатор електролітичний JWCO

Конденсатор Hitano

Конденсатор з металізованої поліефірної плівки. MER мають неіндуктивну намотку з металізованої поліефірної плівки як діелектрика та електрода з мідними проводами та покриттям з епоксидної смоли

Особливості:

- Висока вологостійкість.
- Хороша здатність до пайки.
- Самовідновлювальні властивості.
- Компактний розмір.

Технічні характеристики

1. Робоча температура: -40°C $^{\circ}+85^{\circ}\text{C}$
2. Діапазон ємності: від 0,001мкФ до 10мкФ
3. Допуск на ємність: $\pm 5\%$ (Дж), $\pm 10\%$ (К)
4. Номінальна напруга: 100 В постійного струму, 250 В постійного струму, 400 В постійного струму, 630 В постійного струму
5. Коефіцієнт дисипації: 1,0% Макс. При 1 кГц, 20°C
6. Опір ізоляції: $>30\ 000\ \text{МОм}$ [$C \leq 0,33\ \text{мкФ}$]. $>10\ 000\ \text{МОм}$ [$\text{мкФ}/\text{C}$ ($C > 0,33\ \text{мкФ}$)]

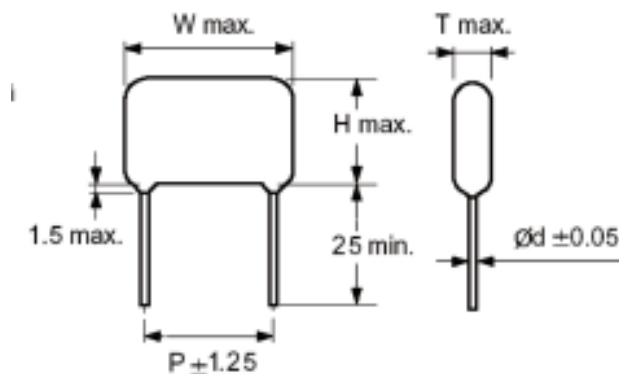


Рисунок 16. Конденсатор Hitano

Таблиця 4. Розміри конденсатора Hitano при роботі конденсатора на 100 В

Розміри, мм	W	H	T	P	δP
Ємність конденсатора, мкФ					
0,1	13,0	10,0	5,5	10,0	0,6
0,33	13,0	12,5	8,0	10,0	0,6

Резистори

Плівкові резистори малого розміру пропонують чудову продуктивність у застосуваннях, де потрібна стабільність і однорідність характеристик. Вони забезпечують менший розмір для застосування на друкованій платі з високою продуктивністю та точністю для заміни дротяних резисторів і резисторів високої потужності.

Мініатюрні (малого розміру) витримують випробування на перевантаження відповідно до специфікації UL № 1412, не створюючи небезпеки пожежі. (UL 1412 є стандартом для плавких резисторів і резисторів з обмеженням температури)

Особливості

Низька вартість, висока продуктивність.

Висока потужність при малих розмірах для значної економії місця.

Повна вогнестійка конструкція. Висока здатність до перенапруги/перевантаження.

Відмінна довгострокова стабільність.

DIMENSIONS

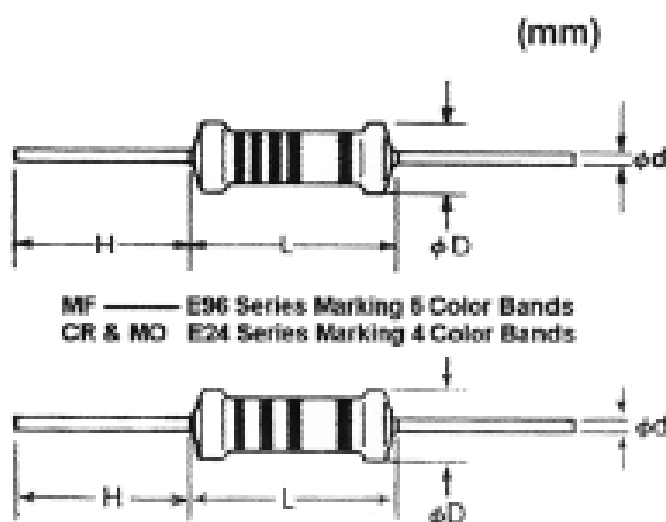


Рисунок 17. Плівкові резистори малого розміру

Таблиця 5. Розміри резисторів

стиль	Розміри, мм				Номинальна потужність, Вт	максимальна робоча напруга, В			максимальна напруга перевантаження, В			діапазон опору
	L	D	H	d		CR	MF	MO	CR	MF	MO	
CR-25S, MF-25S	3,3±0,4	1,8±0,3	28±2	0,45±0,05	1/4	250	200	-	500	400	-	те саме для кожного типу плівкового резистора.
CR-50S, MF-50S, MO-50S	6,3±0,5	2,3±0,3	28±2	0,55±0,05	½, 0,6	350	250	250	700	500	400	те саме для кожного типу плівкового резистора.
CR-100S, MF-100S,	9±0,5	3,2±0,5	26±2	0,6±0,05	1	500	350	350	1000	700	600	те саме для кожного типу

MO-100S												плівкового резистора.
CR-200S, MF-200S, MO-200S	11,5±1,0	4,5±0,5	35±3	0,8±0,05	2	500	500	350	1000	1000	600	те саме для кожного типу плівкового резистора.
MO-300S	15,5±1,0	5,0±0,5	35±3	0,8±0,05	3	-	-	500	-	-	800	те саме для кожного типу плівкового резистора.
MO-500S	17,5±1,0	6,0±1,0	38±3	0,8±0,05	5	-	-	750	-	-	1000	те саме для кожного типу плівкового резистора.

Підстроювальний резистор 2 мОм 3296W

Характеристики та опис

- Основні

Максимальна робоча температура.....125 град.

Матеріал корпусу.....Кераміка

Номінальна потужність0.5 Вт

Мінімальна робоча температура.....-55 град.

Опір.....2000000 Ом

Технічні характеристики:

Номінал: 2 мОм

Маркування: 205

Допустиме відхилення від номіналу: ± 10%

Типорозмір: 3296W

Максимальна робоча напруга: 300V

Потужність, що розсіюється: 0.5 Вт

Робоча температура: $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$

Тип резистора: Керамічний

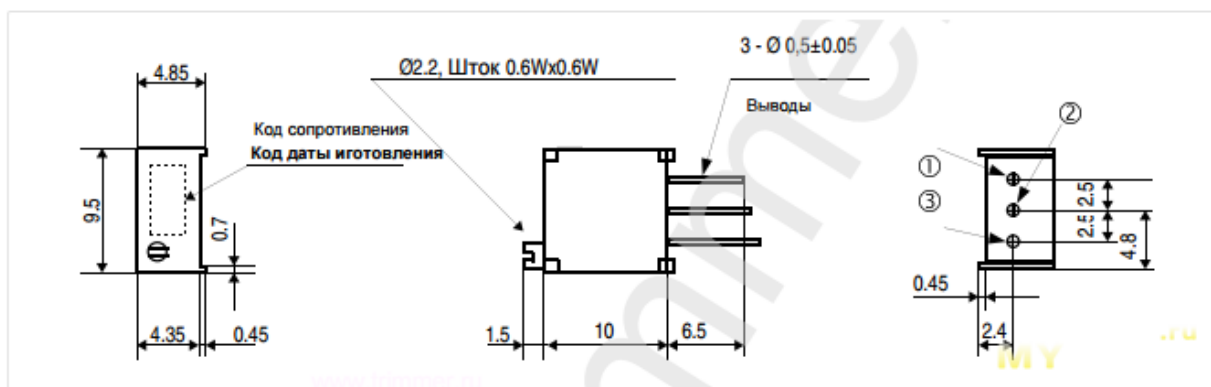


Рисунок 18. Підстроювальний резистор 2 мОм 3296W

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІ ПРИБОРУ

3.1. Вибір конструкції друкованої плати

Основними матеріалами виготовлення друкованої плати (ДП) застосовуються фольговані діелектрики. Як ізоляційну основу застосовують гетинакс, склотекстоліт, поліамід. Основа покривається з одного або двох сторін шарами мідної фольги. Товщина мідної фольги може бути від 5 до 50 мкм. Найчастіше застосовується фольга з товщиною 35 та 50 мкм.

Для виготовлення друкованих плат застосовують багато матеріалів: текстоліт, гетинакс, склотекстоліт, ебоніт та мікалекс.

Таблиця 6. Матеріал для виготовлення друкованої плати.

Матеріал	Марка	Товщина
Склотекстоліт фольгований	СФ-1-35	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5;
	СФ-1-50	3,0
	СФ-2-35	
	СФ-2-50	

Для виготовлення друкованої плати використовуємо склотекстоліт СФ – 2 – 35 – 1,5 ГОСТ 10316 – 78 як найбільш міцний матеріал.

За ГОСТ 23752-79 вибираємо третій клас густини рисунка друкованої плати. Для даного класу щільності маємо:

- ширина провідника щонайменше 0.5 мм;
- відстань між провідниками не менше 0.5 мм;
- роздільна здатність 1.0 ліній/мм.

3.2. Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу

Обираємо третій клас точності виготовлення друкованої плати. Для виготовлення друкованої плати використовуємо склотекстоліт СФ – 2 – 35 – 1,5 ГОСТ 10316 – 78, який має наступні характеристики:

- товщина фольги 35 мкм;
- допустима щільність струму $I_{\text{доп}} = 20 \text{ А/мм}^2$;
- питомий опір $\rho = 0,05 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

Конструктивні обмеження відповідають третьому класу точності:

- мінімальне значення номінальної ширини провідника $b = 0,45 \text{ мм}$;

- номінальна відстань між провідниками $S = 0,45$ мм;
- відношення діаметра отвору до товщини плати $\gamma \geq 0,5$;
- допуск на отвори $\Delta d = \pm 0,1$ мм;
- допуск на ширину провідника $b = \pm 0,1$ мм;
- допуск на розташування отворів $d = 0,15$ мм;
- допуск на розташування провідників на двостороння друкована плата (ДДП) $\delta_1 = 0,1$ мм;
- відстань від краю просвердленого отвору до краю контактної площадки $b_m = 0,045$ мм;

3.3 Визначення мінімальної ширини друкованих провідників

Ширина друкованих провідників визначатиметься трьома факторами: максимальним струмом, що протікає провідником – для ланцюгів живлення та шин заземлення, допустимим падінням напруги – для сигнальних ланцюгів, можливостями обраного методу виготовлення та класом точності плати – для всіх з'єднань на платі.

Визначаємо мінімальну ширину $b_{\min I}$, мм, друкарського провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та шин заземлення за формулою

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{I_{\text{доп}}} h_{\phi}, \quad (3.1.)$$

де I_{\max} - максимальний постійний струм у провідниках, А;

$I_{\text{доп}}$ - допустима щільність струму, А/мм²;

h_{ϕ} – товщина друкарського провідника (товщина фольги), мм.

$$b_{\min I} = 0,1 / (20 \cdot 0,035) = 0,14.$$

За формулою, яка наведена нижче можна визначити мінімальну ширину $b_{\min U}$, мм, друкованого провідника, якщо знати допустиме падіння напруги на ньому:

$$b_{\min U} = \rho I_{\max} \frac{1}{h_{\phi} U_{\text{доп}}}, \quad (3.2.)$$

де ρ – питомий опір фольги, Ом·мм²/м; I - максимальна довжина сигнального друкарського провідника на платі, м; $U_{\text{доп}}$ - падіння напруги, яке допускається, В.

$$b_{\min U} = 0,05 \cdot 0,1 \cdot 0,126 / 0,035 \cdot 0,1 = 0,18$$

Мінімальна ширина друкованих провідників для ДДП, виготовлених хімічним методом, визначається за формулою

$$b_{\min} = b + 1,5h_{\phi} + (0,03 \dots 0,08) = 0,45 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,53$$

Вибираємо ширину друкованих провідників у сигнальних ланцюгах із умови

$$b \geq b_{\min}, \quad (3.3.)$$

у ланцюгах живлення та шинах заземлення з умови

$$b \geq \max \{ b_{\min}, b_{\min I}, b_{\min U} \}.$$

$$0,5 \geq \max\{0,53; 0,14; 0,18\}, \text{ обираємо } b=0,53$$

Перевіряємо провідники з обраною шириною 0,53 мм на допустимий струм при вибраній товщині фольги 0,35.

$$I_{\max} \leq I_{\text{доп}},$$

$$0,1 \leq 0,35$$

Номінальне значення діаметрів d , мм монтажних отворів за групами виводу елементів визначається за формулою

$$d = d_e + |\Delta d_{н.о.}| + r, \quad (3.4.)$$

де d_e – максимальне значення діаметру виводу елемента, яке можна встановити на плату, мм;

$\Delta d_{н.о.}$ – нижнє граничне відхилення номінального діаметра монтажного отвору, мм;

r - різниця між мінімальним діаметром отвору та максимальним діаметром виводу елемента (в межах 0,1...0,4 мм).

Розраховані значення діаметрів d округляють до найближчого більшого значення ряду: 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ...

Оскільки елементи мають різні діаметри виводів, їх можна розділити на дві групи:

$$d_e = 0,5 \text{ мм}$$

$$d_e = 1,5 \text{ мм}$$

$$d_1 = 0,5 + |0,15| + 0,4 = 1,05 \text{ мм}$$

$$d_2 = 1,5 + |0,15| + 0,4 = 2,05 \text{ мм}$$

Перевіряємо найменше значення діаметра монтажного отвору на відповідність

$$d \geq d_{\min} = H \times \gamma . \quad (3.5.)$$

де H - товщина друкованої плати, мм; γ – конструктивне обмеження, яке пов'язує з розсіювальною здатністю електролітів розсіювати потужність, якщо для монтажних та перехідних отворів використовують гальванічну металізацію; d_{\min} – мінімальний діаметр перехідного отвору, мм.

$$1,5 \geq 1,5 \cdot 0,5 = 0,75$$

Якщо виконується умова (3.5.), то можна зробити висновок, що діаметри монтажних отворів обрані правильно.

3.4 Визначення діаметрів контактних майданчиків

Надійний електричний контакт між ланцюгами, які розташовуються на різних сторонах плати забезпечує пайка виводів навісних елементів на контактну площадку отвору в друкованій платі. Дійсні розміри друкованого рисунка можуть бути зменшені через особливості процесу травлення фольги. Це відбувається за рахунок того, що бічне підтравлювання зменшує і частково руйнує адгезійний шар між діелектриком і фольгою. Бічне підтравлювання може призвести до відшаровування тонких елементів друкованого рисунка. Величина діаметру контактної площадки повинна перевищувати мінімальний діаметр D_{\min} , мм. Метод виготовлення друкованої плати обумовлює величину мінімального діаметру контактної площадки.

За формулою, яка наведена нижче, визначається максимальний діаметр просвердленого отвору d_{\max} , мм:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15), \quad (3.6.)$$

де Δd – допуск на отвір.

$$d_{\max 1} = 0,9 + 0,15 + 0,1 = 1,15 \text{ мм}$$

$$d_{\max 2} = 1,5 + 0,15 + 0,1 = 1,75 \text{ мм}$$

За формулою, яка наведена нижче, визначається мінімальний ефективний діаметр контактної майданчика $D_{1\min}$, мм:

$$D_{1\min} = 2 / (b_m + d_{\max} / 2 + \delta d + \delta p), \quad (3.7.)$$

$$D_{1\min 1} = 2 / (0,045 + 1,15 / 2 + 0,15 + 0,25) = 2,39 \text{ мм}$$

$$D_{1\min 2} = 2 / (0,045 + 1,75 / 2 + 0,15 + 0,25) = 2,74 \text{ мм}$$

Мінімальний діаметр контактної майданчика для ДДП, яку виготовляють хімічним методом визначають за формулою, яка наведена нижче:

$$D_{\min} = D_{1\min} + h_{\phi}, \quad (3.8.)$$

$$D_{\min 1} = 2,39 + 0,035 = 2,425 \text{ мм}$$

$$D_{\min 2} = 2,74 + 0,035 = 2,775 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр контактної майданчика D_{\max} , мм визначається за формулою:

$$D_{\max} = D_{\min} + (0.02 \dots 0.06) \quad (3.9.)$$

$$D_{\max 1} = 2,425 + 0,06 = 2,485 \text{ мм}$$

$$D_{\max 2} = 2,775 + 0,06 = 2,835 \text{ мм}$$

Якщо порахувати мінімальні відстані між елементами провідного рисунка, то можна отримати результати, які наведено нижче.

За наведеною формулою можна порахувати мінімальні відстані між контактним майданчиком та провідником:

$$S_{1 \min} = L_0 - [(D_{\max} / 2 + \delta p) + (b_{\max} / 2 + \delta l)], \quad (3.10.)$$

де δl – допуск на розташування провідників

L_0 – відстань між центрами елементів рисунка на кресленні, мм.

$$S_{1 \min} = 2,5 - [(2,485/2+0,3) + (1,15/2+0,1)] = 0,2 \text{ мм}$$

Між двома контактними майданчиками можна визначити мінімальні відстані:

$$S_{2 \min} = L_0 - (D_{\max} + 2 \delta p) \quad (3.11)$$

$$S_{2 \min} = 2,5 - (2,775 + 2*0,3) = 0,325 \text{ мм}$$

Якщо треба вирахувати мінімальну відстань між двома провідниками, то:

$$S_{3 \min} = L_0 - (b_{\max} + 2\delta l). \quad (3.12.)$$

$$S_{3 \min} = 2,5 - (1,15 + 2 \cdot 0,3) = 0,75 \text{ мм}$$

Мінімальна відстань між центрами двох контактних майданчиків під час прокладання між ними N друкованих провідників визначається за формулою:

$$S_{4 \min} = 0.5D_{1 \max} + 0.5D_{2 \max} + 2\delta p + (b_{\max} + \delta l)N + S(N + 1). \quad (3.13.)$$

$$S_{4 \min} = 0,5*2,485+0,5*2,775 + 2*0,3+(1,15+0,1)2+0,45(2+1)= 6,35 \text{ мм}$$

Мінімальна відстань центру отвору від краю плати для прокладання N друкованих провідників між контактним майданчиком отвору та краєм плати визначається за формулою:

$$S_{5 \min} = 0.5D_{\max} + \delta p + (S + b_{\max} + \delta l)N + S_{on}. \quad (3.14)$$

де $S_{оп}$ – мінімальна відстань від краю плати до друкарського провідника.

$$S_{5min} = 0,5 * 2,485 + 0,3 + (0,45 + 0,55 + 0,1) * 2 + 3 = 6,74 \text{ мм}$$

Якщо треба визначити оцінку стійкості до перешкод параметрів друкарського монтажу, то треба визначити ємнісну та індуктивну складову паразитного зв'язку між елементами друкованого монтажу для сигнальних ланцюгів.

Між двома провідниками паразитну ємність C , пФ можна розрахувати таким чином:

$$C = C_{ног} \cdot L_i, \quad (3.15.)$$

де L_i - довжина взаємного перекриття провідників.

Погонна ємність $C_{пог}$, пФ/см, визначається за формулою:

$$C_{ног} = K_n \cdot E, \quad (3.16.)$$

де K_n - коефіцієнт пропорційності $K_n = 0,27$;

E – діелектрична проникність середовища між провідниками. Її можна обчислити таким чином:

$$E = (E_n + E_v) / 2, \quad (3.17.)$$

де E_n - діелектрична проникність матеріалу плати (для склотекстоліту СФ – 2 – 35 – 1,5 ГОСТ 10316 – 78 $E_n = 6$);

E_v - діелектрична проникність повітря, $E_v = 1$ (якщо плата покрита лаком, то діелектрична проникність лаку $E_l = 9$).

$$E = (6 + 9) / 2 = 7,5$$

$$C_{\text{ног}} = 0,27 \cdot 7,5 = 2,025 \text{ ПФ/см}$$

$$C = 2,025 \cdot 0,21 = 0,425 \text{ ПФ}$$

Креслення друкованої плати і креслення збірки друкованої плати наведено в додатку А і В.

3.5. Розрахунок надійності

Надійність апаратури визначається надійністю і кількістю елементів, що використовуються в ній. Так як надійність є одним з основних параметрів виробу, то проектуючи апаратуру, її слід оцінити поряд з іншими параметрами і на основі цих розрахунків робити висновки про правильність обраної схеми та конструкції виробу [1].

Імовірність безвідмовної роботи $P(t_p)$ та середній час напрацювання на відмову $T_{\text{ср}}$ досить повно характеризують надійність приладу.

$$P(t_p) = e^{-\lambda \cdot t_p}, \quad (3.18.)$$

де λ – інтенсивність відмови.

$$\lambda = \sum \lambda_i, \quad (3.19.)$$

де λ_i – інтенсивність відмови і елемента.

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (3.20.)$$

Вплив зовнішніх факторів на радіоелементи оцінюється за допомогою коефіцієнта навантаження.

Для транзисторів:

$$K = \frac{P}{P_{\text{max}}}, \quad (3.21.)$$

де P - фактична потужність, що розсіюється на колекторі, P_{\max} - максимальна допустима потужність, що розсіюється на колекторі.

Для резисторів:

$$K = \frac{P}{P_n}, \quad (3.22.)$$

де P - фактична потужність, що розсіюється на резисторі, P_n - номінальна потужність.

Для конденсаторів:

$$K = \frac{U}{U_n}, \quad (3.23.)$$

де U – фактична напруга, прикладена до конденсатора, U_n – номінальна напруга конденсатора

Для діодів:

$$K = \frac{I}{I_{\max}}, \quad (3.24.)$$

де I – фактичний випрямлений струм, а I_{\max} – максимально припустимий випрямлений струм.

Розрахунок постійного струму було зроблено за допомогою програми MATLAB 2019 (таблиця 8.).

Таблиця 8. Розрахунок постійного струму

Найменування, тип елемента	Фактичне значення параметра	Номинальне значення параметра	К	α	$\lambda_0, 10^{-6}$ (1/год)	$\lambda_i = \alpha\lambda_0,$ 10^{-6} (1/год)
Конденсатори						
C1 Hitano	U=1B	U _н =100B	0,01	0,2	0,08	0,016
C2 Hitano	U=2B	U _н =100B	0,02	0,2	0,08	0,016
C3 Hitano	U=2B	U _н =100B	0,02	0,2	0,08	0,016
C4 Hitano	U=3B	U _н =100B	0,03	0,2	0,08	0,016
C5 Hitano						
C6 JWCO	U=4B	U _н =100B	0,04	0,1	0,04	0,004
	U=6B	U _н =25B	0,24	0,3	0,72	0,72
Мікросхема						
DD1 КР140УД1208	I=0,05нА	I _{вх} =5нА	0,01	0,5	0,05	0,025
Резистори						
R1 Плівкові	P=0,013Вт	P _н =0,125Вт	0,104	0,3	0,05	0,015
R2 Плівкові	P=0,021Вт	P _н =0,125Вт	0,168	0,5	0,05	0,025
R3 Плівкові	P=0,05Вт	P _н =0,125Вт	0,4	0,5	0,05	0,025
R4 Плівкові	P=0,07Вт	P _н =0,125Вт	0,56	0,7	0,05	0,035
R5 Плівкові	P=0,07Вт	P _н =0,125Вт	0,56	0,7	0,05	0,035
R6 Плівкові	P=0,063Вт	P _н =0,125Вт	0,504	0,7	0,05	0,035
R7 МЛТ	P=0,004Вт	P _н =0,125Вт	0,032	0,2	0,05	0,01

R8 Плівкові	P=0,044Вт	P _н =0,125Вт	0,352	0,5	0,05	0,025
R9	P=0,044Вт	P _н =0,125Вт	0,352	0,5	0,05	0,025
підстроювальний	P=0,081Вт	P _н =0,125Вт	0,648	0,7	0,05	0,035
R10 Плівкові						
Транзистори						
VT1 КР501А	P=0,3Вт	P _{max} =10Вт	0,03	0,2	0,2	0,04
VT2 КТ3107	P=0,3Вт	P _{max} =10Вт	0,03	0,2	0,2	0,04
Електретний мікрофон МКЕ-3	P=0,3Вт	P _{max} =10Вт	0,03	0,2	0,2	0,04

$$\lambda = \sum \lambda_i = (4 \cdot 0,16 + 0,004 + 0,72 + 5 \cdot 0,025 + 0,015 + 4 \cdot 0,035 + 0,01 + 4 \cdot 0,04) \cdot 10^{-6} = 1,85 \cdot 10^{-6} \text{1/год}$$

Середнє напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,85 \cdot 10^{-6}} = 5,4 \cdot 10^5 \text{ год}$$

$$P(t_p) = e^{-\lambda \cdot t_p} = e^{-1,85 \cdot 10^{-6} \cdot 5000} = 0,98.$$

З наведених розрахунків можна сказати, що пристрій, що розробляється, буде безвідмовно працювати 5000 годин з ймовірністю 98%.

4. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОФОННОГО ПІДСИЛЮВАЧА ЕЛЕКТРЕТНОГО МІКРОФОНА

4.1. Операційні підсилювачі. Основні характеристики.

Операційним підсилювачем (ОП) називають високоякісний лінійний підсилювач напруги, що має великий коефіцієнт посилення ($10^6 \dots 10^7$), з високим входним і малим вихідним опором. Вхідний опір підсилювача складає сотні Мом, а вихідний опір – одиниці Ом. Як вхідний каскад ОП використовується диференціальний підсилювач, а вихідним каскадом є емітерний повторювач. На рисунку 19 показано умовне графічне позначення ОП.

По відношенню до виходу один із входів ОП є **неінвертуючим** $U_{\text{н}}$, а інший - **інвертуючим** $U_{\text{н}}$. Для позначення інвертуючого входу на використовують круг на вході операційного підсилювача. Круг означає інверсію. Для живлення ОП використовують два однакових різнополярних джерела $+U_{\text{н}}$ і $-U_{\text{н}}$ (на графічних позначеннях джерела живлення зазвичай не показують).

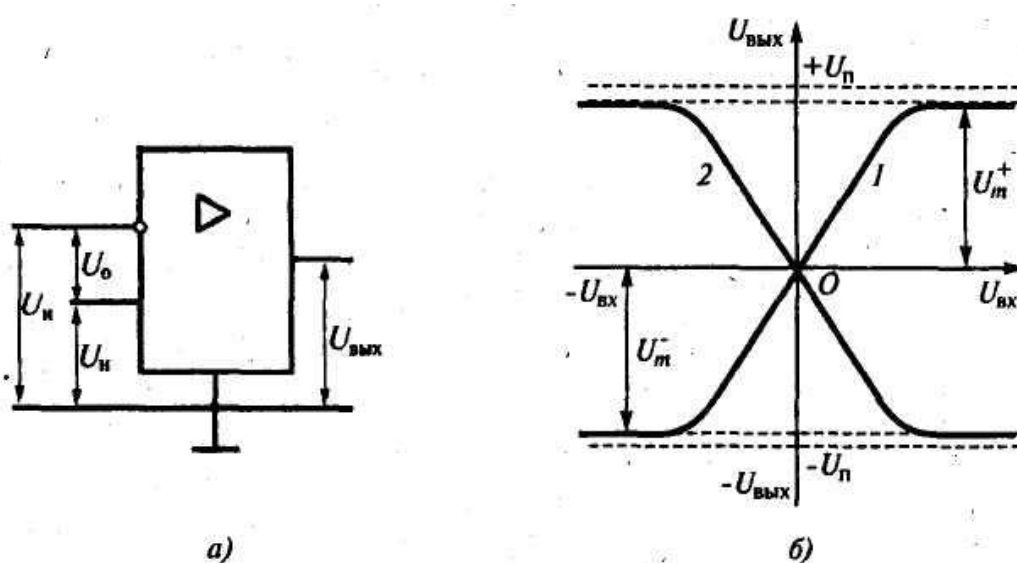


Рисунок 19. Операційний підсилювач: а – умовне графічне позначення; б - передавальні характеристики

При такому живленні вхідні та вихідні сигнали можуть бути двополярними, а нульовим вхідним сигналам відповідає нульовий вихідний сигнал. Вихідний сигнал ОП пропорційний диференційному вхідному сигналу - різниці вхідних $U_0 = U_v - U_i$.

Коефіцієнт посилення за напругою K_0 власне ОП дорівнює відношенню вихідної напруги до диференційної вхідної напруги:

$$K_0 = U_{\text{вих}} / U_0 \quad (4.1)$$

Передавальні характеристики (дивись рисунок 196) мають найважливіше значення для ОП. Якщо сигнал, що посилюється, подано на не інвертуючий вхід, а інвертуючий вхід заземлений, то знак вихідної напруги збігається зі знаком вхідної напруги (лінія 1). При подачі сигналу на вхід, що інвертує, і заземленні неінвертируючого знак вихідної напруги буде протилежний знаку вхідного (лінія 2). Кут нахилу лінійних ділянок передавальних характеристик пропорційний коефіцієнту посилення напруги K_0 . Горизонтальні ділянки передавальних характеристик відповідають режиму насичення кінцевих транзисторів ОП, тому вихідна напруга

$$\pm U_{\text{вих}} = U_m^{\pm} \approx \pm U_{\text{П}} \quad (4.2)$$

Для того, щоб спростити аналіз та розрахунок схем, які використовують операційні підсилювачі, вводять поняття «ідеальний» ОП. Для ідеального ОП справедливі деякі припущення. В цьому випадку вважають, що у ідеального ОП нескінченно великий коефіцієнт посилення $K_0 = \infty$, вхідний опір $R_{\text{вх}0} = \infty$ і нульовий вихідний опір $R_{\text{вих}0} = 0$.

З цих припущень випливають дві основні властивості (правила аналізу) ОП:

1. Диференціальний вхідний сигнал дорівнює нулю

$$U_0 = \frac{U_{\text{вх}0}}{K_0} = \frac{U_{\text{вх}0}}{\infty} = 0 \quad (4.3)$$

2. Входи ОП не споживають струму від джерела вхідного сигналу

$$I_0 = \frac{U_{ex}}{R_{ex0}} = \frac{U_{ex}}{\infty} \quad (4.4.)$$

Викладене вище поняття ідеального ОП відповідає так званому принципу «віртуального» (здається) замикання його інвертує і не інвертує входів. При віртуальному замиканні, як і при фізичному (звичайному), напруга між з'єднаними затискачами дорівнює нулю. Разом з тим, на відміну від фізичного замикання, струм між віртуально замкнутими затискачами не тече. Іншими словами, для струму віртуальне замикання затискачів еквівалентно розриву електричного кола.

Залежно від умов подачі сигналу, що посилюється, на вход ОП і підключення до нього зовнішніх елементів можна отримати дві фундаментальні схеми включення — інвертуючу і не інвертуючу. Практично будь-яке схемотехнічне рішення із застосуванням ОП ґрунтується на цих включеннях.

4.2. Підсилювач, що інвертує.

У схемі інвертуючого підсилювача (рисунок 20) вхідна напруга через резистор R_1 подається на вхід, що інвертує, який за допомогою резистора зворотного зв'язку $R_{зз}$ охоплений паралельним негативним зворотним зв'язком (НЗЗ) по напрузі. Вхід підсилювального каскаду, що не інвертує, заземлений.

Для визначення параметрів інвертуючого підсилювача скористаємося першим законом Кірхгофа для струмів входу, що інвертує: $I_{вх} = I_0 + I_{зз}$. Оскільки за другою властивістю ідеального ОП струм, то $I_{вх} = I_{зз}$. Виразивши струми через відповідну їм вхідну напругу, отримаємо:

$$\frac{U_{вх} - U_0}{R_1} = \frac{U_0 - U_{вх}}{R_{oc}} \quad (4.4)$$

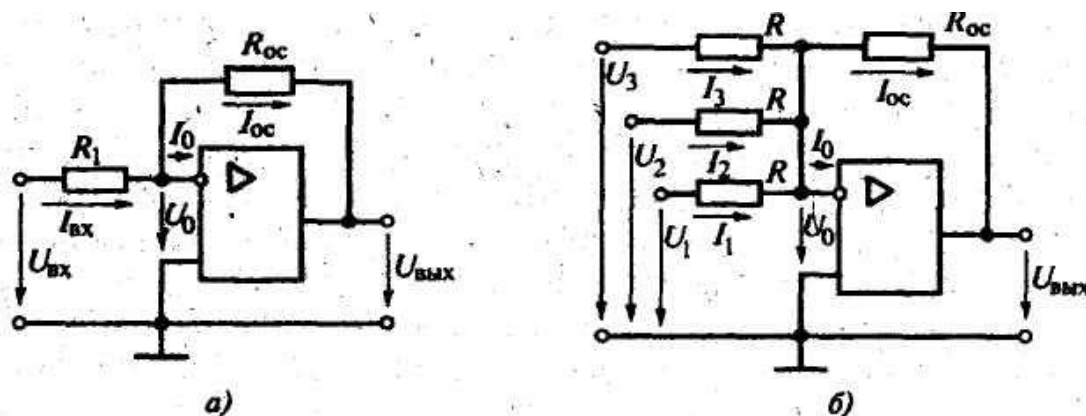


Рисунок 20. Інвертуючі схеми на ОП: а – підсилювача; б - суматора

По першій властивості ідеального ОП напруга $U_0 = 0$, тому $U_{вх}/R_1 = -I_{вх}/R_{зз}$. Тоді коефіцієнт посилення інвертуючого підсилювача:

$$K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = -\frac{R_{ос}}{R_1} \quad (4.5)$$

Згідно з формулою (4.5), зміною величини опору зворотного зв'язку $R_{зз}$ можна регулювати коефіцієнт посилення.

Вхідний опір інвертуючого підсилювача значно менше свого вхідного опору ОП. У схемі рисунок 20 точка підключення входу, що інвертує, ОП є віртуальним нулем, тобто за вхідним сигналом вона заземлена. Можна показати, що вхідний і вихідний опори підсилювача, що інвертує:

$$R_{вх.и} = \frac{U_{вх} - U_0}{I_{вх}} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} = R_1; R_{вых.и} = \frac{K_u}{K_0} R_{вых.0} \quad (4.6)$$

Зазначимо, що за $R_1 = R_{зз}$, $K_u = -1$ схема рисунок 20а перетворюється на інвертуючий повторювач (інвертор).

Ще одним варіантом побудови підсилювача, що інвертує, є перетворювач струму в напругу. Це досягається при $R_1 = 0$. Тоді струм $I_{вх} = I_{ос} = -U_{вых}/R_{зз}$ і вихідна напруга $U_{вых} = -I_{вх}R_{зз}$.

4.3.Інвертуючий суматор (підсилювач, що підсумовує).

Для підсумовування кількох напруг можна використовувати інвертуюче включення ОП. На рисунку 20б як приклад показаний тривхідний інвертуючий суматор. Вхідні напруги U_1, U_2 і U_3 через резистори із зазвичай однаковими опором R подаються на інвертуючий вхід ОП. Враховуючи, що напруга на вході, що інвертує, ОП характеризується віртуальним нулем, струми I_1, I_2 і I_3 будуть задані тільки відповідними їм вхідними напругами U_1, U_2 і U_3 і опором R :

$$I_1 = U_1 / R; I_2 = U_2 / R; I_3 = U_3 / R \quad (4.7)$$

Оскільки, згідно з другою властивістю ідеального ОП, вхід, що інвертує, практично не споживає струм, то сума всіх вхідних струмів I_1, I_2 і I_3 протікає тільки через резистор $R_{зз}$ і створює на ньому падіння напруги $U_{вих} = -(I_1 + I_2 + I_3)R_{зз}$. Підставивши в цю формулу відповідні значення струмів, виражені через вхідні напруги, і поклавши $R = R_{зз}$, отримаємо:

$$U_{вих} = -(U_1 + U_2 + U_3) \quad (4.8)$$

Отже, вихідна напруга дорівнює алгебраїчній сумі вхідних напруг, взятих зі зворотним знаком.

У цій схемі суматора, що інвертує, всі вхідні струми повністю протікають через резистор зворотного зв'язку $R_{зз}$. У цьому струми практично впливають друг на друга, отже, і вхідні напруги не взаємодіють друг з одним, тобто всі три входи підсилювача повністю розв'язані. Остання властивість суматора, що інвертує, виключно корисна для змішування (мікшування) сигналів низької (звукової) частоти.

4.4. Не інвертуючий підсилювач.

У підсилювачі, що не інвертує, вхідний сигнал надходить на не інвертуючий вхід, а інвертуючий вхід - за допомогою резистивного дільника - $R_1, R_{зз}$ - охопленій послідовним НЗЗ по напрузі (рисунок 21а).

У схемі $U_{\text{вих}}=U_0+U_{зз}$. Оскільки $U_0 = 0$, то $U_{\text{вих}}=U_{зз}+U_{\text{вих}}R_1/(R_1+R_{зз})$.

Звідси коефіцієнт посилення підсилювача, що не інвертує:

$$K_n = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = 1 + \frac{R_{\text{ос}}}{R_1} \quad (4.9)$$

За допомогою нескладних математичних викладок можна показати, що вхідний опір підсилювача, що не інвертує, великий і дорівнює вхідному опору ОП по не інвертуючому входу, а вихідний опір близько до нуля.

Якщо опір зворотного зв'язку $R_{зз} = 0$, то $U_{\text{вих}} = U_{\text{вх}}$, і підсилювач, що не інвертує, перетворюється на повторювач напруги, який часто використовують у радіоелектронних пристроях для гальванічної розв'язки різних схем.

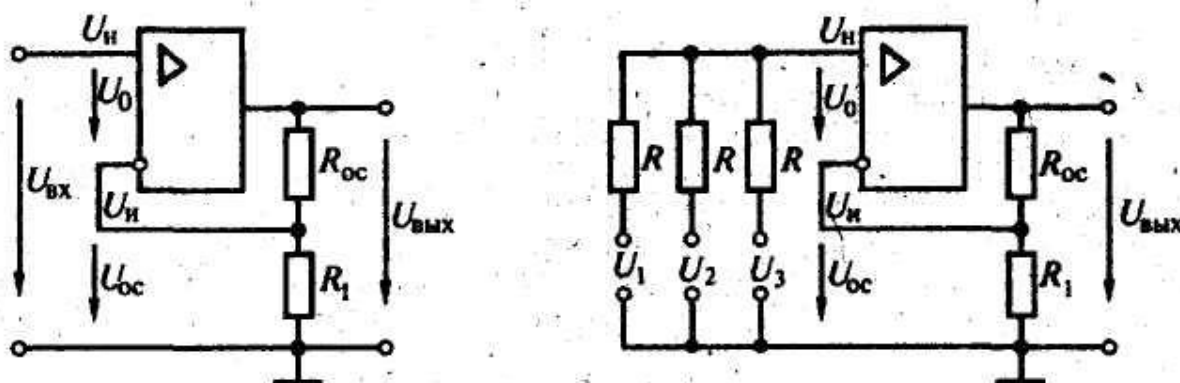


Рисунок 21. Не інвертуючі схеми на ОП: а – підсилювача, що неінвертує; б – не інвертуючого суматора

4.5. Суматор, що не інвертує.

Ввімкнення операційного підсилювача, що не інвертує, можна використовувати для підсумовування n (тут n — число вхідних сигналів) вхідних напруг. Найпростіша схема тривходового суматора, що не інвертує, представлена на рисунку 21б. Як правило, вся вхідна напруга джерел підключена до не інвертуючого входу ОП через резистори R з однаковим опором. За допомогою обчислень, які наведені в літературі з ОП, можна показати, що вихідна напруга n -вхідного суматора при виборі опорів $R=R(n-1)$ визначається за формулою:

$$U_{\text{вих}} = (U_1 + U_2 + \dots + U_n) \quad (4.10)$$

Таким чином, вихідна напруга суматора, що не інвертує дорівнює алгебраїчній сумі вхідних напруг. Зазначимо, що з метою отримання мінімальних похибок при підсумовуванні напруги необхідно вибирати джерела вхідних сигналів з досить малими вихідними опорами.

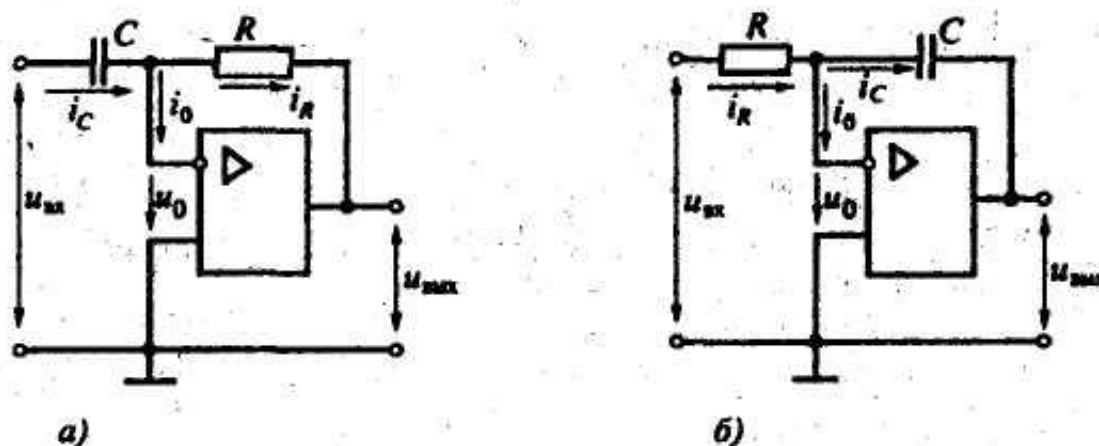


Рисунок 22. Пристрої на ОП: а – диференціюючий; б – інтегруючий

4.6. Диференціюючий пристрій.

Для схеми диференціюючого пристрою (дивись рисунок 22а) струми (тут і далі аргумент t у функцій миттєвих значень струмів і напруги для спрощення опущений) $i_c = i_0 + i_R$ і оскільки $i_0 = 0$, то $i_c = i_R$. Записавши струми, що протікають через конденсатор та резистор, як $i_c = C du_{\text{вих}}/dt$ і $i_R = -u_{\text{вих}}/R$, отримаємо для вихідної напруги:

$$u_{\text{вих}} = -RC \frac{du_{\text{ex}}}{dt} = -\tau_a \frac{du_{\text{ex}}}{dt} \quad (4.11)$$

де $\tau_a = RC$ - постійна часу ланцюга.

Таким чином, схема рисунка 22а здійснює диференціювання вхідного сигналу. Диференціюючий пристрій широко застосовується в інтегральних імпульсних пристроях.

4.7. Інтегруючий пристрій (інтегратор).

Оскільки у схемі рисунка 22б $i_0 = 0$, знаходимо $i_R = u_{\text{вх}}/R$,

$i_c = -C du_{\text{вих}}/dt$. Прирівнявши ці струми та інтегруючи, отримаємо:

$$u_{\text{вих}} = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_{\text{ex}} dt = -\frac{1}{\tau_a} \int_0^t u_{\text{ex}} dt \quad (4.12)$$

тобто цей пристрій здійснює інтегрування вхідного сигналу.

На основі інтеграторів виконують генератори напруги, що лінійно змінюються, використовувані в різних радіоелектронних пристроях, наприклад, в якості генераторів розгортки осцилографів, телевізорів і ін.

4.8. Імпульсні підсилювачі

Посилення імпульсних сигналів здійснюють за допомогою імпульсних (широкополосних) підсилювачів. При розробці важливими характеристиками підсилювачів є величина спотворень форми вхідного прямокутного імпульсу (рисунок 23).

Допустимі спотворення форми імпульсу характеризуються максимально можливими тривалостями переднього фронту τ_{ϕ} і зрізу τ_z , вимірними лише на рівні від 0,1 до 0,9 $U_{\text{вих}}$, і навіть максимально допустимим спадом плоскої вершини ΔU вихідного імпульсу (рисунок 23б).

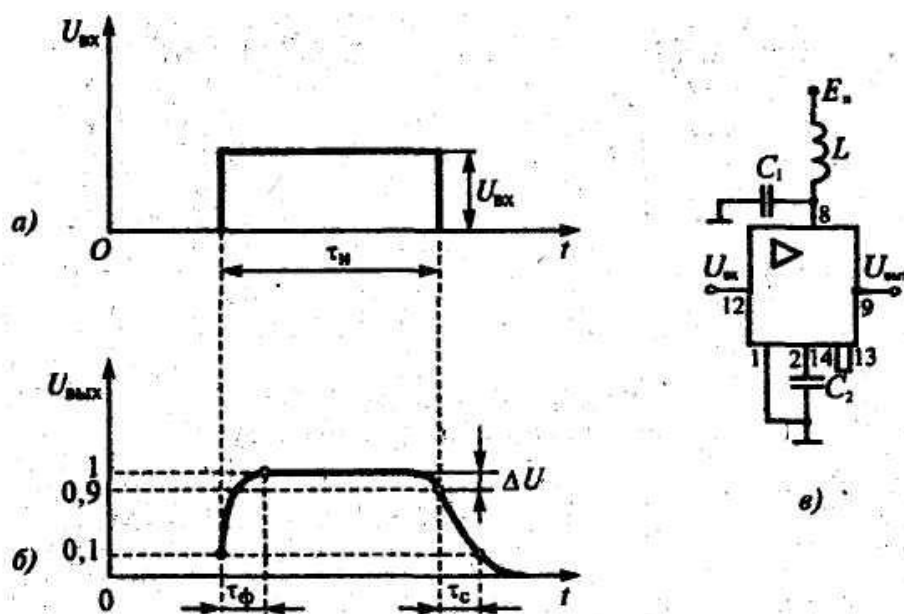


Рисунок 23. Імпульсний підсилювач: а – б – форма імпульсів на вході та виході підсилювача; в – схема з корекцією на швидкодіючим ОП

Відомо, що вершину імпульсу (повільна зміна напруги) визначає низькочастотна частина, а його передній і задній фронти (швидка зміна напруги) - високочастотна частина спектра сигналу. Отже, для неспотвореної передачі імпульсів прямокутної форми верхня гранична частота смуги пропускання

підсилювача f_B повинна прагнути нескінченності, а нижня - f_H - до нуля. Зазвичай необхідна смуга пропускання імпульсних підсилювачів досягається введенням у схему ОП зовнішніх ланцюгів низькочастотної та високочастотної корекції, що складаються з резисторів, ємностей та індуктивностей.

Більшість імпульсних підсилювачів нині виконують з урахуванням ОП. Роздільні конденсатори у схемах використовуються лише для зв'язку з джерелом вхідного сигналу, тому нижня гранична частота посилення імпульсного підсилювача близька до нуля. Збільшення верхньої граничної частоти досягається технологічними методами, що забезпечують отримання високочастотних інтегральних транзисторів і паразитних малих ємностей всередині каскадів підсилювача.

Високочастотна корекція здійснюється включенням в ланцюг живлення ОП невеликих за значеннями індуктивності L і конденсатора, що утворюють разом з ємністю навантаження C_H підсилювача паралельний коливальний контур. В результаті ємнісний характер опору навантаження компенсується індуктивним характером опору ланцюга живлення.

Фізична сутність високочастотної корекції полягає у впливі індуктивності L (її величина від одиниць до сотень мкГ) на швидкість зміни струму навантаження підсилювача. У моменти посилення фронтів імпульсів ємність навантаження C_H заряджається або розряджається струмами більшої величини, ніж відсутність коригуючої індуктивності L . При цьому напруга на ємності C_H (а значить, і на навантаженні R_H) змінюється різкіше, а отже, зменшується тривалість фронтів імпульсу, що призводить до збільшення верхньої граничної частоти.

Низькочастотна корекція передбачає зміну, за допомогою шунтуючих RC-ланцюгів, опору між відповідними точками схеми широкосмугового підсилювача на високих частотах. Як правило, така корекція здійснюється або зміною передавальної характеристики одного з елементарних каскадів, або зміною характеру вхідного імпедансу ОП. У будь-якому разі за такої корекції змінюється АЧХ підсилювального каскаду.

На рисунку 23в представлена принципова схема імпульсного підсилювача на швидкодіючому ОП, у якій високочастотної корекції використовуються навісні елементи L, C1, C2. Можливе включення та ланцюгів низькочастотної корекції.

4.9. Вибір підсилювачів

Вибірчі підсилювачі призначені для посилення вузькосмугових сигналів. Як правило, відношення граничних частот робочої смуги виборного підсилювача не перевищує $f_v / f_n = 1,001 \dots 1,005$. Їх АЧХ повинна мати досить різкі, близькі до прямокутних спадів на межах смуги пропускання.

По частотному діапазону виборчі підсилювачі діляться на два класи — резонансні і з частотно-залежним ЗЗ.

В одній із простих схем транзисторного резонансного підсилювача з загальним емітером (ЗЕ) навантаженням колекторного кола є паралельний коливальний LC-контур (рисунок 24). Зв'язок із наступним підсилювальним каскадом або навантаженням найчастіше здійснюється через розділовий конденсатор. Може також використовуватися і високочастотний трансформаторний зв'язок. Коефіцієнт посилення резонансного каскаду з ЗЕ визначається за такою формулою:

$$K_u = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = h_{21} \frac{R_{кн}}{h_{11}} \quad (4.13)$$

із заміною опору $R_{кн}$ на резонансний опір контуру R_0 ; $K_u = h_{21}R_0/h_{11}$. Резонансні підсилювачі застосовуються на проміжних та високих частотах (понад сотень кГц). Вони виконуються зазвичай на інтегральних мікросхемах, які містять усі елементи принципової схеми, крім коливального контуру (на порівняно низьких частотах).

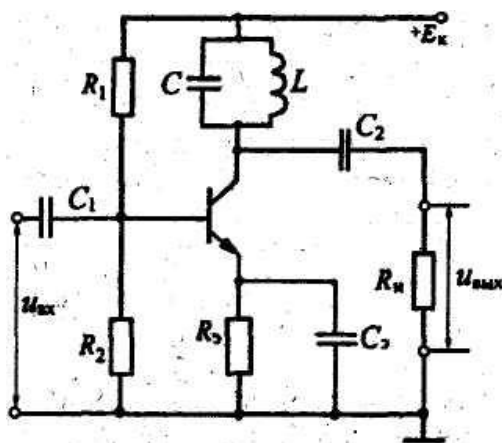


Рисунок 24. Схема резонансного підсилювача.

У діапазоні частот до кількох десятків кілогерців резонансні LC-контури не використовують через великі габарити конденсаторів та котушок індуктивностей. Тому на досить низьких частотах застосовують вибіркові підсилювачі із частотно-залежним ЗЗ, що складається з RC-ланцюгів. На рсиунок 25а наведено схему вибіркового підсилювача на мікросхемі з частотно-залежним НЗЗ у вигляді подвійного Т-подібного моста. Припустимо, що підсилювач з коефіцієнтом посилення K_m має АЧХ $K_u(\omega)$ в області низьких та середніх частот (рисунок 25б).

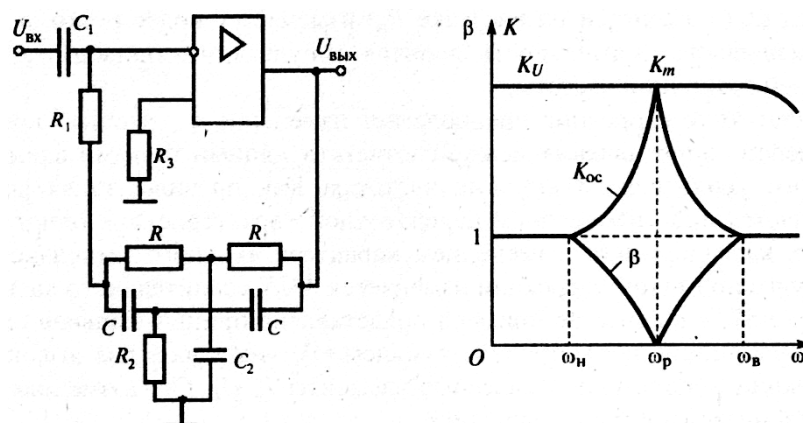


Рисунок 25. Вибірчий підсилювач із частотно-залежним ЗЗ: а – схема; б – частотні характеристики

Відомо, що коефіцієнт передачі β подвійного Т-подібного моста має суттєву залежність від частоти (рисунок 25б). Так, при частотах вхідного сигналу ω ,

відмінних від деякої частоти ω_p , коефіцієнт передачі $\beta \rightarrow 1$ і підсилювач виявляються охопленими глибоким НЗЗ, а коефіцієнт посилення підсилювача при великих значеннях K_m

$$K_{oc} = \frac{K_m}{1 + K_m \beta} = \frac{K_m}{1 + K_m} \approx 1 \quad (4.14)$$

У міру наближення частоти вхідного сигналу ω до частоти ω_p коефіцієнт передачі β кола ЗЗ зменшується, що викликає послаблення НЗЗ і збільшення коефіцієнта посилення $K_{зз}$. На частоті ω_p вплив НЗЗ на параметри підсилювача повністю зникає коефіцієнти $\beta=0$; $K_{IC}=K_m$. Частоту ω_p називають квазірезонансною.

Ці властивості подвійного Т-подібного моста виявляються при певних співвідношеннях його параметрів, наприклад, коли

$$R_2=R/2, C_2=2C.$$

У цьому квазірезонансна частота дорівнює $\omega_p=1/(RC)$.

У схемі рисунку 25а резистор R_3 захищає від пробоя не інвертуючий вхід ОП а R_1 задає необхідний коефіцієнт посилення K_m .

4.10. Вибір базового операційного підсилювача

Для схеми, що розробляється інвертуючого підсилювача в якості базового операційного підсилювача вибираємо ОП 140UD12 з наведеними нижче параметрами:

Напруга джерела живлення: $U_{i.p.} = \pm 5 \dots \pm 17$ Ст.

Напруга зміщення нуля: $U_{см.} = 6$ мВ.

Вхідний струм: $I_{вх.} = 400$ нА.

Коефіцієнт посилення за напругою: $K_u = 68$ дБ.

Швидкість наростання вихідної напруги: $V_{увих} = 0,3$ В/мкс.

Коефіцієнт ослаблення синфазної напруги: $K_{ос\ сф.} = 72$ дБ.

Вхідний опір: $R_{вх.} = 0,4$ МОм.

Потужність: $P_{пот.} = 120$ мВт.

Смуга пропускання ОП при розімкнутій петлі ЗЗ визначається частотою одиничного посилення – частотою, коли коефіцієнт посилення ОП знижується до 1 ($f_{пр} = 0,8$ МГц). Операційний підсилювач 140UD12 добре підходить для розробки схем. Його вітчизняним аналогом є ОП КР 140УД 1208 (параметри наведені у таблиці 9).

Таблиця 9. Порівняльні технічні характеристики ОП

<i>Основні параметри</i>	<i>КР 140 УД 1208</i>	<i>К 140 УД 1А</i>
Напруга джерела живлення, $U_{и.п}$ (В)	$\pm 5 \dots \pm 17$	$\pm 3 \dots \pm 7$
Напруга зміщення нуля, $U_{см.}$ (мВ)	6	7
Вхідний струм, $I_{вх.}$ (нА)	400	7000
Коефіцієнт посилення за напругою, K_u (дБ)	68	42
Швидкість наростання вихідної напруги,	0,3	0,2

$Vu_{вых}$ (В/мкс.)		
Коефіцієнт ослаблення синфазної напруги, $K_{ос}$ $сф$ (дБ)	72	62
Вхідний опір, $R_{вх}$ (Мом)	0,4	0,4
споживана потужність, $P_{пот}$ (мВт)	120	96
Ширина смуги пропускання при розімкнутій петлі ОС, $f_{пр}(fI)$, (МГц)	0,8	3

4.11. Розробка вимірювальної схеми підсилювача, що інвертує

За основу візьмемо схему підсилювача, що інвертує, рисунок 26.

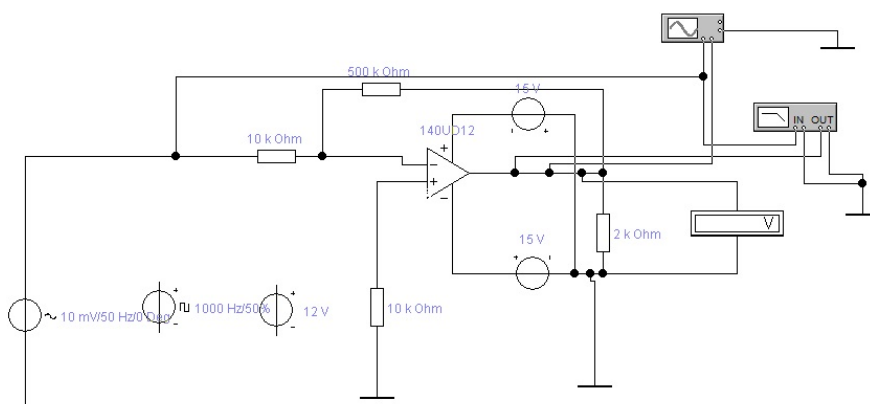


Рисунок 26. Схема підсилювача, що інвертує.

Для побудови АЧХ із групи пасивних компонентів програми вибираємо джерело змінної синусоїдальної напруги, переносимо на робоче поле програми і підключаємо до входу схеми, що інвертує.

З групи контрольно-вимірювальних приладів вибираємо вимірювач АЧХ та ФЧХ (Bode Ploter), переносимо на робоче поле програми та підключаємо до виходу схеми. Перші клеми вимірювача in і out підключаємо на вхід та вихід схеми відповідно, другі клеми вимірювача заземлюються.

Аналогічно відбувається підключення осцилографа для визначення амплітуд вхідного та вихідного сигналів підсилювача та оцінки його коефіцієнта посилення. Осцилограф (Oscilloscope) вибираємо із групи контрольно-вимірювальних приладів, переносимо його на робоче поле та підключаємо до виходу схеми. Канал А підключаємо до входу схеми, канал до виходу.

Для побудови амплітудної характеристики до входу підсилювача, що інвертує, підключаємо генератор амплітудно-модульованих коливань. До виходу схеми підключаємо осцилограф (у цьому випадку підключається тільки канал): для спостереження амплітудно-модульованих коливань і побудови амплітудної характеристики.

Резистори $R_1 = 10 \text{ кОм}$ і $R_{зз} = 500 \text{ кОм}$ утворюють ланцюг паралельного негативного зворотного зв'язку за напругою.

Напруга з виходу підсилювача подається на інвертувальний вхід підсилювача:

$$U_{зз} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{вих} = K_{зз} U_{вих} \quad (4.15.)$$

але, оскільки напруга між входами ОП близька до нуля, можна вважати, що $U_{зз} = U_C$:

$$U_C = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{вих} \quad (4.16.)$$

звідки коефіцієнт підсилення по напрузі:

$$K_U = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{с}}} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{1}{K_{33}} \quad (4.17.)$$

$$K_U = \frac{R_1}{R_2} + 1 \quad (4.18.)$$

Резистор $R_{\text{БАЛ}} = R_{\text{С}} + R_1 \parallel R_2$ включається в схему для балансування по вхідних струмах, якщо опір джерела сигналу $R_{\text{С}}$ великий.

4.12. Моделювання електричних параметрів операційного підсилювача в схемі проекту за допомогою програми Electronic Workbench

Для того, щоб промоделювати електричні параметри операційного підсилювача КР140УД1208 зібрали електрична схема в програмі Electronic Workbench (рисунок 26.).

Вхідну напругу спочатку подавали від джерела постійної напруги ЕЗ (рисунок 27).

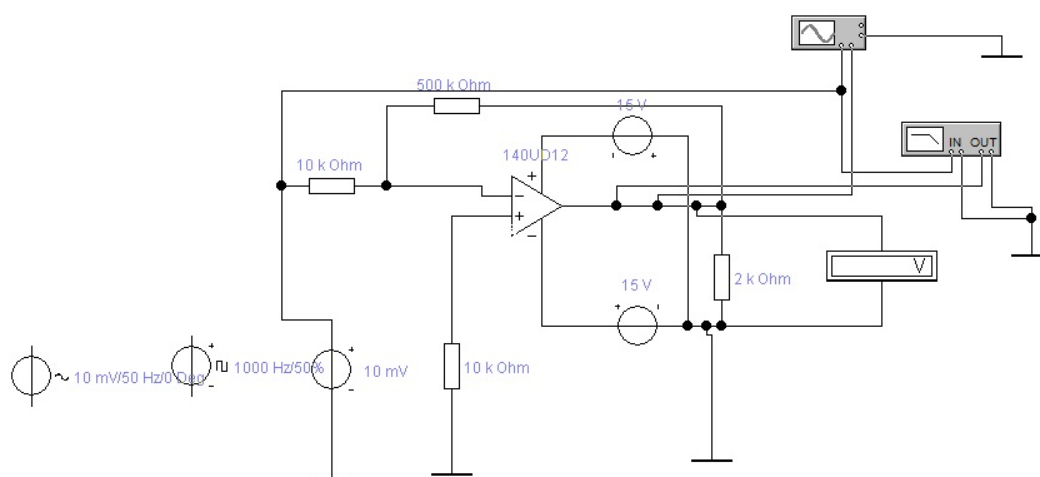


Рисунок 27. Підключення джерела постійної напруги ЕЗ до операційного підсилювача 140UD12

При підключенні на інвертуючий вхід джерела постійної напруги використовувався опір резистора R_1 , який дорівнював 10кОм . Значення опору резистору визначалося вхідним опором операційного підсилювача. Вхідний опір підсилювача дорівнює теж 10кОм . Потенціометр R_{33} забезпечує негативний паралельний обернений зв'язок за напругою. Опор негативного зворотного зв'язку дорівнює 500кОм . При цьому значенні опору коефіцієнт підсилення за напругою

$$K_U \approx -R_{33}/R_1 = -500/10 = -50$$

Для того щоб ослабити синфазний сигнал і для того щоб опори на входах ОП були однаковими в коло неінвертуючого входу додають резистор R_2 . Опір резистора дорівнює також 10кОм .

Вхідний опір ОП близьок к нулю, якщо у ОП великий коефіцієнт підсилення

$$R_{\text{вих}33} = R_{\text{вих}}(1 + R_{33}/R_1)/K_U = 16 \cdot (1 + 5 \cdot 10^5/10^4)/5 \cdot 10^5 \approx 16 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

Опір навантаження повинен бути близько 2кОм . Тому значення опору R_3 , яке в даному випадку є навантаженням дорівнює 2кОм .

При під'єднанні джерела постійної напруги на екрані осцилографа отримали осцилограму вхідної і вихідної напруги. На екрані бодіплотера отримали амплітудну і частотну характеристику підсилювача.

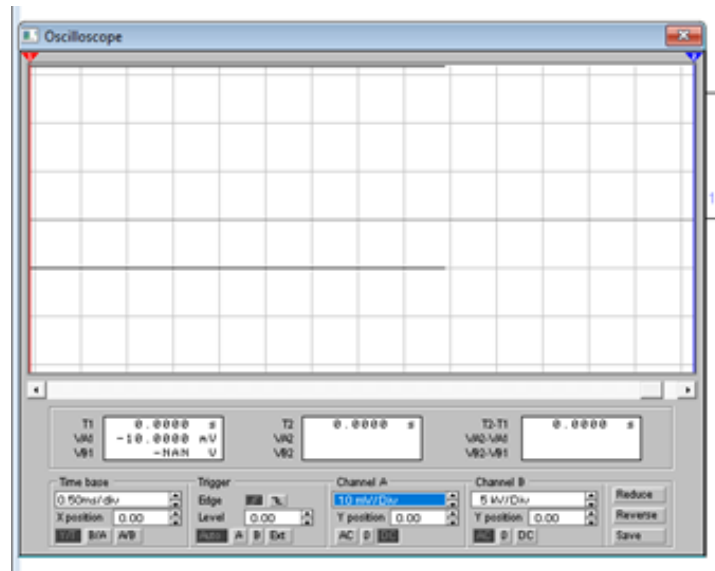


Рисунок 28. Осцилограма вхідної і вихідної напруги ОП 140UD12 при підключенні джерела постійної напруги



Рисунок 29. Амплітудна характеристика операційного підсилювача 140UD12 при підключенні джерела постійної напруги



Рисунок 30. Фазова характеристика операційного підсилювача 140UD12 при підключенні джерела постійної напруги

При подачі на інвертуючий вхід постійної напруги змінюється тільки знак вихідної напруги, а амплітуда вхідного і вихідного сигналу не змінюється. Не змінюється також фазова характеристика операційного підсилювача.

Якщо на інвертуючий вхід операційного підсилювача подати синусоїдальну напругу за допомогою джерела синусоїдальної напруги (рисунок 31), то можна на екрані осцилографа побачити вхідний і вихідний сигнал (рисунок 32).

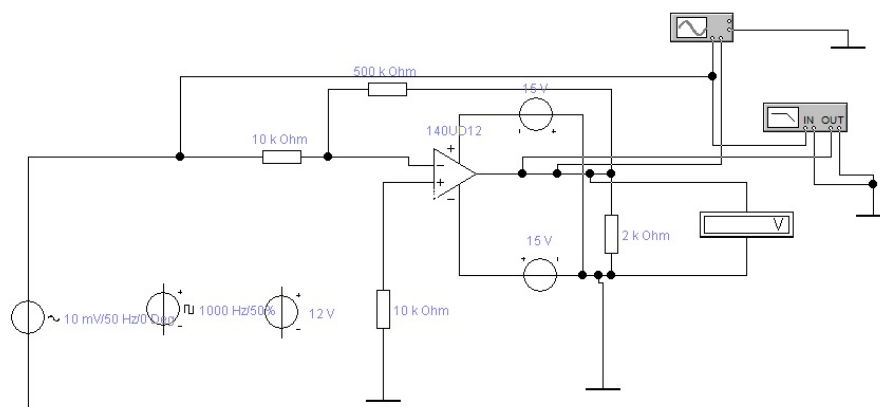


Рисунок 31. Підключення джерела синусоїдальної напруги E1 до операційного підсилювача 140UD12

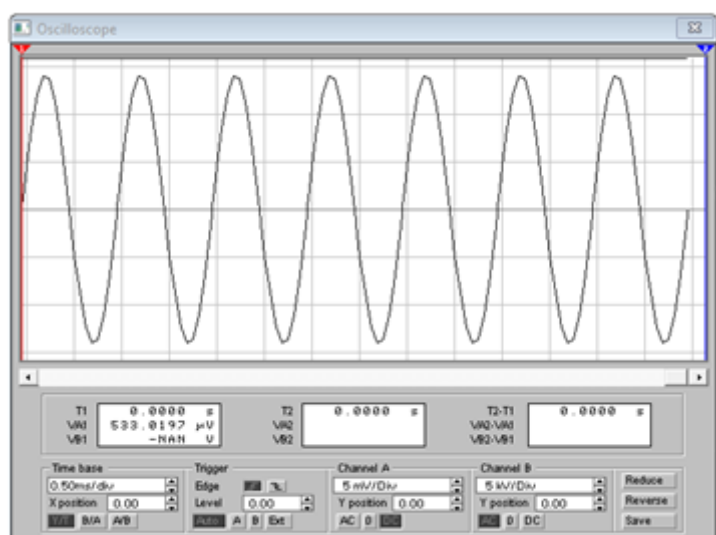


Рисунок 32. Осцилограма вхідної і вихідної напруги ОП 140UD12 при підключенні джерела синусоїдальної напруги

Якщо подивитися на показники бодіплотера, то можна побачити амплітудну (рисунок 33) і фазову (рисунок 34) характеристики операційного підсилювача.



Рисунок 33. Амплітудна характеристика операційного підсилювача 140UD12 при підключенні джерела синусоїдальної напруги

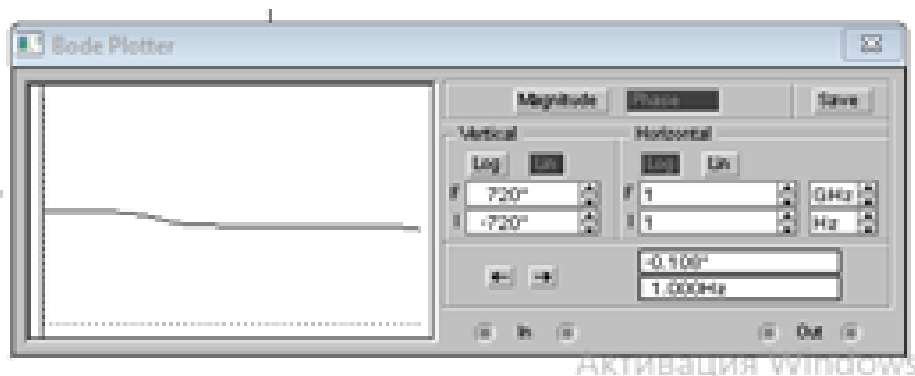


Рисунок 34. Фазова характеристика операційного підсилювача 140UD12 при підключенні джерела синусоїдальної напруги

Якщо проаналізувати показники бодіплотера, то можна побачити, що амплітуда вхідного і вихідного сигналу не змінюється. Фаза сигналів поступово зменшується.

Якщо приєднати до входу операційного підсилювача джерело прямокутних імпульсів E_2 (рисунок 35), то теж можна отримати осцилограму вхідної і вихідної напруги, а також амплітудну і фазові характеристики.

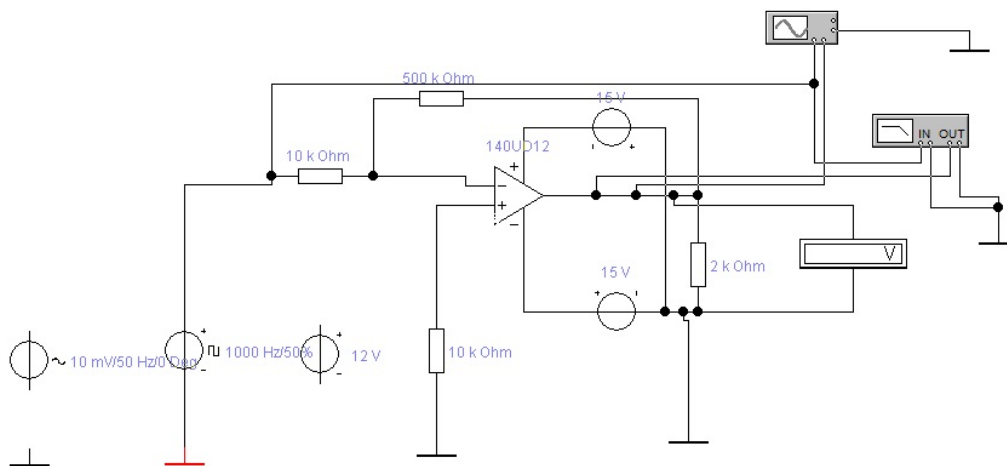


Рисунок 35. Підключення джерела прямокутних імпульсів E2 до операційного підсилювача 140UD12

На екрані осцилографа отримали осцилограму вхідної і вихідної напруги (рисунок 36). На екрані бодіплотера отримано фазову характеристику підключення джерела прямокутних імпульсів (рисунок 37).

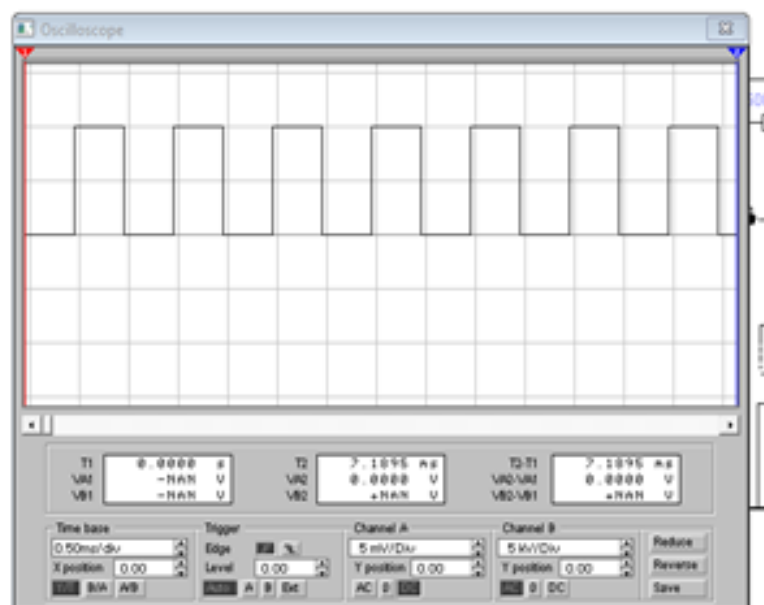


Рисунок 36. Осцилограма вхідної і вихідної напруги ОП 140UD12 при підключенні джерела прямокутних імпульсів

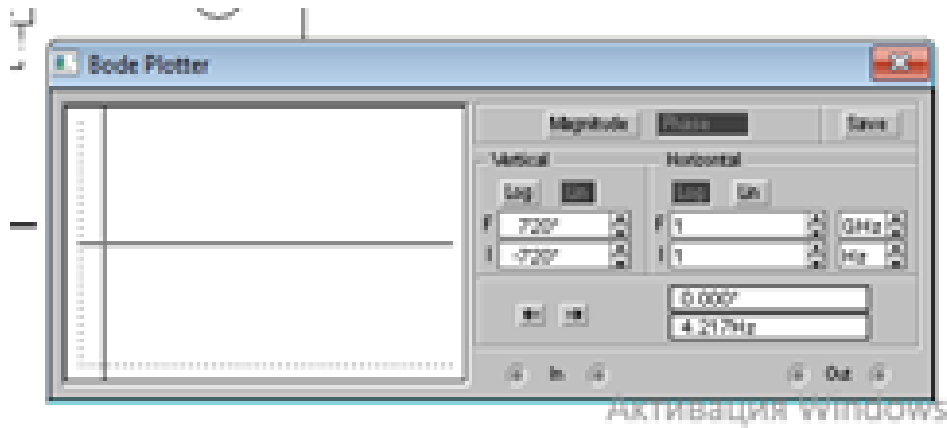


Рисунок 37. Фазова характеристика операційного підсилювача 140UD12 при підключенні джерела прямокутних імпульсів

Якщо порівняти вигляд зображених на рисунках сигналів, то можна побачити, що амплітуда вхідного і вихідного сигналу не змінюється. Змінюється тільки фаза вихідного сигналу. Фаза сигналів не змінюється.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У ході виконання дипломної роботи було освоєно теоретичні основи конструювання, надійності та аналізу радіоелектронних систем; вивчено основні етапи та методи проектування; вивчені загальні вимоги до апаратури щодо надійності, вивчено стадії розробки конструкторської документації, її види та комплектність. Освоєно принципи та методи системного підходу процесу проектування радіоелектронних пристроїв роботи; проведено обґрунтований вибір електричної принципової схеми радіоелектронної апаратури; виконано розрахунок елементів електричної принципової схеми; виконано конструкторську документацію з ЄСКД.

Розглянутий у цій роботі мікрофонний підсилювач для електретного мікрофону надійніше і потужніше, ніж існуючі аналоги, він має більшу вихідну потужність, менший коефіцієнт гармонік тощо.

За результатами розрахунків параметрів друкованого монтажу з урахуванням технологічних можливостей виробництва був обраний третій клас точності плати. Тип друкованої плати був обраний двосторонній. Розраховані розміри плати є 150x42,5 мм. Закріплення друкованої плати було зроблено на чотири точки опори.

Конструкторсько-технологічний розрахунок був уточнений перевірочними розрахунками по постійному та змінному струму.

Було промодельовано електричні параметри мікрофонного підсилювача для електретного мікрофону за допомогою системи схемотехнічного моделювання електронних схем ELECTRONICS WORKBENCH 5_12. Промодельован був операційний підсилювач, який використовується в схемі і є базовим для схеми.

В результаті проведеної роботи був розроблений і промодельований мікрофонний підсилювач для електретного мікрофону з необхідною надійністю.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоэлектронной аппаратуры. – М: Высшая школа, 1977 г.
2. Кириченко И. А., Тарасов С. П. Программа, методические указания и варианты заданий по курсовому проектированию по курсу “Теория, расчет и проектирование приборов и систем”. – Таганрог: ТРТУ, 1998 г.
3. <http://detalinadom.narod.ru/nabor/nabTDA2030.htm>
4. <http://schematic.by.ru/65/6502.htm>
5. <http://detalinadom.narod.ru/stats/UMZ200IV.htm>
6. Иванов Б. С. В помощь радиокружку – М: Радио и связь, 1990 г.
7. Назаров Н. Ф. В помощь радиолюбителю, выпуск 93. – М: «ДОСААФ», 1986 г.
8. Гуревич Б.М., Иваненко Н.С. Справочник по электронике для молодого рабочего: 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 272 с.: ил.
9. Н.А. Шишонок, В.Ф. Рєпкін, Л.Л. Барвінський. Основи теорії надійності та експлуатації радіоелектронної техніки. - Москва: «Радянське радіо», 1964. - 551 с.: Іл.
10. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дросели, пристрої, що комутують, РЕА. Довідник Н.М. Акімов, Є.П. Ващуков, В.А. Кодоренах, Ю.П. Кодоренах - Мн.: Білорусь, 1994. - 591 с.: Іл.
11. Голенкевич Т. А. Прикладна теорія надійності. - М.: Вища школа, 1985. - 168 с.
12. Яншин А. А. Теоретичні основи конструювання, технології та надійності ЕВА. - М.: Радіо і зв'язок, 1983. - 312 с

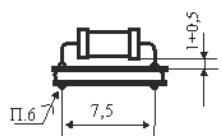
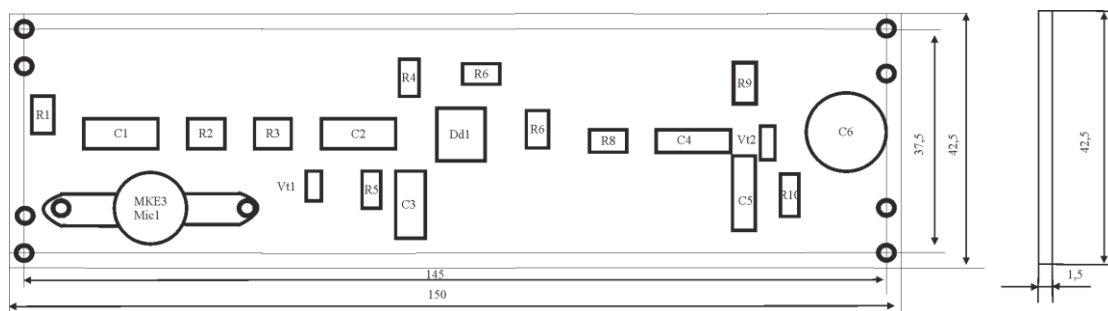
Таблиця отворів

графіч. зображ.	діаметр КМ	діаметр отвору	наявність металу	призначення
•	1,5	1,3	так	монтажне
•	0,9	0,7	так	перехідне
○	2,4	2,0	так	монтажне
○	5,3	5	ні	кріплення

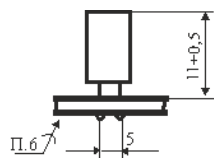
- → *¶
- → 1. Розміри довідок¶
- → 2. Плату зробити комбінованим позитивним способом.¶
- → 3. Плата має відповідати ГОСТ-23752-86, група жорсткості-3.¶
- → 4. Клас точності-3 за ГОСТ-23751-86.¶
- → 5. Крок основної координатної сітки-1,25 мм. Лінії координатної сітки показано через 1,25 мм.¶
- → 6. Відстань між двома провідниками, контактними майданчиками, провідником та контактним майданчиком не менше 0,25 мм.¶
- → 7. Ширина друкарського провідника 0,25 мм шини живлення.¶
- → 8. Провідники покрити сплавом Розі за ТУ-09-4065-88.¶
- → 9. Інші ТУ за ДСТУ-4ГО.070.015¶

Додаток В

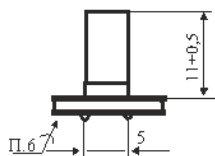
Складальне креслення друкованої плати



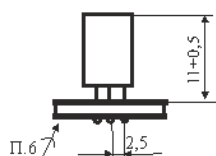
Установка R1 - R8, R10



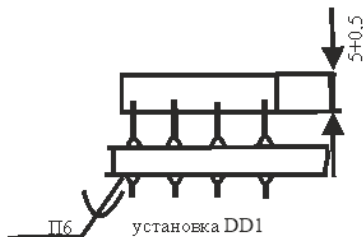
Установка C6



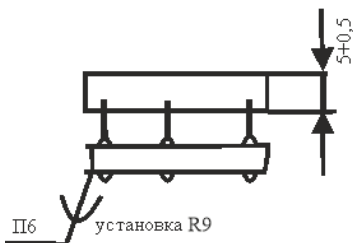
Установка C1-5



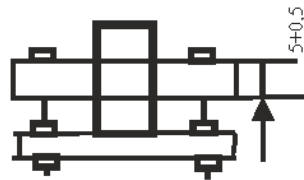
Установка Vt1, Vt2



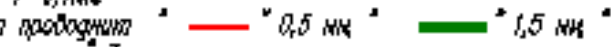
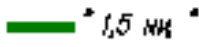

установка DD1



установка R9



установка MKE-3

- 1 . Плата должна соответствовать требованиям ГОСТ 23752–79. Группа жесткости 1.
- 2 . Класс точности 3 по ГОСТ 23751–88.
- 3 .* Размер для справки
- 4 . Конфигурация проводников выдерживать по координатной сетке с отклонением от чертежа $\pm 0,1$ мм
- 5 . Ширина проводника *  * 0,5 мм *  * 1,5 мм *
 3 мм
- 6 . Форма и размеры контактных площадок определяются доминирующими техническими средствами и устанавливаются предприятием-изготовителем фотолитоэлемента. Размер контактной площадки определяется диаметром вписанной окружности и должен соответствовать ГОСТ 23751–88.
- 7 . Маркировку травлением выполнять шрифтом 2,5–Пр3 ГОСТ 26.020–80. Допускается шрифт, вытравленный на координатном слое с программным управлением. Расстояние от маркировки до края платы не менее 0,5 мм. Допускается касание маркировочных обозначений одного печатного элемента.
- 8 . Плату печатную покрыть глянцевым защитным резином (гляцевой маской) в соответствии с технической инструкцией завода-изготовителя. Тип гляцевого защитного реза устанавливает завод-изготовитель.
- 9 . Маркировать краской PLASTSTAR OE–025, белой фирмы "SERICOL". Шрифт 2,5–Пр3 ГОСТ 26.020–80.
- 10 . Клеить краской PLASTSTAR OE–025, белой фирмы "SERICOL".
- 11 . Допускается маркировать и клеить краской прозрачной для негитивающих поверхностей ТНПФ–84, белой ТНПФ–01, черной ТУ 29–02–869–88, УНП или краской PLASTSTAR OE–001, черной фирмы "SERICOL".
- 12 . Маркировочный слой вытравить краской ТНПФ–84, белой ТУ 29–02–869–88, УНП. Шрифт 2–Пр3 ГОСТ 26.020–80.
- 13 . Условные обозначения и размеры отверстий см. табл. лист . Наименование столбцов таблицы отверстий: Hole Dia(мм)–Диаметр отверстия(мм); Sp(мм)–Условное обозначение; Quantity–Количество Plated–Наличие металлизации (Yes–Есть/No–Нет).
- 14 . Допускается замена материала на стеклотекстолит СТНФ–2–35–1,5 ТНБ–503.161.–83.
- 15 . Плотность металлизации 85 мд/см
- 16 . Обработку печатной платы по контуру выполнять фрезерованием согласно
- 17 . Дополнительные технические требования по ОСТ 10.070.014.