

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)
магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему **АДАПТЕР ДЛЯ ЦИФРОВИХ ВИДІВ ЗВ'ЯЗКУ**

Виконав(ла): студент(ка) 2м курсу, групи БК-212м

Спеціальності _____

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) _____

«Радіотехніка»

ШВИДКИЙ Микита Андрійович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник БУГРОВА Тетяна Іванівна

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент КАСЬЯН Микола Миколайович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Інформаційної безпеки та електронних комунікацій
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Радіотехніка
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри РТТ
 к.ф.-м.н., доц. Сергій САМОЙЛИК
 « » грудня 2023 року



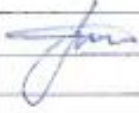

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

ШВИДКОМУ Микиті Андрійовичу

(ПРЕЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

- Тема проєкту (роботи) Адаптер для цифрових видів зв'язку
- керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. БУГРОВА Тетяна Іванівна
(науковий ступінь, вчене звання, ПРЕЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)
- затверджені наказом закладу вищої освіти від "14" листопада 2023 року № 443
- Строк подання студентом проєкту (роботи) 15 грудня 2023 р.
- Вихідні дані до проєкту (роботи) Здійснити проєктування та моделювання адаптера для узгодження комп'ютера з радіостанцією (трансивером) з метою здійснення електричного зв'язку між ними.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Створення та дослідження електричної схеми адаптера цифрових видів зв'язку, проєктування та розрахунок елементів електричної принципової схеми адаптера, розрахунок підсилювача потужності та оцінка його енергетичного потенціалу, конструктивні розрахунки
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) презентація роботи в Microsoft PowerPoint

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4	БУГРОВА Т.І., к.т.н., доцент		
Нормоконтроль	МОРОЗ Г.В., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання «20» жовтня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Огляд літератури та постановка задачі	2 тижні	виконано
2	Створення та дослідження електричної схеми адаптера цифрових видів зв'язку	3 тижні	виконано
3	Проектування та розрахунок елементів електричної принципової схеми адаптера	2 тижні	виконано
4	Розрахунок підсилювача потужності та оцінка його енергетичного потенціалу	1 тиждень	виконано
5	Конструктивні розрахунки	1 тиждень	виконано
6	Тестування розробки	1 тиждень	виконано
7	Оформлення ПЗ і презентації	1 тиждень	виконано
8	Захист роботи	1 день	виконано

Студент(ка)

(підпис)

Микита ШВИДКИЙ

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Тетяна БУГРОВА

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 65 с., 5 табл., 26 рис., 9 джерел.

АДАПТЕР, ЦИФРОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, КОДЕР, ДЕКОДЕР, СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА, ПОТУЖНІСТЬ, КОЕФІЦІЄНТ ПІДСИЛЕННЯ, MULTISIM, PYTHON, CHATGPT.

В роботі проводиться параметричний синтез та дослідження властивостей складових елементів адаптера цифрових видів зв'язку.

Метою роботи є проектування та дослідження цифрових видів зв'язку.

Наукова новизна полягає в тому, що за допомогою використання програмного пакету EWB змодельовано АЧХ адаптера, застосовано програму на Python та штучний інтелект ChatGPT.

Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що результати моделювання підтверджують можливість досягнення мети – використання запропонованого пристрою для узгодження комп'ютера з радіостанцією (трансивером), здійснення електричного зв'язку між ними. Адаптер автоматично перемикає радіостанцію в режим передачі (вмикає передавач) при відсутності сигналу кореспондента або навпаки, в режимі прийому – пересилає радіограму в комп'ютер, який за допомогою програми перетворює сигнал в звичайний текстовий файл. В режимі передачі – текст, набраний на звичайній клавіатурі, програма перетворює в послідовність точок пауз, тире, цим сигналом модулюється несівна передавача. Це полегшує, прискорює процес та робить його більш комфортним для оператора радіозв'язку.

Програму-конвертор даних в код Морзе і навпаки написано на мові програмування Python і оптимізовано за допомогою штучного інтелекту ChatGPT.

ЗМІСТ

	С.
1 Аналіз завдання та постановка задач дослідження	10
1.1 Призначення та особливості застосування адаптера цифрового зв'язку	10
1.2 Критерії вибору та обґрунтування схеми електричної структурної.....	11
2 Створення та дослідження електричної схеми адаптера цифрових видів зв'язку	13
2.1 Проектування та розрахунок елементів електричної принципової схеми адаптера	13
2.2 Розрахунок електричної схеми підсилювача	14
2.3 Обґрунтування вибору елементної бази адаптера	26
2.4 Розрахунок центру мас друкованої плати – основного конструктивного елементу адаптера	27
2.4.1 Розрахунок її маси та площі друкованої плати адаптера	27
2.4.2 Розрахунок центру маси пристрою	29
3 Дослідження підсилювача потужності у середовищі MULISIM	33
3.1 Інтерфейс програми Мультисім	34
3.2 Вимірювання параметрів та характеристик підсилювача.....	44
4 Шляхи покращення характеристик адаптера	53
4.1 Обґрунтування вибору мови програмування конвертора алфавіту символів у код Морзе.....	53
4.2 Програма-кодер/декодер	55
Висновки	63
Перелік джерел посилань	65

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

CHATGPT	–	штучний інтелект
EWB	–	Electronic Work Bench
Python	–	мова програмування Пітон
Wi-Fi	–	Wireless Fidelity
АЧХ	–	амплітудно-частотна характеристика
ІМС	–	Інтегральна мікросхема
КП	–	коефіцієнт підсилення
НЧ	–	низькі частоти
ОЗП	–	оперативний запам'ятовуючий пристрій
ОП	–	операційний підсилювач
СЕ	–	спільний еміттер
УКХ	–	ультракороткі хвилі

ВСТУП

В даній магістерській роботі представлено дослідження пристрою-адаптера для цифрових видів зв'язку. Цей пристрій призначений для узгодження комп'ютера з радіостанцією (трансвером), здійснення електричного зв'язку між ними. Адаптер виконує такі операції: автоматично перемикає радіостанцію в режим передачі (включає передавач) при відсутності сигналу кореспондента або навпаки; в режимі прийому – пересилає прийняту радіограму у вигляді сигналів азбуки Морзе (імпульсів) в комп'ютер, який за допомогою спеціальної програми – декодера перетворює послідовність точок та тире в звичайний текстовий файл. Цей текст можна зберегти, переробити, переписати на інші носії; в режимі передачі – текст, набраний на звичайній клавіатурі, програма перетворює в послідовність точок, пауз, тире. Потім цим сигналом здійснюється модуляція несучого сигналу передавача, якій приймає та обробляє другий кореспондент; при роботі в телефонному режимі все працює аналогічно описаному, лише модуляція буде іншою – амплітудною або частотною.

Пристрій в комплекті з комп'ютером та радіостанцією дозволяє набагато прискорити роботу в ефірі, перетворює її у відпочинок. Тобто ця система замінює складну роботу кваліфікованого радіотелеграфіста – “слухача” роботою програми та комп'ютера. Фактично обмін інформацією тепер відбувається між двома комп'ютерами, а людина виступає в ролі оператора. Адаптер має просту схему, сучасну елементну базу та не потребує наладки.

Великим драйвером у розв'язанні технічних проблем при створенні адаптера цифрових видів зв'язку є застосування штучного інтелекту ChatGPT. В даній роботі він використовується з метою прискорює процесу створення алгоритмів і програм, процесу навчання азбуці Морзе і для

здобуття практичних навичок в цій сфері, а також добре підказує можливі готові рішення, які можливо і не є найкращими, але спонукають дослідника до наукових пошуків. Беззаперечною перевагою застосування штучного інтелекту в даній роботі є можливість позбавити розробника програми великого об'єму рутинної роботи.

Програму-конвертор даних в код Морзе і навпаки написано на мові програмування Python і оптимізовано за допомогою штучного інтелекту ChatGPT.

1 АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Призначення та особливості застосування адаптера цифрового зв'язку

Зв'язок між радіостанціями за допомогою азбуки Морзе дуже популярний в усьому світі завдяки існуванню особливої міжнародної мови – міжнародних кодів азбуки Морзе, слів-абревіатур, складених з скорочень англійських слів. Наприклад, такі слова:

- ОК – окей – да;
- ДЕ? – who are you? – хто ти?;
- НО – no – ніт.

Таких кодів існує декілька десятків і їх кількості достатньо, щоб здійснити радіозв'язок. Мова легка та швидко засвоюється радіоаматорами всього світу, в тому числі і українськими.

Сучасні радіоаматори активно використовують в своїй роботі комп'ютери, при цьому зростає якість зв'язку і швидкість передачі радіограм, яка тепер обмежується тільки технічними можливостями апаратури. Комп'ютер та спеціалізовані програми дають можливість працювати в ефірі за допомогою клавіатури, а телеграфний ключ використовується тільки як допоміжний, а не основний елемент, як було раніше. Прийом та обробка радіограм проводиться комп'ютером, текст прийнятої радіограми розшифровується та виводиться на екран в звичайному виді.

Розробляємий пристрій призначений для узгодження комп'ютера з радіостанцією, здійснення технічного зв'язку між ними. В ньому переключаються автоматично два основних режими в процесі радіозв'язку – передача / прийом. Це стається при умові наявності сигналів кореспондента, і комп'ютер автоматично записує радіограму в ОЗП, в текстовому вигляді.

Одночасно можливо фонограму в аналоговому виді записати на звичайний магнітофон, на касету.

Гальванічна розв'язка комп'ютер – трансивер здійснюється за допомогою електромагнітного реле. Живлення адаптера постійною напругою 12 В здійснюється від радіостанції. Струм споживання не перевищує 40 мА. В основному його споживає електромагнітне реле в режимі передачі.

1.2 Критерії вибору та обґрунтування схеми електричної структурної

Схема електрична структурна складається на базі технічного завдання. Необхідно враховувати і економічні складові, використовуючі сучасну елементну базу, по можливості максимально спрощуючи електричну схему, не знижуючи при цьому якісних та експлуатаційних характеристик та надійність пристрою, яка, як відомо, тим більша, чим простіша електрична схема і чим менше в ній елементів. Пристрій, що розробляється, не має промислових аналогів. Для реалізації алгоритму, закладеному в ТЗ, в складі пристрою необхідні такі елементи:

- фільтр, який усуває викиди імпульсів та перетворює їх в форму, близьку до синусоїдальної;
- підсилювач – обмежувач для підсилення та стабілізації сигналу із ефіру для подачі на магнітофон для запису;
- блок керування для переходу в режим прийому або передачі;
- індикатор настройки, якщо він не реалізований в програмі в комп'ютері.

Пристрій є інтерфейсом для об'єднання радіостанції та комп'ютера, полегшуючі роботу в ефірі, дає можливість записати передану радіограму на мові азбуки Морзе в оперативний запам'ятовуючий пристрій комп'ютера, який потім за допомогою програми розшифровує текст та виводить його на

екран монітора. Звичайно, техніка має свої обмеження, в умовах сильних перешкод останнє слово буде за оператором, його вмінням та кваліфікацією. Але розробляємий пристрій допомагає виконати основну “рутинну” роботу, підвищити швидкість та якість роботи оператора в ефірі. Крім того, всі передані та прийняті радіограми фіксуються в пам’яті комп’ютера та можуть бути збережені на довгострокових носіях інформації: дискетах, вінчестері або на оптичному диску.

При передачі радіограми, текст якої набирається на звичайній клавіатурі, комп’ютером перетворюється в імпульси сигналів азбуки Морзе, потім за допомогою розробленого адаптера (точніше – електромагнітного реле К1 в ньому), яке керує передавачем та здійснює імпульсну модуляцію останнього. Тобто текст радіограми в комп’ютері без втручання оператора буде передано в ефір автоматично та з високою якістю автомата. Такий текст не буде мати характерного “почерка” оператора (в деяких випадках це є перевагою).

Спроекований адаптер може бути використований на УКХ в режимі частотної модуляції. Для роботи в ефірі використовувались програми: GIFTU / SSTV, GIFTU / RTTY.

2 СТВОРЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ АДАПТЕРА ЦИФРОВИХ ВИДІВ ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Проектування та розрахунок елементів електричної принципової схеми адаптера

В схемі адаптера для цифрових видів зв'язку використовуються два каскаду підсилювачів на транзисторах зі спільним емітером. Будемо здійснювати електричні розрахунки каскаду, електрична схема якого приведена в кінці розділу 2.2 за такими вихідними даними:

- вихідна напруга $U_{\text{вих.м}} = 3 \text{ В}$;
- опір навантаження $R_{\text{н}} = 1200 \text{ Ом}$;
- напруга джерела живлення $E_{\text{к}} = 12 \text{ В}$;
- нижня частота робочого діапазону $f_{\text{н}} = 75 \text{ Гц}$;
- коефіцієнт спотворень на нижній частоті $M_{\text{н}} = 2,156$;
- умови роботи – стаціонарні.

Необхідно визначити:

- тип транзистора;
- режими роботи транзистора;
- опори резисторів, що входять у подільник напруги, який забезпечує положення статичної робочої точки – R1 та R2;
- опір резистора колекторного навантаження R_3 ;
- опір резистора в ланцюгу емітера R_4 ;
- ємність розділяючого конденсатора C_2 ;
- ємність, що включено у емітерному колі C_3 ;
- мінімальні коефіцієнти підсилення за напругою, струмом, потужністю.

При побудові схеми каскаду використовують елементи з допустимим відхиленням від номінальної величини $\pm 5\%$, виходячи з такого критерію, в розрахунках номіналів треба лишити не більше трьох значущих цифр.

2.2 Розрахунок електричної схеми підсилювача

На рисунку 2.1 показано електричну схему адаптера цифрових видів радіозв'язку.

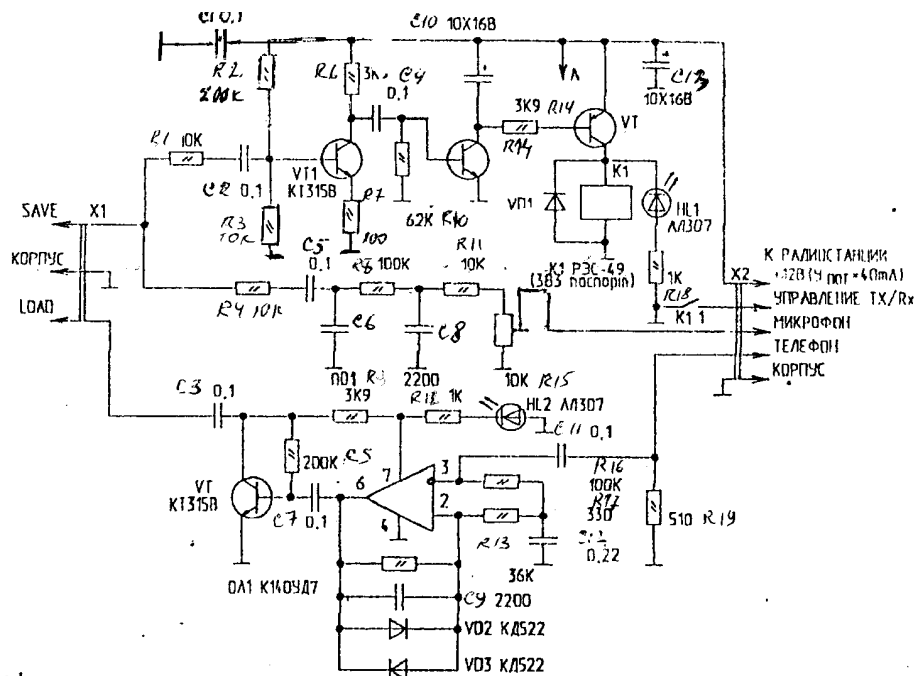


Рисунок 2.1 – Електрична схема адаптера цифрових видів радіозв'язку

В схемі адаптера для цифрових видів зв'язку використовуються два каскади підсилювачів на транзисторах зі спільним емітером (СЕ). Виконаємо електричний розрахунок каскаду, схема електрична принципова якого наведена в кінці розділу 2.2 за такими вихідними даними:

- вихідна напруга $U_{\text{вих.м}} = 3 \text{ В}$;
- опір навантаження $R_{\text{н}} = 1200 \text{ Ом}$;

- напруга джерела живлення $E_k = 12 \text{ В}$;
- нижня межа смуги робочих частот $f_H = 75 \text{ Гц}$;
- допустиме значення коефіцієнта спотворень на нижній частоті $M_H = 2,156$;

– умови роботи – лабораторні.

В процесі проектування необхідно визначити наступне:

- тип транзистора;
- режими роботи транзистора;
- опори подільника напруги R_1 та R_2 ;
- опір навантаження колектору R_3 ;
- опір емітерного резистора R_4 ;
- ємність роздільного конденсатора C_2 ;
- ємність емітерного конденсатора C_3 ;
- гарантовані значення коефіцієнтів підсилення за напругою, струмом, потужністю.

У схемі каскаду застовуються елементи R , C з допустимим відхиленням їх номіналів від вибраної величини $\pm 5\%$. Виходячи з цього, в результатах розрахунку будемо лишати три значущі цифри.

Схему електричну підсилювача зображено на рисунку 2.2.

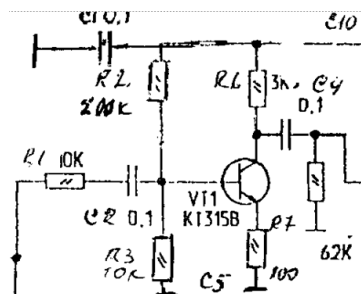


Рисунок 2.2 – Електрична схема підсилювача

2.1.1 Порядок розрахунку

Проведемо вибір транзистора. Вибір транзистора виконують по таким критеріям:

а) допустима напруга між колектором та еміттером повинна перевищувати напругу джерела живлення:

$$U_{kmax} \geq E_k;$$

б) величина допустимого струму колектора повинна перевищувати максимальне значення струму у колекторному колі транзистора:

$$I_{kmax} \geq I_{0k} + I_{km},$$

де I_{0k} – струм спокою у колі колектора;

I_{kv} – амплітуда змінної складової струму у колі колектора;

$$I_{km} = U_{вихm} / R_H \approx, \quad (2.1)$$

де $R_H \approx = \frac{R_3 \cdot R_n}{R_3 + R_n}$ – еквівалентний опір навантаження каскаду за змінним струмом.

При цьому R_3 є навантаженням за постійним струмом.

Виходячи з того, що каскад, який ми розраховуємо, є підсилювачем потужності, задаємо для забезпечення максимальної передачі потужності:

$$R_3 = R_H, \quad (2.2)$$

тобто:

$$R_3 = 1200 \text{ Ом.}$$

За умови підсилення напруги задають $R_3 \ll R_H$, тоді:

$$R_H \approx = \frac{1200 \cdot 1200}{1200 + 1200} = 600 \text{ Ом,}$$

$$I_{km} = \frac{3}{600} = 5 \text{ мА.}$$

Для того, щоб забезпечити економічність каскаду за мінімальних нелінійних викривлень, треба обрати:

$$I_{0k} = (1,05 \dots 1,1) I_{km},$$

$$I_{0k} = 1,1 * 5 = 5,5 \text{ мА.}$$

Необхідно вибрати транзистор, що забезпечує:

$$U_{kmax} > 12 \text{ В,}$$

$$I_{kmax} > 5,5 + 5 = 10,5 \text{ мА.}$$

Згідно довідника знайдемо, що перерахованим вище вимогам відповідає транзистор КТ315Г, у якого $U_{kmax} = 35 \text{ В}$, $I_{kmax} = 100 \text{ мА}$, $h_{21E} = 50-350$, $P_{kmax} = 150 \text{ мВт}$.

Знаходимо напругу між колектором та емітером транзистора в режимі спокою:

$$U_{0k} = U_{\text{вих.т}} + U_{\text{ост}}, \quad (2.3)$$

де $U_{\text{ост}}$ = напруга колектор-емітер, що характеризує межу, за якою виникають значні нелінійні викривлення внаслідок того, що в робочу зону входять області характеристик транзистора, які мають велику кривизну.

Для малопотужних транзисторів беруть $U_{\text{ост}} = 1 \text{ В}$. І значить:

$$U_{0k} = 3+1 = 4 \text{ В}.$$

Далі визначаємо потужність, яка розсіюється колектором:

$$P_k = I_{0k} U_{0k}. \quad (2.4)$$

Водночас необхідно забезпечувати, щоб виконувалися наступні умови:

$$P_k < P_{k\text{max}},$$

$$P_k = 5,5 * 5 = 22 < 150 \text{ мВт}.$$

Тобто, очевидно, що вибраний тип транзистора підходить нам за потужністю.

Далі визначимо опір колекторного навантаження. Виходячи з (2.2), отримуємо наступне значення:

$$R_3 = 1200 \text{ Ом}.$$

Визначимо потужність, яка розсіюється на опорі:

$$P = I^2 R. \quad (2.5)$$

Ця потужність дорівнює:

$$PR_3 = I_{0k}^2 R_3,$$

$$PR_3 = (5 \cdot 10^{-3})^2 1200 = 0,036 \text{ Вт.}$$

З довідника вибираємо резистор типу С2-23 із номінальною потужністю 0,125 Вт із опором 1200 Ом.

Далі визначимо опір резистора R4 в термостабілізаційному колі. Він дорівнює:

$$R_4 = \frac{E_k - U_{jok}}{I_{0k}} - R_3. \quad (2.6)$$

При цьому необхідно виконувати співвідношення:

$$\frac{R_4}{R_3} = (0.1 \dots 0.4).$$

Це забезпечує невелике зменшення динамічного діапазону каскаду і, внаслідок цього, падіння напруги на опорі R4, що є більшим за контактний потенціал р-п переходу самого транзистора. Це необхідно для того, щоб забезпечити необхідну температурну стабілізацію струму спокою. Таким чином,

$$R_4 = \frac{12 - 4}{5,5 \cdot 10^{-3}} - 1200 = 254 \text{ Ом,}$$

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{1200}{254} = 0,3.$$

Останнє співвідношення відповідає умові (2.6).

Знайдемо потужність, яку розсіює опір R4:

$$PR4 = I_{ok}^2 \cdot R_4 \quad (2.7)$$

$$PR4 = (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 254 = 0,00768 \text{ Вт.}$$

З довідника вибираємо резистор типу С2-23 потужністю 0.125 Вт і найближчим до розрахованого опором у 260 Ом.

Далі визначимо ємність конденсатора С3, що є шунтом резистора R4 за змінним струмом, причому з дотриманням умови, яка визначає, що опір конденсатора С3 повинен бути у 10 разів меншим за опір резистора R4 на частоті fн:

$$C_3 \geq \frac{10^6}{2\pi \cdot f_y \cdot 0.1 \cdot R_n}, \quad (2.8)$$

де множник 10^6 дає зручну можливість виразити значення ємності у мікрофарадах.

$$C_3 \geq \frac{10^6}{2\pi \cdot 75 \cdot 0.1 \cdot 360.4} = 5,89 \text{ мкФ} .$$

Робоча напруга на С3:

$$U_{c3} = I_{ok} R_4. \quad (2.9)$$

$$U_{c3} = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot 254 = 1,397 \text{ В} .$$

З довідника вибираємо конденсатор типу К50-35 ємністю трохи більшою за розраховану, а саме 6,8 мкФ з номінальною напругою у 16 В.

Далі визначимо базовий струм спокою транзистора:

$$I_{0б} = I_{0к} / h_{21Emin}, \quad (2.10)$$

$$I_{0б} = 5,5 / 50 = 0,11 \text{ мА.}$$

Відомо, що у відкритому стані транзистора його напруга база-емітер сягає 0,6 В. Тоді напруга спокою бази транзистора буде дорівнювати:

$$U_{0б} = 0,6 \text{ В.}$$

З цього можна знайти приблизний вхідний опір транзистора:

$$R_{вх} = U_{0б} / I_{0б}, \quad (2.11)$$

$$R_{вх} = \frac{0,6}{0,11 \cdot 10^{-3}} = 5454 \text{ Ом} .$$

Далі визначимо величини опорів резисторів подільника напруги R1, R2. Подільник підключено до напруги:

$$U_d = E_k = 12 \text{ В.}$$

Як відомо, величина струму в подільнику напруги знаходиться в межах:

$$I_d = (2 \dots 5) I_{0б}. \quad (2.12)$$

Це значення струму подільника забезпечує незалежність завдання режиму спокою транзистора при умові, коли під впливом змінювання температури, при заміні на інший тип транзистора і т.п. – змінюються його параметри:

$$I_D = 5 \cdot 0,11 = 0,55 \text{ мА.}$$

Визначимо падіння напруги на резисторі R4. Воно складає:

$$U_{R4} = (I_{0k} + I_{0б})R4, \quad (2.13)$$

$$U_{R4} = (5,5 + 0,11) \cdot 254 = 1,424 \text{ В.}$$

$$R1 = \frac{U_D - U_{R4} - U_{0б}}{I_{0б} + I_D}, \quad (2.14)$$

$$R2 = \frac{U_{R4} + U_{0б}}{I_D}. \quad (2.15)$$

Таким чином,

$$R1 = \frac{12 - 1,424 - 0,6}{(0,11 + 0,55) \cdot 10^{-3}} = 16024 \text{ Ом},$$

$$R2 = \frac{1,424 + 0,6}{0,55 \cdot 10^{-3}} = 4072 \text{ Ом}.$$

довідника вибираємо R1 = 16 кОм, R2 = 4,3 кОм.

Тепер знайдемо потужність, яку розсіюють у вигляді тепла резистори R1 і R2 :

$$P_{R1} = (I_{06} + I_D)^2 R_1 \quad , \quad (2.16)$$

$$P_{R2} = I_D^2 \cdot R_2 \quad ,$$

$$P_{R1} = [(0.11+0.55) \cdot 10^{-3}]^2 \cdot 16024 = 33 \text{ мВт},$$

$$P_{R2} = [(0.55 \cdot 10^{-3})^2] \cdot 1200 = 4 \text{ мВт}.$$

З довідника вибираємо резистори типу С2-23, які розраховуються на номінальну потужність у 0,125 Вт.

Далі визначимо ємність конденсатора C_2 за умови допустимих значень коефіцієнта частотних спотворень на нижній частоті M_H :

$$C_2 = \frac{10^6}{2\pi f_{H\approx} (R_{H\approx} + R_H) \sqrt{M_H^2 - 1}} \quad . \quad (2.17)$$

Значення ємності C_2 знаходиться з формули (2.17) у мікрофарадах.

Робочу напругу на ємності C_2 приймаємо такою, що дорівнює:

$$U_{C2} = 1,5 E_k \quad ,$$

$$U_{C2} = 1,5 \cdot 12 = 18 \text{ В} \quad .$$

Тоді:

$$C_2 = \frac{10^6}{6,28 \cdot 75(600 + 1200)\sqrt{2,15^2 - 1}} = 0,62 \text{ мкФ} .$$

З довідника вибираємо конденсатор типу К10-17 ємністю 0,68 мкФ, який може працювати при номінальній напрузі 63 В.

Тепер визначимо амплітудні значення вхідних струму й напруги:

$$I_{\text{вх.м}} = \frac{I_{km}}{h_{21E \text{ min}}} , \quad (2.18)$$

де h_{21E} – мінімальне значення коефіцієнта передачі струму в схемі зі спільним емітером для транзистора обраного типу:

$$I_{\text{вх.м}} = \frac{5}{50} = 0,1 \text{ мА} ,$$

$$U_{\text{вх.м}} = I_{\text{вх.м}} R_{\text{вх}} , \quad (2.19)$$

$$U_{\text{вх.м}} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 5454 = 0,545 \text{ В} .$$

Визначимо тепер необхідну потужність вхідного сигналу:

$$P_{\text{вх}} = \frac{I_{\text{вх.м}} \cdot U_{\text{вх.м}}}{2} , \quad (2.20)$$

$$P_{\text{вх}} = \frac{0,1 \cdot 0,545}{2} = 2,72 \text{ мВт} .$$

Далі можна визначити коефіцієнти підсилення каскаду за струмом, напругою, потужністю:

$$K_I = h_{21Emin} \frac{R_{H\approx}}{R_H},$$

$$K_U = h_{21Emin} \frac{R_{H\approx}}{R_{6X}},$$

$$K_P = K_I K_U,$$

$$K_I = 50 \frac{600}{1200} = 25,$$

$$K_U = 20 \frac{600}{5454} = 5,5,$$

$$K_P = K_I K_U,$$

$$K_P = 25 \cdot 5,5 = 137,5.$$

Згадаємо, що нами прийняте значення коефіцієнта підсилення за потужністю величиною у 20 дБ, отже, каскад підсилювача потужності нами розрахований правильно. Окрім цього, навіть коли у нас є мінімальний коефіцієнт підсилення транзистора $h_{21emin}=50$, і в цьому випадку ми маємо деякий запас за підсиленням. При цьому діапазон можливих значень коефіцієнта підсилення для обраного нами транзистора КТ315Г сягає меж від 50 до 400. Таким чином, основний параметр підсилювача – коефіцієнт підсилення – може перевищувати своє мінімальне значення до величини у

вісім разів. Якщо при цьому застосувати від'ємний зворотний зв'язок, ми можемо досягти гарних показників стабілізації коефіцієнта підсилення. При цьому покращуються інші параметри підсилювача потужності.

2.3 Обґрунтування вибору елементної бази адаптера

Пристрій зібрано на друкованій платі. На ній встановлені мікросхеми, резистори, конденсатори, діоди, транзистори. Інші елементи, які знаходяться ззовні, з'єднано з платою шлейфом.

Резистори обираємо типу С2-23, потужністю 0,125 Вт.

Резистор підстроювальний виберемо типу С3-19 із опором 10 кОм.

Керамічні конденсатори, які використовуються в пристрої, обираємо типу К10-17 з робочою напругою 63 В.

Електролітичні конденсатори обираємо типу К50-35. Ці конденсатори при доступній ціні мають задовільні характеристики (вони надійні, стабільні, невеликого розміру).

Особливу увагу приділимо вибору типу мікросхем. Мікросхеми живляться напругою 12 В. В пристрої використовуються кремнійові транзистори середньої та малої потужності. Кремнійові транзистори мають стабільні характеристики при зростанні температури до 100-120°C, невелику ціну, вони є широкодоступними.

Реле вибираємо типу РЭС-49, паспорт 383. Воно спрацьовує від напруги 8В і призначене для керування передавачем.

Плата адаптера виконується із однобічного фольгованого стеклотекстоліту марки СФ-1-35-1.5 в.с. ДЕСТ 10316-78. Цей матеріал у порівнянні з гетинаксом має кращі характеристики:

- а) вища допустима робоча температура до плюс, °С 80;
- б) вища допустима вологість, до 98% при температурі до плюс, °С 40;
- в) має час стійкості до дії розплавленого припою, не менше, сек 20.

Для монтажу радіоелементів на друкованій платі використовується стандартний припой типу ПОС-30 ДЕСТ 1418-70, що має температуру плавлення плюс 235°C . Для пайки контактів друкованої плати використовується припой типу ПОС-60 ДЕСТ 21941-76, що має знижену температуру плавлення плюс 185°C у порівнянні з іншими припоями для збереження робочого стану напівпровідникових приладів, які мають підвищену температурну чутливість.

2.4 Розрахунок центру мас друкованої плати – основного конструктивного елемента адаптера

2.4.1 Розрахунок її маси та площі друкованої плати адаптера

В адаптері більша частина виробів, з яких він складається, стандартизовані. Це робиться для того, щоб зменшити витрати на розробку та виготовлення адаптера. Тому наша задача полягає в тому, щоб по можливості виключити з пристрою наступні елементи:

- нестандартні вироби;
- спеціальний інструмент та обладнання для виготовлення нестандартних виробів.

Якщо керуватися цими вищезазначеними принципами, то вдається значно скоротити термін виробництва адаптера.

Розрахуємо площу друкованої плати, на якій розміщується адаптер, за наступною формулою:

$$S_{\Pi} = S_i(1/K_{\Pi}), \quad (2.21)$$

де S_{Π} – площа друкованої плати, м^2 ;
 S_i – площа i -го елемента плати, м^2 ;

$K_{щ}$ – коефіцієнт щільності. Зазвичай, $K_{щ} = 0,7$.

Деталі розрахунку площ окремих компонентів друкованої плати S_i вміщено в таблицю 2.1.

$$S_{\Pi} = 1228 \cdot 10^{-6} \cdot (1/0,7) = 0,0017542 \text{ м}^2.$$

Тепер розрахуємо вагу апаратної частини адаптера за формулою:

$$M_{\Pi} = \Sigma(m_e + m_m) \quad , \quad (2.22)$$

де M_{Π} – вага апаратної частини пристрою, кг;

m_e – вага елементів та напівфабрикатів апаратної частини пристрою, кг;

m_m – вага матеріалів апаратної частини пристрою, кг.

$$M_{\Pi} = 28,04 + 89,5 = 117,54 \text{ (грам)}.$$

Таблиця 2.1 – Розрахунок площі та ваги радіоелементів на друкованій платі

Елемент	Номинал	Кількість, шт	Розмір, мм	Площа і-го елемента, мм ²	Площа всіх елементів, мм ²	Вага і-го елемента, г	Вага всіх елементів, г
K10-17	0,015-1,5 мкФ	10	7*3	21,00	210,00	0,25	2,5
K50-16	20 мкФ	2	∅8,5	56,74	113,48	0,70	1,4
K144УД7	-	1	25*8	200	200,00	1,00	1,00
СПЗ-19	10 кОм	1					
C2-23	51 Ом-240 кОм	17	8*3	24	408,00	0,20	3,4
2Д503А	-	3	8*3	24	72	0,20	0,60
КТ315,КТ361		6	8*3	24	144	0,18	0,54
РЭС-49	-	1	15,4*5,3	-	81	20	20
Всього:		43	-	-	1228	-	28,04

В таблиці 2.2 наведено розрахунок ваги матеріалів на друкованій платі.

Таблиця 2.2 – Розрахунок ваги матеріалів на друкованій платі

Матеріал	Маса, кг	Витрати на 100 пайок, кг	Кількість пайок, шт.	Витрати на прилад, кг
Припій ПОС61	0,010	0,010	150	0,015
Каніфоль	0,005	0,001		0,0015
Стеклотекстоліт $\rho=1,8 \cdot 10^3$, кг/м ³ $V=B \cdot 1,5 \cdot h=$ $=17,52 \cdot 10^{-6}$, м ³	$m=\rho \cdot V$ $m=0.052$	-	-	0,068
Лак	0,005	-	-	0,005
Всього:				0,0895

2.4.2 Розрахунок центру маси пристрою

Він проводиться за наступними формулами:

$$X_{\text{цт}} = \frac{X_1 P_1 + X_2 P_2 + \dots + X_n P_n}{\sum P}; \quad (2.23)$$

$$Y_{\text{цт}} = \frac{Y_1 P_1 + Y_2 P_2 + \dots + Y_n P_n}{\sum P}; \quad (2.24)$$

$$Z_{\text{цт}} = \frac{Z_1 P_1 + Z_2 P_2 + \dots + Z_n P_n}{\sum P}; \quad (2.25)$$

де $P_1, P_2 \dots P_n$ – маса всіх блоків, з яких складається пристрій, г;

$X_{\text{цт}}$ – координата центру важкості всього приладу відносно осі Y , перпендикулярно осі X ;

$X_1, X_2 \dots X_n$ – координати центру важкості кожного блоку відносно осі X
браних взаємноперпендикулярних координат осей (рис. 2.4.1);

$Y_{цт}$ – координата центру важкості всього приладу відносно осі X,
перпендикулярно осі X;

$Y_1, Y_2 \dots Y_n$ – координати центру важкості кожного блоку відносно осі X
браних взаємноперпендикулярних координат осей (рис. 2.3);

$Z_{цт}$ – координата центру важкості всього приладу відносно осі Y, X;

$Z_1, Z_2 \dots Z_n$ – координати центру важкості кожного блоку відносно осі X
браних взаємноперпендикулярних координат осей (рис. 2.3).

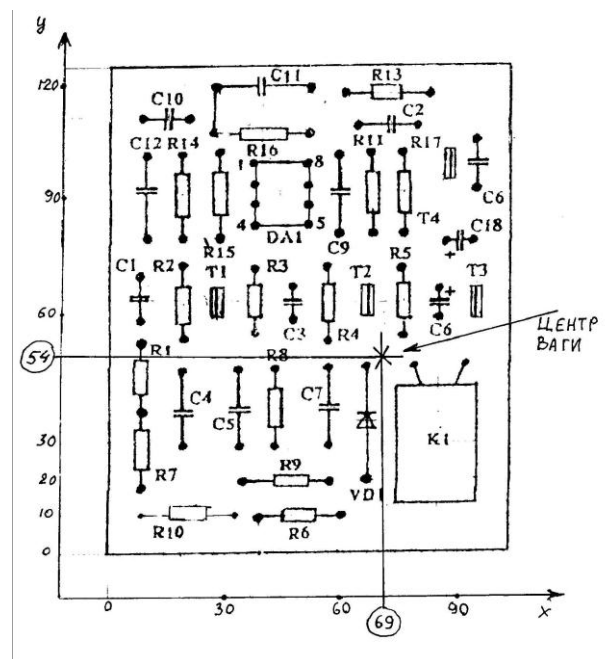


Рисунок 2.3 – Визначення центра мас адаптера

Вихідні дані для розрахунку беруться згідно специфікації переліку
елементів рисунку 2.3 та таблиці 2.2. Розрахуємо X_i :

$$X_i = (10 \cdot 45) + (20 \cdot 0.15) + (28 \cdot 1) + (28 \cdot 0.25) + (33 \cdot 2.8) + (33 \cdot 0.25) + (35 \cdot 0.15) + (43 \cdot 1)$$

+

$$\begin{aligned}
& (43*0.25)+(50*0.15)+(57*0.25)+(57*2.8)+(58*0.25)+(58*1)+(75*0.25)+(76*0.9) \\
& +(77*0.25+(77*1)+(85*0.25)+(85*1)+(92*0.25)+(93*0.35)+(94*0.25)+(96*0.9)+(\\
& \quad 96*.25)+(106*0.25)+ \\
& (106*3.5)+(110*1)+(115*0.25)+(125*0.25)+(125*1)+(125*0.25)+(125*0.9)+(127 \\
& \quad *0.15)+ \\
& (127*0.35)+(130*0.15)+(130*0.15)+(137*1)+(137*0.25)+(137*1)+(137*0.25)+(1 \\
& \quad 37*0.5)+ \\
& (145*0.15)+(145*0.15)+(153*45)= 2976,03 \text{ г/мм}
\end{aligned}$$

$$X_{\text{цм}} = \frac{2976,03}{43} = 69,21 \text{ мм.}$$

Розрачуємо Y_i :

$$\begin{aligned}
Y_i = & (5*0.25)+(5*0.25)+(5*0.25)+(5*0.25)+(5*0.25)+(5*0.25)+(10*0.25)+(18*0.25 \\
& \quad)+ \\
& (18*0.25)+(20*1)+(20*1)+(25*0.25)+(25*1)+(28*2.8)+(28*2.8)+(28*0.15)+(28* \\
& \quad 0.15)+ \\
& (35*3.2)+(35*0.25)+(35*0.25)+(40*0.25)+(43*45)+(43*45)+(50*0.25)+(50*0.25) \\
& +(50*0.2+(50*0.9)+(50*1)+(60*0.9)+(60*1)+(60*0.15)+(60*0.15)+(73*1)+(73*1 \\
& \quad)+(73*1)+(73*0.9)+ \\
& (73*0.15)+(73*0.15)+(80*0.15)+(80*0.15)+(80*0.15)+(80*0.15)+(85*0.35)+(87* \\
& \quad 0.25)+ \\
& (87*0.5)+(90*0.15)= 2323,72 \text{ г/мм}
\end{aligned}$$

$$Y_{\text{цм}} = \frac{2323,72}{43} = 54,04 \text{ мм.}$$

Розрахуємо Z_i :

$$\begin{aligned}
 Z_i = & (10 \cdot 45) + (3 \cdot 0.15) + (3 \cdot 1) + (6 \cdot 0.25) + (4 \cdot 2.8) + (6 \cdot 0.25) + (3 \cdot 0.15) + (3 \cdot 1) + (6 \cdot 0.25) \\
 & + \\
 & (3 \cdot 0.15) + (6 \cdot 0.25) + (4 \cdot 2.8) + (6 \cdot 0.25) + (3 \cdot 1) + (6 \cdot 0.25) + (3 \cdot 0.9) + (6 \cdot 0.25) + (3 \cdot 1) + (6 \\
 & \quad \cdot 0.25) + \\
 & (3 \cdot 1) + (6 \cdot 0.25) + (8 \cdot 0.35) + (6 \cdot 0.25) + (3 \cdot 0.9) + (6 \cdot 0.25) + (6 \cdot 0.25) + (5 \cdot 3.5) + (3 \cdot 1) + (6 \\
 & \quad \cdot 0.25) + \\
 & (6 \cdot 0.25) + (3 \cdot 1) + (6 \cdot 0.25) + (3 \cdot 0.9) + (3 \cdot 0.15) + (8 \cdot 0.35) + (3 \cdot 0.15) + (3 \cdot 0.15) + (3 \cdot 1) + (\\
 & \quad 6 \cdot 0.25) + \\
 & (3 \cdot 1) + (6 \cdot 0.25) + (6 \cdot 0.5) + (3 \cdot 0.15) + (3 \cdot 0.15) + (10 \cdot 45) = 1012,7
 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{ум}} = \frac{1012.7}{43} = 8.36 \text{ мм.}$$

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧА ПОТУЖНОСТІ У СЕРЕДОВИЩІ MULISIM

Програма моделювання схемотехніки «Мультисім» призначена для моделювання і аналізу електронних схем. Вона дозволяє симулювати функціонування як аналогових, цифрових, так і цифро-аналогових схем, причому досить великого ступеня складності, з тисячами електричних компонентів. Явною перевагою програми є бібліотеки сучасних радіокомпонентів різних провідних виробників світу. Зручним моментом є те, що модель вибирається із списку бібліотек компонентів. Параметри моделі можуть бути змінені в будь-який спосіб за бажанням користувача. В якості вимірювальної дослідницької лабораторії пропонується широка лінійка різноманітних вимірювальних приладів. За їх допомогою можуть здійснюватись вимірювання електричних величин, завдавати форму і параметри вхідної дії, будувати і зберігати графіки. Всі прилади вхідних і вихідних, і взагалі сигналів з будь-якої точки схеми. Зображення вимірювальних приладів максимально наближені до реальних, тому користуватись ними просто і зручно. Програма дозволяє розробнику тестувати створену схему без її натурного моделювання або фізичного макетування, що здешевлює і неабияк прискорює процес розробки і вдосконалення параметрів створюваного пристрою. Результати симулювання перетворюються у зручний формат і легко імпортуються у будь-який текстовий або графічний редактор з метою їх обробки, документування, порівняння між собою, тощо.

3.1 Інтерфейс програми Мультисім

У програми Мультисім – інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Це полегшує взаємодію користувача з програмою і не потребує від розробника схем спеціальної комп'ютерної підготовки. Для того, щоб випадково не втратити дані, у програмі передбачено автозбереження даних через певний проміжок часу. Як і у більшості подібних програм, інтерфейс юзера програми Мультисім містить смужку меню, панелі інструментів, панелі компонентів, прямокутник у вигляді робочої області, в якому відображається досліджувана схема. Є можливість додавати електронну таблицю, з історією проектування схеми. Також дуже зручною є можливість налаштування виду інтерфейсу під вимоги досвідченого користувача (рис. 3.1).

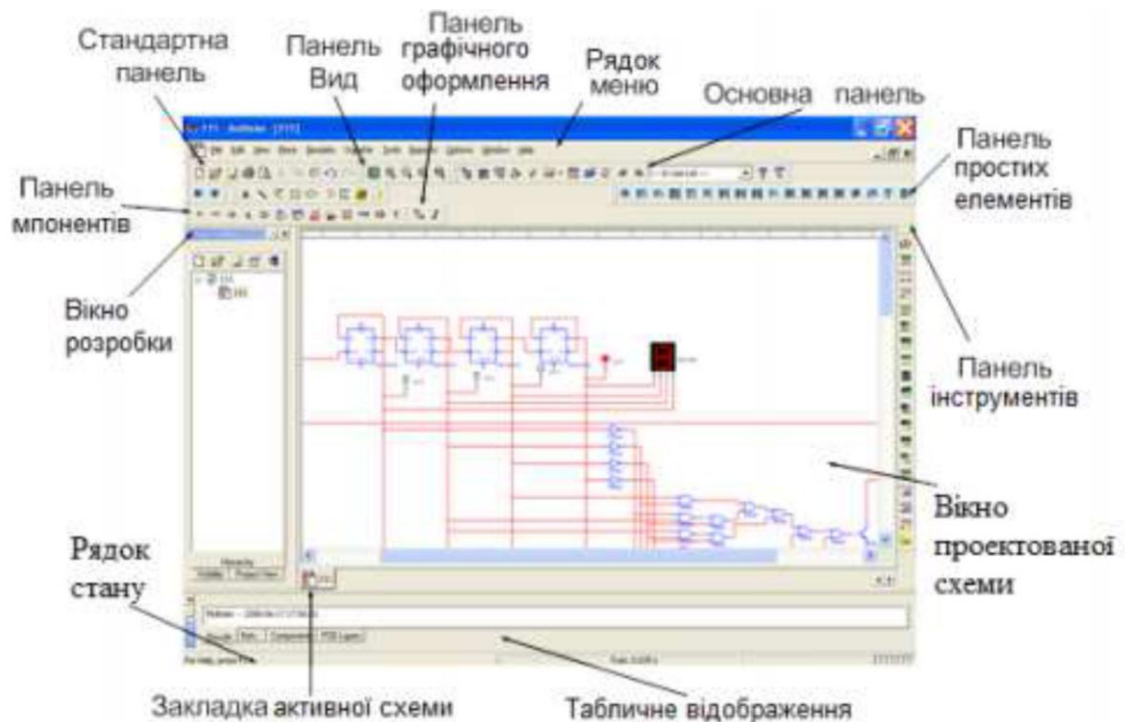


Рисунок 3.1 – Меню програми Мультисім

Розглянемо окремо смугу меню:

- меню взаємодії з файлами (File);
- меню налаштування зображень (View);
- меню розташування окремих об'єктів (Place);
- меню симулювання (Simulate);
- меню експорту схем до інших програм (Transfer);
- меню інструментів (Tools);
- меню репортів (Reports);
- меню налаштування режимів (Options);
- меню праці з вікнами (Window);
- меню праці з довідками і файлами допомоги і підказок (Help).

Якщо ми маємо стандартний інтерфейс, а не створений самостійно користувачем, то йому притаманні наступні панелі інструментів:

- Standart складається з "швидких кнопок", які подібні до меню File у інших додатках і з команд редагування;
- View – містить команди для редагування вигляду робочої області;
- Main – містить ключові дії над схемою, що її симулюють;
- Graphic Annotation – складається з можливостей вставки графічних об'єктів;
- Analog Components – складається з аналогових компонентів;
- Basic – дає можливість застосування основних електронних пристроїв;
- Diodes – це діоди;
- Transistor Components – це бібліотека транзисторів різних світових виробників;
- Measurement Components – вимірювальні прилади;
- Miscellaneous Components – розширені компоненти;

– Components – елементи, які можна вставити з більш повної бібліотеки радіокомпонентів;

- Power Source Components – це елементи живлення;
- Signal Source Components – це різноманітні вхідні сигнали;
- Virtual – набір всіх віртуальних компонентів;
- Instruments – це прилади для вимірювання параметрів;
- меню налаштувань відображення (View);
- меню керування розміщенням об'єктів (Place);
- меню симулювання (Simulate);
- меню передачі схем в інші додатки (Transfer);
- меню інструментів (Tools);
- меню звітів (Reports);
- меню налаштувань режимів (Options);
- меню працювання з вікнами (Window);
- меню, яке містить файли допомоги (Help).

Якщо конфігурацію меню не відредаговано кваліфікованим юзером, то воно складене з таких інструментів:

- Standart – це такзвані гарячі або "швидкі кнопки", подібні до тих, які є у меню File і командах для редагування;
- View – допомагає змінювати вигляд робочої області;
- Main – головні операції по створенню проекту схеми;
- Graphic Annotation – для вставки графічних об'єктів;
- Analog Components – аналогові компоненти;
- Basic – перелік найпростіших електронних приладів;
- Diodes – діоди;
- Transistor Components – транзистори різних виробників;
- Measurement Components – різноманітні вимірювальні прилади;

- Miscellaneous Components – компоненти, які не увійшли у попередні інструменти меню;
- Components – елементи з більш повного переліку елементів;
- Power Source Components – для вставки джерел живлення;
- Signal Source Components – для вставки генераторів сигналів різноманітної форми і параметрів;
- Virtual – набір віртуальних компонентів;
- Instruments – різноманітні вимірювальні пристрої (від найпростіших типу амперметра або вольтметра до складних аналізаторів спектру бо вимірювачів характеристик).

У програмі Multisim з метою спрощення симулювання електричних схем додано можливість додавання юзерських панелів інструментів з потрібними користувачеві наборами команд та опціями.

Про типовий вигляд програми на екрані комп'ютера можна отримати уявлення з рисунку 3.1.

Зверху екрану бачимо меню команд. Кнопки для кожного інструмента розміщено окремо на панелі інструментів.

Коли розробник клікає лівою кнопкою миші на елементі - відразу спливає вікно вибору компонента з бази даних програми Multisim. Вибраний розробником компонент можна включити у схему. Область проектуємої схеми – це область для створення електрично з'єднаних між собою окремих елементів. В цій області проектувальник створює електричну схему, яку в подальшому планує жити і досліджувати з допомогою вимірювальних приладів і симулювання її роботи в програмі.

Якщо навести курсор миші на елемент, то з'являється опис елемента і стан в теперішній час.

Програма дає можливість керувати різноманітними файлами у створюваному проекті, а також слідкувати за ієрархією схеми і вмикати або вимикати різноманітні шари проекту.

Дуже корисним є режим електронної таблиці знизу екрану, позаяк він полегшує швидкий попередній перегляд з редагуванням параметрів компонентів. Існує можливість зміни параметрів як окремих компонентів, так і всіх разом, що дуже прискорює процес створення багатоелементного проекту.

В програмі Multisim можна легко налаштувати різноманітні параметри, такі як кольори використовувані в схемах, розмір сторінки, масштаб, інтервал автоматичної синхронізації з резервним файлом, кодування символів (ANSI або DIN) та налаштування принтера. Можливості модифікації охоплюють практично будь-який аспект роботи з програмою, що робить її надзвичайно гнучкою і адаптованою до індивідуальних потреб користувача.

Налаштування зберігаються окремо для кожного файлу схеми, що дозволяє використовувати різні кольори, наприклад, для різних кіл. Також можна змінювати параметри окремо для конкретних компонентів або для всього кола, дозволяючи нам налаштувати вигляд схеми за потребою.

Налаштування параметрів здійснюється через вікно діалогу, яке призначається для встановлення загальних параметрів. Ці параметри можуть варіюватися в залежності від типу робочої станції. Опція з визначенням властивостей сторінки застосовується в режимі налаштувань параметрів активного проекту, і ці дані зберігаються в самому файлі схеми. Зручною перевагою цієї програми симуляції є те, що при відкритті створеної схеми на іншій робочій станції будуть застосовуватись ті ж самі налаштування.












Тепер розглянемо основні опції панелей інструментів у програмі Multisim. Панель інструментів "Standard" включає кнопки для звичайних операцій. Функціонал кнопок цієї панелі описано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Кнопки панелі інструментів Standard

Кнопка	Опис елемента
	New створює новий файл
	Open відкриває існуючий файл
	Open Sample відкриває папку, що містить зразки і запускає файли
	Save зберігає активну в цей момент схему
	Print Circuit виводить на принтер активну в цей момент схему
	Print Preview виводить на екран функцію попереднього перегляду
	Cut видаляє обрані елементи й поміщає їх у буфер обміну
	Copy копіює обрані елементи й поміщає їх у буфер обміну
	Paste вставляє вміст буфера обміну в місце положення курсору
	Undo скасовує останню виконану дію
	Redo робить заново скасовану останню виконану дію

В таблиці 3.2 наведено кнопки головної панелі інструментів.

Таблиця 3.2 – Кнопки головної панелі інструментів

Кнопка	Опис елемента
	Toggle Design Toolbox включає, або виключає вікно Design Toolbox
	Toggle Spreadsheet View включає або виключає вікно електронної таблиці
	Database Manager викликає діалогове вікно менеджера баз даних
	Create Component натискання викликає майстра створення компонентів
	Grapher/Analyses відображає графіки, а так само виконує аналіз ланцюга
	Postprocessor викликає діалогове вікно Postprocessor
	Electrical Rules Checking перевіряє правильність з'єднання елементів відповідно до правил прийнятих заздалегідь
	Capture Screen Area захоплює область екрана
	Back Annotate from Ultiboard створює зміни в ланцюзі, зроблені в Ultiboard
	Forward Annotate передає зміни зроблені в Multisim в існуючий файл друкованої плати Ultiboard
	Help викликає довідку

В таблиці 3.3 наведено кнопки панелі інструментів Simulation.

Таблиця 3.3 – Кнопки панелі інструментів Simulation

Кнопка	Опис елемента
	Run/resume simulation запускає моделювання процесів у ланцюзі
	Pause simulation припиняє моделювання процесів у ланцюзі
	Stop simulation зупиняє моделювання процесів у ланцюзі
	Pause at Next MCU Instruction Boundary припиняє моделювання процесів у ланцюзі на наступній границі модуля MCU
	Step Into здійснює перехід до обраного елемента модуля MCU
	Step Over здійснює перехід до останнього елемента модуля MCU
	Step Out завершує роботу з модулем MCU
	Run to Cursor здійснює перехід до елемента модуля MCU, що обраний курсором
	Toggle Breakpoint включає, або виключає контрольні точки
	Remove All Breakpoints видаляє всі контрольні точки

На рисунку 3.2 показано різні глобальні налаштування.

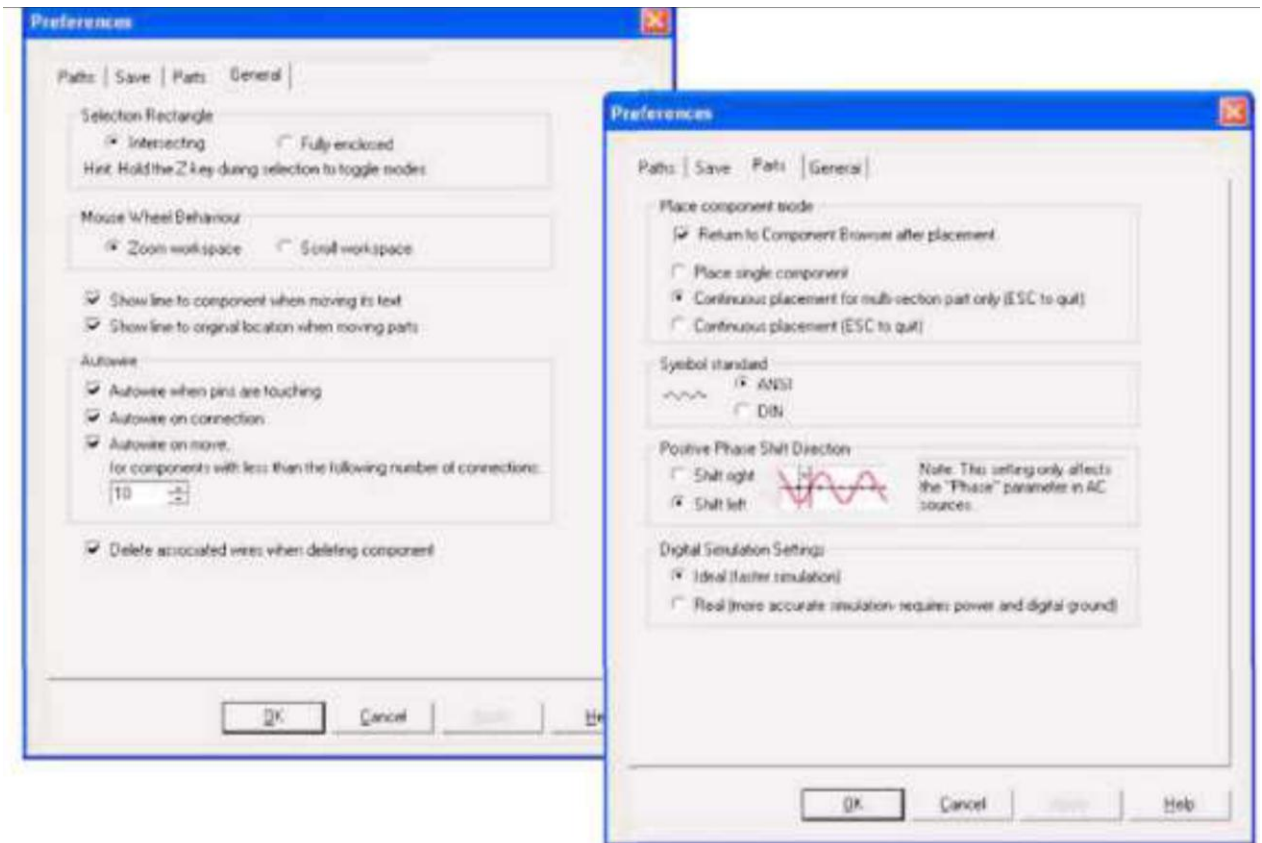


Рисунок 3.2 – Різні глобальні налаштування

Основними вимірювальними приладами програми Multisim є мультиметр, генератор сигналів, осцилограф.

Мультиметр – це найпростіший з багатофункціональних вимірювачів прилад для вимірювань змінних чи постійних струмів, напруг, опорів. Зручною його особливістю є автоматичне налаштування діапазону вимірювання всіх цих величин для даної схеми. При цьому внутрішній опір і струм мультиметра близькі до ідеальних, але за потреби їх можна змінювати на близькі до реальних опорів вимірювальних приладів.

Function Generator – це генератор напруги, сигнали на виході якого змінюються в часі за синусоїдальним, пилкоподібним законом, або є періодичною послідовністю прямокутних імпульсів. Є можливість завдавати форму сигналу, частоту, амплітуду, скважність для імпульсів та їх часову

затримку на періоді. Генератор перекриває широкий діапазон частот: від декількох герців до сотень гігагерців.

Осцилографи призначені для аналізу форми часової залежності сигналів та для визначення їх параметрів, а саме: амплітуди, період, часову затримку сигналів, взаємний зсув напруг відносно одної напруги в часі, тривалість імпульсів або їх пачок, тощо. Для цього дуже важливо правильно встановити на осцилографі параметри часової розгортки і напруги, тип і рівень запуску вимірювань. Передбачено також як внутрішню, так і зовнішню синхронізацію частоти часової розгортки для спинення зображення сигналу, бо в русі неможливо визначити часові та амплітудні параметри сигналів. Для більш зручного вимірювання напруги в кожному каналі окремо є змога регулювання підсилення по вертикалі. Масштаб зображення по горизонталі регулюється швидкістю розгортки. Як і у справжньому реальному осцилографі, є можливість зсуву осцилограм по вертикалі.

Для того, щоб зсунути осцилограму по горизонталі, можна завдати затримку в часі, змінюючи “X position”. Для зовнішньої синхронізації досліджуваного сигналу використовується сигнал від зовнішнього джерела, який підключається до входу “Ext Trg”.

Якщо мова йде про вимірювання параметрів сигналів декількох частот одночасно, то в цьому випадку для синхронізації обирають низькочастотний сигнал.

Цікавою і корисною опцією осцилографів цієї програми симуляції схем є можливість застосування так званих референсних площин. Мова йде про спосіб вимірювання всіх параметрів сигналу (двох сигналів) в будь-якому перерізі часу. Це здійснюється встановлення референсної площини (вертикальної кольорової риски) в потрібній точці. Параметри сигналів визначаються як за допомогою екранної сітки, так і за допомогою курсорів (зелений і жовтий трикутники у верхній частині екрана осцилографа). Для

вимірів ми переміщуємо курсор в необхідну нам точку екрану осцилографа. При цьому у вікні параметрів можна прочитати їх значення в точці розміщення курсору (рис. 3.3).

3.2 Вимірювання параметрів та характеристик підсилювача

Здійсимо дослідження підсилювача потужності у середовищі Multisim, яке є осучасненою версією базового програмного засобу аналізу електричних схем у часовій та частотній областях – Electronics Work Bench (рис. 3.4-3.6).

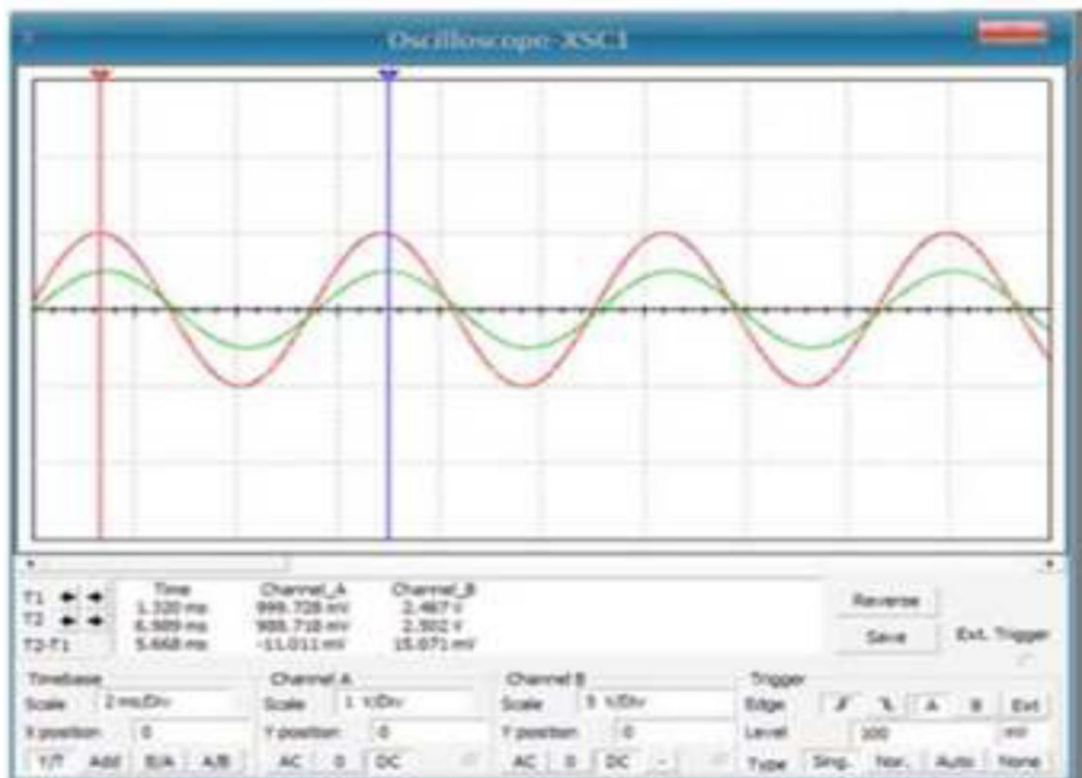


Рисунок 3.3 – Вимірювання параметрів сигналу в точці, де розміщено референсну площину

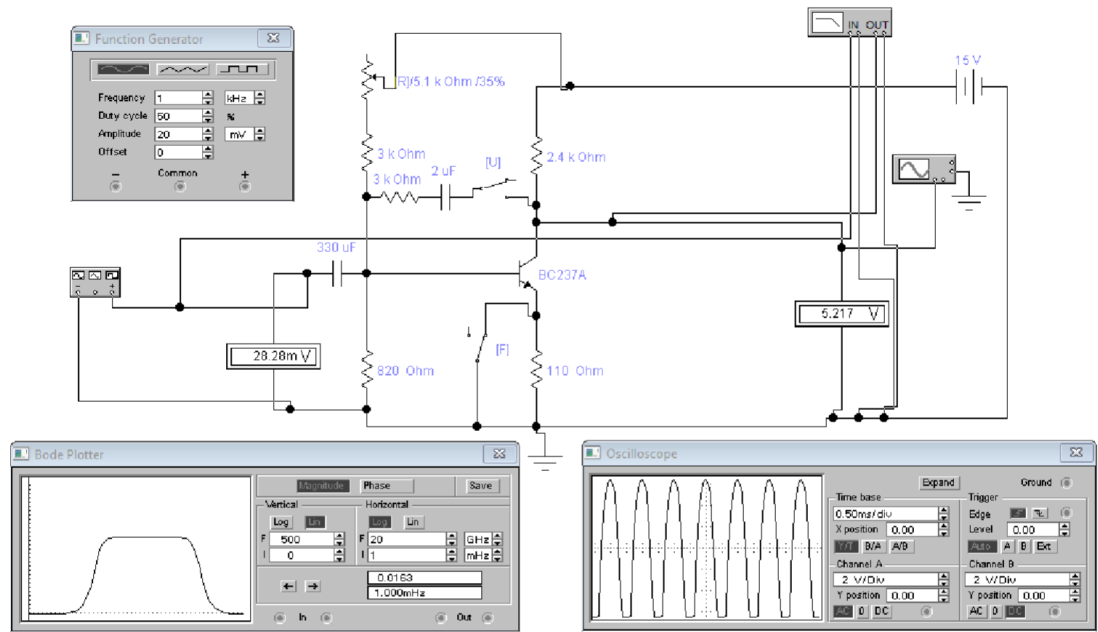


Рисунок 3.4 – АЧХ та вхідна напруга підсилювача з СЕ

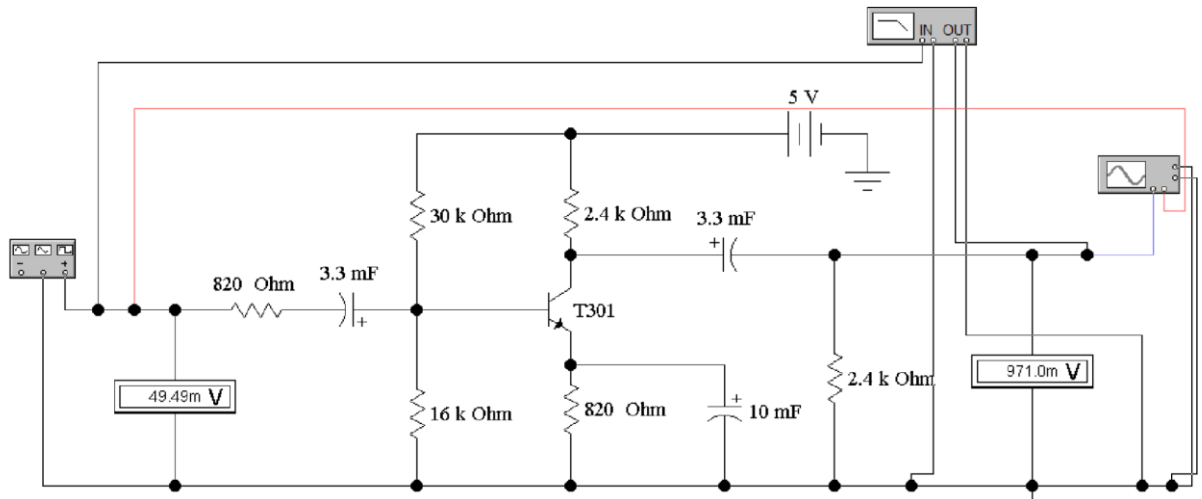


Рисунок 3.5 – Схема для вимірювання часових і частотних характеристик підсилювача з СЕ

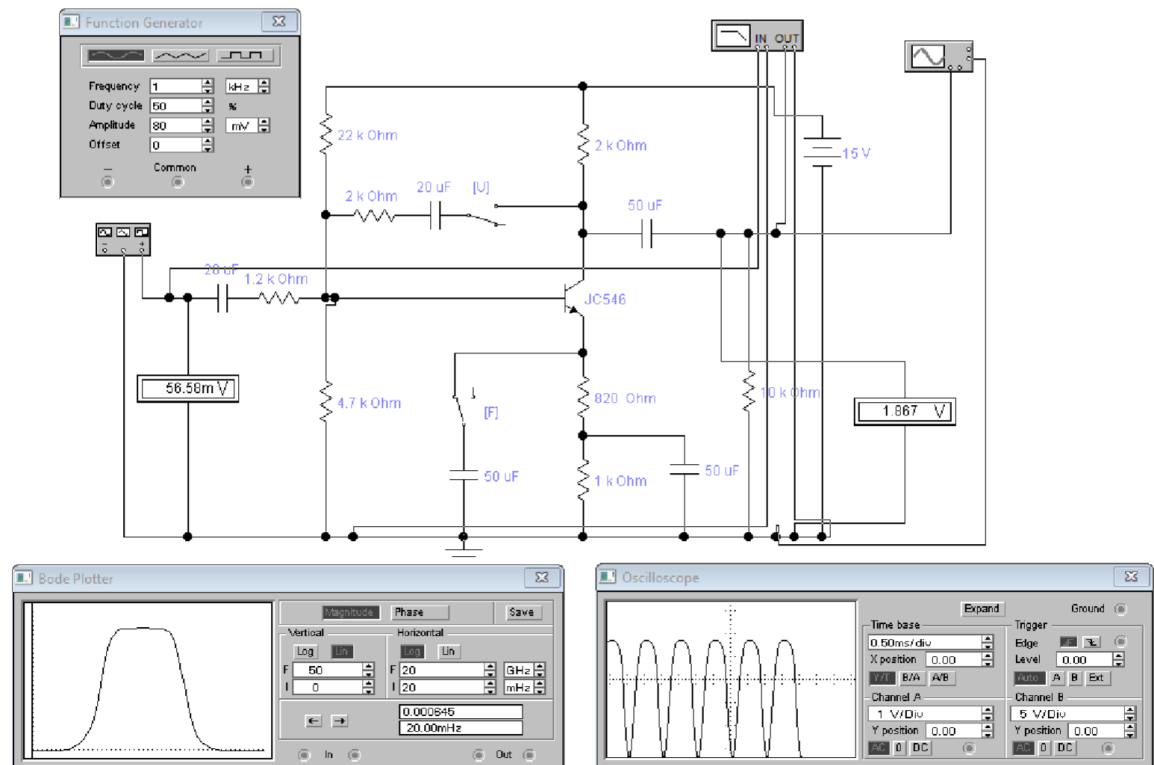


Рисунок 3.6 – АЧХ та осцилограма вихідної напруги підсилювач

Проводиться дослід для побудови характеристики “вхід-вихід”. Для проведення такого дослідження задається мінімальна величина вхідної напруги і до колектора транзистора через електролітичний конденсатор приєднується опір навантаження, величина якого приблизно у 10 разів більша за величину колекторного опору).

Цифровий вольтметр приєднується безпосередньо до навантаження. Вимірюється величина вихідної напруги за допомогою цифрового вольтметра. Змінюючи амплітуду вхідного джерела через опцію Parameter Sweep, для 5-6 точок вимірюють величину вихідної напруги. Остання точка повинна відображати появу режиму насичення каскаду, тобто наявність явного спотворення вихідної напруги за рахунок обмеження робочого діапазону транзистора. За результатами проведених вимірів обчислюється

величина коефіцієнта підсилення каскаду і будується графік його залежності від величини вхідної напруги.

Також будується графік залежності величини вихідної напруги від вхідної (рис. 3.7-3.9).

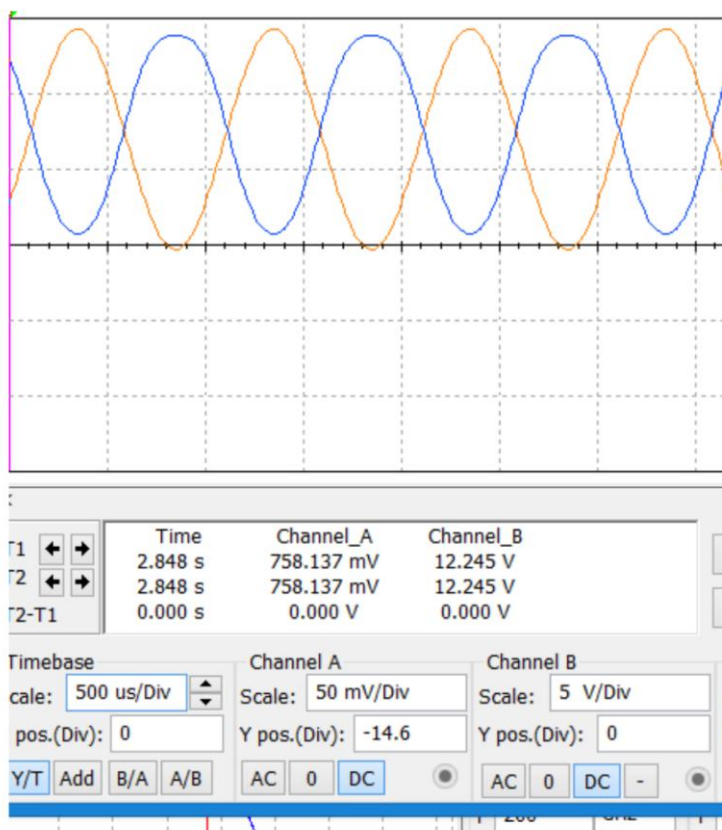


Рисунок 3.7 – Кількісні параметри осцилограми вхідної і вихідної напруги

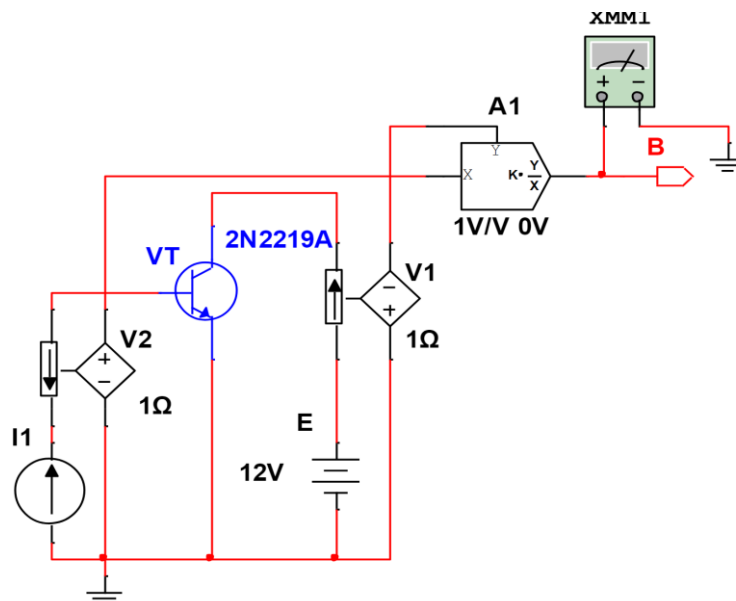


Рисунок 3.8 – Схема для вимірювання коефіцієнта підсилення підсилювача з СЕ

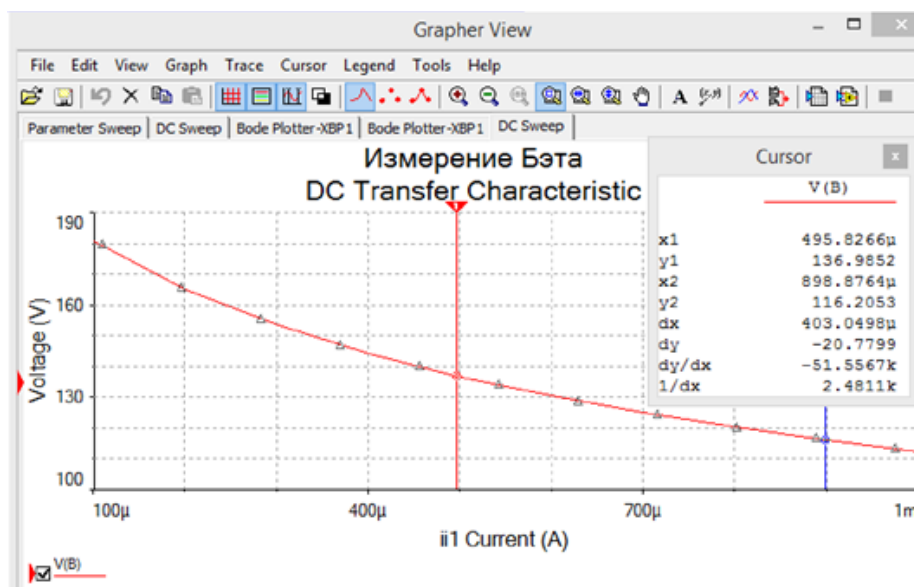


Рисунок 3.9 – Залежність коефіцієнту підсилення транзистора у вибраному діапазоні зміни струму бази

За допомогою Бодє – плотера, або можна ще шляхом моделювання (Simulate, Analyses, AC-analysis) знаходиться амплітудно – частотна характеристика (АЧХ) каскаду. За допомогою курсорів знаходиться коефіцієнт підсилення його на середині частотної характеристики, та в точках зліва та справа, де коефіцієнт підсилення знижується на 3-5 дБ. Фіксуються нижня та верхня частоти робочого діапазону підсилювача. Знімається АЧХ підсилювача для режиму холостого ходу. По частоті зрізу в області низьких частот обчислюється величина вхідного опору каскаду (рис. 3.10).

Проводиться дослід по перевірці величини вхідного опору шляхом напруги на вході каскаду та струму бази (частота, на якій проводиться вимірювання, знаходиться в смузі підсилення каскаду). Змінюючи ємності вхідного та вихідного конденсаторів визначається їх вплив на нижню частоту частотного діапазону.

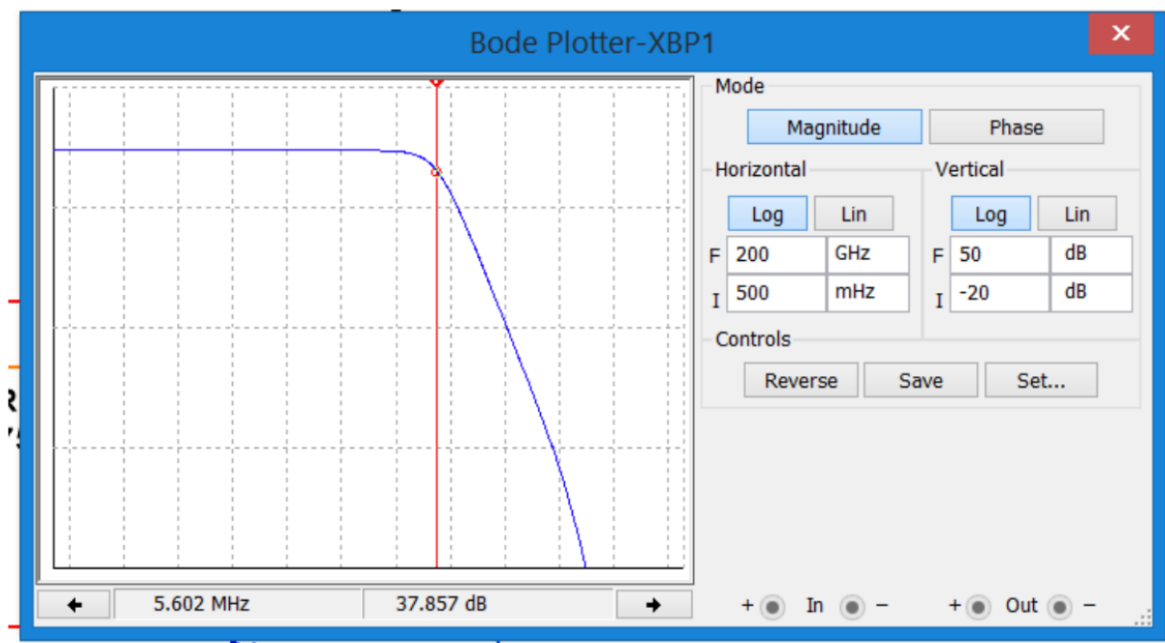
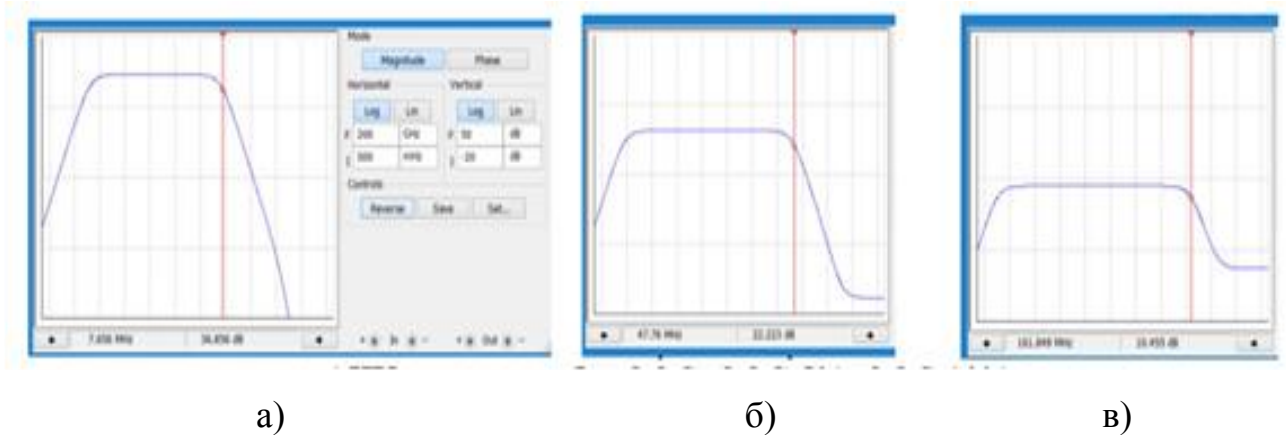


Рисунок 3.10 – Вимірювання АЧХ за допомогою Бодє-плоттера

Проводиться дослід по впливу джерела вхідного сигналу на коефіцієнт підсилення каскаду. Для цього в джерело сигналу вводиться внутрішній опір, величина якого на порядок менше величини вхідного опору каскаду. Заміряється коефіцієнт підсилення і нижня частота зрізу каскаду.

Змінюючи величину внутрішнього опору джерела сигналу до величини, що на порядок перевищує вхідний опір каскаду встановлюються залежності від нього коефіцієнту підсилення та нижньої частоти зрізу.

Досліджувались якісний вигляд та кількісні параметри АЧХ в залежності від глибини від'ємного зворотного зв'язку (рис. 3.11).



а – без 33; б – 5% 33; в – 10% 33.

Рисунок 3.11 – Залежність АЧХ від глибини від'ємного зворотного зв'язку

Визивається SPICE- модель транзистора і встановлюється ємність переходу база – колектор на порядок більшою, ніж встановлена по замовчуванню. Після цього знову знаходиться АЧХ підсилювача і визначається верхня частота частотного діапазону каскаду. Виконується порівняння її з значенням, отриманим в п. використовуючи верхню частоту зрізу АЧХ каскаду та величину паразитної ємності колекторного переходу, обчислюється величина його вихідного опору.

Проводилося дослідження зовнішньої характеристики каскаду. Змінюючи величину опору навантаження, були заміряні величини струму навантаження та напруги на ньому.

Використовуючи Excel, будуються залежності напруги на навантаженні від величини струму. Обчислюється величина вихідного опору каскаду. Дослід проводиться в робочому частотному діапазоні каскаду.

Досліджується за допомогою опції TemperatureSweep вплив зміни температури на положення робочої точки підсилювача. Для цього контролюється зміна напруги на колекторі транзистора. Діапазон зміни температури обирається від 0 до 70 град. С. Кола термостабілізації компенсують збільшення струму подільник при підвищенні температури і тим самим забезпечують стабільність напруги зміщення робочої точки по постійному струму. На рисунку 3.12 показано температурну варіацію напруги виходу при вимкненому колі термостабілізації.

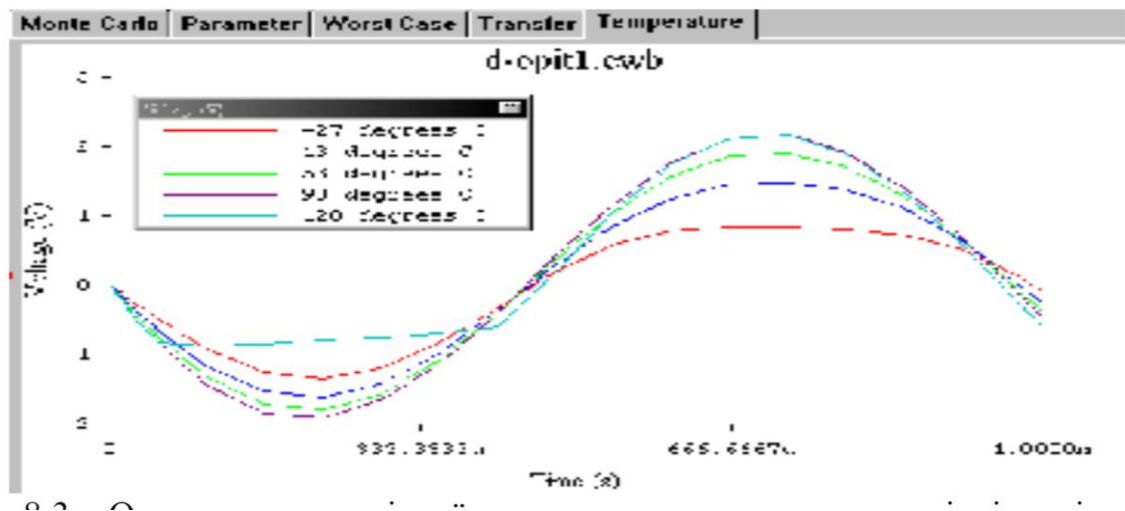


Рисунок 3.12 – Осцилограми вихідної напруги з температурною варіацією підсилювача

З рисунку 3.12 чітко видно необхідність застосування кола термостабілізації напруги, оскільки відхилення її від номінальної доволі велике (більше 25%). Визначається величина вихідного опору $R_{вх} = 154,6 \text{ Ом}$.

4 ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АДАПТЕРА

Інструменти на основі штучного інтелекту, такі як ChatGPT, можуть демократизувати кодування, зробивши його доступним для початківців і заощадивши час розробникам, що зрештою дозволить звичайним людям без досвіду програмування вчитися та будувати програми-конвертори.

4.1 Обґрунтування вибору мови програмування конвертора алфавіту символів у код Морзе

Python – мова програмування, перше застосування якої зафіксоване у 1991 році, є старшою сестрою мов Java, C#, JavaScript, PHP та багато інших, але, в той же час, вона є молодшою за C та C++. Незважаючи на вельми поважний вік, мова не позбулася за цей час колишньої слави. Навпаки? поширення її як мови програмування тільки збільшується. І все це відбувається завдяки тому, що від розробника з'являються регулярні оновлення.

Зараз Python третє місце серед найпопулярніших мов програмування світу. Любов до неї програмерів не є випадковою. Можна вказати декілька причин такого до неї ставлення.

По-перше, це зручний синтаксис. В мові Python нема зайвих лапок, дужок. Замість цього ми використовуємо або двокрапку, або відступ певної довжини.

По-друге, мова програмування Python є універсальною. Вона є придатною як для створення веб-сайтів, так і для програмування на ноутбучі, підходить також для написання нейронних мереж, програм для онлайн-навчання, парсингу даних, для написання ботів або невеликих за об'ємом ігор, які не потребують швидкого руху графічних об'єктів. Перевагою мови

Python є легкість підключення до написаних програм найрізноманітніших сторонніх бібліотек, фреймворків, яких в мові Python величезна кількість.

По-третє, на Python код писати значно простіше. Все це тому, що в Python програмування певних дій можуть займати один-два рядки коду, а в програмі мовою Java той же фрагмент з тим самим функціоналом може бути довжиною у 10, а інколи і у 20 рядків коду.

Недоліки Python не дають йому змоги стати найуспішнішою мовою програмування. Основний недолік – його відносна повільність у порівнянні з мовою Сі. В коротких програмах це ще не помітно, але у масштабних проектах типу написання нової операційної системи невелика швидкість виконання коду вже дасться взнаки.

З цієї причини Python не є лідером у всіх сферах, де критичною вимогою є максимальна швидкодія: великі складні ігри, великі за об'ємом програми. Веб-сайти можуть програмуватися мовою Python.

Якщо перераховувати найчастіші сфери використання Python, то слід відзначити наступні:

- веб розробка та створення сайтів будь-якого призначення;
- обробка баз даних;
- програми онлайн- та офлайн- навчання;
- нейронні мережі;
- створення програм-ботів;
- написання скриптів для різноманітних систем;
- написання програм для персональних комп'ютерів, планшетів, смартфонів.

Підсумовуючи все сказане вище, можна дійти висновку, що Python чудово підходить для виконання такої роботи, як створення кодера-декодера як у напрямку конвертації текстового матеріалу у код Морзе, так і у зворотному напрямку

4.2 Програма-кодер/декодер

Фрагмент програми на Python для конвертування англійського тексту в код Морзе наведено на рисунку 4.1.

```
1 # Morse Code Translator
2
3 # Dictionary for morse code
4 english_to_morse = {}
5     'A': '. - ',
6 }
7
8 # Get user input
9 user_string = input("Enter a random English text: ")
10
11 # Write a function to translate the text based on user choice.
12 def translate(text):
13     return ""
14
15 # Show the translated text to the user
16 print()
17
```

Рисунок 4.1 – Фрагмент програми на Python для конвертування англійського тексту в код Морзе

Взагалі-то мова вводу тексту є неважливою, оскільки існують перекладачі-декодери з будь-якої мови світу на будь-яку іншу.

В якості прикладу, на рисунках 4.2, 4.3 показано фрагмент програми, яка заповнює таблицю текстових символів (букв і цифр) і відповідність цим символам сполучень коду Морзе.

```

3 # Dictionary for morse code
4 english_to_morse = {
5     # Alphabets
6     'A': '.-', 'B': '-...', 'C': '-.-.', 'D': '-..', 'E': '.',
7     'F': '..-', 'G': '--.', 'H': '....', 'I': '..', 'J': '-.-.-',
8     'K': '-.-', 'L': '....', 'M': '--', 'N': '-.', 'O': '---',
9     'P': '---.', 'Q': '-.-.-', 'R': '...-', 'S': '...-', 'T': '-.',
10    'U': '..-', 'V': '...-', 'W': '---', 'X': '-.-.-', 'Y': '-.-.-',
11    'Z': '--..',
12
13    # Numbers
14    '0': '-----', '1': '.-----', '2': '..-----', '3': '...-----',
15    '4': '....-', '5': '.....', '6': '-.....', '7': '--.....',
16    '8': '---..', '9': '----.'
17 }
18
19
20 # Get user input
21 user_string = input("Enter a random English text: ")
22
23 # Write a function to translate the text based on user choice.

```

Рисунок 4.2 – Фрагмент програми-кодера, яка заповнює кодову таблицю відповідності між текстовими і цифровими символами та їх кодами Морзе

```

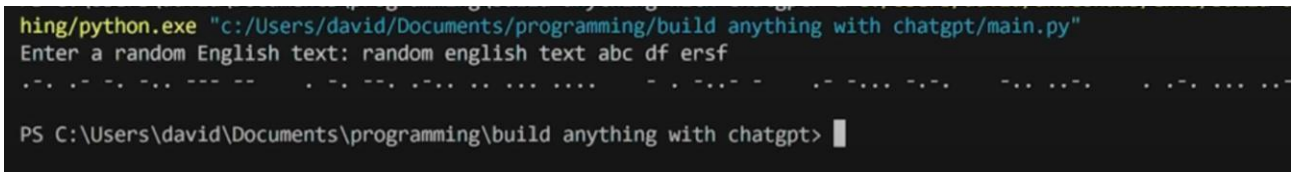
26 # Step 3: Write a function to translate the text based
27 def translate(text):
28     # convert text to consistent case
29     text = text.upper()
30     # initialize an empty string for the Morse code result
31     morse_string = ""
32     # loop through each character in the text
33     for char in text:
34         # update the morse_string with the morse code for the character
35         if char == " ":
36             morse_string += english_to_morse[char]
37         else:
38             morse_string += english_to_morse[char] + " "
39     # make the function give back the new morse_string
40     return morse_string
41
42
43 print(translate(user_string))
44

```

Рисунок 4.3 – Функція організації процесу конвертування тексту в код Морзе

Розглянемо результат роботи програми, яка надає можливості конвертації в обидва боки: як тексту в код, так і в зворотньому напрямку.

При введенні рандомного тексту (рис.4.4 після двокрапки) `random english text abc df ersf` для обробки розглянутим вище фрагментом програми отримаємо наступний результат.



```

hing/python.exe "c:/Users/david/Documents/programming/build anything with chatgpt/main.py"
Enter a random English text: random english text abc df ersf
.....
PS C:\Users\david\Documents\programming\build anything with chatgpt>

```

Рисунок 4.4 – Запуск програми і введення рандомного тексту

На рисунку 4.5 бачимо, що код Морзе конверовано програмою в текст. На екрані комп'ютера з'являється результат конвертування коду в текст з подальшою перевіркою правильності конвертування за допомогою штучного інтелекту ChatGPT. ChatGPT ввічливо підсумовує, що конвертування коду в текст пройшло успішно і без помилок.

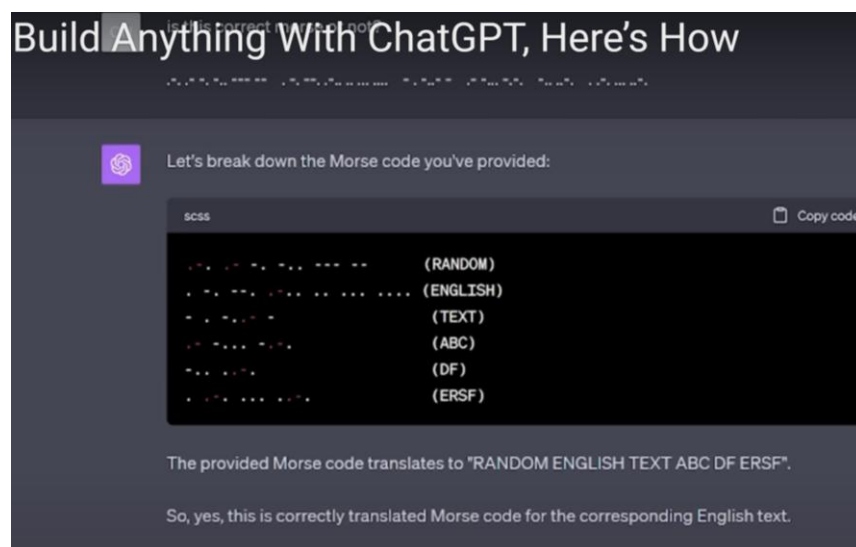


Рисунок 4.5 – Конвертування тексту в код Морзе з перевіркою в GatGPT

Python є платформонезалежною зручною мовою програмування для подібних задач обробки даних. Програма є придатною для встановлення на смартфонах, планшетах, ноутбуках і т.п., з будь-якою операційною системою, зокрема, iOS, Android, Windows, Linux.

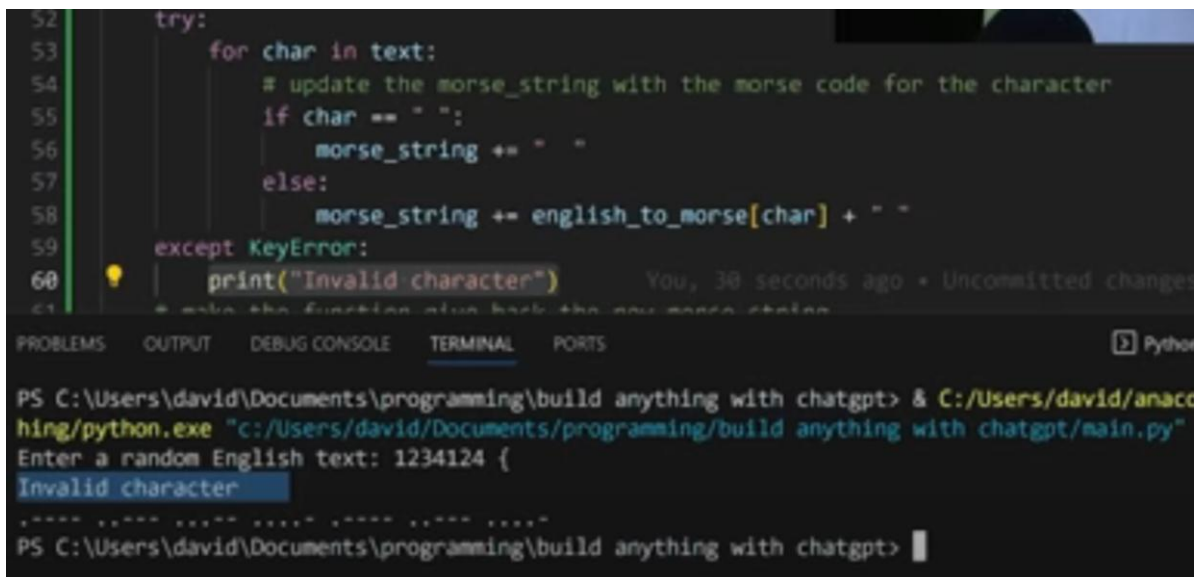
Розглянемо випадок (доречі, доволі частий), коли в тексті трапляється символ, якого нема в коді Морзе. Це можуть бути, наприклад, квадратні, фігурні дужки [], { }, або знак відсотка %, або будь-який відсутній у основному наборі коду Морзе символ.

ChatGPT з цього приводу дає декілька порад:

- розширити базу кодованих елементів (нам не підходить це рішення внаслідок міжнародного статусу стандартного набору символів, які можуть бути закодовані і передані за допомогою коду Морзе);

- виводити на екран в програмі конвертування під час введення тексту попередження про некоректність введеного символу.

Скористаємося другою порадою ChatGPT і застосуємо оператори try та except, як показано в фрагменті програми на рисунку 4.6.



```

52     try:
53         for char in text:
54             # update the morse_string with the morse code for the character
55             if char == " ":
56                 morse_string += " "
57             else:
58                 morse_string += english_to_morse[char] + " "
59     except KeyError:
60         print("Invalid character")
61

```

Terminal output:

```

PS C:\Users\david\Documents\programming\build anything with chatgpt> & C:/Users/david/anac...
hing/python.exe "c:/Users/david/Documents/programming/build anything with chatgpt/main.py"
Enter a random English text: 1234124 {
Invalid character
.....
PS C:\Users\david\Documents\programming\build anything with chatgpt>

```

Рисунок 4.6 – Виключення можливості набору символів, які виходять за рамки стандартних для коду Морзе

Також на рисунку 4.6 бачимо результат обробки помилки введення поміж стандартних символів і символу у вигляді фігурної дужки { . Програма виводить на екран сповіщення «помилковий символ» – «invalid chatacter».

Тепер подивимось, що з цього приводу скаже ChatGPT. Він рекомендує замінити різку реакцію на невідомий символ у вигляді сповіщення про помилку на більш толерантне попередження «Вибачте, не можу конвертувати цей символ».

На рисунку 4.7 можна бачити фрагмент програми, який виводить таке попередження.

```

48     text = text.upper()
49     # initialize an empty string for the Morse code result
50     morse_string = ""
51     # loop through each character in the text
52
53     for char in text:
54         # update the morse_string with the morse code for the character
55         try:
56             if char == " ":
57                 morse_string += " "
58             else:
59                 morse_string += english_to_morse[char] + " "
60         except KeyError:
61             print("Sorry, I can't translate this character: " + char)
62
63
64     # make the function give back the new morse_string
65     return morse_string
66

```

Рисунок 4.7 – Фрагмент програми з попередженням про неконвертуємий в код Морзе символ

На рисунку 4.8 вже бачимо реакцію програми на некоректний символ у вигляді фрази: «Sorry, I can't translate this character».


```

24     '/' : '-----', # Forward slash
25     '(' : '-----', # Open parenthesis (or bracket)
26     ')' : '-----', # Close parenthesis (or bracket)
27     '&' : '-----', # Ampersand
28     ':' : '-----', # Colon
29     ';' : '-----', # Semicolon
30     '=' : '-----', # Equals sign
31     '+' : '-----', # Plus sign
32     '-' : '-----', # Hyphen or minus sign
33     '_' : '-----', # Underscore
34     '"' : '-----', # Double quotation mark
35     '$' : '-----', # Dollar sign (Note: This is also an unofficial code but is sometimes used)
36     '@' : '-----', # At symbol (Note: This is an unofficial code but is often used.)
37
38 }

```

Рисунок 4.10 – Кодування деяких спеціальних символів

На рисунку 4.11 показано кінець програми-конвертора, який виводить на екран текст користувача та код Морзе тексту.

```

54     try:
55         if char == " ":
56             (variable) morse_string: str | Any ted changes
57         else
58             morse_string += english_to_morse[char] + " "
59     except KeyError:
60         print("Sorry, I can't translate this character: " + char)
61         morse_string += char + " "
62
63
64     # make the function give back the new morse_string
65     return morse_string
66
67
68     # Step 4: Show the translated text to the user
69     print(translate(user_string))

```

Рисунок 4.11 – Фінальний фрагмент програми-конвертора

Роль ChatGPT у програмуванні будь-якою мовою під будь-якою платформою є неоціненною. Дійсно, штучному інтелекту можна ставити будь-яке запитання стосовно формату операторів, синтаксису мови програмування, надання прикладів готових програм написаних певною

мовою програмування, і що не менш важливо, для отримання кінцевого варіанту коду в робочому стані можна попросити ChatGPT перевірити на працездатність програму. ChatGPT знайде і підсвітить помилки і запропонує свій варіант безпомилкового коду. До того ж ChatGPT не втомлюється, не ображається на дурні або некоректні запитання. Все це робить спілкування з ChatGPT приємною і необтяжливою справою. При цьому штучний інтелект прискорює процес створення алгоритмів і програм, процес навчання і здобуття практичних навичок, а також підказує можливі готові рішення.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі розроблено та досліджено властивості адаптера для цифрових видів зв'язку. Він призначений для узгодження комп'ютера з радіостанцією (трансивером), здійснення електричного зв'язку між ними. Адаптер виконує такі операції:

- автоматично перемикає радіостанцію в режим передачі (включає передавач) при відсутності сигналу кореспондента або навпаки;

- в режимі прийому – пересилає приймаєму радіограму в вигляді сигналів азбуки Морзе (імпульсів) в комп'ютер, який за допомогою спеціальної радіоаматорської програми перетворює послідовність точок та тире в звичайний текстовий файл. Цей текст можна зберегти, переробити, переписати на інші носії;

- в режимі передачі – текст, набраний на звичайній клавіатурі, програма перетворює в послідовність точок пауз, тире. Потім цим сигналом здійснюється модуляція несучого сигналу передавача, якій приймає та обробляє другий кореспондент.

Пристрій складається з таких елементів:

- фільтра;
- підсилювача-обмежувача;
- блока керування;
- індикатора настроювання (який реалізовано у вигляді програми).

Перевагами адаптера цифрових видів зв'язку є перетворення тексту, який набирається на звичайній клавіатурі ноутбука і перетворюється програмою комп'ютера в імпульси сигналів азбуки Морзе, які потім за допомогою розробленого адаптера цифрового зв'язку перетворюються у імпульсно-модульований сигнал. Іншими словами, текст радіограми в комп'ютері без втручання оператора буде передано в ефір автоматично та з

високою якістю автомата. Такий текст не буде мати характерного “почерка” оператора, а в деяких випадках це є перевагою.

Для збільшення ефективності конвертування код Морзе- символний файл у вигляді тексту, який може бути збережено на комп’ютері, використовується програма, написана мовою Python та вдосконалена за допомогою штучного інтелекту ChatGPT.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Терещук Р.М. Полупроводниковые приёмно-усилительные устройства / Р.М. Терещук. – Киев: Наукова думка, 2011.
2. Аналоговые интегральные микросхемы для бытовой аппаратуры: Справочник. 2-е издание. – М.: Изд-во МЭИ, ПКФ “Печатное дело”, 2002. – 240 с.
3. Петухов В.М. Маломощные транзисторы и их зарубежные аналоги. Справочник. Т.1 / В.М. Петухов. – М.: КУБК-а, 1997. – 688с.
4. Тареева Б.М. Электрорадиоматериалы / Б.М. Тареева. – М.: Высш. шк., 1978.
5. Варламов В.Г. Краткий справочник конструктора РА / В.Г. Варламов. – М.: Сов. радио, 2002.
6. Фрумкин Г.Д. Расчет и конструирование РА / Г.Д. Фрумкин. – М.: Высш. шк., 2006.
7. Безладнов Н.Л. Проектування підсилювачів звукових частот / Н.Л. Безладнов. – К.: Зв'язок, 2020.
8. MultiSim [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.multisim.com/> (дата звернення 10.10.2023). – Назва з екрану.
9. ChatGPT [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://chat.openai.com/auth/login?next=%2F> (дата звернення 20.11.2023). – Назва з екрану.