

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Освітній рівень

Діапазонний радіопередавач

Назва теми

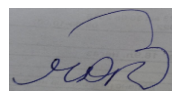
Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма «Телекомунікації та радіотехніка»

КПТР.2018006.01.04 ПЗ

Виконав: студент 4 курсу, група ТР-18-1



підпис

Д.В. Панасюк

Ініціали, прізвище

Керівник: д-р техн. наук, проф.



підпис

Ю.М. Бойко

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, доц.



підпис

С.К. Підченко

Ініціали, прізвище

__06__ __06__ __2022 р.

Хмельницький, 2022

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікації, медійних та інтелектуальних технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня-професійна програма Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ТМІТ



« 01 » 03 2022р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Панасюку Дмитру Володимировичу

1 Тема проєкту: Діапазонний радіопередавач

керівник проєкту Бойко Юлій Миколайович, д.т.н, професор.

Затверджено наказом ректора по університету від «01» 03. 2022р. № 18.

2 Строк подання студентом проєкту на кафедру: 20.05.2022р.

3 Вихідні дані до проєкту:

- діапазон частот: 85-88 МГц;
- потужність передавача: 10 Вт;
- кількість каналів – 65;
- метод синтезу сітки частот – IAS (непрямий аналоговий синтез частот);
- система модуляції: частотна маніпуляція;
- система стабілізації частоти: 10^{-6} ;
- опір фідера $R_n = 50$ Ом;
- вид випромінювання: F2 (частотна телеграфія);
- робоча температура: 0...40 гр. за Цельсієм.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- 1) Аналітичний огляд літературних джерел по темі кваліфікаційного проєкту.
- 2) Вибір та обґрунтування структурної схеми передавача.
- 3) Розрахунок каскадів передавача.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень): 1)

- 1) Сигнали частотної маніпуляції (Плакат);
- 2) Формування сигналів частотної маніпуляції (Плакат).
- 3) Діапазонний радіопередавач схема-електрична структурна (Е1) (обов'язкове);
- 4) Діапазонний радіопередавач схема електрична-принципова (Е3) (обов'язкове).

6 Консультанти розділів кваліфікаційного проєкту

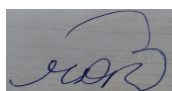
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання 01.03.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційного проєкту	Термін виконання етапів кваліфікаційного проєкту	Примітка
1	Вступ. Аналітичний огляд літературних джерел	01.03.2022	Вик.
2	Вибір та обґрунтування структурної схеми передавача	01.04.2022	Вик.
3	Розрахунок каскадів передавача	01.05.2022	Вик.
4	Висновки. Презентаційні матеріали за результатами виконання кваліфікаційного проєкту.	20.05.2022	Вик.

Здобувач



Підпис

Д. В. Панасюк

Ініціали, прізвище

Керівник проєкту



Підпис

Ю. М. Бойко

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проєкту: Діапазонний радіопередавач.

Автор роботи: Панасюк Дмитро Володимирович

Керівник роботи: д.т.н., проф., Бойко Юлій Миколайович

Пояснювальна записка: 71 сторінка, 15 рисунків, 25 джерел, 2 додатка.

Графічна частина : 4 креслення, 6 презентаційних слайдів.

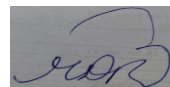
КЛЮЧОВІ СЛОВА: РАДІОПЕРЕДАВАЧ, МОДУЛЯЦІЯ, ГЕНЕРАТОР,
СИНТЕЗАТОР, КОЛА УЗГОДЖЕННЯ

Метою кваліфікаційного проєкту є проектування та розрахунок діапазонного радіопередавача з частотною маніпуляцією.

В кваліфікаційній роботі розглядаються питання проектування радіопередавачного пристрою в режимі частотної маніпуляції. На основі аналіз принципів формування та синтезу сигналів частотної маніпуляції проведено розрахунок структурної схеми радіопередавача. Здійснено вибір кількості підсилювально-перетворювальних каскадів, обрано активні елементи для вихідних каскадів. Проведено електричний розрахунок генераторних каскадів радіопередавача, визначено режими роботи, розраховано елементи кіл живлення та зміщення в підсилювальних схем. Наведено розрахунок кіл узгодження, здійснено вибір та проектування вихідного узгоджувального кола. Розроблено питання проектування тракту збудника діапазонного радіопередавача. Обрано тип синтезатора сітки частот. Розрахована сітка частот у випадку її формування методом непрямого аналогового синтезу.

Д.В. Панасюк

(Ініціали, прізвище здобувача)



28.05.2022

(Підпис, дата)

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналітичний огляд літературних джерел по темі кваліфікаційного проекту.....	9
1.1 Аналітичний опис сигналів частотної маніпуляції.....	9
1.2 Принципи формування сигналів частотної маніпуляції.....	14
1.3 Спектр частотно-маніпульованого сигналу.....	17
Висновок за 1-м розділом.....	20
2 Вибір та обґрунтування структурної схеми передавача.....	21
2.1 Формування структурної схеми радіопередавача.....	21
2.2 Розрахунок схеми радіопередавача.....	25
Висновок за 2-м розділом.....	28
3 Розрахунок каскадів передавача.....	29
3.1 Розрахунок режимів роботи і енергетичний розрахунок генератору зовнішнього збудження в режимі підсилювача потужності.....	29
3.2 Розрахунок режимів роботи і енергетичний розрахунок передвхідного каскаду генератору зовнішнього збудження в режимі підсилювача потужності.....	36
3.3 Розрахунок кола живлення вихідного підсилювача.....	40
3.4 Розрахунок кола зсуву генератора зовнішнього збудження в режимі підсилювача потужності.....	42
3.5 Обґрунтування вибору кіл узгодження та системи навантаження....	44
3.6 Електричний розрахунок системи навантаження.....	45
3.7 Конструктивний розрахунок елементів системи навантаження та котушки індуктивності.....	48
3.8 Розрахунок синтезатора та сітки частот.....	50

					КПТР.2018006.004.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Панасюк Д.В.			Діапазонний радіопередавач Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Бойко Ю.М.					4	
Реценз.						ХНУ, гр. ТР-18-1		
Н. Контр.		Бойко Ю.М.						
Затверд.		Підченко С.К.						

Висновок за 3-м розділом.....	59
Висновок.....	60
Перелік джерел посилання.....	61
Додаток А Параметри високочастотних транзисторів	64
Додаток Б Презентаційні матеріали.....	65

					КПТР.2018006.004.ПЗ	Лист
						5
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Радіопередавач (радіопередавальний пристрій) представляє собою електронний прилад, який за допомогою антени випромінює електромагнітні сигнали в радіочастотній ділянці спектра [1-6].

Функціонально радіопередавач складається з наступних частин:

- задаючий генератор;
- модулятор;
- початкового, проміжного та кінцевого підсилювача;
- ланок (кіл) узгодження імпедансів, фільтрів, систем захисту від аварійних режимів роботи.

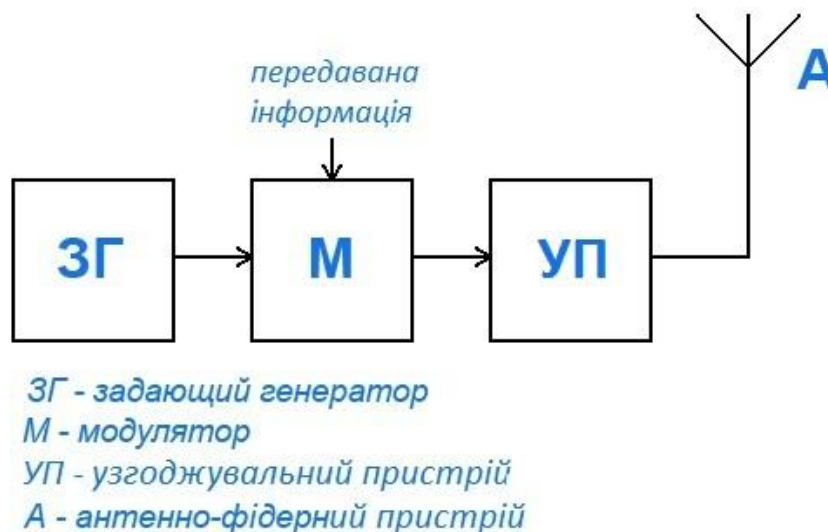


Рисунок 1 - Структурна схема радіопередавача

Об'єднання радіопередавача та радіоприймача на одній основі із блоком живлення дозволяє створити комплекс який буде називатись радіостанцією. Самостійно радіопередавачі використовують там, де не потрібно приймати інформацію разом з її передачею – сигнали точного часу, різноманітні радіомаяки для визначення місце розташування об'єктів, багатопозиційна радіолокація, радіомовлення і т.п. [7]

Здійснення модуляції можна розглядати як процес зміни одного або декількох параметрів одночасно у несучому високочастотному коливанні у

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідності до закону зміни сигналу низької частоти (або цифрової кодової послідовності) [6]. Розрізняють аналогову, цифрову та імпульсну модуляції.

Аналогова модуляція: амплітудна модуляція (АМ), частотна модуляція (ЧМ або FM), односмугова модуляція (ОБС або SSB), лінійно-частотна модуляція (ЛЧМ), фазова модуляція (ФМ або РМ) [7, 8].

Цифрова модуляція: амплітудна маніпуляція (АМн або ASK), фазова маніпуляція (ФМн або PSK), квадратурна-амплітудна маніпуляція (КАМ або QAM), частотна маніпуляція (ЧМн або FSK), частотна модуляція з мінімальним зсувом (MSK), багатоканальна модуляція з ортогогальним-частотним розділенням каналів (OFDM), трелліс модуляція (кодована модуляція або решітчата кодована модуляція) (TCM) [9].

Імпульсна модуляція: амплітудно-імпульсна модуляція (АІМ або PAM), імпульсно-кодова модуляція (ІКМ або PCM), широтно-імпульсна модуляція (ШИМ або PWM), частотно-імпульсна модуляція, фазово-імпульсна модуляція (ФІМ або PPM) [10-18].

Частотна маніпуляція (FSK – Frequency Shift Keying) – модуляція в якій під керуванням вхідного сигналу відбувається зміна фази несучого сигналу при незмінних його амплітуді і частоті [2].

Проведемо аналіз технічного завдання (ТЗ) на кваліфікаційний проект.

У відповідності до вимог ТЗ на кваліфікаційний проект, потрібно провести проектування діапазонного радіопередавача. Передавач повинен забезпечувати випромінювання частотно-маніпульованих сигналів (вид випромінювання F2) у діапазоні частот 86-88 МГц. За вимогами технічного завдання, потрібно зпроектувати тракт збудника радіопередавача з використанням прямого методу синтезу сітки частот з метою розміщення у зазначеному діапазоні 65 інформаційних каналів. Таким чином, під час проектування радіопередавача необхідно провести вибір та розрахунок структурної схеми радіопередавального пристрою за умов забезпечення заданої у ТЗ потужності у антенно-фідерному тракті. Потрібно провести

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахунок схеми електричної принципової, зокрема каскадів генераторів зовнізнього збудження для забезпечення заданої форми сигналів і потужності. В ході проектування потрібно провести вибір та електричний розрахунок кіл узгодження (КУ), зокрема КУ активних генераторних каскадів з антеною. У окремому розділі повинен бути описаний обраний до тракту збудника синтезатор сітки частот із зазначенням його експлуатаційних параметрів, основних схемотехнічних особливостей для його роботи у складі радіопередавального пристрою. За вимогами ТЗ у визначеному діапазоні частот потрібно розмістити без перехресних спотворень задану кількість каналів. Отже, в ході проектування радіопередавача потрібно перевірити можливість розміщення заданої кількості каналів в спектральні області частот, провести розрахунок сітки частот, коефіцієнтів поділу полільників у складі синтезатора для виконання намічених у ТЗ завдань по перекриттю діапазану інформаційними каналами. Графічна частина до пояснювальної записки повинна містити схему електричну-структурну (Е1) радіопередавача, а також схему електричну принципову (Е3) із суповідним переліком елементів.

Аналіз технічного завдання дозволяє визначити структуру пояснювальної записки, а саме вступ, розрахунок структурної схеми, розрахінок схеми електричної принципової, розрахунок кіл узгодження, розрахунок збудника (синтезатора) та стіки частот інформаційних каналів на виході радіопередавача.

Метою кваліфікаційного проекту є проектування та розрахунок діапазонного радіопередавача з частотною маніпуляцією.

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ПО ТЕМІ КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ

1.1 Аналітичний опис сигналів частотної маніпуляції

У телеграфуванні частотну маніпуляцію можна представити як процес зміни частоти генератора відповідно до значення модулюючого сигналу [1-5].

Простою реалізацією модуляції з постійною амплітудою є двійкова частотна модуляція ЧМн. При цьому корисний сигнал формується з відрізків двох синусоїд.

$$s_1(t) = \cos(\omega_1 t) , \quad (1.1)$$

$$s_2(t) = \cos(\omega_2 t) , \quad (1.2)$$

де сигнал s_1 використовується для передачі логічного нуля, а сигнал s_2 для передачі логічної одиниці.

Структурна схема модулятора, що реалізує такий метод модуляції, приведена на рис. 1.1.

Оскільки початкова фаза коливань генераторів ніяк не пов'язана, цей вид модуляції отримав назву частотної модуляції з розривом фази [5].

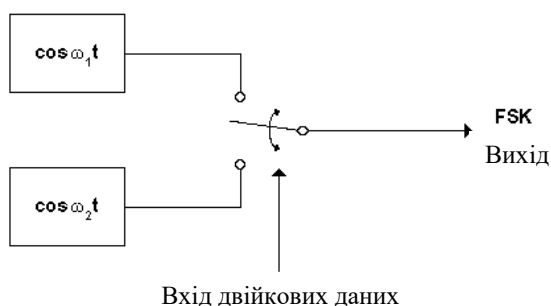


Рисунок 1.1. Схема частотного модулятора з розривом фази

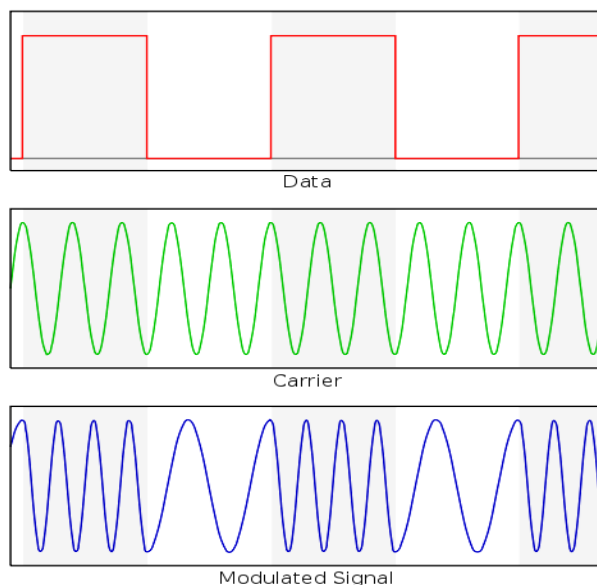
Крім того, в цьому виді модуляції початкові фази частот ω_1 і ω_2 некогерентні по відношенню до модулюючого сигналу, тому такий вид

					КПТР.2018006.004 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Панасюк Д.В.			Діапазонний радіопередавач Аналітичний огляд літературних джерел Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Бойко Ю.М.					9	
Реценз.						ХНУ, гр. ТР-18-1		
Н. Контр.		Бойко Ю.М.						
Затверд.		Підченко С.К.						

модуляції часто називають некогерентною частотною маніпуляцією. Проте, слід зазначити, що некогерентною може бути і частотна модуляція з неперервною фазою [6].

Як приклад використання некогерентної частотної модуляції можна привести стандарт ССІТТ V.21 (швидкість передачі даних 300 Бод). У стандарті ССІТТ V.21 використовуються частоти $f_1=1080$ Гц і $f_2=1750$ Гц. Некогерентна модуляція застосовується і для інших низькошвидкісних систем передачі даних, де смуга пропускання каналу є достатньою [5].

На рис. 1.2 представлено осцилограми які пояснюють процес формування сигналів з частотною маніпуляцією, де Data – модулюючі імпульси, Carrier – несуче коливання, Modulated Signal – модульований сигнал.



Рисинок 1.2 - Осцилограми формування сигналів з частотною маніпуляцією

Одним з різновидів частотної маніпуляції є багатопозиційна частотна модуляція (М-ЧМн). У схемі реалізації двопозиційної модуляції використаний двотактний комутатор. Таким самим чином можна побудувати і модулятор багатопозиційної частотної модуляції, але при цьому необхідно використовувати більшу кількість генераторів і відповідно комутатор з більшою кількістю станів (входів) [7, 8].

Сигнали в багатопозиційній частотній модуляції можуть бути описані відповідно до наступного виразу :

$$s_1(t) = \cos(\omega_1 t), s_2(t) = \cos(\omega_2 t), s_3(t) = \cos(\omega_3 t), \dots, s_N(t) = \cos(\omega_N t), \quad (1.3)$$

де s_1 використовується для передачі першого стану сигналу; s_2 — для передачі другого стану сигналу; s_N — для передачі N -го стану сигналу.

Використання багатопозиційної частотної модуляції дозволяє реалізувати високочастотний сигнал з постійною амплітудою. Такий сигнал дозволяє будувати системи передачі з максимальним коефіцієнтом корисної дії, оскільки при використанні сигналу з постійною амплітудою, підсилювач потужності працює в оптимальному режимі.

На практиці набула поширення подвійна частотна модуляція — ДЧТ (С4FM) що використовується в режимі з неперервною зміною фази сигналу. У цьому виді модуляції використовується чотири значення частоти. Такою кількістю частот можна передати два символи протягом тривалості одного символу.

Подальше збільшення кількості частот в радіоканалі не має сенсу, оскільки це приводить до невиправданого розширення спектру сигналу. Ширина спектру сигналу розширюється пропорційно кількості частот, а кількість одночасно переданих біт зростає пропорційно двійковому логарифму від кількості використаних частот.

Крім багатопозиційної частотної маніпуляції застосовується частотна модуляція з неперервною фазою (CPFSK).

Приведені методи частотної маніпуляції з розривом фази призводять до розширення частотного спектру сигналу за рахунок різкої зміни фази у момент комутації генераторів [8, 9].

При реалізації методу формування сигналу з частотною маніпуляцією без розриву фази використовують генератор керований напругою (ГКН) або частотний модулятор. Ключовою особливістю ГКН є миттєва зміна частоти, пропорційна модулюючому сигналу $r(t)$, при цьому фаза пропорційна

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтегралу модулюючого сигналу. У математичній формі переданий сигнал можна записати у вигляді наступного виразу :

$$s(t) = \operatorname{Re}\{A_m \exp[j\Psi(t)]\}. \quad (1.4)$$

де $\Psi(t) = \omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0$ - закон зміни повної фази несучої, A_m, ω_0, φ_0 - відповідно амплітуда, частота та початкова фаза немодульованого сигналу; $\varphi(t)$ - миттєва фаза, що залежить від модулюючого сигналу $r(t)$;

Застосувавши рівняння Ейлера для комплексної експоненти, перепишемо рівняння (1.4) в наступному вигляді:

$$s(t) = A_m \cos[\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0], \quad (1.5)$$

де

$$\varphi(t) = K \int_{-\infty}^t r(\tau) d\tau. \quad (1.6)$$

де K - коефіцієнт пропорційності. Підставляючи рівняння, що описує зміну фази (1.6), в рівняння (1.5), отримаємо вираз для частотно-маніпульованого сигналу з неперервною фазою (CPFSK).

$$s(t) = A_m \cos \left[\omega_0 t + K \int_{-\infty}^t r(\tau) d\tau + \varphi_0 \right]. \quad (1.7)$$

У разі, коли модулюючий сигнал $r(t)$ є біполярним сигналом, при цьому логічна одиниця представляється напругою ($+U$), а логічний нуль напругою ($-U$), цей сигнал може бути записаний у вигляді наступного виразу :

$$r(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S_n R(t - nT), \quad (1.8)$$

де $S_n = +1, -1$ - відповідає полярності вхідних двійкових даних, $R(t)$ - прямокутний імпульс тривалістю T .

Підставивши вираз модулюючого сигналу (1.8) в рівняння зміни фази несучої, отримаємо вираз для фази сформованого коливання:

$$\Psi(t) = K \int_{-\infty}^t \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S_n R(\tau - nT) d\tau. \quad (1.9)$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перепишемо цей вираз в наступному вигляді

$$\Psi(t) = K \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S_n \int_{-\infty}^t R(\tau - nT) d\tau . \quad (1.10)$$

Для інтервалу передачі одного символу $0 \leq t < T$ вираз (1.10) можна спростити:

$$\Psi(t) = K \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S_n \int_{-\infty}^t \frac{1}{2T} d\tau , \quad (1.11)$$

$$\Psi(t) = K \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S_n \frac{t}{2T} . \quad (1.12)$$

Використовуючи результуючий вираз (1.12), вираз частотно-модульованого сигналу з безперервною фазою (1.7) може бути записаний в наступному вигляді:

$$s(t) = A_m \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \cos \left[\omega_0 t + K S_n \frac{t}{2T} + \varphi_0 \right] . \quad (1.13)$$

Схема частотного модулятора з неперервною фазою (CPFSK) приведена на рис. 1.3. Це генератор, керований напругою. Подаючи на вхід цього генератора двійкові дані в кодї NRZ (Non Return to Zero), на виходї можна отримати частотну модуляцію з неперервною фазою. Необхідно відзначити, що для реалізації чотирьохпозиційної ДЧТ на вхід цієї схеми досить подавати чотирирівневий цифровий сигнал [5].

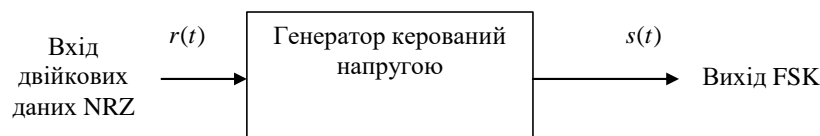


Рисунок 1.3 - Частотний модулятор з неперервною фазою

Слід відмітити, що переданий сигнал з неперервною фазою можна одночасно розглядати і як частотну і як фазову модуляцію несучої, з частотою ω_0 . Це видно з виразу (1.13). Часові діаграми зміни частоти і фази при частотній маніпуляціїї двійковим сигналом приведені на рис. 1.4 і 1.5 [5].

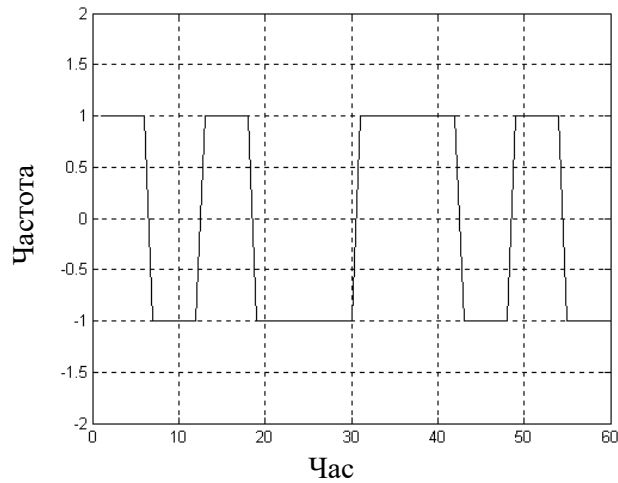


Рисунок 1.4 - Часові діаграми зміни частоти залежно від модулюючого сигналу при частотній модуляції (ЧМн)

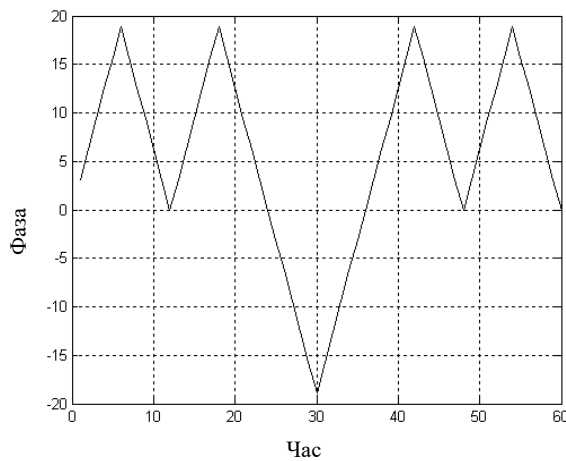


Рисунок 1.5 - Часові діаграми зміни фази залежно від модулюючого сигналу при частотній модуляції (ЧМн)

В результаті, за певних умов, приймач цифрового сигналу CPFSK можна будувати або як приймач ортогональних сигналів (частотна модуляція), або як приймач протилежних сигналів (фазова модуляція). Найбільшого поширення при побудові цифрових радіоканалів набув один з підвидів CPFSK - модуляція з мінімальним рознесенням частот (MSK).

1.2 Принципи формування сигналів частотної маніпуляції

Розглянемо двійкову ЧМн модуляцію, коли вихідний модулюючий сигнал $b(t)$ представляє собою двійкову бітову послідовність нулів і одиниць

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прямуючих з бітовою швидкістю B_r . Формувач ЧМн сигналу і принцип його роботи можна умовно представити (рис. 1.6) [5]:

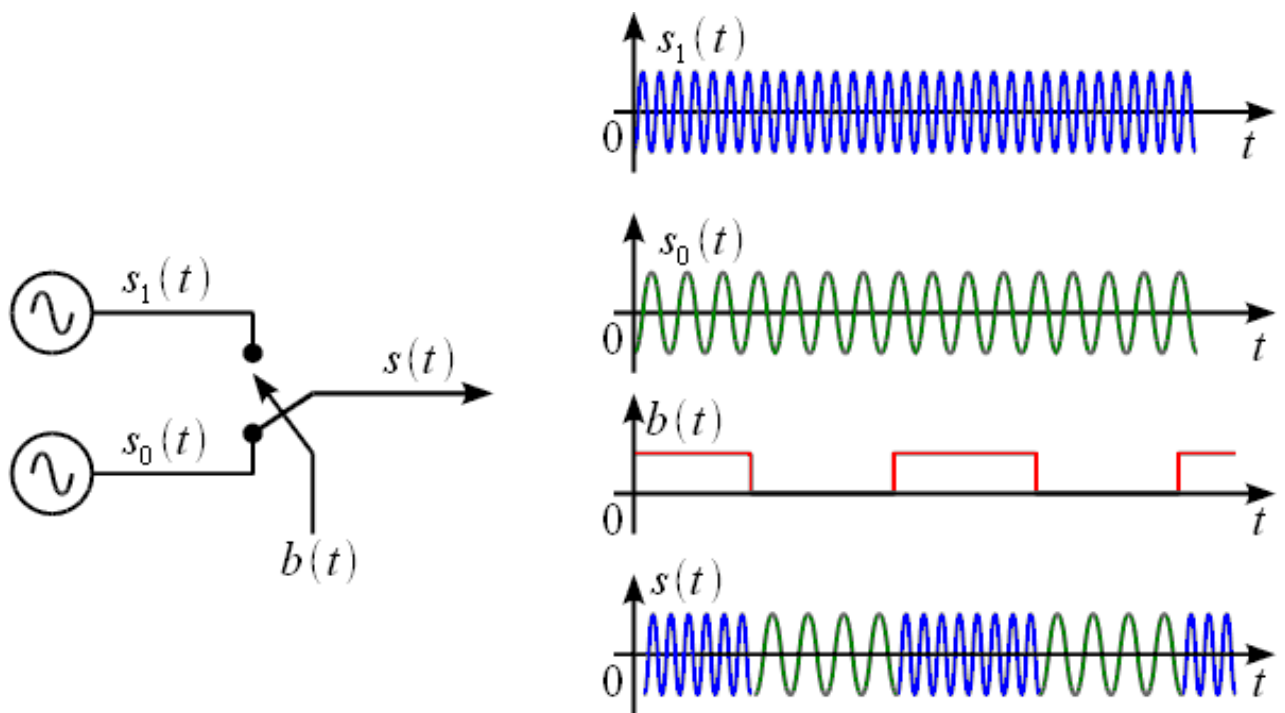


Рисунок 1.6 - Принцип формування ЧМн сигналу

На рисунку 1.1 представлено принцип формування ЧМн на основі двох генераторів, які здійснюють формування сигналів $S_0(t)$ і $S_1(t)$ використовуючи декілька частот. Також показано електронний ключ, що керується цифровим сигналом $b(t)$, таким чином, у випадку передачі «1» на виході отримаємо сигнал $S_1(t)$, а у випадку складової «0» - сигнал вигляду $S_0(t)$. Отже, відбувається зміна частоти вихідного коливання у відповідності від структури бітового потоку. Представлена схема вимагає використання швидкісних ключових пристроїв які крім того повинні характеризуватись зменшеною тривалістю перехідних процесів. Крім того, зміна початкових фаз сигналів генераторів може викликати стрибкоподібне перекручування фази, що в цнцевому рахунку буде призводити до можливого уширення спектру. ЧМн сигнали являються частинним випадком сигналів з частотною модуляцією (ЧМ) тобто у випадку коли в якості модулюючих сигналів використовується бітвий потік $b(t)$. Отже, для формування сигналів ЧМн-модуляції можна застосувати схему ФМ-модулятора на основі

універсального квадратурного модулятора, цей варіант представлено на рис. 1.7:

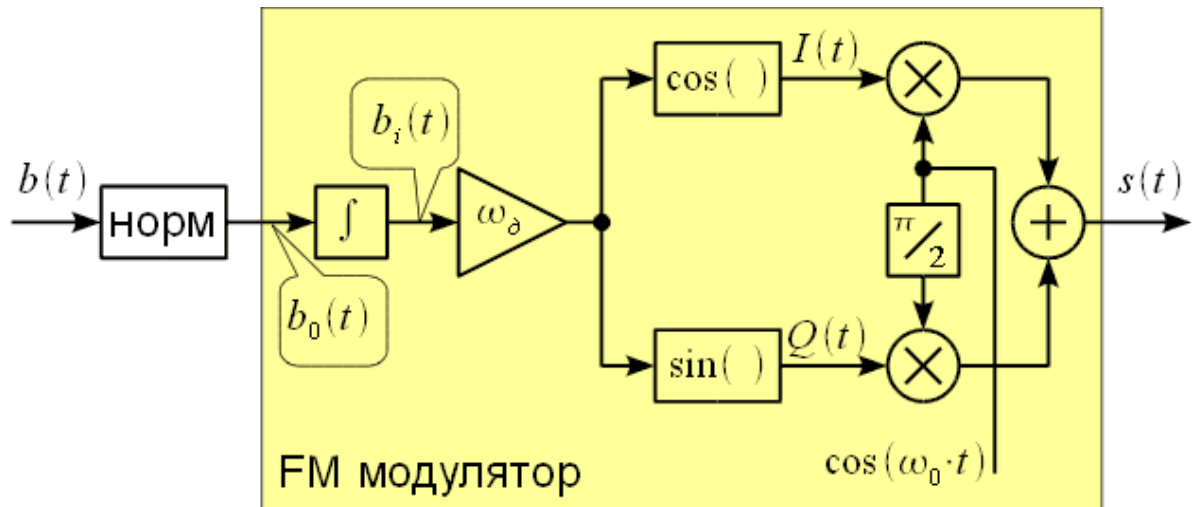


Рисунок 1.7 - Структурна схема формувача-модулятора ЧМн-сигналу з використанням схеми квадратурного ФМ-модулятора

На рис. 1.8 подано епюри які дозволяють описати принцип функціонування схеми представленої на рис. 1.7.

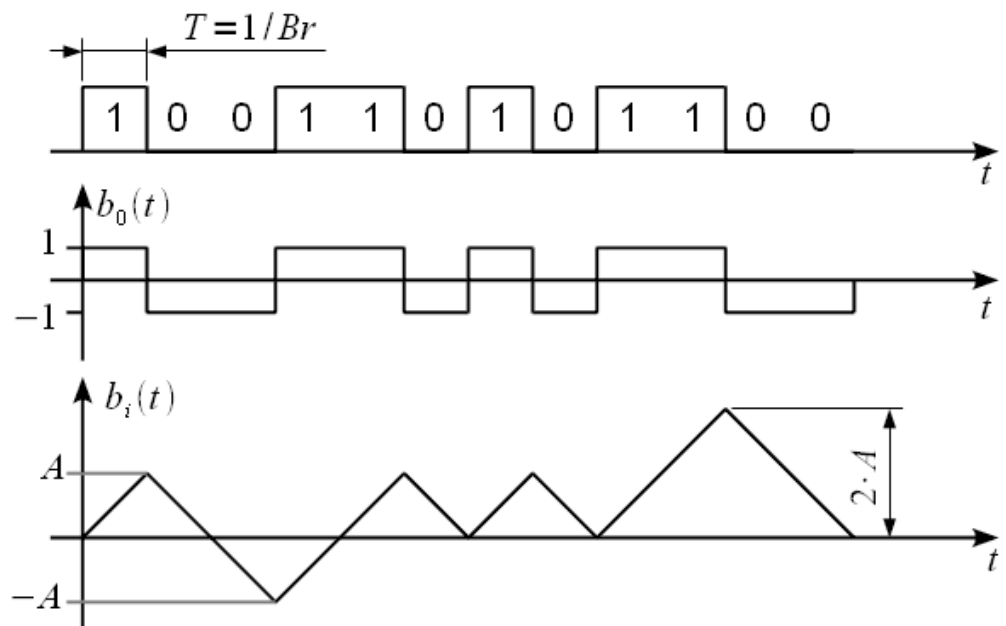


Рисунок 1.8 - Пояснюючі графіки роботи ЧМн модулятора

Перший графік містить початкову бітову послідовність $b(t)$ яка характеризується швидкістю Br , таким чином можна встановити тривалість що припадає на один біт у послідовності - $T = 1/Br$ с. У блоці нормування формується сигнал $b_0(t)$ з рівнем ± 1 і з нульовим середнім значенням, представлено на другому графіку рисунка 1.8. Сигнал має

меандрову форму. Такий потык $b_0(t)$ далы застоовуэться як маньпууючий сигнал який подається до входу ФМ-модулятора. ФМ-модулятор містить у свому складі інтегратор, який призначено для інтегрування сигналу $b_0(t)$. В підсумку отримуємо сигнал $b_i(t)$ пилкоподібної форми, візуально представленій на рис. 1.8. Потрібно відмітити, що при інтегрованні імпульси незмінної амплітуди будуть характеризуватись значенням амплітуди $A = T = 1/Br$. Потім, сигнал на виході інтегратора $b_i(t)$ змінюється в ω_∂ разів, тут ω_∂ представляє частоту девіації ФМ-сигналу. У випадку формування сигнала з цифровою ЧМ такий параметр як девіація керує розкидом маніпульованих частот сигналу. Представимо ω_∂ наступним виразом:

$$\omega_\partial = \underbrace{2 \cdot \pi \cdot Br/2}_{\Omega=2 \cdot \pi \cdot F_b} \cdot m = \pi \cdot Br \cdot m \text{ рад/с}; \quad (1.14)$$

де m представляє собою індекс ЧМн-модуляції, який визначає в скільки раз рознесення частот маніпуляції перевищує бітову швидкість, $\Omega = 2 \cdot \pi \cdot F_b$ - циклічна частота модулюючого сигналу, $F_b = Br/2$ - частота відображає чергування бітів при чергуванні нульових та одиничних значень в цифровому бітовому потоці (в два рази нижче швидкості передачі інформації Br). Далі по схемі після підсилення і встановлення частоти девіації у формувачі виконується генерація квадратурних сигналів $I(t)$ і $Q(t)$ і маніпуляція на основі квадратурної схеми формувача-модулятора.

1.3 Спектр частотно-маніпульованого сигналу

Відомо, що спектр сигналу з частотною модуляцією загалом не має аналітичного вираження. Але у випадку з бінарною послідовністю, можна отримати спектра ЧМн сигналів слідуючи наступним міркуванням. Представимо сигнал $b_0(t)$ на виході модулятора у вигляді суми двох сигналів [11]:

$$b_0(t) = b_L(t) + b_H(t), \quad (1.15)$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b_H(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } b_0(t) > 0; \\ \text{інше } 0 & \end{cases}; \quad (1.16)$$

$$b_L(t) = \begin{cases} -1, & \text{при } b_0(t) < 0; \\ \text{інше } 0 & \end{cases}. \quad (1.17)$$

Таке представлення графічно показано на рисунку 1.9:

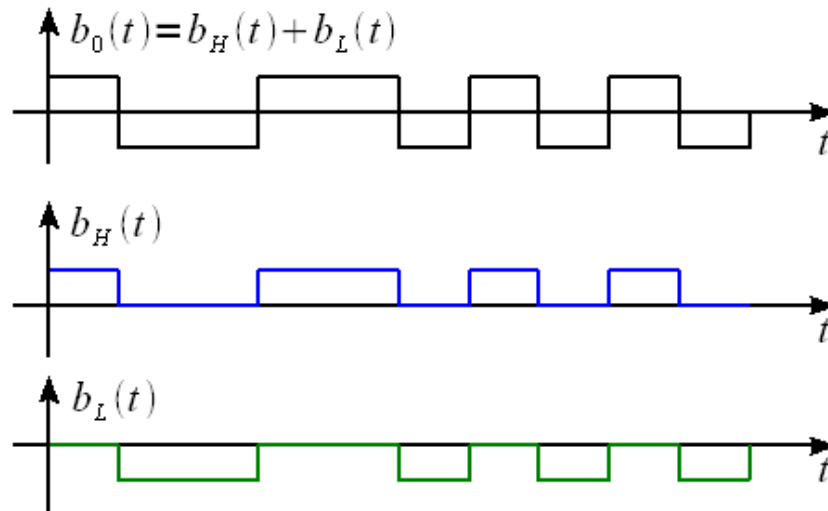


Рисунок 1.9 - Представлення модулюючого сигналу

Тоді ЧМн сигнал можна представити у вигляді суми сигналів $s_L(t)$ і $s_H(t)$:

$$s(t) = s_L(t) + s_H(t), \quad (1.10)$$

$$s_L(t) = b_L(t) \cos((\omega_0 - \omega_\partial) \cdot t), \quad (1.11)$$

$$s_H(t) = b_H(t) \cos((\omega_0 + \omega_\partial) \cdot t). \quad (1.12)$$

Графічно це показано на рисунку 1.10.

Таким чином спектр ЧМн сигналу $S(\omega)$ є сумою спектрів $S_L(\omega) + S_H(\omega)$ сигналів $s_L(t)$ і $s_H(t)$. Але $s_L(t)$ і $s_H(t)$ – перенесені на відповідні частоти $b_L(t)$ і $b_H(t)$, які в свою чергу являють собою послідовність імпульсів довжиною $T = 1/Br$. Оскільки бітова послідовність випадкова, то спектральна щільність $B_L(\omega)$ і $B_H(\omega)$ сигналів $b_L(t)$ і $b_H(t)$ може бути представлена як це показано на рисунку 1.11.

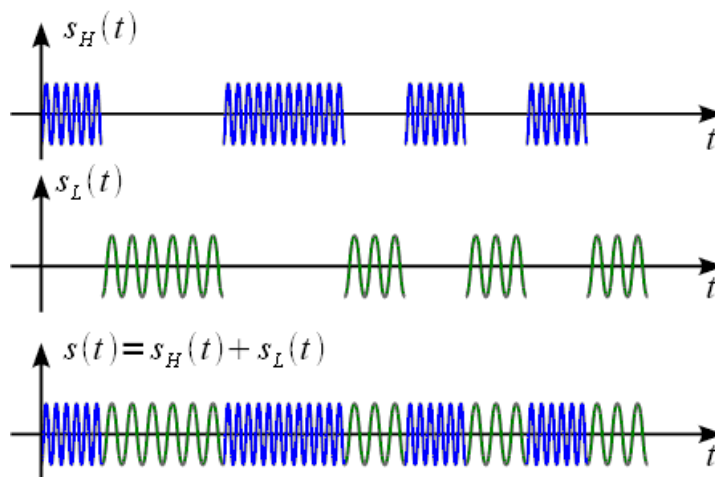


Рисунок 1.10 - Представлення ЧМн сигнала

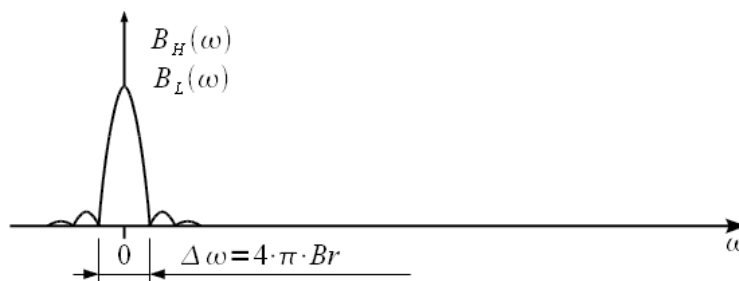


Рисунок 1.11 - Спектральна щільність випадкового бітового потоку

Тоді спектри $S_L(\omega)$ і $S_H(\omega)$ сигналів $s_L(t)$ і $s_H(t)$, а також результуючий спектр ЧМн сигнала показані на рисунку 1.12:

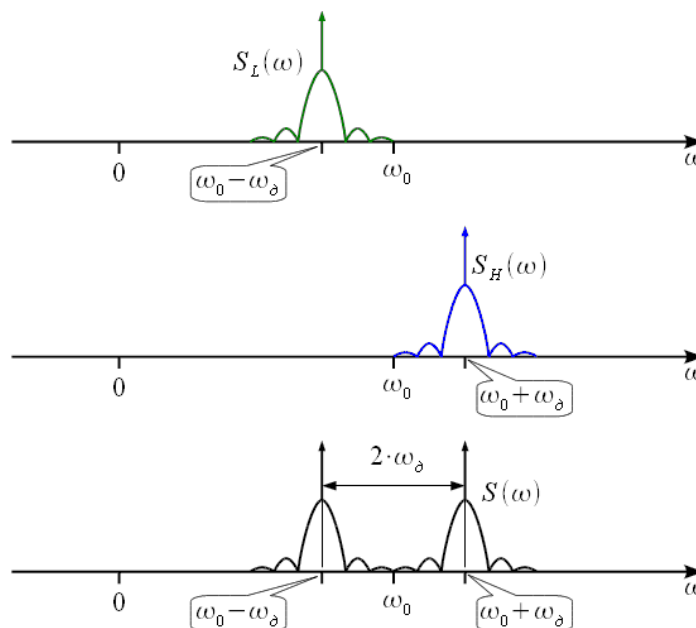


Рисунок 1.12 - Спектр ЧМн сигнала

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таким чином ми отримали спектр ЧМн сигналу. Видно, що складові ЧМн-сигналу розділенні за частотою девіації, а сама частота девіації залежить від бітової швидкості B_r та індексу маніпуляції - m .

ВИСНОВОК

У першому розділі кваліфікаціонного проекту проведено аналітичний огляд літературних джерел по темі проекту. Проведено аналітичний опис сигналів частотної маніпуляції, описано типи маніпульованих сигналів із розривом фази та без розриву фази. Розглянуто теоретичні підходи щодо формування сигналів маніпульованих за частотою на основі генератора керованого напругою та на базі ФМ-модулятора. Представлено графіки які пояснюють роботу ЧМн модулятора при формування сигналів. Описано вплив основних параметрів маніпульованого сигналу на спектральний склад сформованого цифрового сигналу.

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПЕРЕДАВАЧА

2.1 Формування структурної схеми радіопередавача

На рис. 2.1 представлений узагальнений приклад структурної схеми високочастотного тракту багатокаскадного передавача [12-17]. В загальному випадку в схему рис. 2.1 повинні бути додані каскади формування модулюючого сигналу (модулюючий пристрій), синтезатор частоти, тощо. Окремі види модуляції здійснюються безпосередньо в збуднику.

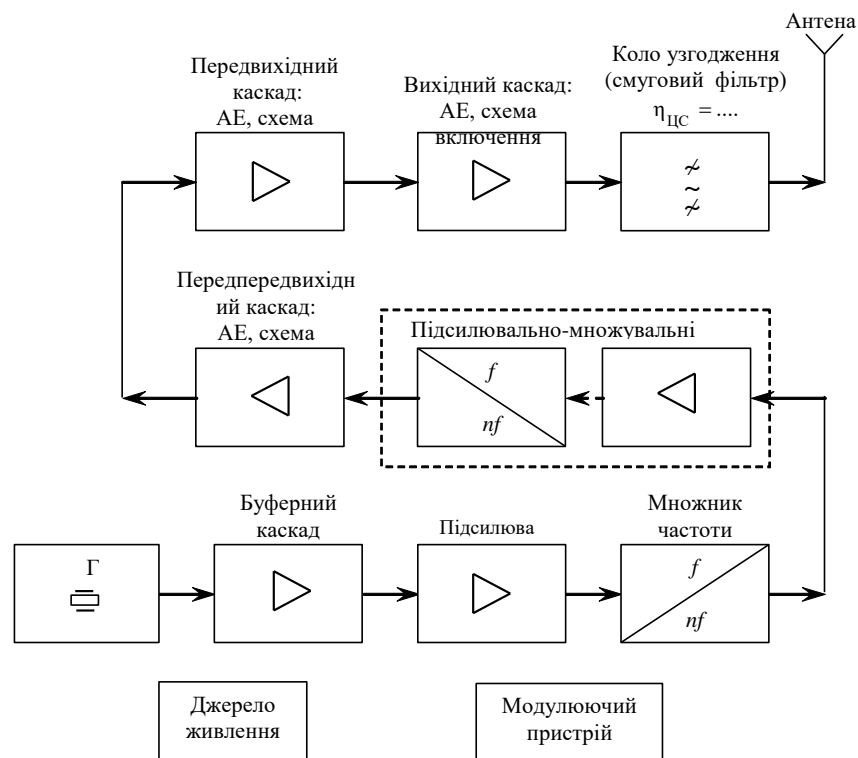


Рисунок 2.1 – Структурна схема високочастотного тракту багатокаскадного передавача

За подібною схемою будується практично будь-який радіопередавач, у тому числі і при використанні спеціальних приладів НВЧ (як правило, у вихідному і, можливо, в передвхідному каскадах) і польових транзисторів.

					КПТР.2018006.004 ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.	Панасюк Д.В.				Діапазонний радіопередавач Вибір та обґрунтування структурної схеми передавача Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Акрушів		
Перевір.	Бойко Ю.М.								21			
Реценз.								ХНУ, гр. ТР-18-1				
Н. Контр.	Бойко Ю.М.											
Затверд.	Підченко С.К.											

Збудником називається пристрій у складі радіопередавального пристрою, який призначений для формування коливань із заданими частотами і необхідним видом модуляції [18]. В залежності від призначення передавача, діапазону частот, потужності, виду модуляції збудники будують по різним структурним схемам. Найбільш прості одночастотні збудники застосовують в передавачах, які працюють на фіксованих частотах, з амплітудною модуляцією (АМ) в одному з потужних каскадів [9]. Такі збудники містять задаючий генератор, буферний каскад і при необхідності каскади множення частоти. В сучасних передавачах застосовують збудники з використанням синтезаторів частот, в яких з частоти єдиного високостатбільного кварцового генератора формується сітка частот малим кроком дискретності і чистим спектром. Від синтезаторів отримують опорну частоту f_0 , змішуючи з якою, коливання дискретної множини частот можна перенести в заданий діапазон. Основними компонентами такого збудника є: синтезатор частот, модулятор або формувач виду роботи і тракт перетворення. На рис. 2.2 зображено варіанти структурних схем збудників з частотною (рис. 2.2,а) і фазовою модуляцією коливань (рис.2.2,б) і модуляцією коливань з однією бічною смугою (рис.2.2,в). На рисунках прийнято такі позначення: ДАГ – стабільний діапазонний автогенератор; ЧМГ – частотно-модульований генератор; УЧ – управник частоти; ЗМ – змішувач; СФ – смуговий фільтр; U_{Ω} - модулюючий сигнал; КАГ – опорний кварцовий автогенератор; СЧ – синтезатор сітки частот; КФ – керований фазообертач; БМ – балансний модулятор піднесучої f з фільтрами.

Важливим етапом проектування збудника діапазонного передавача є вибір методу синтезу частот та принципу формування необхідних сигналів на виході радіопередавального пристрою в цілому у відповідності до технічного завдання на курсове проектування. З цією метою необхідно керуватись наступними міркуваннями [13, 14].

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практичні схеми синтезаторів частот дуже різноманітні. Не дивлячись на цю різноманітність, можна відзначити загальні принципи, які лежать в основі побудови сучасних синтезаторів [17]:

- всі синтезатори засновані на використанні одного високостабільного опорного коливання з деякою частотою f_0 , джерелом якої звичайно є опорний кварцовий генератор [7];
- синтез низки частот здійснюється широким використанням, помножувачів і перетворювачів частоти, що забезпечують використання одного опорного коливання для формування сітки частот;
- забезпечення синтезаторами частот декадної установки частоти збудника.

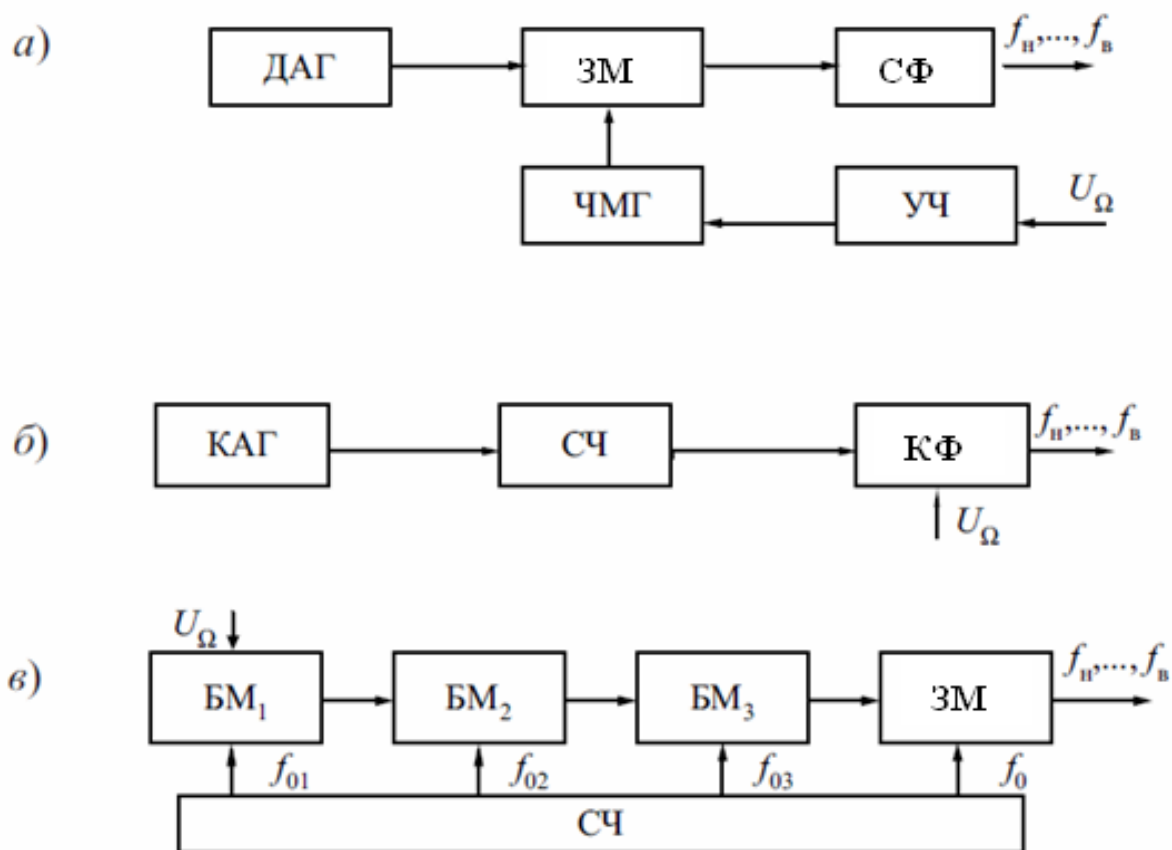


Рисунок 2.2 – Варіанти структурних схем збудників: *а* – з частотною модуляцією; *б* – фазовою модуляцією; *в* – модуляцією з однією бічною смугою

Розглянемо метод непрямого аналогового синтезу, рис. 2.3 [17].

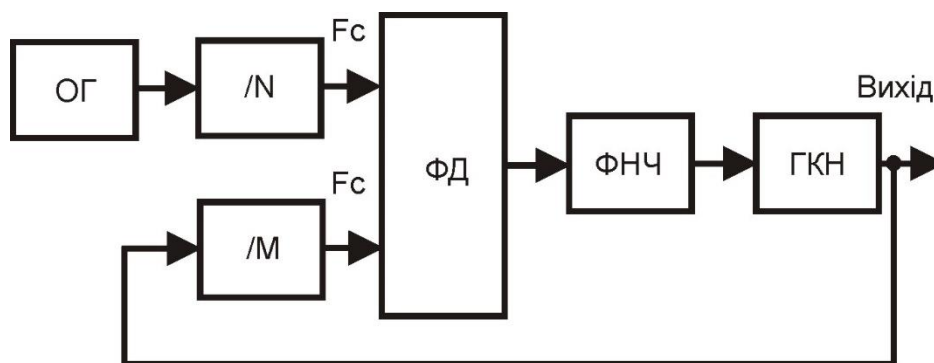


Рисунок 2.3 - Схема синтезатора непрямого синтезу: ОГ – опорний генератор; $1/N$ – подільник частоти; $1/M$ – подільник частоти; ФД – фазовий детектор; ФНЧ – фільтр низьких частот; ГКН – генератор керований напругою

Такий метод синтезу застосовує підхід який оснований на порівнянні частоти і фази сигналу на виході пристрою. Такі сигналу формуються за допомогою генератору який керується напругою (ГКН) та сигналом який формує високостабільний опорний генератор. Визначення стану неузгодження частот генераторів може здійснюватися за допомогою схеми фазового детектору (ФД). Такий детектор, як видно з схеми на рис. 2.1. має робочу частоту F_C , яка виступає в якості частоти порівняння. Принцип утворення частоти порівняння ґрунтується на підставі отримання результату поділу частоти ОГ в N разів. Таким чином, відбувається поділ частоти вихідного сигналу з коефіцієнтом поділу M і далі порівняння з частотою F_C . Якщо схема ФД встановлює факт неузгодження частот на виході ФД утворюється керована напруга, що далі діє на схему ГКН з метою його переналаштування і зміни частоти вихідного сигналу для мінімізації частотного неузгодження між частотами генераторів. Так як дільники частоти мають цілочисельний коефіцієнти поділу, крок сітки такого синтезатора визначає частота порівняння. Значення вихідної частоти можна розрахувати за формулою:

$$F_{вих} = \frac{F_c}{M} = \left(\frac{F_{ОГ}}{N}\right) \cdot M = \left(\frac{M}{N}\right) \cdot F_{ОГ}, \quad (2.1)$$

де $F_{вих}$ - вихідна частота; $F_{ОГ}$ - вихідна частота опорного генератора; N – коефіцієнт поділу опорної частоти; M – коефіцієнт поділу частоти генератора керованого напругою.

2.2 Розрахунок схеми радіопередавача

Вхідними даними на розрахунок структурної схеми передавача у відповідності до ТЗ є потужність сигналу $P_{\sim n}$, та граничні частоти робочого діапазону $f_{мін} - f_{макс}$ [1, 17].

У відповідності до рекомендацій викладених у [1, 17] починати розрахунок потрібно з кінцевого каскаду радіопередавального пристрою. Це пов'язано з тим, що описані вище вхідні параметри, а саме потужність та діапазон частот, стосуються вихідного каскаду. В якості вихідного каскаду передавача використовується генератор зовнішнього збудження (ГЗЗ) в режимі підсилювача потужності.

Таким чином, в процесі конструювання структурної схеми радіопередавального пристрою потрібно здійснити вибір активних елементів для усіх каскадів, з'ясування схеми підключення його в загальну схему каскаду.

Рекомендації викладені у [1, 17] вказують на ту обставину, що номінальна (паспортна) коливальна (вихідна) потужність активного елементу повинна бути, в загальному випадку, не менше необхідної потужності в корисному навантаженні $P_{\sim n}$.

В процесі розрахунку структурної схеми потрібно зважати і на те, що підключення навантаження до вихідного каскаду ГЗЗ здійснюється використанням кола узгодження. Таким чином, потрібно врахувати як опори власних втрат обумовлені втратами корисної потужності, а отже вибір типу активного елементу повинен це враховувати. В цьому випадку врахування втрат потужності у КЗ потрібно здійснити за допомогою коефіцієнту

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

корисної дії (ККД) $\eta_{\text{цс}}$. При проектуванні радіопередавачів звичайно прямують до того, що ККД КУ повинно мати значення як найбільш можливої величини. З урахуванням систематизованих рекомендацій [1, 6, 16, 17] можливо досяжні значення ККД, які загалом визначаються значенням несучої частоти та вихідною потужністю, прийнято вибирати в інтервалі 0,8-0,95. Саме з цих міркувань розробка схеми передавача повинна враховувати, що значення ККД КЗ вибирається у вказаному вище інтервалі.

Отже, з урахуванням втрат потужності у вихідному колі узгодження активного елемента вихідний каскад повинен розвивати коливальну потужність:

$$P'_{\sim\text{Н}} = P_{\sim\text{ВК}} = \frac{P_{\sim\text{Н}}}{\eta_{\text{цс}}} > P_{\sim\text{Н}}; \quad (2.1)$$

Якщо корисне навантаження приєднується до кола узгодження за допомогою фідера, то необхідно також врахувати втрати потужності у фідері через ККД фідера $\eta_{\text{ф}}$. В цьому випадку:

$$P'_{\sim\text{Н}} = P_{\sim\text{ВК}} = \frac{P_{\sim\text{Н}}}{\eta_{\text{цс}}\eta_{\text{ф}}}; \quad (2.2)$$

де $P_{\sim\text{ВК}}$ - коливальна потужність, яка необхідна від активного елемента вихідного каскаду (ВК) радіопередавача.

Потрібно зазначити, що в наступні кроки щодо розрахунку режимів роботи активних елементів вихідного каскаду проводиться виходячи з потужності розрахованої за (2.2), у тому числі і з урахуванням прохідної потужності від збудника.

Для вихідного каскаду ГЗЗ активний елемент (АЕ) вибирається із врахуванням наступної умови [1]:

$$P_{\sim\text{НОМ АЕ}} \geq k_{\text{ПЗ}}kP'_{\sim\text{Н}} = k_{\text{ПЗ}}k \frac{P_{\sim\text{Н}}}{\eta_{\text{цс}}\eta_{\text{ф}}}; \quad (2.3)$$

Враховуємо 2.2 і 2.3 та отримаємо:

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\sim \text{ном АЕ}} = \frac{10}{0,8} \cdot 1 \cdot 1,08 = 13,5 \text{ (Вт)}$$

Як активний елемент вихідного каскаду ГЗЗ вибираємо транзистор 2Т 934 Б, параметри якого наведені в ДОДАТКУ А.

Для вибору активного елемента (АЕ) для передвихідного каскаду, прийmemo, з існуючого досвіду, що узагальнений в літературних джерелах по конструюванню передавачів [6] очікуваний коефіцієнт підсилення за потужністю для вихідного каскаду - K_P . Потужні генератори на біполярних транзисторах характеризуються тим, що звичайно, K_P коливається в межах 5-10 раз при умові майже повного використання підсилювальних можливостей АЕ.

Використавши такі рекомендації, та задавши значенням коефіцієнту підсилення за потужністю для вихідного каскаду $K_{P \text{ ВК}}$, визначимо значення потужності, яку має розвивати передвихідний каскад ГЗЗ (ПВК):

$$P_{\sim \text{ПВК1}} \geq \frac{P'_{\sim \text{Н}}}{K_{P \text{ ВК}}}; \quad (2.4)$$

Таким чином для нашого випадку отримаємо:

$$P_{\sim \text{ПВК1}} = \frac{13,5}{5} = 2,7 \text{ (Вт)}$$

В якості активного елемента для передвихідного каскаду ($P_{\sim \text{ПВК1}}$) вибираємо транзистор 2Т 934 А, параметри якого наведені в ДОДАТКУ А.

Аналогічно проведемо розрахунки наступних каскадів підсилення:

$$P_{\sim \text{ПВК2}} \geq \frac{P_{\sim \text{ПВК1}}}{K_{P \text{ ПВК1}}}; \quad (2.5)$$

Отримаємо:

$$P_{\sim \text{ПВК2}} = \frac{2,7}{9} = 0,3 \text{ (Вт)}$$

Для передвихідного каскаду ($P_{\sim \text{ПВК2}}$), в якості активного елемента вибираємо транзистор КТ 918 Б, параметри якого наведені в ДОДАТКУ А.

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\sim\text{ПВК3}} \geq \frac{P_{\sim\text{ПВК2}}}{K_{p\text{ПВК2}}}; \quad (2.6)$$

В результаті розрахунку отримаємо:

$$P_{\sim\text{ПВК3}} = \frac{0,3}{6} = 0,05 \text{ (Вт)}$$

$$P_{\sim\text{ПВК4}} \geq \frac{P_{\sim\text{ПВК3}}}{K_{p\text{ПВК3}}}; \quad (2.7)$$

Отже ми одержимо:

$$P_{\sim\text{ПВК4}} = \frac{0,05}{5} = 0,01 \text{ (Вт)}$$

Для передвихідних каскадів $P_{\sim\text{ПВК3}}$ і $P_{\sim\text{ПВК4}}$, в якості активного елемента вибираємо транзистор ГТ 387, параметри якого наведені в ДОДАТКУ А.

На рис. 2.4 представлено ситуативну схему тракту радіопередавача яку отримано за результатами розрахунку.

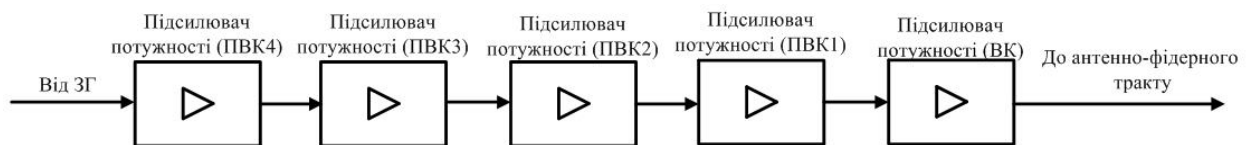


Рисунок 2.4 – Ситуативна структурна схема каскадів підсилення

ВИСНОВОК

У другому розділі кваліфікаційного проекту проведено вибір та розрахунок структурної схеми радіопередавачельного пристрою. Проведено опис та визначено склад тракту збудника радіопередавача за умов його проектування методом непрямого синтезу сітки частот. Розглянуто методику комплектування підсилювально-перетворювальних каскадів радіопередавача. З використанням порядку проектування [1, 6, 16, 17] проведено розрахунок кількості підсилювальних каскадів радіопередавача за умов ТЗ.

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНОК КАСКАДІВ ПЕРЕДАВАЧА

3.1 Розрахунок режимів роботи і енергетичний розрахунок генератору зовнішнього збудження в режимі підсилювача потужності

Розрахуємо вихідний каскад підсилення на основі ГЗЗ, який побудований на транзисторі VT1 (2Т 934 Б). Параметри АЕ приведено у ДОДАТКУ А [1].

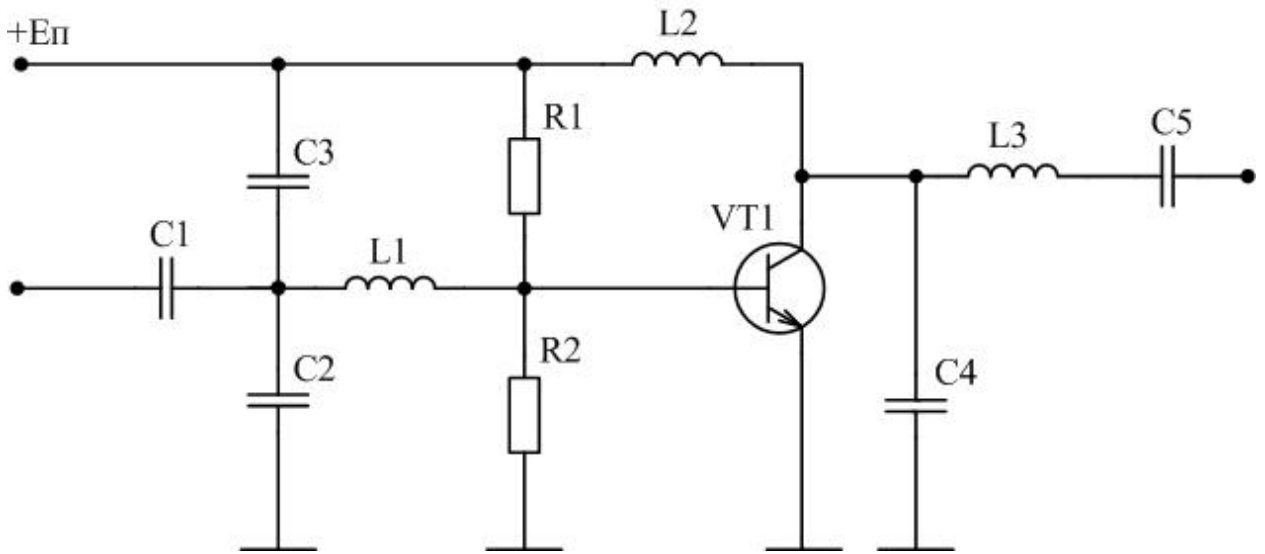


Рисунок 3.1 - Схема електрична-принципова генератора зовнішнього збудження в режимі підсилення потужності: R1 і R2 – сукупність резисторів подільника напруги для забезпечення фіксованого зсуву; забезпечення автоматичного зміщення; коригування частотної характеристики; C1 і C5 – виконують функції розділової ємності; L2 – виконує функції блокувальної індуктивності; C3 – використовується як блокувальна ємність; L1 і C2 – вхідне коло узгодження; L3 і C5 – вихідне коло узгодження

1. Розраховуємо для граничного режиму значення коефіцієнту використання транзистора по колекторній напрузі [1]:

$$\xi = 0,5 \left[1 + \sqrt{1 - \frac{16 \cdot P_r}{S_{гр} E_k^2}} \right] \quad (3.1)$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Панасюк Д.В.			Діапазонний радіопередавач Розрахунок каскадів передавача Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Бойко Ю.М.					29	
Реценз.						ХНУ, гр. ТР-18-1		
Н. Контр.		Бойко Ю.М.						
Затверд.		Підченко С.К.						

де $P_{\Gamma} = (0,75-0,9)P_1$ (Вт) ; $S_{\Gamma} = 15 \cdot P_1 / E_k$ (Вт/В).

Таким чином, $P_{\Gamma}=8$ Вт, а $S_{\Gamma}=5,36$ Вт/В. Проводимо розрахунок підстановкою значень:

$$\xi = 0,5 \left[1 + \sqrt{1 - \frac{16 \cdot 8}{5,36 \cdot 28^2}} \right] = 0,99$$

2. Розраховуємо значення амплітуди напруги еквівалентного генератору (ЕГ)[1]:

$$U_{\Gamma} = \xi \cdot E_k \quad (3.2)$$

Після розрахунку отримаємо:

$$U_{\Gamma} = 0,99 \cdot 28 = 27,72 \text{ (В)}$$

3. Розраховуємо значення амплітуди струму першої гармоніки ЕГ:

$$I_{\Gamma 1} = 2 \cdot P_{\Gamma} / U_{\Gamma} \quad (3.3)$$

Результат розрахунку:

$$I_{\Gamma 1} = 2 \cdot \frac{8}{27,72} = 0,58 \text{ (А)}$$

4. Проводимо розрахунок умови коли гранично-пікове значення колекторної напруги АЕ не має перевищувати паспортне-допустиме:

$$U_{\text{к_пік}} = E_k + U_{\Gamma} < U_{\text{ке_доп}} \quad (3.4)$$

Таким чином:

$$U_{\text{к_пік}} = 28 + 27,72 = 55,72 < 60$$

5. Визначаємо значення опору навантаження ЕГ:

$$R_{\text{н}} = U_{\Gamma} / I_{\Gamma 1} \quad (3.5)$$

Отримаємо:

$$R_{\text{н}} = \frac{27,72}{0,58} = 47,79 \text{ (Ом)}$$

6. Проводимо розрахунок крутості АЕ за переходом:

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_p = \frac{42,5 \cdot I_{r1}}{1 + 3,66 \cdot 10^{-3} \cdot t_p} \quad (3.6)$$

Отримаємо результат:

$$S_p = \frac{42,5 \cdot 0,58}{1 + 3,66 \cdot 10^{-3} \cdot 160} = \frac{24,65}{1,5856} = 15,55 \text{ (См)}$$

7. Встановлюємо значення опору рекомбінації неосновних носіїв в базі АЕ:

$$r_\beta = H_{21}/S_p \quad (3.7)$$

Отримаємо:

$$r_\beta = \frac{50}{15,55} = 3,22 \text{ (Ом)}$$

8. Розраховуємо крутість статичної характеристики АЕ:

$$S = \frac{H_{21}}{r_\beta + r_\beta + (1 + H_{21}) \cdot r_3} \quad (3.8)$$

$$S = \frac{50}{3,22} = 15,53 \text{ (См)}$$

9. У відповідності до рекомендацій викладених у [1, 18-25] встановлюємо кут відсікання струму: $\theta = 90$ градусів.

10. Здійснюємо розрахунок значень коефіцієнтів розкладання для нульової і першої гармонічних складових (коефіцієнти Берга [6]):

$$\gamma_0 = (\sin \theta - \theta \cdot \cos \theta) / \pi \quad (3.9)$$

$$\gamma_1 = (\theta - \sin \theta \cdot \cos \theta) / \pi \quad (3.10)$$

З розрахунків для обраного режиму роботи АЕ отримаємо:

$$\gamma_0 = \frac{(\sin 90 - \frac{\pi}{2} \cdot \cos 90)}{\pi} = \frac{1}{\pi} = 0,32$$

$$\gamma_1 = \frac{(\frac{\pi}{2} - \sin 90 \cdot \cos 90)}{\pi} = \frac{1}{2}$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Визначаємо перевіірочну умову щодо пікової зворотної напруги на емітерному переході АЕ:

$$U_{\text{еб_пiк}} = \left| E' - \frac{I_{\text{r1}}(1 + \cos \theta)}{2\pi \cdot f_{\text{r}} \cdot c_{\text{э}} \cdot \gamma_1} \right| < U_{\text{iб_доп}} \quad (3.11)$$

де E' - значення напруги відсічки

$$U_{\text{еб_пiк}} = \left| 0,7 - \frac{0,58(1 + \cos 90)}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 10^6 \cdot 100 \cdot 10^{-12} \cdot 0,5} \right| = 2,55 < U_{\text{эб_доп}} = 4$$

12. Встановлюємо значення амплітуди імпульсів колекторного струму АЕ з формули:

$$i_{\text{k max}} \leq (0.8 \dots 0.9) \cdot i_{\text{k доп}} \quad (3.12)$$

де $i_{\text{k доп}}$ – значення допустимої амплітуди імпульсів колекторного струму АЕ [1];

Отже:

$$i_{\text{k max}} \leq 0,8 \text{ (A)}$$

13. Визначаємо рівень напруги від джерела живлення, з наступної залежності:

$$E_{\text{п}} \leq U_{\text{k доп}} / 2 \quad (3.13)$$

де $U_{\text{k доп}}$ – значення допустимої амплітуди напруги на колекторі АЕ за [1];

$$E_{\text{п}} \leq 30 \text{ (B)}$$

14. Розраховуємо амплітуду імпульсів першої гармоніки колекторного струму АЕ:

$$I_{\text{k1}} = \gamma_1(\theta) \cdot i_{\text{k max}} \quad (3.14)$$

В результаті розрахунку одержимо:

$$I_{\text{k1}} = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ (A)}$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Встановлюємо значення постійного струму, який споживатиме колекторне коло АЕ:

$$I_{k0} = \gamma_0(\theta) \cdot i_{k \max} \quad (3.15)$$

$$I_{k0} = 0,32 \cdot 0,8 = 0,256 \text{ (А)}$$

16. Визначаємо амплітуду імпульсів першої гармоніки колекторної напруги АЕ:

$$U_{k1} = \xi_{\text{гр}} \cdot E_{\text{п}} \quad (3.16)$$

Отримаємо результат:

$$U_{k1} = 0,99 \cdot 30 = 29,7 \text{ (В)}$$

17. Проводимо розрахунок значення потужності за першою гармонікою:

$$P_1 = I_{k1} \cdot U_{k1} / 2 \quad (3.17)$$

Отримаємо:

$$P_1 = \frac{0,4 \cdot 29,7}{2} = 5,94 \text{ (Вт)}$$

18. Визначаємо значення потужності яка буде споживатись від джерела живлення:

$$P_0 = I_{k0} \cdot E_{\text{п}} \quad (3.18)$$

$$P_0 = 0,256 \cdot 30 = 7,68 \text{ (Вт)}$$

19. Встановлюємо значення потужності яка буде розсіюватись на активному елементі:

$$P_{\text{роз}} = P_0 - P_1 \quad (3.19)$$

$$P_{\text{роз}} = 7,68 - 5,94 = 1,74 \text{ (Вт)}$$

20. Обраховуємо значення коефіцієнту корисної дії (ККД) ГЗЗ в режимі підсилювача потужності:

$$\eta = P_1 / P_0 \quad (3.20)$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta = \frac{5,94}{7,68} = 0,77$$

21. Далі, визначаємо амплітуда керованого заряду:

$$Q_{y1} = i_{k \max} / [\omega_{гр} \cdot (1 - \cos \theta)] \quad (3.21)$$

де $\omega_{гр}$ – значення граничної частоти роботи транзистора, θ – значення кута відсікання колекторного струму.

$$Q_{y1} = \frac{0,8}{1400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi \cdot (1 - \cos 90)} = 0,91 \cdot 10^{-12} \text{ (Кл)}$$

22. Визначаємо вихідний опір АЕ:

$$R_k = U_{kl} / I_{kl} \quad (3.22)$$

$$R_k = \frac{29,7}{0,4} = 74,25 \text{ (Ом)}$$

23. Встановлюємо значення коефіцієнту який показує в скільки разів збільшується вхідна ємність транзистора за рахунок паразитної ємності колекторного переходу:

$$\varepsilon = 1 + \gamma_1(\theta) \cdot \omega_{гр} \cdot C_k \cdot R_k \quad (3.23)$$

де C_k – значення ємності колекторного переходу АЕ.

$$\varepsilon = 1 + 0,5 \cdot 1400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi \cdot 15 \cdot 10^{-12} \cdot 74,25 = 5,89$$

24. Визначаємо, з урахуванням величини струму через ємність C_k , значення амплітуди 1-ї гармоніки базового струму:

$$I_6 = \omega \cdot Q_{y1} \cdot \varepsilon \quad (3.24)$$

$$I_6 = 400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi \cdot 0,91 \cdot 10^{-12} \cdot 5,89 = 0,0135 \text{ (А)}$$

25. Обчислюємо значення опіру коригуючого резистора який вмикається паралельно входу АЕ з метою забезпечення симетрування імпульсів колекторного струму:

$$R_3 = 1 / \omega_\beta \cdot C_\beta \quad (3.25)$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У формулі (3.25) ω_β - частота, на якій модуль коефіцієнта підсилення за струмом в динамічному режимі зменшується в $\sqrt{2}$ разів у порівнянні із статичним режимом де ω_β знаходиться за формулою: $\omega_\beta = \omega_{гр} / B$, і B – значення середнього коефіцієнту підсилення за струмом (15.....30 [1, 6]).

$$\omega_\beta = \frac{1400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi}{20} = 439,6 \cdot 10^6 (\text{рад/с})$$

Тоді:

$$R_3 = \frac{1}{439,6 \cdot 10^6 \cdot 120 \cdot 10^{-12}} = 18,96 \text{ (Ом)}$$

Встановлюємо значення потужності яка буде розсіюватись на коригувальному опорі

$$P'_{\text{вх}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_1(\pi-\theta) \cdot Q_{y1}^2}{R_3 \cdot C_e^2} \quad (3.26)$$

$$P'_{\text{вх}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,5 \cdot \left(\pi - \frac{\pi}{2}\right) \cdot (0,91 \cdot 10^{-12})^2}{18,96 \cdot (120 \cdot 10^{-12})^2} = 1,19 \cdot 10^{-6} \text{ (Вт)}$$

26. Визначаємо вхідний опір АЕ:

$$R_{\text{вх}} = \gamma_1(\theta) \cdot \omega_{гр} \cdot L_e / \alpha \quad (3.27)$$

де L_e - індуктивність емітерного виводу АЕ у відповідності до [1].

$$R_{\text{вх}} = \frac{0,5 \cdot 1400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi \cdot 1,2 \cdot 10^{-9}}{5,89} = 0,896 \text{ (Ом)}$$

27. Визначаємо значення потужності, що обумовлена прямим надходженням її у навантаження через L_e і яка зв'язана з $R_{\text{вх}}$:

$$P''_{\text{вх}} = I_{\text{б1}}^2 \cdot R_{\text{вх}} / 2 \quad (3.28)$$

$$P''_{\text{вх}} = \frac{(0,178)^2 \cdot 0,896}{2} = 0,014 \text{ (Вт)}$$

28. Розраховуємо значення коефіцієнту передачі за потужністю ГЗЗ:

$$K_p = (P_1 + P''_{\text{вх}}) / P_{\text{вх}} \quad (3.29)$$

$$K_p = \frac{5,94+0,014}{7,68} = 7,8$$

29. Визначаємо вхідні індуктивність АЕ ГЗЗ:

$$L_{вх} = L_6 + L_3 / \alpha \quad (3.30)$$

де L_6 - індуктивність базового відведення АЕ за [1].

$$L_{вх} = \frac{3,1 \cdot 10^{-9} + 1,2 \cdot 10^{-9}}{5,89} = 73,01 \cdot 10^{-9} \text{ (Гн)}$$

30. Визначаємо вхідну ємність підсилювального каскаду:

$$C_{вх} = \alpha \cdot C_3 / \gamma_1 (\pi - \theta) \quad (3.31)$$

$$C_{вх} = \frac{5,89 \cdot 120 \cdot 10^{-12}}{0,5(\pi - \frac{\pi}{2})} = 0,09 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф)}$$

Розраховуємо значення усередненого за період коливань опіру коригування $R_{пар}$:

$$R_{пар} = R_3 \cdot \gamma_1 (\pi - \theta) \quad (3.32)$$

$$R_{пар} = 18,96 \cdot 0,5 \cdot 1,57 = 14,88 \text{ (Ом)}$$

3.2 Розрахунок режимів роботи і енергетичний розрахунок передвихідного каскаду генератору зовнішнього збудження в режимі підсилювача потужності

Розрахуємо передвихідний каскад підсилення, який побудований на транзисторі VT1 (2Т 934 А), схема включення зображена на рис. 3.1. Розрахунок будемо проводити аналогічно як для вихідного каскаду.

1. Коефіцієнт використання транзистора по колекторній напрузі в граничному режимі визначимо з формули (3.1.1):

$P_T = 1,6$ Вт, а $S_T = 1,07$ Вт/В. Підставивши ці значення отримаємо:

$$\xi = 0,5 \left[1 + \sqrt{1 - \frac{16 \cdot 1,6}{1,07 \cdot 28^2}} \right] = 0,99$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Амплітуда напруги еквівалентного генератора (ЕГ), формула (3.1.2):

$$U_r = 0,99 \cdot 28 = 27,72 \text{ (В)}$$

3. Амплітуда струму першої гармоніки (ЕГ), формула (3.1.3):

$$I_{r1} = 2 \cdot \frac{1,6}{27,72} = 0,12 \text{ (А)}$$

4. Пікове значення на колекторі транзистора не повинне перевищувати допустиме, отримаємо з формули (3.1.4):

$$U_{к_пик} = 28 + 27,72 = 55,72 < 60$$

5. Опір навантаження ЕГ, формула (3.1.5):

$$R_H = \frac{27,72}{0,12} = 231 \text{ (Ом)}$$

6. Для визначення крутизни по переходу використаємо формулу (3.1.6):

$$S_p = \frac{42,5 \cdot 0,12}{1 + 3,66 \cdot 10^{-3} \cdot 160} = 3,22 \text{ (См)}$$

7. Опір рекомбінації неосновних носіїв в базі, формула (3.1.7):

$$r_\beta = \frac{50}{3,22} = 15,53$$

8. Крутизна статичної характеристики, формула (3.1.8):

$$S = \frac{50}{15,53} = 3,22$$

9. Кут відсічки: $\theta = 90$ градусів з [1].

10. Коефіцієнти розкладання для нульової і першої гармонійних складових, визначимо з формул (3.9) і (3.10) відповідно:

$$\gamma_0 = \frac{(\sin 90 - \frac{\pi}{2} \cdot \cos 90)}{\pi} = \frac{1}{\pi} = 0,32$$

$$\gamma_1 = \frac{(\frac{\pi}{2} - \sin 90 \cdot \cos 90)}{\pi} = \frac{1}{2}$$

11. Пікова зворотна напруга на емітерному переході, формула (3.11):

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$U_{\text{эб_пик}} = \left| 0,7 - \frac{0,12(1 + \cos 90)}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 10^6 \cdot 50 \cdot 10^{-12} \cdot 0,5} \right| = 0,064 < U_{\text{эб_доп}} = 4$$

12. Амплітуда імпульсів колекторного струму, формула (3.12):

$$i_{k \max} \leq 0,4 \text{ (A)}$$

13. Напруга джерела живлення з умови, формула (3.13):

$$E_{\pi} \leq 30 \text{ (В)}$$

14. Амплітуда імпульсів першої гармоніки колекторного струму, формула (3.1.14):

$$I_{k1} = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2 \text{ (A)}$$

15. Постійний струм, споживаний колекторним колом транзистора, формула (3.15):

$$I_{k0} = 0,32 \cdot 0,4 = 0,128 \text{ (A)}$$

16. Амплітуду імпульсів першої гармоніки колекторної напруги, визначимо з формули (3.16):

$$U_{k1} = 0,99 \cdot 30 = 29,7 \text{ (В)}$$

17. Потужність першої гармоніки, з формули (3.17):

$$P_1 = \frac{0,2 \cdot 29,7}{2} = 2,97 \text{ (Вт)}$$

18. Потужність, споживану від джерела живлення, формула (3.18):

$$P_0 = 0,128 \cdot 30 = 3,84 \text{ (Вт)}$$

19. Потужність, що розсіюється на активному елементі, формула (3.19):

$$P_{\text{рас}} = 3,84 - 2,97 = 0,87 \text{ (Вт)}$$

20. К.к.д. підсилювача, визначимо з формули (3.20):

$$\eta = \frac{2,97}{3,84} = 0,77$$

21. Амплітуда заряду, що керує, формула (3.21):

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{y1} = \frac{0,4}{1400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi \cdot (1 - \cos 90)} = 0,45 \cdot 10^{-12} \text{ (Кл)}$$

22. Вихідний опір транзистора, визначимо з формули (3.22):

$$R_k = \frac{29,7}{0,2} = 148,5 \text{ (Ом)}$$

23. Коефіцієнт, що показує в скільки разів збільшується вхідна ємність транзистора за рахунок паразитної ємності колекторного переходу, формула (3.23):

$$\alpha = 1 + 0,5 \cdot 1400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-12} \cdot 148,5 = 7,53$$

24. Амплітуду першої гармоніки струму бази з урахуванням струму через ємність C_k , формула (3.24):

$$I_b = 400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi \cdot 0,45 \cdot 10^{-12} \cdot 7,53 = 0,0085 \text{ (А)}$$

25. Розрахуємо опір коректуючого резистора, що підключається паралельно входу транзистора, що служить для симетрування імпульсів колекторного струму, формула (3.25):

$$\omega_B = \frac{1400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi}{20} = 439,6 \cdot 10^6 \text{ (рад/с)}$$

$$R_3 = \frac{1}{439,6 \cdot 10^6 \cdot 50 \cdot 10^{-12}} = 45,5 \text{ (Ом)}$$

Визначимо потужність, що розсівається на коректуючому опорі за формулою (3.26):

$$P'_{\text{вх}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,5 \cdot \left(\pi - \frac{\pi}{2}\right) \cdot (0,45 \cdot 10^{-12})^2}{45,5 \cdot (50 \cdot 10^{-12})^2} = 69,87 \cdot 10^{-6} \text{ (Вт)}$$

26. Вхідний опір транзистора, формула (3.27):

$$R_{\text{вх}} = \frac{0,5 \cdot 1400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi \cdot 1,3 \cdot 10^{-9}}{7,53} = 0,759 \text{ (Ом)}$$

27. Потужність, обумовлену прямим проходженням потужності в навантаження через L_3 і пов'язану з $R_{\text{вх}}$, формула (3.28):

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P''_{\text{вх}} = \frac{(0,0085)^2 \cdot 0,759}{2} = 27,42 \text{ (мкВт)}$$

28. Коефіцієнт передачі по потужності підсилювача, формула (3.29):

$$K_p = \frac{2,97 + 0,00002742}{3,84} = 7,7$$

29. Вхідна індуктивність підсилювача, формула (3.30):

$$L_{\text{вх}} = \frac{3,1 \cdot 10^{-9} + 1,3 \cdot 10^{-9}}{7,53} = 58,43 \cdot 10^{-9} \text{ (Гн)}$$

30. Вхідну ємність підсилювача, визначимо з формули (3.31):

$$C_{\text{вх}} = \frac{7,53 \cdot 50 \cdot 10^{-12}}{0,5(\pi - \frac{\pi}{2})} = 47,96 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф)}$$

Знайдемо усереднений за період коливань опір корекції $R_{\text{пар}}$, формула (3.32)

$$R_{\text{пар}} = 45,5 \cdot 0,5 \cdot 1,57 = 35,72 \text{ (Ом)}$$

3.3 Розрахунок кола живлення вихідного підсилювача

Проведемо вибір схеми кола живлення для вихідного каскаду ГЗЗ в режимі підсилювача потужності [1, 17].

До складу кола живлення увійдуть джерело сталої напруги та блокуючі елементи. Наявність блокуючих елементів дозволяє мінімізувати втрати високочастотної потужності у блоці живлення, а також уникається негативний зв'язок міжкаскадних з'єднань за допомогою джерела живлення.

Схемотехнічно коло живлення виконаємо за паралельної схемою (рис. 3.2) [1, 6, 8]. Така схема буде містити у своєму складі конструкцію з'єднання джерела живлення та активного елементу з вихідним колом в паралельному форматі.

В схемі ємність $C_{\text{бл}}$ з індуктивністю $L_{\text{бл}}$ та ємністю C_p будуть утворювати коливальний контур який входить у резонанс на частоті яка менша за робочу частоту ГЗЗ (ПП), що, загалом, здатне спричинити виникнення збудження

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коливань. Для виключення таких явищ, застосуємо антипаразитний резистор $R_{ап}$ і будемо проектувати кола живлення як фільтр низьких частот (ФНЧ).

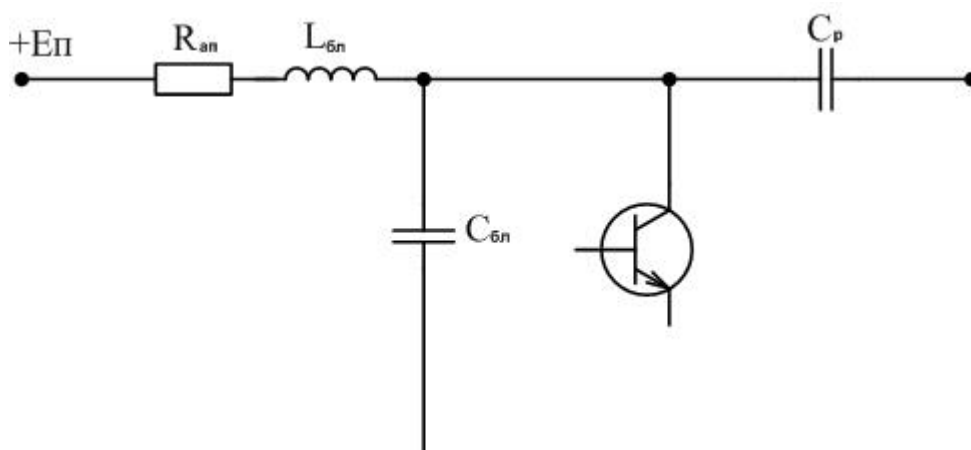


Рисунок 3.2 – Схема електрична-принципова кола живлення підсилювального каскаду

1. Обчислюємо значення блокувальної індуктивності використавши умову:

$$\omega_{\min} \cdot L_{бл} \gg R_k, \quad (3.33)$$

$$L_{бл} \gg R_k / \omega_{\min} = \frac{74,25}{100 \cdot 10^6} = 0,74 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн)}$$

2 Тоді, значення опору антипаразитного резистора визначимо з нерівності:

$$R_{ап} \ll 0.1 \cdot R_k, \quad (3.34)$$

$$R_{ап} \ll 7,425 \text{ (Ом)}$$

3 Обчислюємо ємності блокувального і розділового конденсаторів:

$$C_{бл} = C_p = L_{бл} / 2 \cdot R_{ап}, \quad (3.35)$$

$$C_{бл} = C_p = \frac{0,74 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 7,425} = 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ (Ф)}$$

Для передвихідного каскаду підсилення також вибираємо паралельну схему живлення зображену на рисунку 3.2.

Розрахунок проводимо аналогічно як і для вихідного каскаду.

1. Визначимо блокувальну індуктивність з умови, формула (3.33):

$$L_{\text{бл}} \gg R_k / \omega_{\text{min}} = \frac{148,5}{100 \cdot 10^6} = 1,49 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн)}$$

2. Опір антипаразитного резистора з умови, формула (3.34):

$$R_{\text{ап}} \ll 14,85 \text{ (Ом)}$$

3. Ємність блокувального і розділового конденсаторів, формула (3.35):

$$C_{\text{бл}} = C_p = \frac{1,49 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 14,85} = 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ (Ф)}.$$

3.4 Розрахунок кола зсуву генератора зовнішнього збудження в режимі підсилювача потужності

Здійснимо обґрунтування та вибір схеми кола зсуву для вихідного каскаду ГЗЗ.

Акцентуємо увагу на тому, що значення напруги зсуву АЕ для оптимального режиму визначається вхідною напругою, а отже вхідною потужністю.

Таким чином, забезпечувати необхідну напругу зсуву за допомогою схеми фіксованого зсуву недоцільно, оскільки зміна вхідної потужності приведе до відхилення режиму роботи АЕ за постійним струмом від оптимального [1, 3, 4].

Використаємо схему комбінованого зсуву з метою забезпечення стабілізації роботи АЕ. З цією метою до бази АЕ підведемо постійну напругу відсікання $u_{\text{від}}$ та забезпечимо умови автозсуву:

$$U_{\text{авт}} = \gamma_0 (\pi - \theta) \cdot Q_{y1} / C_3. \quad (3.36)$$

$$U_{\text{авт}} = \frac{0,32 \left(\pi - \frac{\pi}{2} \right) \cdot 0,91 \cdot 10^{-12}}{120 \cdot 10^{-12}} = 3,81 \cdot 10^{-3} \text{ (В)}$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо необхідне значення опору автозсування та значення елементів схеми зсуву:

$$R_{см} = \frac{\gamma_0(\pi - \theta) \cdot \tau_\beta}{\gamma_0(\theta) \cdot C_\beta}, \quad (3.37)$$

оскільки $\theta = 90^\circ$ формула прийме вигляд:

$$R_{см} = R_3 = \frac{\tau_\beta}{C_\beta}, \quad (3.38)$$

де τ_β – визначає сталу часу за частотою ω_β (значення частоти на якій модуль коефіцієнта підсилення за струмом у динамічному режимі зменшується в $\sqrt{2}$ разів у порівнянні з статичним режимом [6]). ω_β визначимо за формулою:

$$\omega_\beta = \omega_{гр} / B, \quad (3.39)$$

$$\omega_\beta = \frac{1400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi}{20} = 439,6 \cdot 10^6$$

де B – значення середнього коефіцієнту підсилення струму, у відповідності до формули:

$$\tau_\beta = 1 / \omega_\beta, \quad (3.40)$$

$$\tau_\beta = \frac{1}{439,6 \cdot 10^6} = 2,27 \cdot 10^{-9}$$

Тоді:

$$R_{зм} = \frac{2,27 \cdot 10^{-9}}{120 \cdot 10^{-12}} = 18,92 \text{ (Ом)}$$

Використаємо схему зсуву яка приведена на рисунку 3.3:

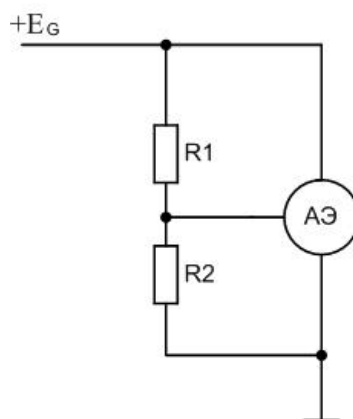


Рисунок 3.3 - Схема зсуву

З цією метою, необхідно щоб виконувалися умови:

$$E_{\text{ж}} \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = U_{\text{від}}, \quad (3.41)$$

$$R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = R_{\text{зм}}. \quad (3.42)$$

Виконання умов можливе якщо:

$$R_1 = 756,99 \text{ (Ом)} \quad \text{і} \quad R_2 = 19,41 \text{ (Ом)}.$$

Аналогічно, використовуючи формули (3.36) – (3.42), проведемо розрахунок кола зсуву для передвхідного каскаду:

З формули (3.36) одержимо:

$$U_{\text{авт}} = \frac{0,32 \left(\pi - \frac{\pi}{2} \right) \cdot 0,45 \cdot 10^{-12}}{50 \cdot 10^{-12}} = 4,52 \cdot 10^{-3} \text{ (В)}$$

З формули (3.37) отримаємо:

$$\omega_{\beta} = \frac{1400 \cdot 10^6 \cdot 2\pi}{20} = 439,6 \cdot 10^6$$

З формули (3.38) отримаємо:

$$\tau_{\beta} = \frac{1}{439,6 \cdot 10^6} = 2,27 \cdot 10^{-9} \text{ с.}$$

Тоді з формули (3.39) одержимо:

$$R_{\text{см}} = \frac{2,27 \cdot 10^{-9}}{50 \cdot 10^{-12}} = 45,4 \text{ (Ом)}.$$

Скориставшись умовами (3.41) і (3.42), визначили:

$$R_1 = 1815,84 \text{ (Ом)} \quad \text{і} \quad R_2 = 46,56 \text{ (Ом)}.$$

3.5 Обґрунтування вибору кіл узгодження та системи навантаження

Основне призначення узгоджувальних кіл та системи навантаження полягає у забезпечення фільтрування вищих гармонічних складових а також встановлення узгодження АЕ з навантаженням радіопередавача. Настроювання системи навантаження на частоту першої гармоніки дозволяє реалізувати фільтрацію вищих гармонік. В цьому випадку, налаштування у

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

резонанс системи навантаження визначає на частоті 1-ї гармоніки виключно активний характер вхідного опору. Тоді під узгодженням навантаження будемо розуміти таке підключення системи навантаження до АЕ і до навантаження радіопередавача, коли можливо забезпечити оптимально-критичне значення опору навантаження АЕ R_k . Потрібно врахувати, що внаслідок реалізації умов узгодження не повинне бути порушено умов резонансу, потрібно забезпечити найбільший ККД системи навантаження - η_k і крім того потрібно забезпечити фільтрацію складових вищих гармонік для цього слід забезпечити високу добротність системи навантаження [1].

В ГЗЗ які виконують роль підсилювачів потужності і реалізованих на транзисторах, отримують застосування П - подібні контуру. Схема такого контуру зображена на рисунку 3.4 .

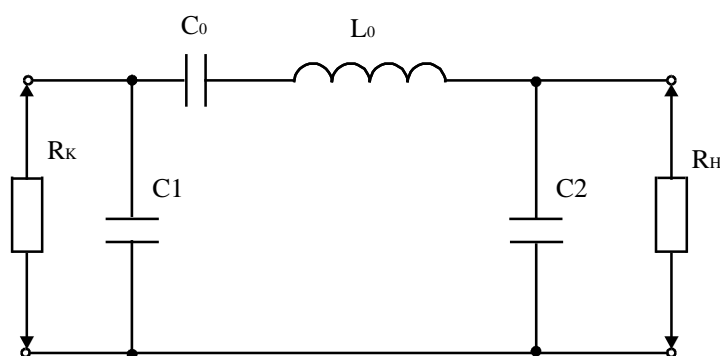


Рисунок 3.4 – Схема принципова П-подібного узгоджувального контуру

У відповідності до описаних вище рекомендацій, потрібно забезпечити в такому контурі на частоті вхідного сигналу f значення вихідного опору П-контру чисто активне, яке дорівнює необхідному критичному опору АЕ - R_k . Отже, в цьому випадку П-контур на частоті вхідного сигналу буде здійснювати трансформацію активного навантаження R_n у активний вихідний опір - R_k .

3.6 Електричний розрахунок системи навантаження

1. На підставі прийнятого значення, задаємо хвильовий опір контуру:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_0 = 250 - 500 \text{ Ом} \quad (3.43)$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\rho = 400 \text{ Ом.}$$

2. Здійснюємо розрахунок індуктивності L_0 контуру:

$$L_0 = \rho / 2 \cdot \pi \cdot f \quad (3.44)$$

$$L_0 = \frac{400}{2 \cdot 3,14 \cdot 85 \cdot 10^6} = 0,75 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн)}$$

Враховуємо, що на частоті вхідного сигналу f вигляд схеми П - контуру можна представити рис. 3.5, а параметри контуру L , L_0 , C_0 зв'язати співвідношенням [1]:

$$2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_0 - 1 / 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_0 \quad (3.45)$$

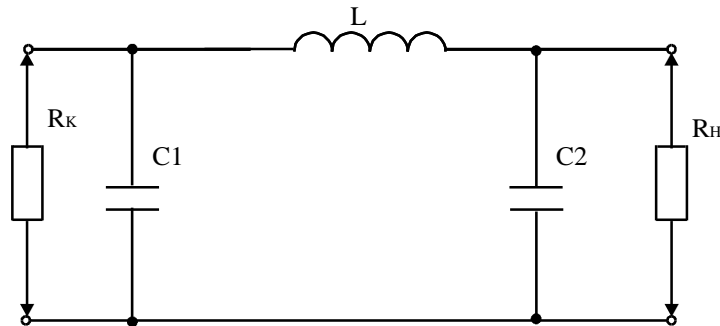


Рисунок 3.5 – Трансформована схема П-контур на частоті сигналу f

Задамося величиною L у відповідності з формулою:

$$L > \frac{\sqrt{R_k \cdot R_n}}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (3.46)$$

$$L > \frac{\sqrt{74,25 \cdot 50}}{2 \cdot 3,14 \cdot 85 \cdot 10^6} = 0,11 \cdot 10^{-6} \text{ (Гн)}$$

3. Обчислюємо значення C_0 :

$$C_0 = 1 / (4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot (L_0 - L)) \quad (3.46)$$

$$C_0 = \frac{1}{(4 \cdot 3,14^2 \cdot (85 \cdot 10^6)^2 \cdot (0,75 \cdot 10^{-6} - 0,11 \cdot 10^{-6}))} = 5,48 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф)}$$

4. Обчислюємо ємності конденсаторів C_1 і C_2 :

$$C1 = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L} \cdot \left(1 + \sqrt{\left(\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L^2}{R_k \cdot R_n} - 1 \right) \cdot \frac{R_n}{R_k}} \right) \quad (3.47)$$

$$C1 = \frac{1}{4 \cdot 3,14^2 \cdot (85 \cdot 10^6)^2 \cdot 0,11 \cdot 10^{-6}} \left(1 + \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot (85 \cdot 10^6)^2 \cdot (0,11 \cdot 10^{-6})^2}{74,25 \cdot 50} - 1 \right) \cdot \frac{50}{74,25}} \right) =$$

$$= 6,94 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф)}$$

$$C2 = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L} \cdot \left(1 + \sqrt{\left(\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L^2}{R_k \cdot R_n} - 1 \right) \cdot \frac{R_k}{R_n}} \right) \quad (3.48)$$

$$C2 = \frac{1}{4 \cdot 3,14^2 \cdot (85 \cdot 10^6)^2 \cdot 0,11 \cdot 10^{-6}} \left(1 + \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot (85 \cdot 10^6)^2 \cdot (0,11 \cdot 10^{-6})^2}{74,25 \cdot 50} - 1 \right) \cdot \frac{74,25}{50}} \right) =$$

$$= 7,65 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф)}$$

5. Обчислюємо значення внесеного до контуру опіру:

$$r_{BH} = \frac{R_n}{1 + \omega^2 \cdot R_n^2 \cdot C2^2} \quad (3.49)$$

$$r_{BH} = \frac{50}{1 + (85 \cdot 10^6 \cdot 2\pi)^2 \cdot 50^2 \cdot (7,65 \cdot 10^{-12})^2} = 47,99 \text{ (Ом)}$$

6. Розраховуємо значення добротності навантаженого контуру за формулою:

$$Q_H = \rho / (r_0 + r_{BH}) \quad (3.50)$$

де r_0 - власний опір втрат контурної індуктивності L_0 . Ця величина точно визначається при конструктивному розрахунку контурної котушки індуктивності, а на даному етапі можна прийняти: $r_0 = (1 \dots 2) \text{ Ом} = 1 \text{ Ом}$.

$$Q_H = \frac{400}{(1 + 47,99)} = 8,16$$

7. Визначаємо значення коефіцієнту фільтрації П – контуру:

$$\phi = Q_H \cdot (n^2 - 1) \cdot n \quad (3.51)$$

де $n = 2$ значення яке приймається у випадку однотактної схеми підсилювача

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\phi = 8,16 \cdot (2^2 - 1) \cdot 2 = 48,96$$

8. Обчислюємо орієнтовний ККД системи навантаження:

$$\eta_k = r_{вн} / (r_{вн} + r_0) \quad (3.52)$$

$$\eta_k = \frac{47,99}{(47,99+1)} = 0,98$$

3.7 Конструктивний розрахунок елементів системи навантаження та котушки індуктивності

Процес конструкторського розрахунку навантаження полягає у виборі номіналів електричних елементів (C_0 , C_1 , C_2) які містяться у контурі, крім того потрібно розрахувати параметри і конструктивні розміри котушки індуктивності L_0 [1].

Під час вибору номіналу конденсатору C_1 врахуємо, що схемотехнічно в паралель цьому конденсатору увімкнено вихідну ємність АЕ ГЗЗ в режимі підсилювача потужності [1, 6].

В схемі доцільно передбачити підстроювальні конденсатори які можна ввести у склад конденсаторів C_0 та C_2 , які повинні оптимізувати зв'язок з навантаженням і можуть бути використані для забезпечення налаштування контуру в резонанс під час настройки. Після застосування підстроювальних конденсаторів, отримаємо наступну схему, рис. 3.6.

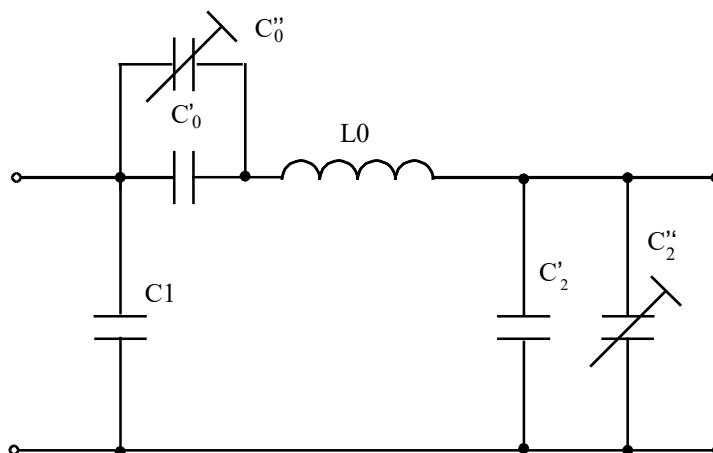


Рисунок 3.6 – Схема принципова системи навантаження

Випишемо номінали елементів які входять до складу схеми контури:

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_0 = 5,48 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф)}, C_1 = 6,94 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф)}, C_2 = 7,65 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф)}$$

В процесі розрахунку отримано значення вихідної ємності АЕ $C_k = 150$ пФ, тоді ємність конденсатору C_1 розраховується так:

$$C_1^* = C_1 - C_k = 143,06 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \quad (3.53)$$

Результати розрахунку контурної котушки наступні.

Задаємося співвідношенням між довжиною намотки котушки (l) і діаметром намотки (D):

$$v = l / D = (0.5 \dots 2) = 1.$$

Тоді визначаємо площу повздовжнього перерізу котушки $S = l \cdot D$ у відповідності до формули:

$$S = P_1 \cdot \eta_k / K_s \quad (3.54)$$

де $K_s = (0,1 - 1)$ – визначає питоме теплове значення навантаження на 1 см^2 перерізу котушки у $[\text{Вт}/\text{см}^2]$.

$$S = \frac{5,94 \cdot 0,98}{1} = 5,82$$

Визначимо довжину l і діаметр D котушки:

$$l = \sqrt{v \cdot S} \quad (3.55)$$

$$D = \sqrt{S / v} \quad (3.56)$$

$$l = \sqrt{1 \cdot 5,82} = 2,41 \text{ (см)}$$

$$D = \sqrt{\frac{5,82}{1}} = 2,41 \text{ (см)}$$

Визначаємо кількість витків контурної котушки:

$$N = 10 \cdot \sqrt{\frac{L_0 \cdot (v + 0,44)}{D}} \quad (3.57)$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = 10 \cdot \sqrt{\frac{0,75 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 0,44)}{2,41}} = 6,7$$

Проводимо розрахунок діаметру проводу d (мм):

$$I_k = U_{k1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C1 \quad (3.58)$$

$$d \geq 0,18 \cdot I_k \cdot \sqrt[4]{f} \quad (3.59)$$

де U_{k1} – визначає значення амплітуди імпульсів колекторної напруги; I_k – амплітуда контурного струму в А, f – робоча частота у МГц.

$$I_k = 29,7 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 85 \cdot 10^6 \cdot 6,94 \cdot 10^{-12} = 0,11 \text{ (А)}$$

$$d \geq 0,18 \cdot 0,11 \cdot \sqrt[4]{85 \cdot 10^6} \approx 1 \text{ мм.}$$

Обчислюємо значення власного опору втрат у контурній котушці на робочій частоті:

$$r_0 = \frac{0,525 \cdot D \cdot N \cdot \sqrt{f}}{d} \cdot 10^{-3} \quad (3.60)$$

де f – значення робочої частоти у МГц; d – діаметр проводу у мм; D – діаметр котушки.

$$r_0 = \frac{0,525 \cdot 2,41 \cdot 0,0067 \cdot \sqrt{85 \cdot 10^6}}{1,9} \cdot 10^{-3} = 0,041 \text{ (Ом)}$$

Обчислюємо ККД контуру

$$\eta_k = r_{BH} / (r_0 + r_{BH}) \quad (3.61)$$

$$\eta_k = 0,77$$

3.8 Розрахунок синтезатора та сітки частот

У відповідності до умов ТЗ проєктований радіопередавач повинен забезпечувати випромінювання радіосигналу у режимі частотної телеграфії (F2).

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведемо синтез структурної схеми збудника радіопередавача. Будемо здійснювати конструювання тракту збудника на основі мікросхеми синтезатора непрямого синтезу сітки частот з використанням мікросхеми КН_1015_ПЛ5. На рис. 3.7 представлено схему електричну принципову такого синтезатора.

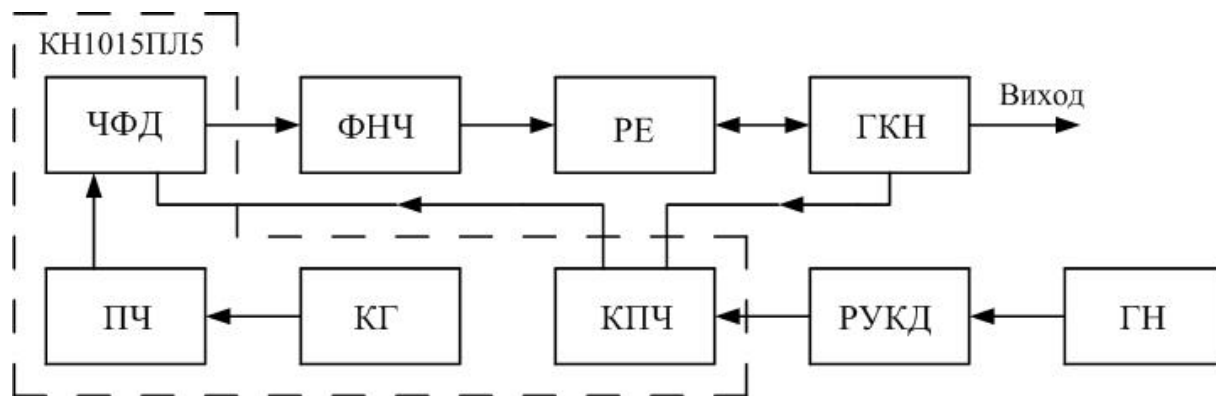


Рисунок 3.7 – Схема електрична-структурна синтезатора

В синтезаторі є генератор, що керується напругою (ГКН) [11-15], з виходу якого напруга потрібної частоти подається на змішувач радіопередавача. Переналаштування частоти ГКН здійснюється шляхом подачі постійної напруги різної величини на реактивний елемент (РЕ) – зазвичай варикап. Напруга з генератора керованого напругою (ГКН) потрапляє на керований подільник частоти (КПЧ), коефіцієнт ділення якого встановлюється за допомогою регістра установки коефіцієнта ділення (РУКД). Стан цього регістра (код) змінюється за допомогою генератора настройки (ГН). Сигнал ГКН після ділення його в КПЧ подається на частотно-фазовий детектор (ЧФД), де він порівнюється з частотою опорного генератора, яка утворюється шляхом ділення частоти кварцового генератора (КГ) у відповідному подільнику частоти (ПЧ). З виходу ЧФД сигнал помилки встановлення частоти подається через фільтр нижніх частот (ФНЧ) на реактивний елемент (РЕ). Таким чином здійснюється частотно-фазове підлаштування частоти ГКН. Частота на виході ГКН підтримується з стабільністю КГ [7, 10].

Розглянемо докладніше мікросхему КН_1015_ПЛ5:

Призначена для побудови сучасних цифрових ФАПЧ синтезаторів частот [16]. Інтерфейс програмування – паралельний.

Основні параметри приведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1- Основні параметри мікросхеми КН_1015_ПЛ5

Параметр, позначення параметра	Знач. парам.	Од. вим.	Примітка
Діапазони у яких змін. коефіцієнти поділу ДПКП _v (шаг 1), N _v	225 - 131071	одн.	Виведення 40
Діапазони коефіцієнтів поділу ДПКП _r (шаг 1), N _r	3 – 8191	одн.	Виведення 37
Діапазон робочої частоти ДПКП _v , f _{iv}	20 – 800	МГц	
Діапазон робочої частоти ДПКП _r , f _{ir}	0,1 – 80	МГц	
Максимальна робоча частота ЧФД, f _{ir max}	5	МГц	
Чутливість за ВЧ входу ДПКП _v , S _v	0,2 – 0,8	У еф.	Виведення 19
Чутливість за входом ОГ, S _r	0,1 - 0,15	У еф.	Виведення 22 f _{ir} =10МГц
Максимальна напруга стоку NMOS-транзистору, U _{max}	12 9	В	Виведення 42 I _{ds} =0,1мА I _{ds} =3 мА
Максимальна залишкова напруга стоку NMOS-транзистору, не більше, U _{ds min}	0,1	В	I _{ds} =10мА
Крутість NMOS-транзистору, не менше, S	40	мА/В	
Вихідний опір ЧФД, не більше, R _o	600	Ом	Виведення 39
Вхідні струми низького рівня, не менше, I _{iL}	-5 -15	мкА	Виведення 2...18,20, 24...36,19,22
Вхідні струми високого рівня, не більше, I _{iH}	0,1 15	мкА	Виведення 2...18,20, 24...36,19,22
Струм споживання	17	мА	U _{cc} =5,5В f _{iv} =900МГц;

максимальний (група «А»), $I_{cc \max}$			$N_v=225$ $f_{ir}=10\text{МГц}$; $N_r=400$
--	--	--	--

Продовження таблиці 3.1

Гradient зміни струму споживання (група «А»), I_{cc}	61,0 - 1,1 63,7 - 3,8	мА	$f_{iv}=\pm 100\text{МГц}$, $U_{cc}=5\text{В}$; $U_{cc}=\pm 1\text{В}$, $f_{iv}=800\text{МГц}$
Типовий струм споживання, I_{cc}	5	мА	$U_{cc}=3,5\text{В}$; $f_{iv}=500\text{МГц}$ $f_{ir}=10\text{МГц}$; $N_r=400$; $N_v=225$
Вага мікросхеми (корпус Н14.42–1вн, металокераміка)	не більше 2,0	г	крок виводів - 1 мм
Діапазон робочих температур, T_{amb}	-60...+85	°C	

24	Nr1		fir2	23
25	Nr2		NMOS	41
26	Nr3		fir	22
27	Nr4		fiv	19
28	Nr5			
29	Nr6		Nv1	2
30	Nr7		Nv2	3
31	Nr8		Nv3	4
32	Nr9		Nv4	5
33	Nr10		Nv5	6
34	Nr11		Nv6	7
35	Nr12		Nv7	8
36	Nr13		Nv8	9
			Nv9	10
39	pDout		Nv10	11
1	GND		Nv11	12
37	Nr		Nv12	13
20	E		Nv13	14
40	Nv		Nv14	15
21	+Ucc		Nv15	16
42	NMOS		Nv16	17
38	LD		Nv17	18

Рисунок 5.2 – Позначення виводів мікросхеми КН_1015_ПЛ5

Призначення виводів:

1 – загальний, GND

					КІТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- 2...18 – входи програмування коефіцієнта ділення N_v , ДПКП v (вив. 2 – старший, вив. 18 — молодший)
- 19 – ВЧ вхід ДПКП v , f_{iv}
- 20 – вхід блокування програмування ДПКП v і ДПКП r , E
- 21 - живлення, $+U_{cc}$
- 22 – вхід ОГ, f_{ir}
- 23 – вихід ОГ, f_{ir2}
- 24...36 – входи програмування коефіцієнту поділу N_r , ДПКП r (вив.24 – молодший, вив.36 – старший)
- 37 – вихід ДПКП r (відкритий колектор) , N_r
- 38 – вихід контролю захоплення кола ФАПЧ, LD
- 39 – вихід ЧФД з трьома станами, $pDout$
- 40 – вихід ДПКП v (відкритий колектор) , N_v
- 41 – база NMOS – транзистору
- 42 – колектор NMOS – транзистору

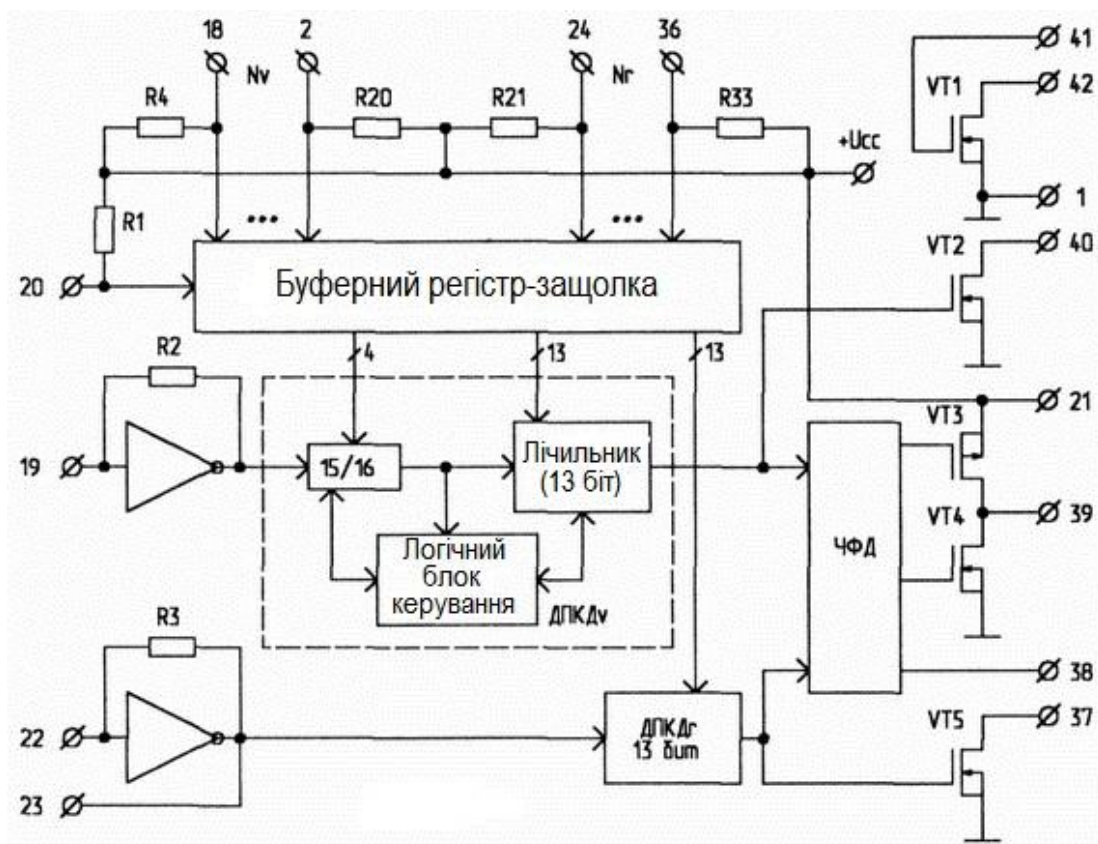


Рисунок 5.3 – Структурна схема мікросхеми КН_1015_ПЛ5

Проведемо розрахунок сітки частот.

У відповідності до вимог ТЗ передавач працює в режимі FSK (F2).

Розрахуємо ширину одного каналу без захисного інтервалу:

$$\Delta f_k = (3 \div 5)B, \quad (3.62)$$

де B – швидкість телеграфування у бодах.

Швидкість телеграфування необхідно вибрати з ряду (20 ÷ 300) бод.

Вибираємо $B=300$ бод, та розраховуємо ширину одного каналу:

$$\Delta f_k = 5 \cdot 300 = 1500 \text{ (Гц)}$$

Загальну ширину захисного інтервалу приймаємо рівною $\Delta f_3 = 500$ (Гц).

Тоді загальна ширина одного каналу розраховується по формулі:

$$Ш_{FSK} = \Delta f_k + \Delta f_3 \quad (3.63)$$

$$Ш_{FSK} = 1500 + 500 = 2000 \text{ (Гц)}$$

Згідно до завдання канали слід розташувати в діапазоні частот 85-88 МГц.

Звернемося до технічних даних синтезатора:

- частота опорного генератора $f_{ог} = 3579$ кГц.

Вибираємо коефіцієнт поділу частоти ОГ ($n=143$) і розраховуємо частоту порівняння із врахуванням частоти ОГ:

$$F_c = \frac{f_{ог}}{n} \quad (3.64)$$

$$F_c = \frac{3579}{143} = 25 \text{ (кГц)}$$

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримана частота є мінімальним кроком сітки частот. Вона більша ніж ширина одного каналу, що виключає взаємний вплив сусідніх каналів.

Розрахуємо частоту першого каналу з врахуванням кроку сітки частот:

$$F_{\text{кан}} = F_{\text{к}} + F_{\text{с}} \quad (3.65)$$

$$F_{\text{кан}} = 85 \cdot 10^6 + 25 \cdot 10^3 = 85,025 \text{ (МГц)}$$

Розрахуємо коефіцієнт поділу для першого каналу:

$$Y = \frac{F_{\text{кан}}}{F_{\text{с}}} \quad (3.67)$$

$$Y = \frac{85,025}{0,025} = 3401$$

Подальший розрахунок зводимо у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Розрахунок каналів сітки частот

№ _{кан}	Y	Ш _к , (МГц)	F _{кан} , (МГц)
1	3401	0,025	85,025
2	3402	0,025	85,050
3	3403	0,025	85,075
4	3404	0,025	85,100
5	3405	0,025	85,125
6	3406	0,025	85,150
7	3407	0,025	85,175
8	3408	0,025	85,200
9	3409	0,025	85,225
10	3410	0,025	85,250

продовження таблиці 3.2

11	3411	0,025	85,275
12	3412	0,025	85,300
13	3413	0,025	85,325
14	3414	0,025	85,350
15	3415	0,025	85,375
16	3416	0,025	85,400
17	3417	0,025	85,425
18	3418	0,025	85,450
19	3419	0,025	85,475
20	3420	0,025	85,500
21	3421	0,025	85,525
22	3422	0,025	85,550
23	3423	0,025	85,575
24	3424	0,025	85,600
25	3425	0,025	85,625
26	3426	0,025	85,650
27	3427	0,025	85,675
28	3428	0,025	85,700
29	3429	0,025	85,725
30	3430	0,025	85,750
31	3431	0,025	85,775
32	3432	0,025	85,800

продовження таблиці 3.2

33	3433	0,025	85,825
34	3434	0,025	85,850
35	3435	0,025	85,875
36	3436	0,025	85,900
37	3437	0,025	85,925
38	3438	0,025	85,950
39	3439	0,025	85,975
40	3440	0,025	86,000
41	3441	0,025	86,025
42	3442	0,025	86,050
43	3443	0,025	86,075
44	3444	0,025	86,100
45	3445	0,025	86,125
46	3446	0,025	86,150
47	3447	0,025	86,175
48	3448	0,025	86,200
49	3449	0,025	86,225
50	3450	0,025	86,250
51	3451	0,025	86,275
52	3452	0,025	86,300
53	3453	0,025	86,325
54	3454	0,025	86,350

продовження таблиці 3.2

55	3455	0,025	86,375
56	3456	0,025	86,400
57	3457	0,025	86,425
58	3458	0,025	86,450
59	3459	0,025	86,475
60	3460	0,025	86,500
61	3461	0,025	86,525
62	3462	0,025	86,550
63	3463	0,025	86,575
64	3464	0,025	86,600
65	3465	0,025	86,625

ВИСНОВОК

У третьому розділі кваліфікаційного проекту проведено електричні розрахунки схеми принципової радіопередавачельног пристрою. В ході розрахунку розрахований вихідний та передвихідний каскади ГЗЗ в режимі підсилювачів потужності. Проведено розрахунок кіл живлення та кіл автоматичного зміщення у підсилювальних каскадах генераторів. Обране та розраховане вихіжне коло узгодження з антеною. Проведено опис та проектування трату збудника радіопередавача. Здійснено розрахунок сітки частот на виході радіопередавача у заданому в ГЗ діапазоні частот.

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Темою кваліфікаційного проєкту було проектування діапазонного радіопередавача з частотною маніпуляцією.

Під час виконання кваліфікаційного проєкту були виконані наступні кроки. На підставі вимог ТЗ проведено аналітичний огляд літературних джерел за тематикою проектування. Розглянуто основні параметри сигналів частотної маніпуляції, розглянуто загальні підходи щодо формування сигналів маніпульованих за частотою. На підставі поведено аналізу відомих рішень, проведено розрахунок структурної схеми радіопередавача. Визначено загальні кількість каскадів ГЗЗ які повинні працювати в режимі підсилювачів потужності для забезпечення вимог ТЗ. В розрахунковому розділі проведено електричні розрахунку вихідного та передвихідного каскадів ГЗЗ, кіл живлення та узгодження. З'ясована і розрахована система навантаження. Проведений вибір та розрахунок елементів схеми. Тракт збудника реалізований на мікросхемі КН_1015_ПЛ5. Розрахунковий розділ містить розрахунок синтезатора сітки частот який входить до складу збудника радіопередавача. Проведений розрахунок сітки частот для розміщення заданої в ТЗ кількість інформаційних каналів.

					КПТР.2018006.004 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1 Бойко Ю.М. Генерування та формування сигналів [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів напряму підготовки «Радіотехніка» / Ю.М. Бойко, В.В. Мішан : ХНУ, 2011 – 85 с. – Режим доступу:

https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/57212/mod_resource/content/0/PGFS/PGFSmeta.da.htm?embed=1 і <https://msn.khnu.km.ua/mod/resource/view.php?id=33562&lang=fr>

(дата звернення: 25.03.2021).

2 Бойко Ю. М. Застосування завадостійких сигнально-кодових конструкцій в телекомунікаційних системах з частотною маніпуляцією / Ю. М. Бойко, О.І. Єрмоменко, А.О. Гайда // Телекомунікаційні та інформаційні технології : наук. журн. / Держ. ун-т телекомунікацій. – Київ, 2017. – № 3 (56). – С. 49-63.

3 Петров Б.Е. Радиопередающие устройства на полупроводниковых приборах / Б.Е. Петров. – Москва : Высшая школа, 1989. - 229 с.

4 Проектирование радиопередатчиков: Учеб. Пособие для вузов / В.В. Шахгильдян, М.С. Шумилин, В.Б. Козырев и др.; Под ред В.В. Шахгильдяна. – 4-е издание, перераб. и доп. – Москва : Радио и связь, 2000. – 656 с.

5 Шинкарук О.М. Основи функціонування багатоканальних систем передачі інформації : навч. посібник /О.М. Шинкарук, Ю.М. Бойко, І.І. Чесановський. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – 231 с.

6 Проектирование радиопередающих устройств с применением ЭВМ: Учеб. пособие для вузов / О.В. Алексеев, А.А.Головко, А.Я.Дмитриев и др.; Под ред. О.В.Алексеева. – Москва : Радио и связь, 1987. – 396 с.

7 Колпаков Ф.Ф. Теорія і реалізаційні основи інваріантних п'єзорезонансних коливальних систем /Ф.Ф. Колпаков, С.К. Підченко. - монографія. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харківський авіаційн.-т», 2011. – 327 с.

8 Ткачук В. М. Радіопередавальні пристрої : навч. посібник / В. М. Ткачук, С. М. Цирульник, Т. А. Петренко. – Вінниця, 2015. – 188 с.

					КПТР. 2017021.01.03.ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

9 Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства / В. В. Шахгильдян. – Москва : Радио и связь, 2003. – 560 с.

10 Альтшуллер Г.Б. Кварцевые генераторы / Г. Б. Альтшуллер, Н. Н. Елфимов, В. Г. Шакулин. – Москва : Радио и связь, 1984. – 231 с.

11 Синтезатор частоты. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://poznayka.org/s2788t2.html> (дата звернення: 23.02.2022)

12 Синтезатор частоты СЧ. Основные характеристики СЧ. Генерирование высокостабильных сигналов [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://present5.com/sintezatory-chastoty-sch-osnovnyye-karakteristiki-sch-generirovanie-vysokostabilnykh/>. (дата звернення: 22.02.2022)

13 Murphy E., Slattery C. All About Direct Digital Synthesis. Analog Dialogue 38-08, August (2004) [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-38/number-3/articles/all-about-direct-digital-synthesis.pdf> (дата звернення: 25.03.2022)

14 A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis (Analog Devices) [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.ieee.li/pdf/essay/dds.pdf> (дата звернення: 25.03.2022)

15 Схемы косвенного синтеза [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ni.biz.ua/3/3_11/3_1152_sintezatori-chastoti.html (дата звернення: 23.03.2022)

16 Ченакин А. В., Практическое построение синтезаторов частот СВЧ-диапазона / А. В. Ченакин, А. В. Горевой. – Москва : Горячая Линия – Телеком, 2021. – 245 с.

17 Бойко Ю. М. Генерування та формування сигналів : лаб. практикум / Ю. М. Бойко. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – Ч.1. – 89 с

18 Бойко Ю. М. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завад : монографія / Ю. М. Бойко, В. А. Дружинін, С. В. Толюпа. - Київ : Логос, 2018. - 227 с.

					КПТР. 2017021.01.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		62

19 Бойко Ю. М. Цифрові пристрої : конспект лекцій / О. М. Шинкарук, В. Р. Любчик, Ю. М. Бойко. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – 113 с.

20 Федосєєв А. Г. Пристрої генерування і формування сигналів. – Хмельницький : ХНУ, 2006. – 222 с.

21 Документація технічна фірми Analog Devices. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://www.analog.com/en/index.html>. – Назва з екрану.

22 Бойко, Ю.М. Ефективність сигнально-кодової конструкції з частотною маніпуляцією в телекомунікаційному каналі зв'язку [Текст] / Ю. М. Бойко, О. І. Єрбоменко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – №2. – С. 150-163.

23 Полупроводниковые приборы: Транзисторы: Справочник / Под ред. Горюнова Н. Н. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 904 с.

24 Радиопередающие устройства / Шуமிлин М. С., Головин О. В., Севальнев В. П., Шевцов Э. А. – Москва : Высшая школа, 1989. - 293 с.

25 Науково-прикладні питання забезпечення роздільної здатності і ефективності обробки сигналів у радіотехнічних та телекомунікаційних системах за наявності завад : монографія / Ю. М. Бойко, О. М. Шинкарук, Л. В. Карпова, І. І. Чесановський. – Хмельницький : ХНУ, 2019. – 218 с.

					КПТР. 2017021.01.03.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Параметри високочастотних транзисторів

Транзистор		2Т 934 А	2Т 934 Б	КТ 918 Б	ГТ 387
Параметр					
Параметри ідеалізованих статичних характеристик	$r_{нас}$ ($r_{нас\ ВЧ}$), Ом	1,5 (3,5...6)	0,55...2,0 (3,0)	0 (30)	3
	$r'_{б}$, Ом	–	–	–	10
	$r_{э}$, Ом	–	–	0,3	-
	$R_{уэ}$, кОм	>0,8	>0,5	>25	>0,5
	β_0	5... 150	5... 150	–	50
Високочастотні параметри	$f_{гр}$, МГц	500...1400	500...1400	>1000	3000
	$C_{к}$, пФ (при $E_{к}$, В)	5...9 (28)	7...16 (28)	3,7...4,2 (15)	1,7
	$C_{э}$, пФ (при $E_{э}$, В)	15...60 (0)	70...160 (0)	<15 (0)	4
	$\tau_{к}$, пс (при $E_{к}$, В)	3...10	3...20	0,5...4 (10)	3...20
	$L_{э}$, нГн	1,3	1,2	0,3	0,9
Високочастотні параметри	$L_{б}$, нГн	3,1	3,1	0,11	0,5
	$L_{к}$, нГн	2,5	2,5	0,5	0,9
Допустимі параметри	$U_{кб\ доп}$ ($U_{кб\ имп}$), В	–	–	30	-
	$U_{кэ\ доп}$ ($U_{кэ\ имп}$), В	60	60	–	-
	$U_{бэ\ доп}$, В	4	4	2,5	4
	$I_{к0\ доп}$ ($I_{к\ макс\ доп}$), А	0,5	1,0	0,25	0,25
	$I_{б0\ доп}$ ($I_{б\ макс\ доп}$), А	–	–	–	-
	Діапазон робочих частот, МГц	100...400	100...400	1000...3000	1000...3000
Теплові параметри	$t_{п\ доп}$, °С	160	160	150	100
	$R_{пк}$, °С/Вт	17,5	8,8	50	-

продовження ДОДАТКУ А

		2Т 934 А	2Т 934 Б	КТ 918 Б	ГТ 387
Експериментальні показники	f , МГц	400	400	3000	3000
	$P_{\text{вих}}$, Вт	>3	>12	0,5	0,09
	K_p , в разах	6...15	4...7	2	3
	$\eta_{\text{кол}}$, %	>50	>50	>26	30
	$E_{\text{к}}$, В	28	28	20	28
Схема включення		3Е	3Е	3Е	3Е
Режим роботи		Клас В	Клас В	Клас В	Клас В

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ І ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ

ДІАПАЗОННИЙ РАДІОПЕРЕДАВАЧ

ПАНАСЮК ДМИТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ
СТУДЕНТ ГР. ТР-18-1



КЕРІВНИК РОБОТИ: Д.Т.Н., ПРОФЕСОР
БОЙКО Ю.М.

ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ

- 1) Провести аналіз літературних джерел щодо принципів побудови тракту радіопередавача, формування та генерування сигналів потрібного виду;
- 2) Провести розрахунок схеми структурної радіопередавального пристрою;
- 3) Провести розрахунок схеми-електричної принципової радіопередавача;
- 4) Провести вибір та обґрунтування тракту збудника, вибір синтезатора, схеми маніпуляції (формування сигналів), розрахунок кіл узгодження, розрахувати сітку частот;
- 5) Розробити схему електричну-структурну та електричну принципову радіопередавального пристрою.

Вихідні дані: -діапазон частот: 85-88 МГц;

- потужність передавача: 10 Вт;

- кількість каналів – 65;

- метод синтезу сітки частот – IAS (непрямий аналоговий синтез частот);

- система модуляції: частотна маніпуляція;

- система стабілізації частоти: $10E-6$;

- опір антени $R_n = 50 \text{ Ом}$;

- вид випромінювання: F2 (частотна телеграфія);

- робоча температура: 0...40 гр. за Цельсієм.

СИГНАЛИ ЧАСТОТНОЇ МАНІПУЛЯЦІЇ

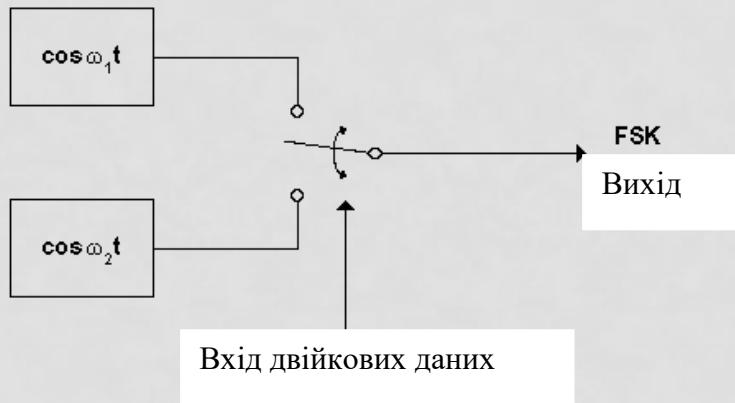
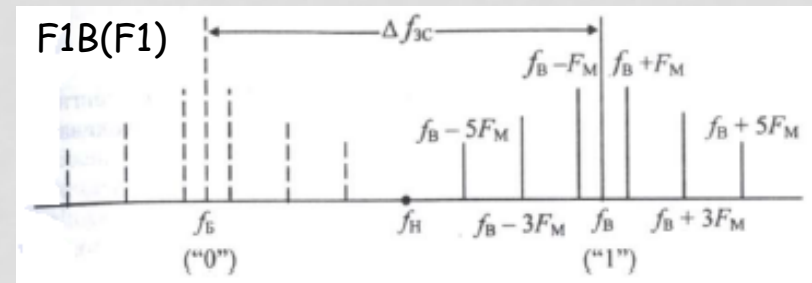
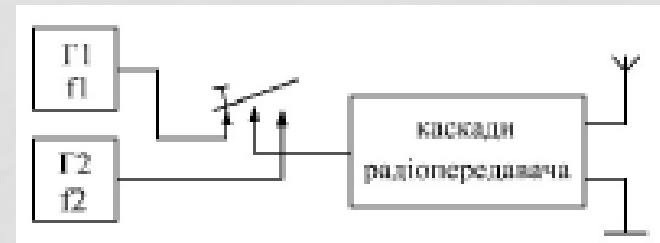
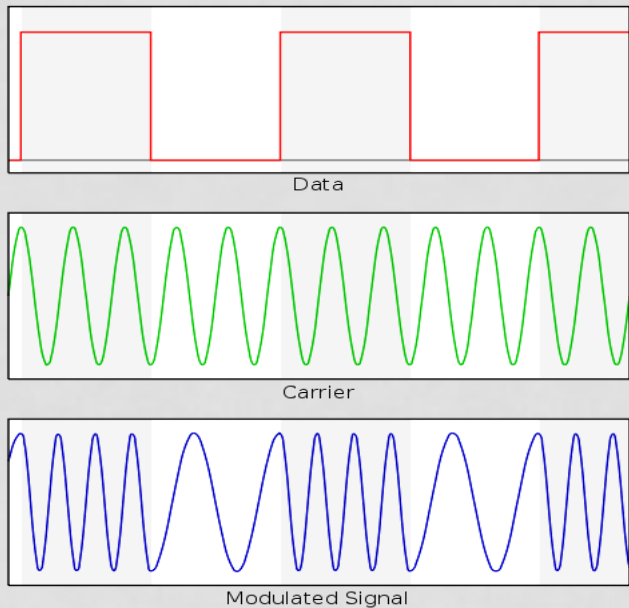


Рисунок 1 – Загальна схема формування сигналів ЧМн



$$s(t) = A_m \cos \left[\omega_0 t + K \int_{-\infty}^t r(\tau) d\tau + \varphi_0 \right] \quad 1)$$

$$r(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S_n R(t - nT) \quad S_n = +1, -1 \quad 2)$$

$$s(t) = A_m \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \cos \left[\omega_0 t + K S_n \frac{t}{2T} + \varphi_0 \right] \quad 3)$$

$$K = 2\pi f_d T \quad 4)$$

Рисунок 2 – Осцилограми до пояснення принципів формування ЧМн

ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ ЧМ-Н

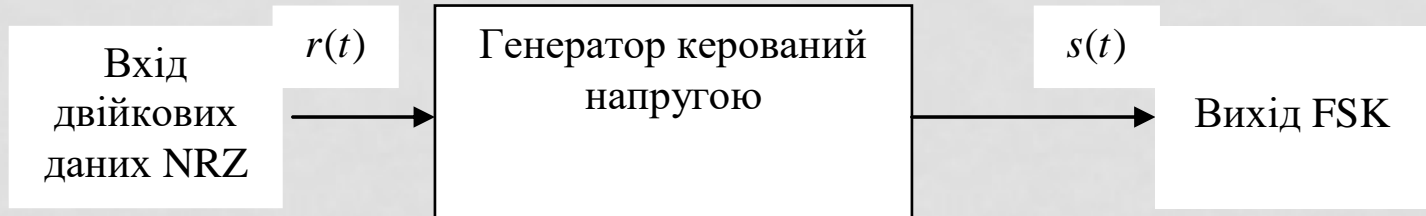


Рисунок 3 - Принципи формування сигналів ЧМн

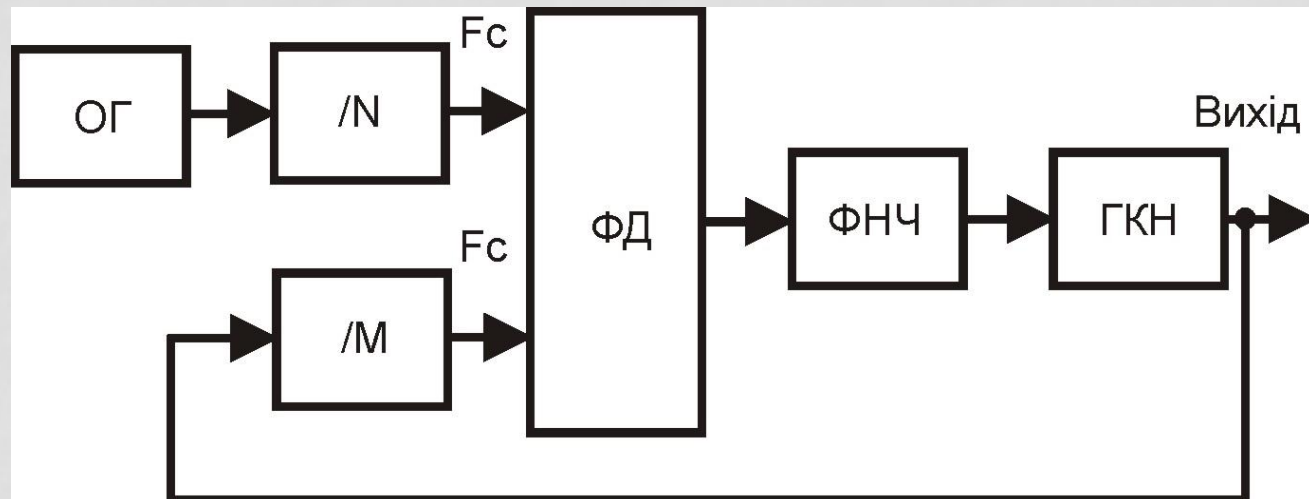
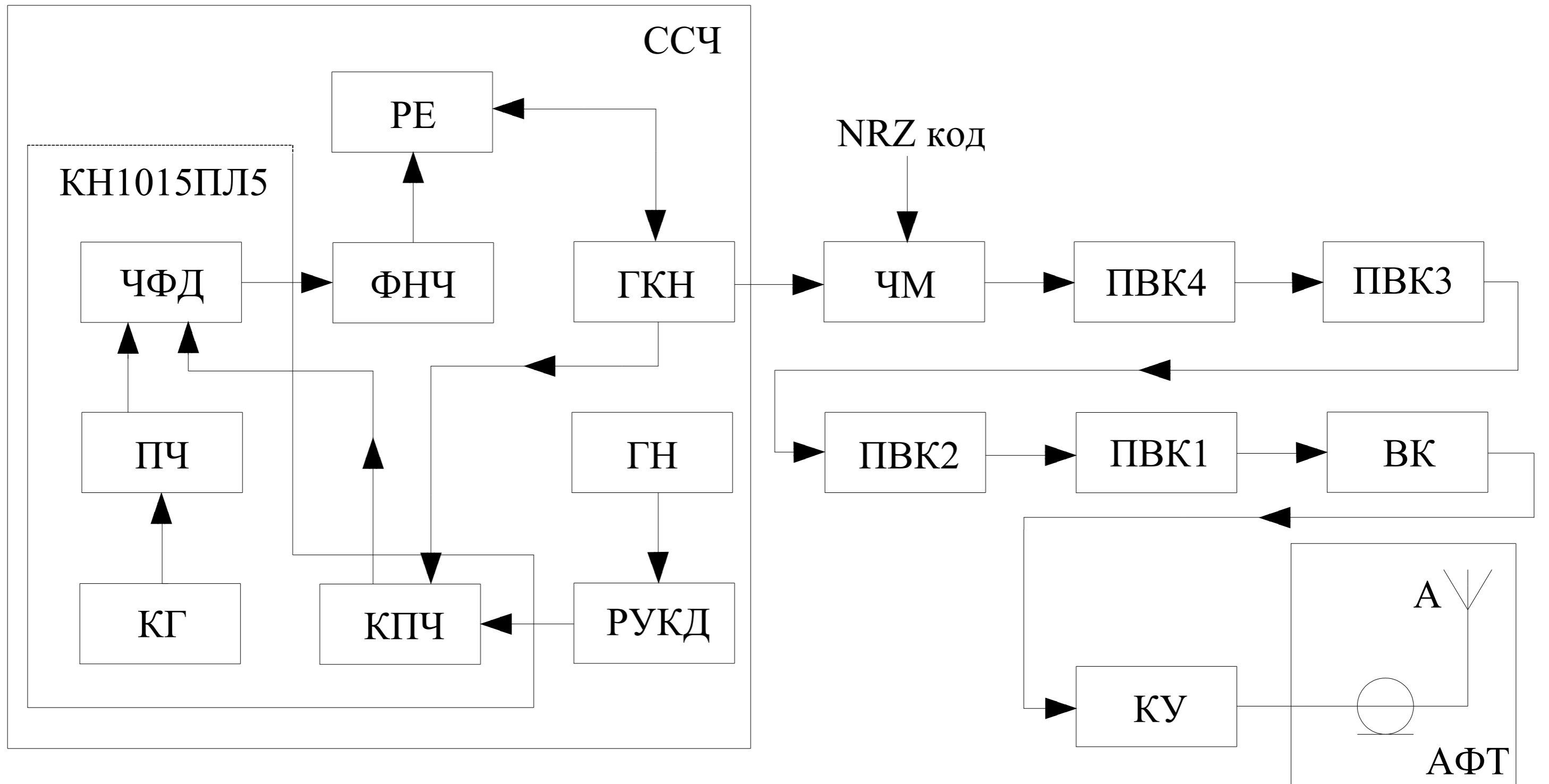


Рисунок 4 - Схема синтезатора непрямого синтезу:

ОГ – опорний генератор; /N – подільник частоти; /M – подільник частоти; ФД – фазовий детектор; ФНЧ – фільтр низьких частот; ГКН – генератор керований напругою

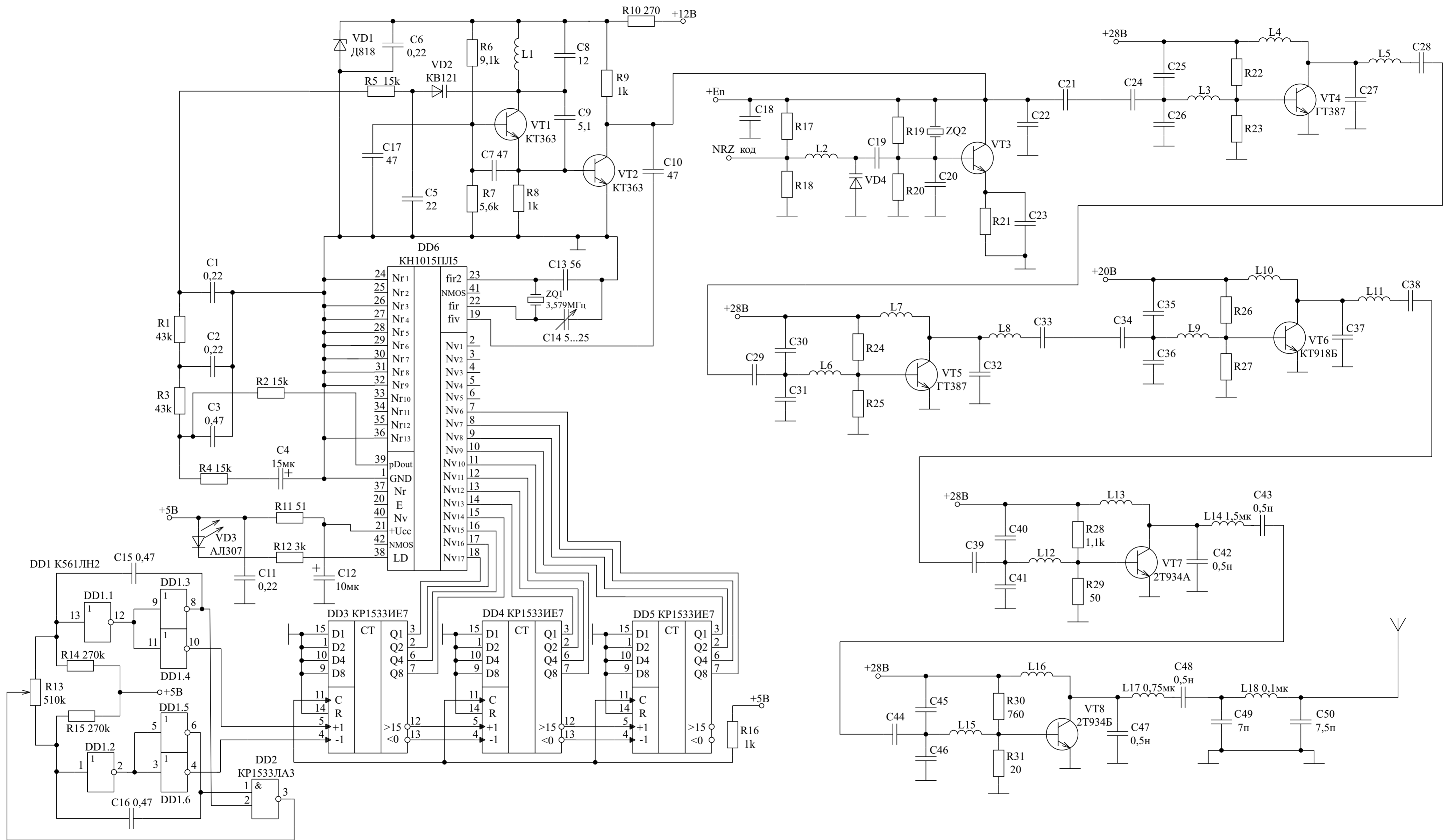
$$F_{вих} = \frac{F_c}{M} = \left(\frac{F_{ОГ}}{N}\right) \cdot M = \left(\frac{M}{N}\right) \cdot F_{ОГ}$$



А - антена
 АТФ – антенно-фідерний тракт
 ВК - вихідний каскад
 ГКН – генератор керований напругою
 ГН – генератор настройки
 КГ - кварцовий генератор
 КПЧ - керований подільник частоти
 КУ – коло узгодження
 ПВК1-ПВК4 – передвихідні каскади
 ПЧ – подільник частоти

РЕ - реактивний елемент
 РУКД – реєстр установки коефіцієнта ділення
 ССЧ – синтезатор сітки частот
 ФНЧ – фільтр низьких частот
 ЧМ - частотний модулятор
 ЧФД – частотно-фазовий детектор

				КІПТР.2018006.01.004 Е1			
Вик. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Діапазонний радіопередавач	Літера	Маса	Масшт.
Розроб	Панасюк Д.В.						
Перевір.	Бойко Ю.М.			Схема електрична структурна	Аркуш	Аркушів	
Т. контр.							
Н. контр	Бойко Ю.М.			ХНУ, гр. ТР-18-1			
Затв.							



				КІТТР. 2018006.01.004 Е3		
Змін. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Діапазонний радіопередавач Схема електрична принципова		
Розроб.	Панасюк Д.В.					
Перевір.	Бойко Ю. М.					
Реценз.						
Н. Контр.	Бойко Ю. М.			Лист	1	Листів
Затверд.				ХНУ, гр. ТР - 18 - 1		

Поз.	Позначення	Кіл.	Примітка
Діоди			
VD1	Д818	1	
VD2	KB121	1	
VD3	АЛ307	1	
Катушки індуктивності			
L14	LU62/41-1,5мкГн ±3%	1	
L17	LU62/41-0,75мкГн ±3%	1	
L18	LU62/41-0,1мкГн ±3%	1	
Кварцеві резонатори			
ZQ1	SMD49S4 – 3579,545 кГц	1	T/R(лазер)
Конденсатори			
C1,C2,C6,C11	K73-17B-63B-0.22мкФ±20% ОЖО.461.104 ТУ	4	
C3, C15, C16	K10-49B-63B-0.47мкФ ОЖО.460.178 ТУ	3	
C4	K50-35-63B-15мкФ-И ОЖО.464.214 ТУ	1	
C5	K53-37-16B-22мкФ ОЖО.464.260 ТУ	1	
C7,C10,C17	K50-35-16B-47мкФ-И ОЖО.464.214 ТУ	3	
C8	K53-37-16B-12мкФ ОЖО.464.260 ТУ	1	
C9	K53-15A-63B-5.1мкФ ОЖО.464121 ТУ	1	
C12	K50-35-63B-10мкФ-И ОЖО.464.214 ТУ	1	
C13	K53-37-16B-56мкФ ОЖО.464.260 ТУ	1	
C14	КТ4-25В 5/25пф	1	
C42,C43,C47,C48	K43-10B-16B-0.5пФ ОЖО.460.165 ТУ	4	
C49	K43-10B-16B-7пФ ОЖО.460.165 ТУ	1	
C50	K43-10B-16B-7.5пФ ОЖО.460.165 ТУ	1	

КПТР. 2017021.01.03.ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Панасюк Д.В.		
Перевір.		Бойко Ю.М.		
Реценз.				
Н. Контр.		Бойко Ю.М.		
Затверд.		Підченко С.К.		
Діапазонний радіопередавач		Перелік елементів		Літ. Арк. Акрушів
ХНУ, гр. ТР-18-1				

Поз.	Позначення	Кіл.	Примітка
Мікросхеми			
DD1	K561ЛН2	1	
DD2	КР1533ЛА3	1	
DD3...DD5	КР1533ИЕ7	3	
DD6	КН1015ПЛ5 АДБК.431320.562 ТУ ГК	1	
Резистори МЛТ ГОСТ 7113-66			
R1, R3	МЛТ-0.5-43кОм ±5%	2	
R2, R4, R5	МЛТ-0.25-15кОм ±10%	3	
R6	МЛТ-0.5-9.1кОм ±5%	1	
R7	МЛТ-0.5-5.6кОм ±5%	1	
R8,R9,R16	МЛТ-0.125 1кОм±10%	3	
R10	МЛТ-0.5-270Ом ±5%	1	
R11	МЛТ-0.5-51Ом ±5%	1	
R12	МЛТ-0.125 3кОм±10%	1	
R13	СП5-28Б Вт 510кОм 10%	1	
R14, R15	МЛТ-0.25-270кОм ±10%	2	
R28	МЛТ-0.25-1.1кОм ±10%	1	
R29	МЛТ-0.5-50Ом ±5%	1	
R30	МЛТ-0.25-760Ом ±10%	1	
R31	МЛТ-0.5-20Ом ±5%	1	
Транзистори			
VT1, VT2	КТ363	2	
VT4, VT5	ГТ387	2	
VT6	КТ918Б	1	
VT7	2Т934А	1	
VT8	2Т934Б	1	
КПТР. 2017021.01.03.ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис
			Дата

Рецензія

опонента на бакалаврський кваліфікаційний проєкт виконаний за темою «Діапазонний радіопередавач» студента гр. ТР-18-1 Панасюка Д.В.

В кваліфікаційному проєкті студента Панасюка Д.В. проведено проєктування радіопередавального пристрою з синтезатором сітки частот та формуванням сигналів частотної маніпуляції.

В першому розділі кваліфікаційного проєкту розглянуто аналітичний огляд літературних джерел, проведено аналітичний опис сигналів які потрібно сформувані в радіопередавальному пристрої, розглянуто питання схемотехнічних особливостей реалізації заданого згідно технічного завдання виду випромінювання який слід реалізувати, окреслено можливі типові рішення для радіопередавачів з частотною маніпуляцією.

У другому розділі проведено розрахунок структурної схеми радіопередавача. Визначено склад та кількість підсилювальних каскадів для забезпечення заданої потужності на виході радіопередавача. Окремо проведено електричний розрахунок вихідного та передвихідного каскаду проєктованого радіопередавача.

У третьому розділі розроблено питання формування тракту збудника діапазонного радіопередавача. Зокрема, обрано мікросхему синтезатора непрямого синтезу сітки частот типу КН1015ПЛ5 який здійснює формування сітки частот.

В кваліфікаційному проєкті проведено розрахунки сітки частот, конструктивний розрахунок системи навантаження, кіл живлення генератора зовнішнього збудження.

В цілому проєкт радіопередавального пристрою виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних технологій телекомунікацій, відповідає вимогам щодо фахових компетенцій викладених у стандарті бакалавра 172 «Телекомунікації та радіотехніка», а студент Панасюк Д.В. заслуговує оцінки **«відмінно»**.

**Опонент: к.т.н., доцент
кафедри фізики та електротехніки**



Олександр СРЬОМЕНКО

**Відгук на кваліфікаційний проєкт виконаний за темою
«Діапазонний радіопередавач» студента гр. ТР-18-1 Панасюка Д.В.**

У кваліфікаційному проєкті студента Панасюка Д.В. проведено проєктування радіопередавального пристрою з частотною маніпуляцією. Під час виконання кваліфікаційного проєкту студент Панасюк Д.В. провів аналітичний огляд літературних джерел де встановила особливості побудови та проєктування радіопередавальних пристроїв з частотною маніпуляцією, були визначені основні вимоги до радіопередавачів, розглянуто принципи формування сигналів частотної маніпуляції. На підставі аналізу отриманих даних, було розраховано структурну схему радіопередавального пристрою, проведено електричні розрахунки вихідного та передвихідного каскадів генераторів зовнішнього збудження.

В якості елементної бази для побудови збудника було використано синтезатор непрямого синтезу сітки частот на мікросхемі КН1015ПЛ5. Була розрахована сітка частот на виході радіопередавального пристрою та визначено коефіцієнт поділу для заданої кількості каналів.

В синтезаторі є генератор, що керується напругою (ГКН), з виходу якого напруга потрібної частоти подається на змішувач радіопередавача. Переналаштування частоти ГКН здійснюється шляхом подачі постійної напруги різної величини на реактивний елемент (РЕ) – зазвичай варікап. Напруга з генератора керованого напругою (ГКН) потрапляє на керований подільник частоти (КПЧ), коефіцієнт ділення якого встановлюється за допомогою реєстра установки коефіцієнта ділення (РУКД).

В цілому під час роботи над кваліфікаційним проєктом студент Цімар В.О. проявила себе як грамотний спеціаліст в галузі телекомунікацій, показав вміння та навички і набуті компетентності в розрахунках, в складанні документації.

Кваліфікаційний проєкт виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних телекомунікацій та відповідає вимогам щодо фахових компетенцій викладених у стандарті бакалавра 172 «Телекомунікації та радіотехніка», а студент Панасюк Д.В. заслуговує оцінки **«відмінно»**.

д.т.н., професор



Юлій БОЙКО

Завідувачу кафедри телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних технологій ХНУ
Підченку Сергію Костянтиновичу
здобувача вищої освіти, студента Панасюка
Дмитра Володимировича, факультету
інформаційних технологій, 4-го курсу, група ТР-
18-1

ЗАЯВА

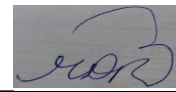
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу мого кваліфікаційного проекту виконаного за темою «Діапазонний радіопередавач» для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

30.05.2022

дата



підпис

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 3.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 10%

ID: 104231 Название: Діапазонний радіопередавач Добавлено в БД: 2022-05-30 Авторы: Панасюк Дмитро Володимирович Руководители: Бойко Юлій Миколайович Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	44672	712	2372 (5%)	39 (5%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

Имя пользователя:
Kafedra TMIT KhNU

ID проверки:
1011386486

Дата проверки:
30.05.2022 21:32:25 EEST

Тип проверки:
Doc vs Internet

Дата отчета:
30.05.2022 21:37:07 EEST

ID пользователя:
100005657

Название файла: Панасюк_ТР_18

Количество страниц: 66 Количество слов: 10539 Количество символов: 74157 Размер файла: 2.89 MB ID файла: 1011270300

Обнаружены модификации текста (могут влиять на процент совпадений)

6.2% Совпадения

Наибольшее совпадение: 2.27% с Интернет-источником (https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/65224/mod_resource/c...)

6.2% Источники из Интернета

92

Страница 68

Поиск совпадений с Библиотекой не производился

0.74% Цитат

Цитаты

3

Страница 69

Не найдено ни одной ссылки

0% Исключений

Нет исключенных источников

РІШЕННЯ КАФЕДРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Діапазонний радіопередавач

Автор: Панасюк Дмитро Володимирович

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: д.т.н., професор Бойко Юлій Миколайович

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	-
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	-
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	-
5	Інше:	-

Підтвердження: Виявленні запозичення не є плагіатом так як розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження (є власні терміни, визначення тощо), складають 6,2 % та мають посилання на приведений список літературних джерел.

«30» травня 2022 р.

Науковий керівник



Бойко Ю.М.

Завідувач кафедрою ТМІТ

Підченко С.К.