

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. І. СІКОРСЬКОГО»
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни Аналогова електроніка - 2
на тему: FM приймач

Студента 2 курсу групи ДК-81

Напряму підготовки: Радіоелектронні апарати

Спеціальності: Телекомунікація та радіотехніка

Ромаха В.І.

доцент, к.т.н. Короткий Є.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна оцінка: _____

Кількість балів: ____ Оцінка: ECTS ____

Члени комісії: _____ доцент, к.т.н. Короткий Є.В.

(підпис)

(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Київ - 2020 рік

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Список умовних скорочень.....	4
Передмова.....	5
Розділ 1.....	7
Розробка принципової схеми.....	7
1.1 Список використаних мікросхем	7
1.2 Пояснення принципу роботи схеми.....	7
Розділ 2 Математичне обґрунтування деяких вузлів схеми.....	13
Розділ 3 Моделювання роботи приладу.....	15
Розділ 4 Створення моделі друкованої плати.....	20
Висновки.....	24
Перелік використаних джерел.....	25

ВСТУП

З самих витоків людської історії люди весь час обмінювалися інформацією. Спілкування дозволило нашому виду вижити, так як вчасно передана інформація могла вберегти від хижака або могла допомогти знайти нове більш багате на ресурси місце проживання. Знання передавалися спочатку за допомогою звуків і жестів, пізніше за допомогою мови і писемності, така передача спонукала людство до прогресу. Чим старше ставав наш вид, тим більше зростала цінність спілкування, обміну інформацією. Спілкування було викликано різними причинами: необхідністю передачі досвіду, бажанням розважитися, науковими дискусіями або отриманням стратегічної переваги під час битв. Першими і примітивними способами передачі інформації на далекі відстані коли звичайна пошта не могла доставити повідомлення були набори вогнів які запалювали на горах, дим. Різні набори таких сигналів могли сигналізувати про різні події, пізніше з розвитком телеграфу і азбуки Морзе, люди вже могли передавати цілі речення на дуже далекі відстані. Але це було не дуже зручно і вимагало знань шифру, на зміну телеграфу прийшло радіо. Не дивлячись на те що в сучасний час з'явилися куди більш просунуті способи передачі інформації, радіо технології займають дуже велику нішу як серед військового так і цивільного життя.

Тому я хочу розробити радіоприймач, який буде мати низьку вартість і приймати сигнал радіостанцій, при цьому можна змінювати гучність і частоту сигналу який приймають.

Для досягнення поставлених цілей необхідно:

1. Розробити принципову схему пристрою з урахуванням заданих параметрів.
2. Провести математичне обґрунтування окремих вузлів схеми.
3. Провести моделювання роботи пристрою у SPICE-системі.

	СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ
FM	Frequency modulation, частотна модуляція
AM	Amplitude modulation, амплітудна модуляція
SPICE	Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis
ОП	Операційний підсилювач
ПЗ	Програмне забезпечення

ПЕРЕДМОВА

Модуляція - це процес перетворення одного чи декількох інформаційних параметрів несучого сигналу відповідно до миттєвих значень інформаційного сигналу. В результаті модуляції сигнал переходить в область більш високих частот.

Використання модуляції дозволяє:

- Узгодити параметри сигналу з параметрами лінії.
- Збільшити стійкість до перешкод.
- Збільшити дальність передачі сигналу.
- Організувати багатоканальні системи передачі

Види аналогової модуляції:

- FM або частотна модуляція, відбувається зміна частоти несучого сигналу (рис 1).

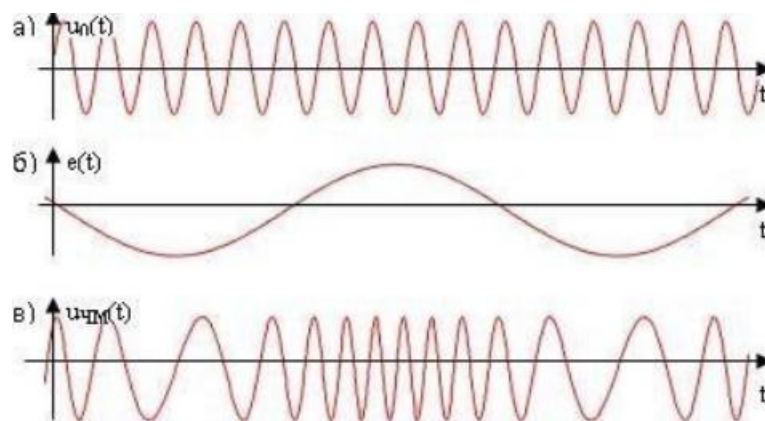


Рис 1: Частотна модуляція:

а - інформаційний сигнал

б - несучий сигнал

в - модульований сигнал

- АМ або амплітудна модуляція, відбувається зміна амплітуди несучого сигналу (рис 2).

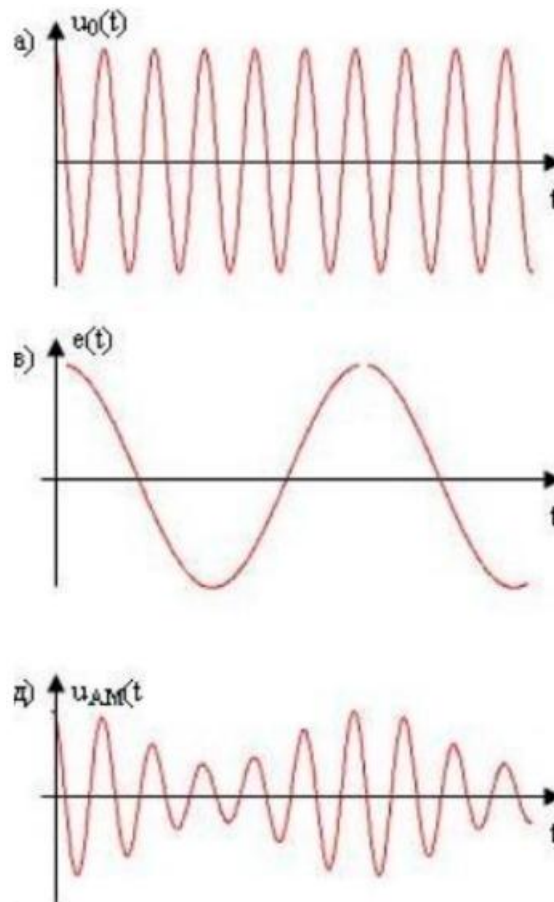


Рис 2: Амплітудна модуляція:

a - несучий сигнал

в - інформаційний сигнал

д - модульований сигнал

- РМ або фазова модуляція, відбувається зміна фази несучого сигналу.

Для подальшого розуміння необхідно знати такі терміни:

- Девіація частоти - найбільше відхилення частоти модульованого сигналу від значення частоти його носія.
- Індекс частотної модуляції відношення девіації частоти до частоти модулюючого сигналу.
- Коефіцієнт амплітудної модуляції - основна характеристика амплітудної модуляції, чисельно дорівнює різниці між максимальним та мінімальним значень амплітуд модульованого сигналу до суми цих значень, виражена у відсотках.

Розділ 1

Розробка принципової схеми

1.1 Список використаних мікросхем у схемі наведено у таблиці 1.1.

№ п.п	Назва	Опис
1	LM386	Низьковольтний підсилювач потужності. Основні технічні характеристики: <ul style="list-style-type: none"> ● Широкий діапазон живлення від 4 до 12 В або від 5 до 18 В ● Низьке споживання струму: 4мА ● Полоса пропускання 300кГц ● Підсилення за напругою від 20 до 200 ● Низький коефіцієнт спотворень
2	OP275	Аудіо операційний підсилювач. Основні технічні характеристики: <ul style="list-style-type: none"> ● Широкий діапазон живлення від 4.5 до 22 В ● Низьке споживання струму: 5мА ● Полоса пропускання: 9МГц ● Швидкість наростання вихідного сигналу: 22В/мкс ● Низький коефіцієнт спотворень

1.2 Пояснення принципу роботи схеми

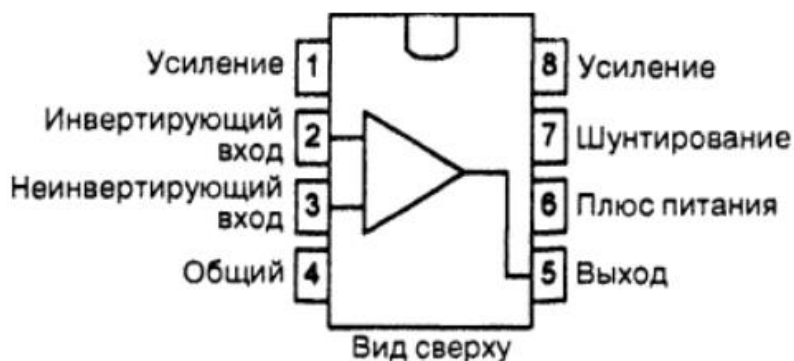


Рисунок 1.1: Виводи мікросхеми LM386

LM386 - низьковольтний підсилювач потужності сигналу. В основному ця мікросхема використовується як підсилювач сигналів звукового діапазону, проте як можемо бачити з ширини полоси пропускання ця мікросхема може

використовуватися для підсилення більш високочастотних сигналів. На рисунку 1.1 зображені виводи мікросхеми. Вхідний сигнал який хочуть підсилити в основному під'єднують до неінвертуючого входу, а інвертуючий вхід під'єднують до землі. При чому амплітуда сигналу на виході буде залежати від амплітуди вхідного сигналу, чим менше буде вхідний сигнал, тим менше буде сигнал на виході, це важливо запам'ятати та усвідомити, тому що далі це буде використано для контролю гучності радіоприймача. Хоч коефіцієнт підсилення LM386 за замовчуванням встановлений на рівні 20, його можна збільшити майже в 10 разів, під'єднавши до виводів 1 та 8 конденсатор та резистор. При такому збільшенні коефіцієнта підсилення необхідно 7 вивід під'єднати до мінуса джерела живлення через конденсатор 0.1мкФ для підтримки стабільної роботи та запобігання нелінійних спотворень. До контакту №6 підключають напругу живлення, а контакт №4 частіше всього пускають на землю. Для коректної роботи мікросхеми вихід схеми потрібно паралельно підключити до землі через конденсатор невеликої ємності.

OP275 - операційний підсилювач. Операційний підсилювач (умовне графічне зображення наведено на рисунку 1.2) - це електронний підсилювач напруги з високим коефіцієнтом підсилення, який має один диференційний вхід та зазвичай один вихід. Напруга на виході може перевищувати різницю напруг на входах в сотні або навіть в тисячі разів. Операційний підсилювач є різновидом диференційного підсилювача.

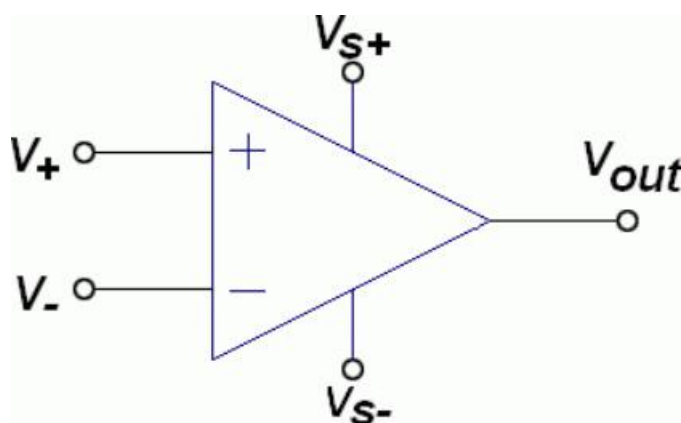


Рис 1.2: Умовне графічне зображення ОП

$V_{S+/-}$ - плюс / мінус напруги живлення

$V_{+/-}$ - неінвертуючий та інвертуючий входи

V_{out} - вихід

Ідеальний диференційний підсилювач підсилює тільки різницю напруг на входах, така напруга називається диференційною. В моїй роботі використовується неінвертуючий підсилювач на основі операційного підсилювача зі зворотнім негативним зв'язком.

За основу створеної схеми я взяв схему найпростішого FM радіо [1], схема принципова наведена на рис 1.3.

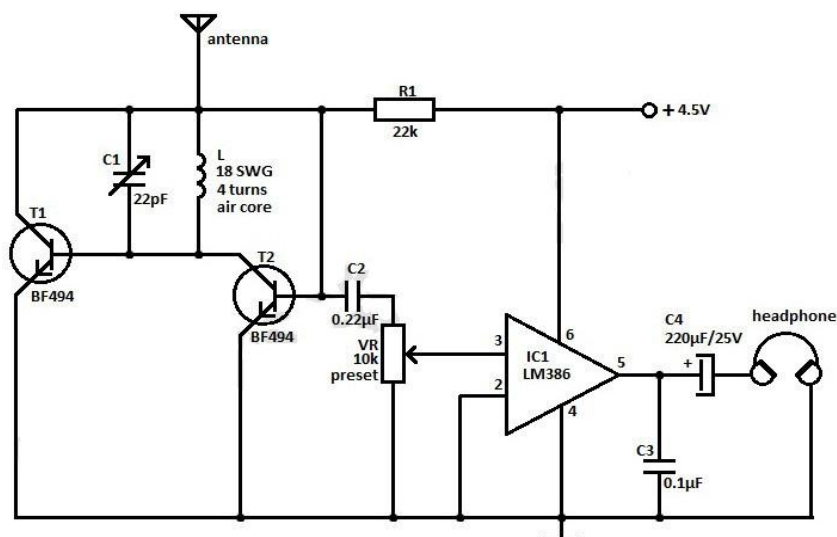


Рис 1.3: Схема найпростішого FM радіо

Проте під час аналізу цієї схеми я визначив що на її виході я отримую АМ сигнал, що не влаштовувало мене і я вирішив її доробити власноруч, додавши демодулятор АМ сигналу та підсилювач на базі операційного підсилювача (рис 1.4).

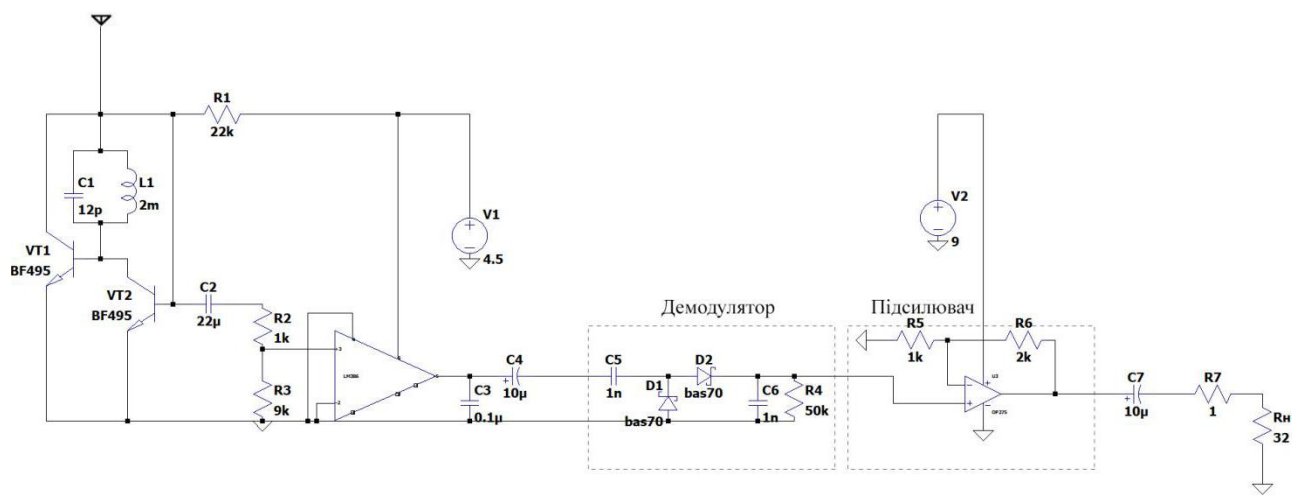


Рис 1.4: Схема модифікованого FM радіо

В основі схеми лежить генератор височастотних сигналів на транзисторах VT1 та VT2. Навіть якщо від'єднати антенну ми зможемо спостерігати коливальні сигнали які не затухають, також ці два транзистори утворюють підсилювач. А саме вихід транзистора VT2 під'єднаний до входу транзистора VT1. Цей підсилювач має позитивний зворотній зв'язок через підстроювальний контур C1 та L1, саме зворотній зв'язок підштовхує схему до коливань майже на тій самій частоті на яку налаштований внутрішній коливальний контур. Оскільки все підсилення відбувається в досить вузькому околі навколо настроєної частоти, ми будемо отримувати відгук схеми лише на нашій частоті та в невеликому діапазоні навколо неї. Таким чином ми отримаємо фільтр частоти який має форму колокола.

Через девіації FM сигналу та крутизну нашого фільтра зміна частоти сигналу який ми приймаємо буде відповідати змінам амплітуди вихідного сигналу. Пік амплітуди буде знаходитися в центрі полоси пропускання, а при віддалені сигнал буде послаблюватися як результат, амплітуда на виході буде зменшуватися. В ідеалі для коректної роботи приймача користувач має точно настроїти радіо на центр полоси пропускання, але в реальності людина не може досягнути такої точності без спеціальних пристроїв та налаштовує приймач на слух для найкращого звучання.

Далі йде розділювальний конденсатор C2 який призначений для відфільтровування постійної складової сигналу та передачі його на вхід підсилювача LM386.

Як можемо спостерігати після конденсатора C2 йде потенціометр VR який одним виходом підключений до неінвертуючого входу LM386, а іншим до землі. Такий змінний резистор можна представити як два послідовно включених резистора, на рисунку 1.5 зображена така заміна. Як відомо два послідовно включених резистора утворюють подільник напруги. Змінюючи номінали цих резисторів, налаштовуючи потенціометр, можна досягнути різних падінь напруги на виході цього пристрою. Таке налаштування необхідне якщо ми хочемо змінювати гучність динаміку, адже через принцип роботи LM386, який був описаний вище, сигнал на виході схеми буде мати амплітуду пропорційну амплітуді сигнала на вході LM386.

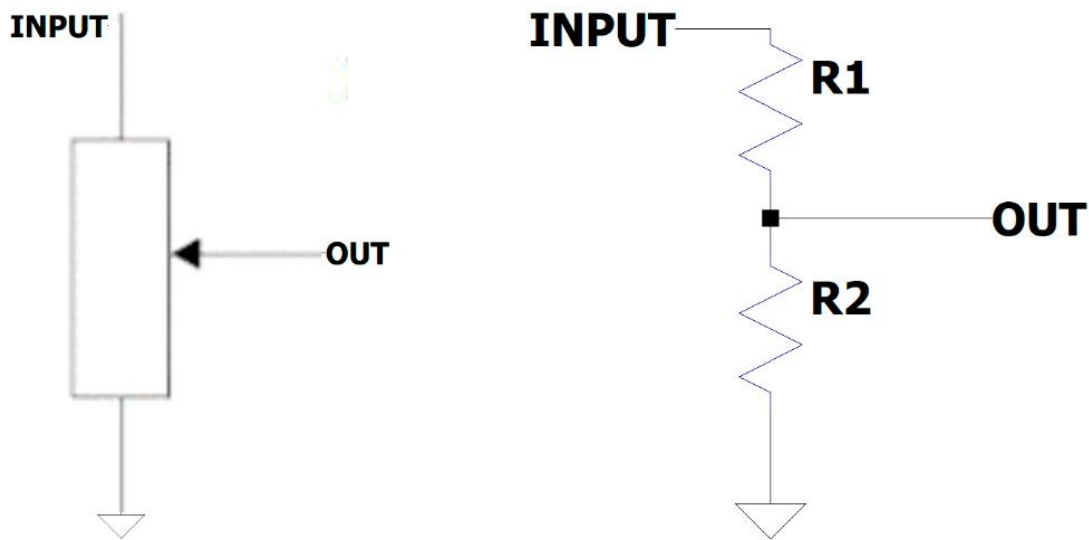


Рис 1.5: Заміна потенціометра двома резисторами

На виході LM386 отримаємо підсилений амплітудно модульований сигнал, який тепер необхідно демодулювати та підсилити перед тим як подавати його на навушники або динамік. Конденсатор C4 відфільтровує постійну складову сигналу, а конденсатор C3 необхідний для коректної роботи LM386.

Схема демодулятора АМ сигналу який я використав у цій роботі називається Double diode detector circuit (рис. 1.6), в основі якого як видно з назви лежать два діоди. Така схема випрамляє як позитивний так і негативний напівперіоди сигнали, що призводить до збільшення чутливості та діапазон для детектування. Під час того як сигнал проходить через діоди він заряджає конденсатор C6 який після цього “запам’ятовує” пікове значення амплітуди вхідного сигналу, ти видає це значення на вихід. Така структура дозволяє згладити амплітудно модульований сигнал та на виході отримати демодульований сигнал. Конденсатор C6 має бути малої ємності для забезпечення низького реактивного опору. Також чутливість детектування сигналу залежить від резистору R4, він береться таким чином щоб був оптимальний сигнал на виході, в основному від 10кОм до 1МОм. Діоди в такій схемі потрібно використовувати з як можна меншою напругою відкривання, тому краще всього використовувати діоди Шотткі. bas70 високочастотні діоди Шотткі, спеціально призначені для швидкого перемикання та високочутливого детектування сигналу.

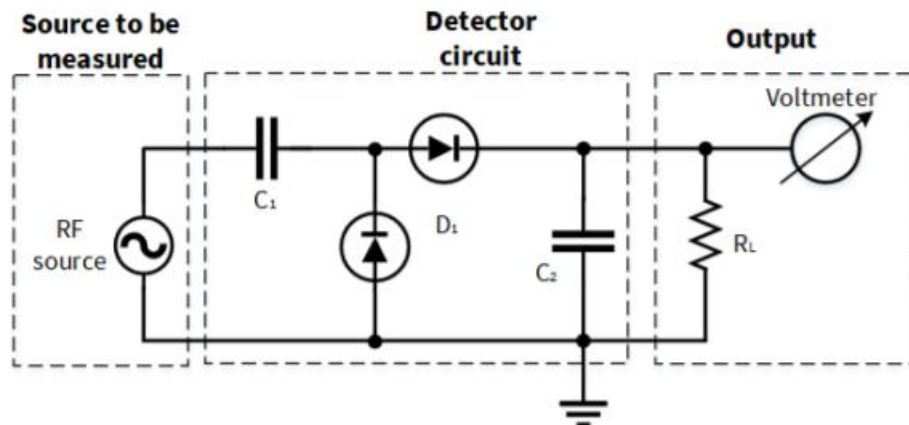


Рис 1.6: Double diode detector circuit

Після того як сигнал був остаточно демодульованим його необхідно підсилити за допомогою операційного підсилювача. Такий спосіб підсилення спеціально вибраний через те що на вихід операційного підсилювача має низький вихідний опір, що добре для узгодження за напругою. В наступному розділі буде розглянуто принцип роботи і розрахунки щодо цього підсилювача, а поки що просто візьмемо підсилений сигнал на виході.

Після підсилення сигнал проходить через конденсатор C_7 щоб відфільтрувати постійну складову, після чого сигнал потрапляє на навушники або динамік.

РОЗДІЛ 2

Математичне обґрунтування деяких вузлів схеми

Для того щоб правильно розрахувати коефіцієнт підсилення необхідно провести деякі розрахунки. А саме вивести коефіцієнт підсилення за напругою для неінвертуючого підсилювача (рис 2.1) для того щоб правильно розрахувати номінали R_f та R_g .

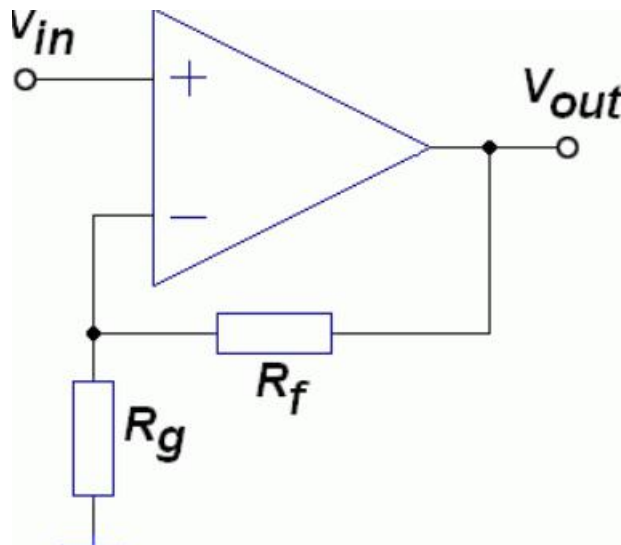


Рис 2.1: Неінвертуючий підсилювач

Для того щоб робота підсилювача була передбачувана, використовують негативний зворотній зв'язок, яка встановлюється тим що частина напруги з його вихода подається на інвертуючий вхід. Дуже важливою особливістю такого включення яка знадобиться в подальших розрахунках є те що напруга на прямому та інверсному входах намагається зрівнятися, тобто різниця між цими напругами дорівнює нулю.

Позначимо напругу на інверсному вході $U_{інв}$, через особливість яку я зазначив раніше:

$$U_{інв} = U_{вх}$$

Як можемо бачити напруга $U_{інв}$ знімається з подільника напруги який утворений резисторами R_f та R_g . Тоді $U_{інв}$ можна записати як:

$$U_{\text{інв}} = U_{\text{вих}} R_g \div (R_f + R_g)$$

Як відомо коефіцієнт підсилення за напругою вираховується таким чином:

$$K_u = U_{\text{вих}} \div U_{\text{вх}}$$

Так як було зазначено раніше $U_{\text{інв}} = U_{\text{вх}}$, отримуємо:

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{вих}} R_g \div (R_f + R_g)$$

Тоді коефіцієнт підсилення за напругою дорівнює:

$$\begin{aligned} K_u &= U_{\text{вих}} \div U_{\text{вх}} = U_{\text{вих}} \div (U_{\text{вих}} R_g \div (R_f + R_g)) = \\ &= (R_f + R_g) \div R_g = 1 + R_f \div R_g \end{aligned}$$

Так як $K_u = 1 + R_f / R_g$, то можна легко виразити вихідну напругу через коефіцієнт підсилення, для того щоб потім використати для наших розрахунків.

$$U_{\text{вих}} = K_u U_{\text{вх}} = U_{\text{вх}} (1 + R_f \div R_g)$$

РОЗДІЛ 3

Моделювання роботи приладу

Моделювати прилад та його роботу буду в SPICE-системі LTspice XVII. Усі симуляції будуть відбуватися в режимі Transient Analysis. Перед тим як почати моделювати сам пристрій, необхідно розібратися яким чином модулювати роботу антени, я вирішив виконати це завдання за допомогою компоненту modulate (рис. 3.1). Першочергово потрібно розглянути його принцип роботи.

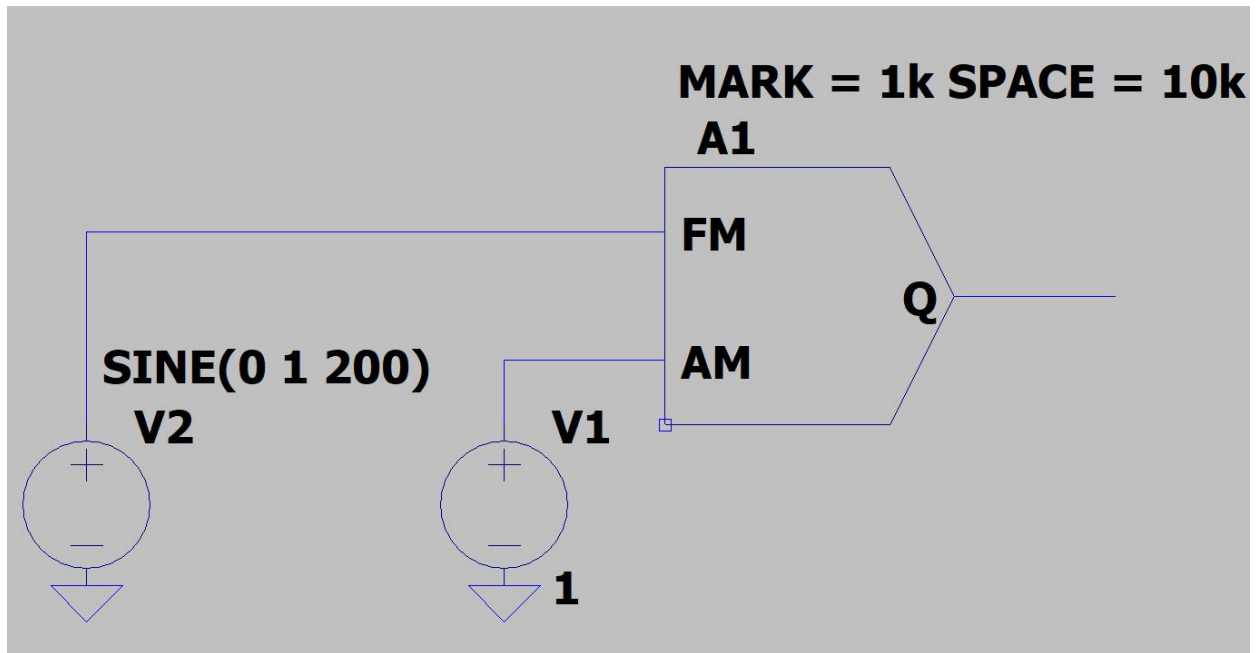


Рис 3.1: Компонент modulate

Вхід FM встановлює інформаційний сигнал, тобто той який необхідно промодулювати, в даному прикладі частота вхідного сигналу дорівнює 200Гц. Вхід AM задає амплітуду вихідного сигналу, в даному прикладі амплітуда дорівнює 1В. Параметр MARK задає частоту вихідного сигналу коли на вході FM максимум напруги, а SPACE коли напруга на FM дорівнює нулю. Ось таким чином буде виглядати результат роботи цього компоненту (рис 3.2).

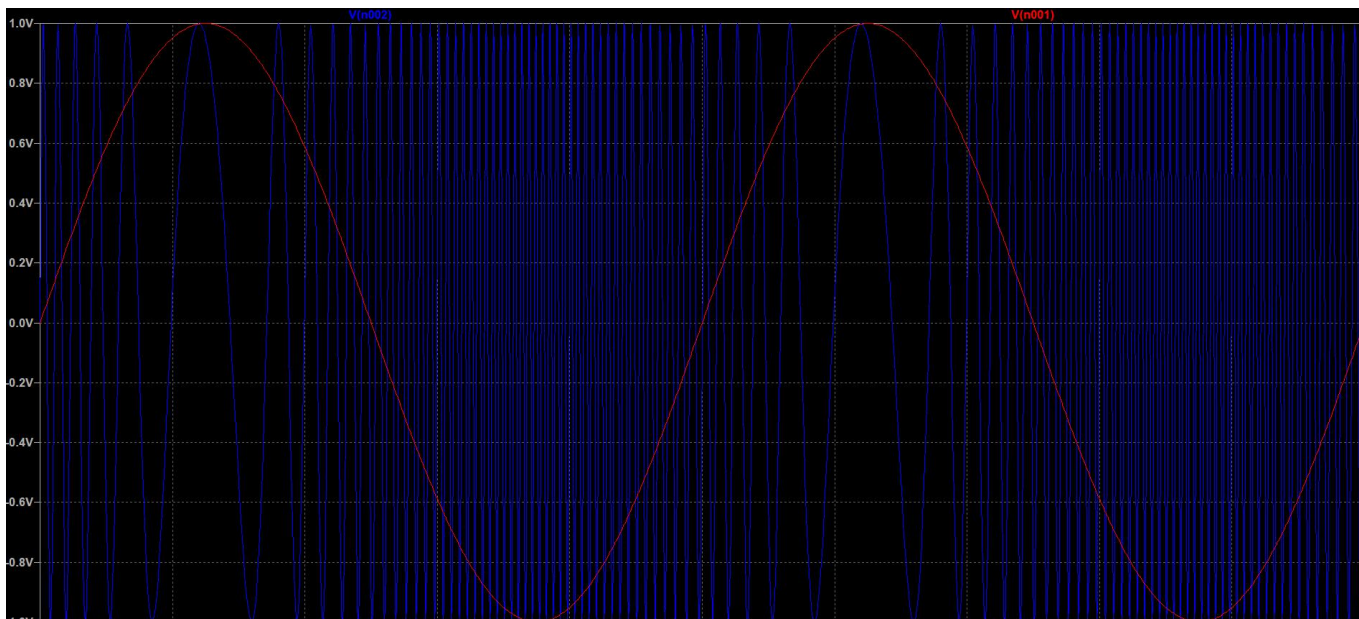
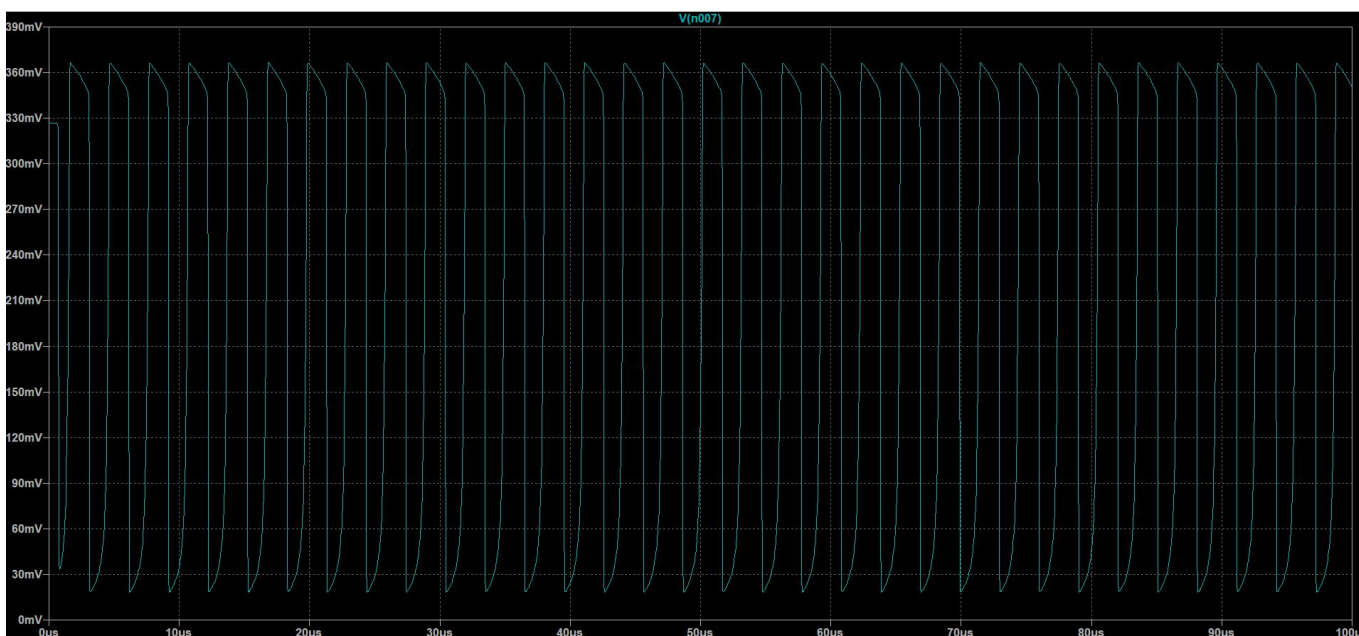


Рис 3.2: Результат роботи modulate:

Синій сигнал - вихідний сигнал

Червоний сигнал - інформаційний сигнал на вході FM

Розібравшись з компонентом modulate можна переходити до модулювання самої схеми. Спершу треба перевірити чи працює генератор сигналу на транзисторах VT1 та VT2. Для цього необхідно відключити джерело вхідного сигналу (modulate) та перевірити напругу на колекторі транзистора VT2 (рис 3.3).



*Рис 3.3: Коливання напруги на колекторі транзистора VT2,
за відсутності вхідного сигналу*

Далі підключаємо джерело сигналу (modulate) і дивимосся напругу на виході LM386 (рис 3.4). Сигнал має виглядати як АМ модульований інформаційний сигнал джерела. Частота інформаційного сигналу дорівнює 7кГц, тому на виході нашої схеми потрібно очікувати саме таку частоту.

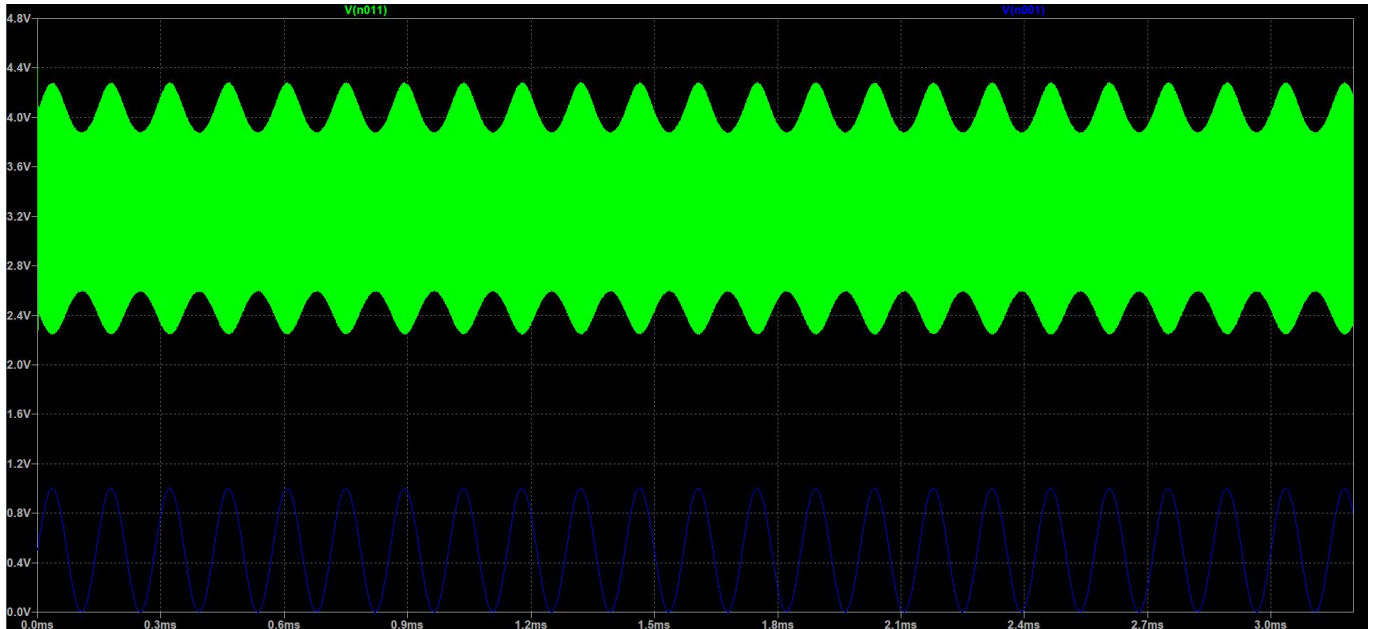


Рис 3.4: Порівняння напруги на виході LM386 та інформаційного сигналу

Зелений сигнал - напруга на виході LM386

Синій сигнал - інформаційний сигнал

Як бачимо напруга має постійну складову, спеціально для цього встановлений конденсатор C4, він відфільтрує постійну складову (рис 3.5).

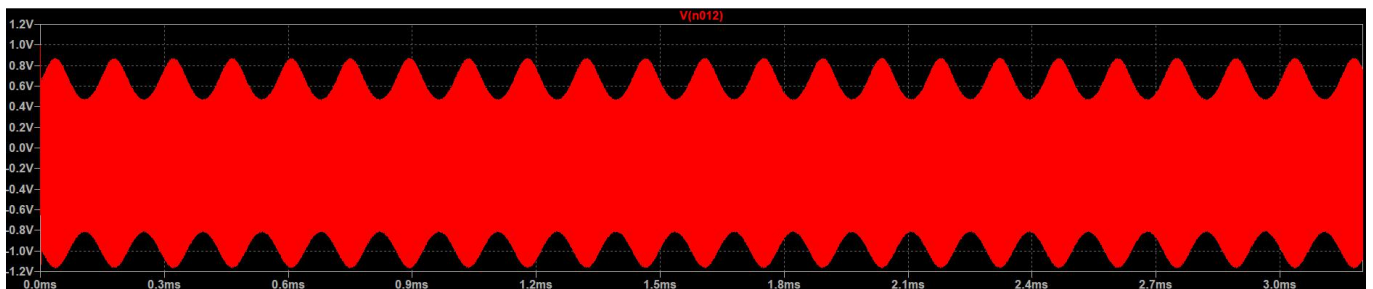


Рис 3.4: Напруга після конденсатора C4

Тепер цей відфільтрований сигнал потрапляє на детектор піку. Детектор буде ніби згладжувати високочастотну складову, та з'єднувати усі піки напруги які вище 0В, тобто на виході ми мусимо отримати синусоїду з постійною складовою, яка буде більше 0В. Вихідний сигнал знімається між резистором R4 та землею (рис 3.5).

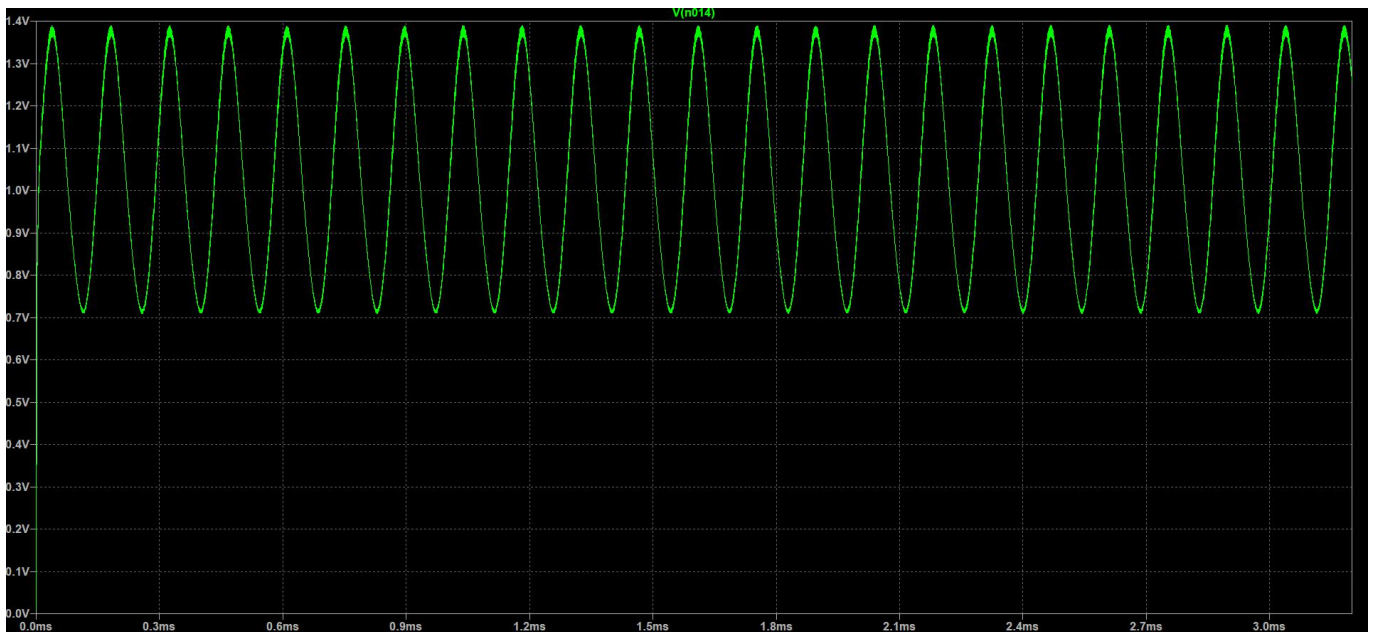


Рис 3.5: Сигнал на виході детектора піку

Хоча сигнал вже має правильний вигляд його ще не можна подавати на навушники або динамік через те, що вихідний опір детектора піку дуже високий і якщо під'єднати до нього навушники то вся напруга буде виділятися саме на детекторі, тобто напруга “просяде” на навантаженні. Тому щоб прибрати цю проблему, було вирішено додати на вихід детектора операційний підсилювач, через його властивість підсилювати сигнал та низький вихідний опір, що дасть гарне узгодження за напругою. Також дуже важливо те, що зараз амплітуда коливань дорівнює 0.35В, а для нормальної навушників необхідно приблизно 1В, тому я плануючи схему підсилювача вибрав резистори R5 та R6 таким чином, щоб підсилення відбувалося в 3 рази. Зараз перевіримо формулу, яку я вивів раніше.

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{вх}} (1 + R_6 \div R_5) = 0.35(1+2) = 0.35 \times 3 = 1.05 \text{ (В)}$$

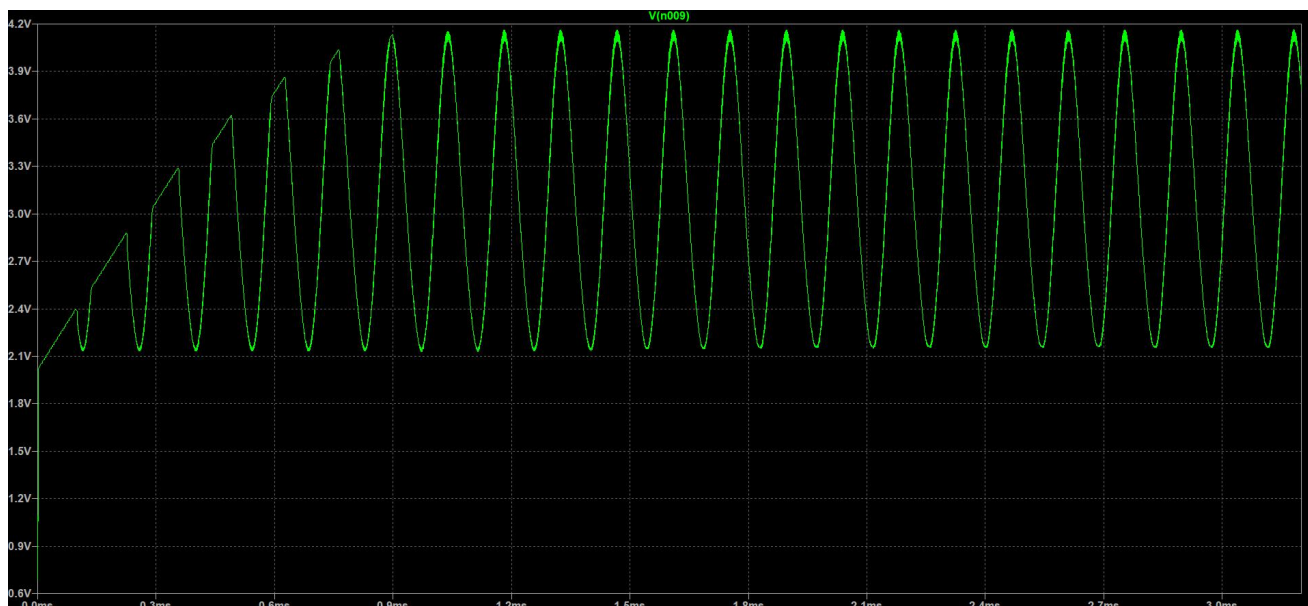


Рис. 3.6: Напруга після операційного підсилювача

Після встановлення перехідних процесів у ОП, ми спостерігаємо максимальну напругу в 4.17В і мінімальну напругу в 2.14В. Після простих розрахунків бачимо що амплітуда дорівнює 1.015В, що майже ідеально точно сходиться з теоретичним значенням. Залишилося тільки прибрати постійну складову та перевірити напругу на резисторі R_H , що відповідає опору навушників.

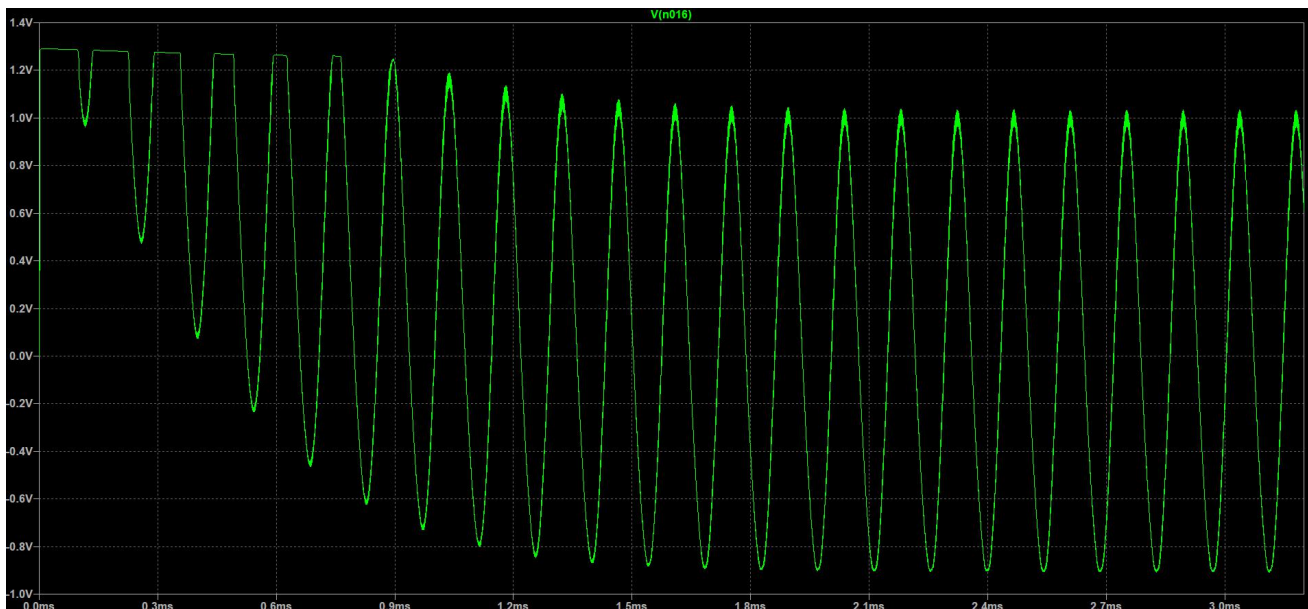


Рис. 3.7: Напруга на навушниках

Як можемо спостерігати сигнал центрований відносно 0В, та його частота становить 7кГц (рис. 3.8), як і було зазначено раніше.

$dx = 142.29935\mu s(7.027439KHz)$ $dy = 2.88mV$ (slope = 20.2471V/s)

Рис. 3.8: Частота сигналу на навушниках

РОЗДІЛ 4

Створення моделі друкованої плати

Для моделювання друкованої плати було використано ПЗ EasyEDA. Такий вибір обумовлений тим, що цю програму дуже легко опанувати, вона має дуже велику бібліотека елементів та хмарне сховище створених схем.

Першим кроком для створення друкованої плати є створення схеми принципової з необхідними компонентами (рис 4.1).

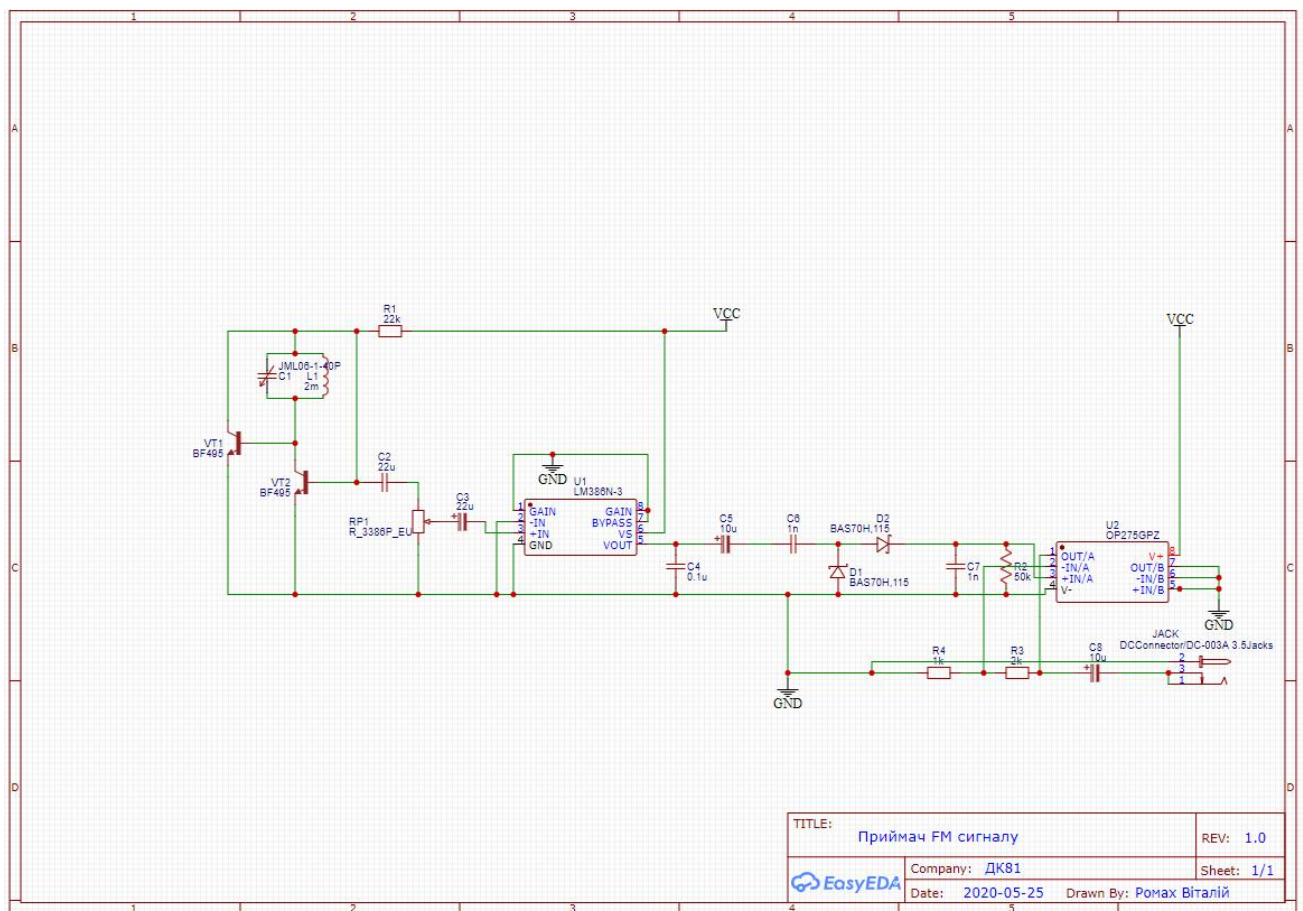


Рис. 4.1: Схема принципова в EasyEDA

Для пошуку необхідних елементів є зручне меню Libraries. В якому можна легко знайти необхідний елемент, переглянути виробника та приблизну ціну, зовнішній вигляд та номери виходів (рис 4.2). Необхідно зазначити що вже замість резистору навантаження в EasyEDA я встановив джек.

Після того як створено принципову схему, необхідно її конвертувати у відповідний формат для цього використовують команду Convert to PCB (Рис 4.3).

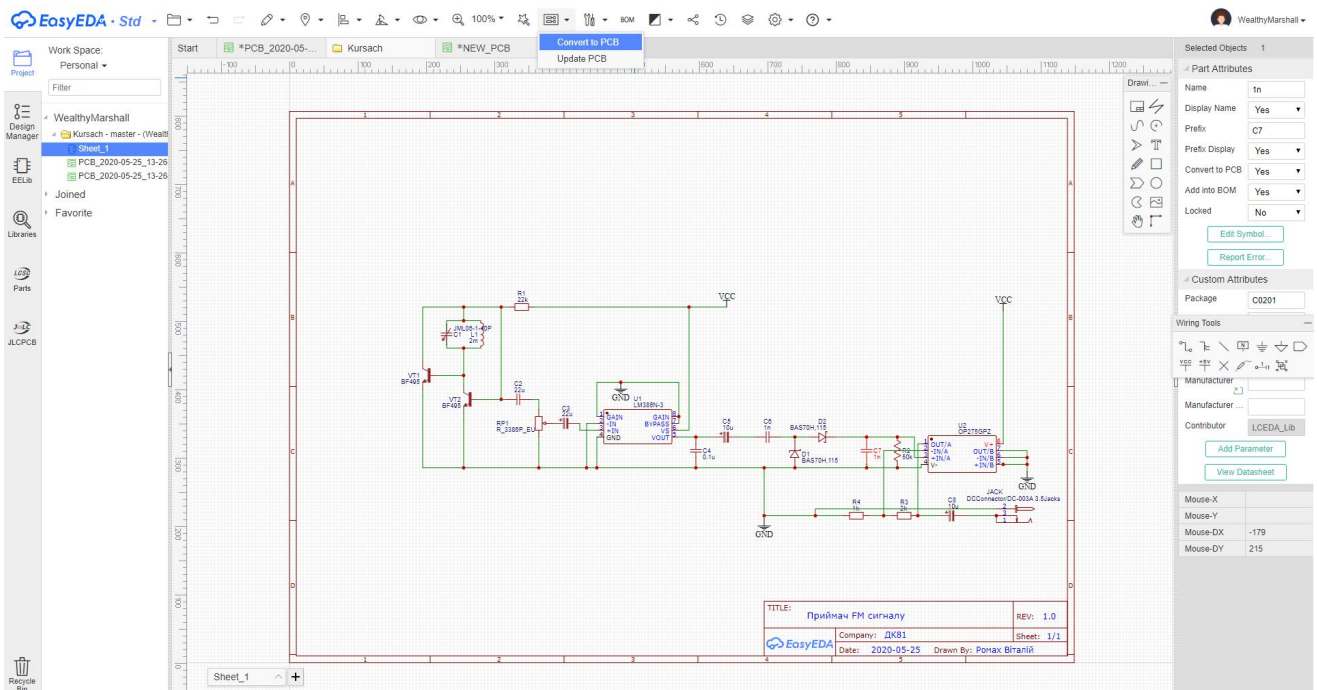


Рис. 4.2: Интерфейс EasyEDA

Після виконання цієї команди отримаємо файл для розміщення елементів, але вже на друкованій платі (рис. 4.3). Тепер необхідно виставити на область друкованої плати, яка у програмі визначається фіолетовою лінією. Розміри та форму цієї області можна змінювати. Так само можна змінювати і взаємне розташування елементів на ній один відносно іншого. За замовчуванням відображаються лінії які вказують як мусять бути підключені елементи (Ratlines), проте вони збиваються якщо хоча б трохи передвинути один з елементів, тому під час проектування плати я їх вимкнув. Так само для того щоб максимально зменшити ціну виготовлення плати, я вирішив наносити провідні доріжки лише на одній стороні плати.

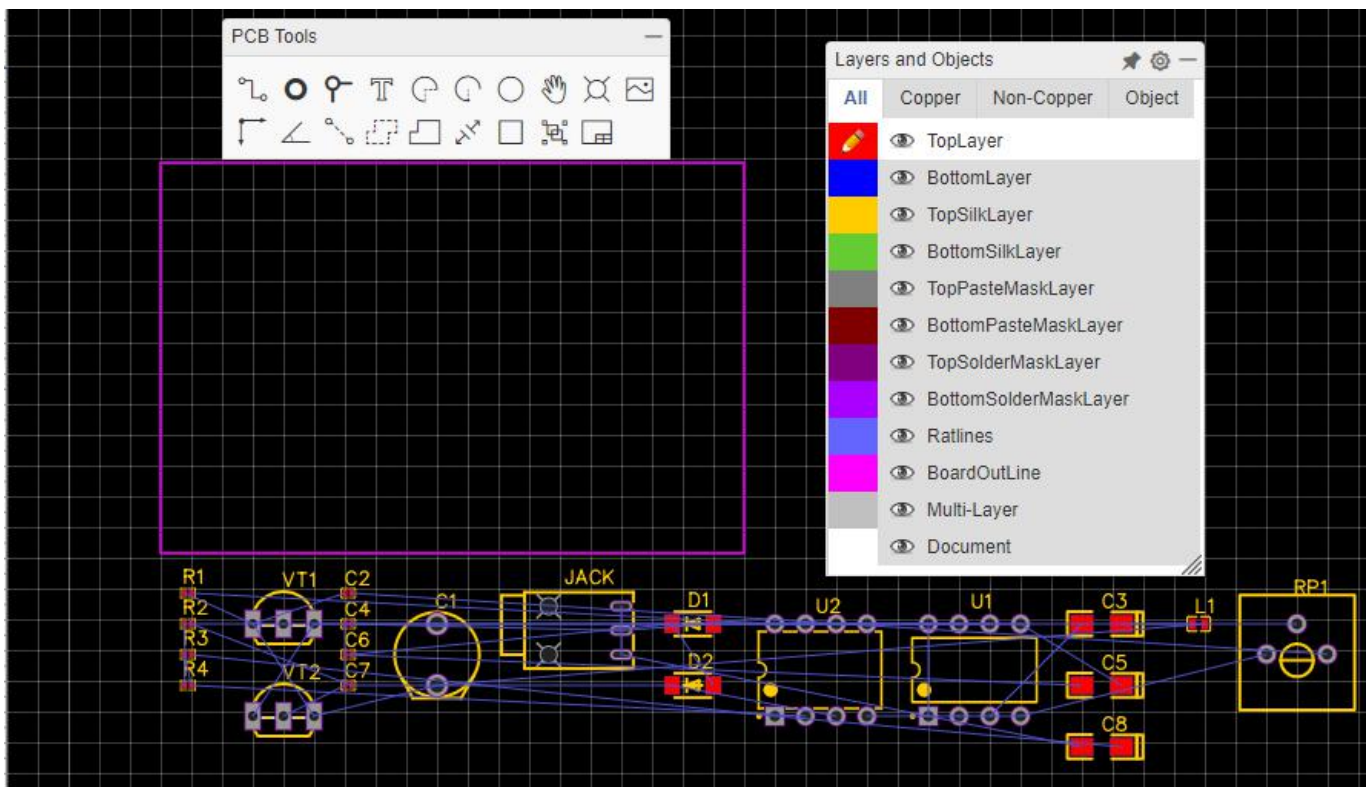


Рис. 4.3: Інтерфейс компонування друкованої плати

Зазвичай після того як розставили компоненти використовують команду Auto Router дозволяє автоматично провести доріжки до виводів елементів, проте вона в мене не працювала і я був вимушений проводити їх в ручну. Для того щоб зменшити паразитні параметри необхідно робити провідники як умога меншими. Через деякий час я отримав готовий результат (рис 4.4).

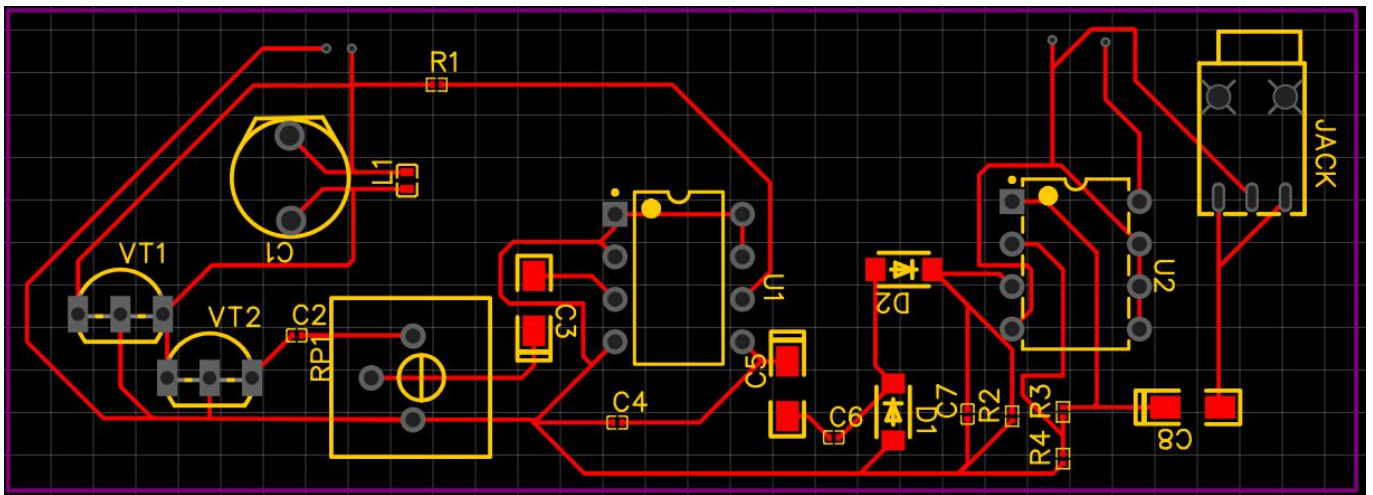


Рис. 4.4: Результат прокладання доріжок

Після цього результат можна експортувати у різні формати: PDF, PNG, SVG, DXF, Altium, EasyEDA, SVG Source. Я екпортую до формату PNG (рис. 4.5).

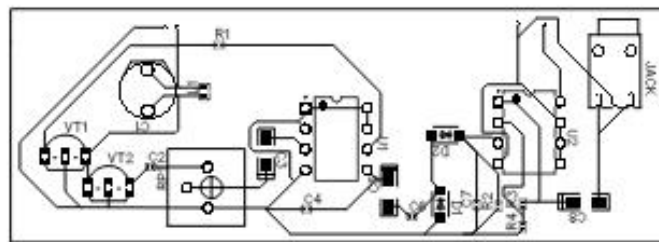


Рис. 4.5: Схема друкованої плати в PNG форматі

ВИСНОВКИ

Отже, для того щоб виконати це завдання мені було необхідно дізнатися більше про модуляцію сигналів, а саме для чого вона необхідна та яким чином модульовані сигнали повернути в свій першочерговий вигляд, тобто демодулювати. Модуляція необхідна для того щоб сигнал можна було передавати на більші відстані через те що високочастотний сигнал значно менше послаблюється навколишнім середовищем.

В першому розділі було проаналізовано роботу схеми та пібібрано необхідні компоненти. По крокам описано роботу кожного з модулів схеми та його призначення.

В другому розділі розглянуто математичне обґрунтування працездатності схеми та вибір номіналів компонентів необхідних для коректної роботи. А саме, я вивів коефіцієнт передачі за напругою для неінвертуючого підсилювача на ОУ. Як ми можемо спостерігати вибір цих номіналів значно змінює параметри підсилювача. Хоч схема підсилювача зі зворотнім зв'язком значно зменшую підсилення ніж у схемі без зворотнього зв'язку, вона вигідна тим що робить роботу підсилювача прогнозованою.

Третій розділ, в якому була продемонстрована симуляція пристрою у ПЗ LTspice VII довела працездатність схеми, а також те що розрахунки виконані у другому розділі є вірними.

В четвертому розділі було опановано нове ПЗ EasyEDA та створено друковано плату. Для цього необхідно було створити принципову схему приладу після чого ковертувати його в необхідний формат. Потім провести компанування елементів та провести доріжки.

Отже, після проведеної роботи я маю більше практичного досвіду серед моделювання та розрахунків параметрів схеми, необхідних для досягнення поставленої мети.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Small FM Radio Circuit [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.electroschematics.com/tiny-fm-radio/>.
2. LM386 — Низковольтный усилитель мощности [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://rudatasheet.ru/op_amplifiers/lm386/.
3. How is frequency demodulated [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.quora.com/How-is-frequency-demodulated-from-FM-in-this-circuit>.
4. OP275 (Rev. C) Data Sheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/OP275.pdf>.
5. Усилитель LM386 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.joyta.ru/8046-usilitel-lm386-opisanie-datasheet-sxema-vklyucheniya/>
6. RF and microwave power detection with Schottky diodes [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-AN_1807_PL32_1808_132434_RF%20and%20microwave%20power%20detection%20-AN-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d46265f064ff0166440727be1055
7. BAS70 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/44157/SIEMENS/BAS70.html>.
8. Что такое модуляция и разновидности модулированных сигналов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://conture.by/post/422>.
9. Девіація частоти [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%B2%D1%96%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8.
10. Операционные усилители [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://zpostbox.ru/operatsionny_usilitel.html.