

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій та радіотехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Перший (Бакалаврський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва спеціальності

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему Проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот

КПТР. 2017021.01.03.ПЗ

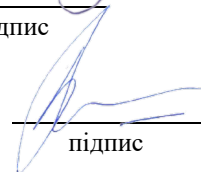
Виконав: студент 4 курсу, група ТР-17-1



підпис

В.О. Цімар
Ініціали, прізвище

Керівник: д-р техн. наук, проф.



підпис

Ю.М. Бойко
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.



підпис

Ю.М. Бойко
Ініціали, прізвище

20 травня 2021 р.

Хмельницький, 2021

Хмельницький національний університет

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікації та радіотехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня-професійна програма Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ТР

Бойко Ю.М.

« 10 » лютого 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Цімару Валерію Олександровичу

1 Тема роботи: Проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот

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

Затверджено наказом по університету від «05» 02. 2021р. № 11.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 20.05.2021р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

- діапазон частот: 25-30 МГц;
- потужність передавача: 135 Вт;
- кількість каналів – 10;
- метод синтезу сітки частот – DDS (прямий цифровий синтез частот);
- система модуляції: амплітудна маніпуляція;
- система стабілізації частоти: 10^{-6} ;
- опір фідера $R_n = 75$ Ом;
- вид випромінювання: А2 (амплітудна телеграфія);
- робоча температура: 0...40 гр.по Цельсію.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):

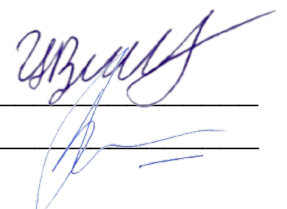
1) Аналітичний огляд літературних джерел. 2) Розрахунок структурної схеми та вихідних каскадів радіопередавача. 3) Розрахунок синтезатора сітки частот

5 Перелік графічного матеріалу. 1) Радіопередавальний пристрій з цифровим синтезатором сітки частот (схема електрична-структурна); 2)

Радіопередавальний пристрій з цифровим синтезатором сітки частот (схема електрична-принципова)

Завдання отримав

Науковий керівник



КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ. Аналітичний огляд літературних джерел	10.02.2021	Вик.
2	Розрахунок структурної схеми та вихідних каскадів радіопередавача	01.03.2021	Вик.
3	Розрахунок синтезатора сітки частот	03.04.2021	Вик.
4	Висновки. Презентаційні матеріали за результатами виконання кваліфікаційного проєкту.	20.05.2021	Вик.

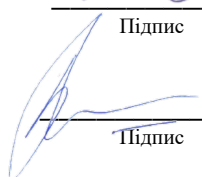
Студент



Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник роботи







Підпис

Ініціали, прізвище

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналітичний огляд літературних джерел.	6
1.1 Аналіз технічного завдання на поєктування	6
1.2 Маніпульовані сигнали.....	6
1.3 Формування сигналів амплітудної маніпуляції.	10
Висновок.....	16
2 Розрахунок структурної схеми та вихідних каскадів радіопередавача	17
2.1 Розрахунок структурної схеми радіопередавача.....	17
2.2 Електричний розрахунок генератора зовнішнього збудження	20
2.3 Електричний розрахунок передвихідного каскаду генератора зовнішнього збудження.	28
2.4 Розрахунок кіл живлення генератора зовнішнього збудження.....	33
2.5 Розрахунок кола зсуву генератора зовнішнього збудження	35
2.6 Вибір схеми системи навантаження.....	38
2.7 Електричний розрахунок системи навантаження.	39
2.8 Конструктивний розрахунок елементів системи навантаження та котушки індуктивності.	41
Висновок.....	44
3 Розрахунок синтезатора сітки частот	45
3.1 Опис синтезатора сітки частот.....	45
3.2 Вибір синтезатора сітки частот.....	50
3.3 Вибір тонального модулятора та генератора тону.....	53
3.3 Вибір та опис мікроконтролера.	55
Висновок.....	57
Висновки	58
Перелік джерел посилання.....	59
Додаток А. Параметри високочастотних транзисторів.....	62
Додаток Б. Презентаційні матеріали.....	63

					КПТР. 2017021.01.03.ПЗ			
Зм	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	Проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Цімар В.О.						
Перевірів		Бойко Ю.М.						
Н.контр.		Бойко Ю.М.						
Затвердив		Бойко Ю.М.				ХНУ, ТР-17-1		

ВСТУП

Головною частиною радіосистем та радіокомплексів є радіопередавальні пристрої. Загалом, основне призначення радіопередавача полягає у здійсненні двох процесів, а саме генерація коливань високих або надвисоких частот (несучого коливання) і далі їх модуляцію (маніпуляцію) згідно до структури повідомлення або цифрового коду які потрібно передати по радіоканалу [1-5].

На рис. 1 представлено узагальнену схему радіопередавального пристрою.



Рисунок 1 – Структурна схема радіопередавального пристрою

До її складу входять [1]:

ОКГ – опорний кварцовий генератор;

СЧ – синтезатор частот;

БК – буферний каскад;

КУ – каскад узгодження;

ГЗЗ – генератор зовнішнього збудження;

КУ АТФ – каскад узгодження з антенно-фідерним трактом;

Модулятор (частотні та фазові методи модуляції здійснюються у збуднику, а амплітудні методи модуляції – в каскадах генераторів зовнішнього збудження).

У випадку класифікації радіопередавачів використовують наступні ознаки [6-9]:

- за призначенням радіопередавачів поділяють на зв'язні, радіомовні, телевізійні, радіолокаційні, радіонавігаційні;

- за умовами експлуатації поділяють на стаціонарного типу та пересувного типу;
- за значенням потужності на виході радіопередавача: малої потужності (десятки міліватів); середньопотужні (сотні міліват-десітки ват); потужні (значення вихідної потужності – сотні ватів – одніці кіловатів);
- із врахуванням довжини хвилі випромінювання: міріаметрового діапазону ($3 \div 30$ кГц); кілометрових хвиль ($30 \div 300$ кГц); гектаметрових хвиль ($300 \div 3 \cdot 10^3$ кГц); декаметрового діапазону хвиль ($3 \div 30$ МГц); метрового діапазону ($30 \div 300$ МГц); дециметрового – ($300 \div 3000$ МГц); сантиметрового – ($3 \div 30$ ГГц); міліметрового ($30 \div 300$ ГГц); дециміліметрового діапазону – ($300 \div 3000$ ГГц);
- за видом модуляції: з аналоговими методами модуляції та цифровими методами модуляції [7].

У відповідності до вимог технічного завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу потрібно провести проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот і розмістити в діапазоні частот $25 \div 30$ МГц 10 каналів формування яких потрібно здійснити за допомогою цифрової амплітудної модуляції (режим випромінювання А2). Вихідна потужність радіопередавача – 135 Вт.

Таким чином в ході проектування потрібно вирішити наступні питання:

- 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, мікроконтролера, схеми маніпуляції (формування сигналів), розрахунок кіл узгодження, розрахувати сітку частот;
- 5) Розробити схему електричну-структурну та електричну принципову радіопередавального пристрою.

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

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Аналіз технічного завдання на проектування

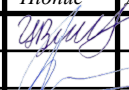
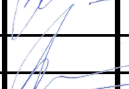

Відповідно до заданого варіанту технічного завдання на кваліфікаційний проєкт необхідно провести проектування та розрахунок радіопередавального пристрою з амплітудною маніпуляцією, вихідними даними якого являються:

- вихідна потужність – 135 Вт
- діапазон робочих частот – 25-30 МГц
- кількість каналів – 10
- метод синтезу сітки частот – DDS (прямий цифровий синтез сітки частот)
- тип модуляції – амплітудна телеграфія (вид випромінювання А2)
- відносна нестабільність частоти -10^{-6}
- опір антени – 75 Ом
- робоча температура – 0..40 гр. по Цельсію

1.2 Маніпульовані сигнали

Якщо розглядати цифрову амплітудну модуляцію (маніпуляцію) в контексті її використання у цифровому зв'язку, то її можна охарактеризувати як процес модуляції пов'язаний з передаванням високочастотному синусоїдальному сигналу (несучій частоті) двох або більше дискретних рівнів амплітуди. Кількість таких рівнів, загалом, пов'язана з кількістю рівнів які має отримати цифрове повідомлення. Отже, для двійкової послідовності існує два рівня один з яких буде дорівнювати нулю. В цьому випадку модель модульованого сигналу буде утворена з сукупності пакетів синусоїд [1, 6, 7].

Розглянемо цей процес більш детально та визначимо типи амплітудно-маніпульованих сигналів. У випадку амплітудної маніпуляції (АМ-н) змінюється лише амплітуда несучої. У зв'язку з цим, найбільш наочний варіант

					КПТР. 2017021.01.03.ПЗ		
Зм	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Цімар В.О.			Проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот		
Перевірів		Бойко Ю.М.					
Н.контр.		Бойко Ю.М.			ХНУ, ТР-17-1		
Затвердив							
					Аналітичний огляд літературних джерел Пояснювальна записка		

такої маніпуляції це двопозиційна маніпуляція типу (ООК) [8-18]. В такому сигналі здійснюється, як було сказано вище, передача пакетів несучої частоти, в певний інтервал часу, або відсутність такої передачі у залежності від значення яке має вхідна кодова послідовність (тобто або 1 або 0). Іншим варіантом АМ-н є вид, коли при маніпуляції використовуються ненульові, різні, амплітудні значення несучої які еквівалентні щодо представлення логічної одиниці чи нуля [19, 20].

Представимо рис. 1.1, а форму цифрового повідомлення що містить два рівня напруги. Відповідно один рівень – відповідає логічній одиниці, а інший – нулю. На рис. 1.1, б – високочастотна несуча, без модуляції. Відповідно, на рис. 1.1 в і г осцилограми сигналів типу ООК та бінарної АМ-н.

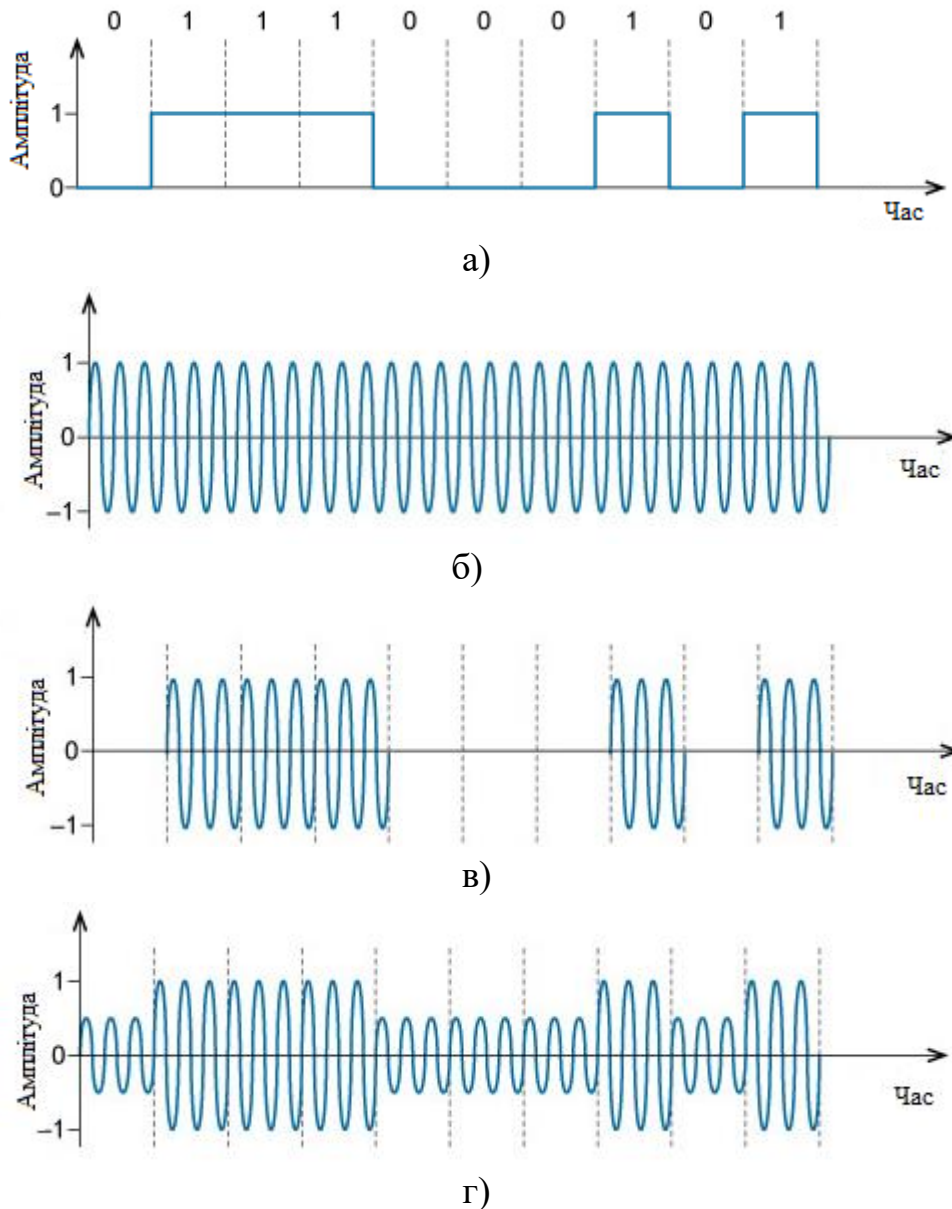


Рисунок 1.1 – Осцилограми щодо пояснення формування сигналів АМ-н

При використанні АМ-н типу ООК і бінарного типу, як видно з рис. 1.1, несуча перетворюється у два можливих стани, один з яких відповідає нулеві інший – одиниці. Такі різні стани несучого називають символами. Загалом, може існувати і більше двох символів, тоді кожен з символів може характеризувати більше одного біта даних.

Для наочного представлення АМ-н з 4-ма можливими амплітудними рівнями (або чотирма можливими символами) представимо рис. 1.2.

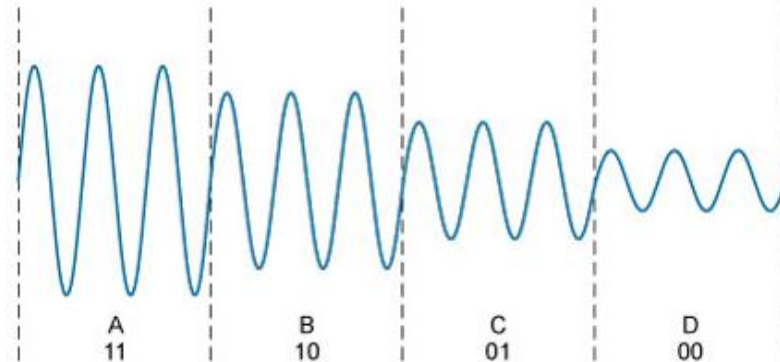


Рисунок 1.2 – Сигнал амплітудної маніпуляції утворений 4-ма рівнями

Як видно з рис. 1.2 за наявності 4-х наявних символів, кожний символ можна утворити двоохбітовим двійковим значенням. Така ситуація обумовлена тим, що існує 4-ри можливих двоохбітових двійкових значення: типу-11, типу-10, типу-01 і типу-00 [15].

Отже, у випадку можливих восьми символів, кожний можливо було б описати трьома бітами даних. Тоді зв'язок між кількістю можливих символів M і кількістю бітів n , що можна представити відповідним символом буде [20]:

$$M = 2^n \quad (1.1)$$

Кількість утворених символів в секунду характеризується поняттям – бод.

Після розгляду сигналу форми сигналів АМ-н представимо математичну модель таких сигналів (графічне представлення рис. 1.3 (а і б)).

Обираємо як несучу, гармонійний сигнал виду:

$$x(t) = A_0 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1.2)$$

Модулюючий сигнал (послідовність імпульсів (рис. 1.1, а)):

$$u(t) = \begin{cases} 1, & 2i\tau < t < (2i + 1)\tau, \\ -1, & (2i + 1)\tau < t < 2(i + 1)\tau, i = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (1.3)$$

1.3 Формування сигналів амплітудної маніпуляції

Розглянемо питання щодо особливостей формування сигналів типу АМ-н.

Блок-схема формувача-маніпулятора АМ-н містить генератор несучої, генератор кодової двійкової послідовності яка містить дані або інформацію і смугового фільтра (рис. 1.8) [9-13].

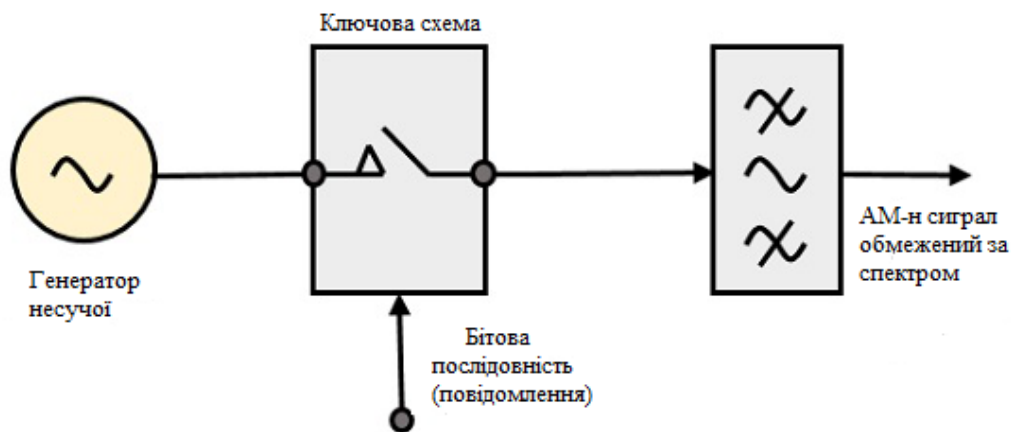


Рисунок 1.8 – Блок-схема формувача-маніпулятора АМ-н

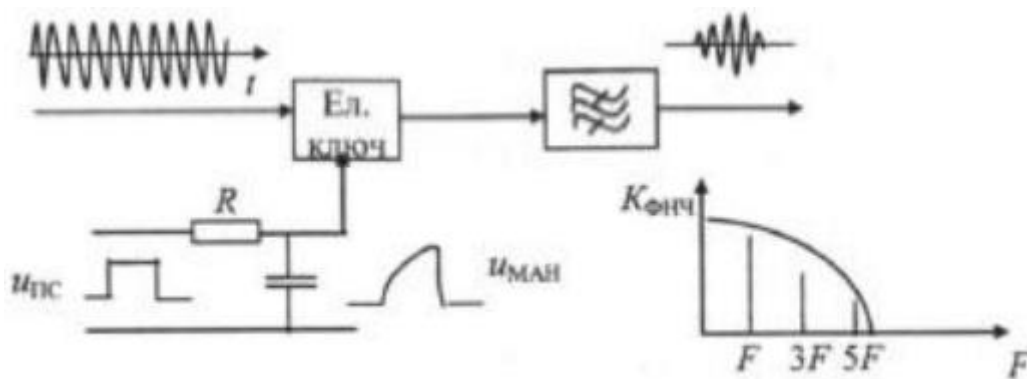


Рисунок 1.9 – Функціональна схема роботи формувача-маніпулятора

В схемах на рис. 1.8 та 1.9 – генератор несучої генерує високочастотний гармонійний сигнал і подається на ключову схему (електронний ключ). На інший вхід ключа подається кодова послідовність яка по сигналу високого рівня замикає перемикач ключової схеми. Таке замикання утворює на виході ключа відрізки несучої. У випадку низького рівня в кодовій послідовності – ключ розімкнений, а отже на виході схеми напруги немає. До складу схеми входить і смуговий фільтр. Основне призначення такого фільтра полягає у обмеженні (звуженні) спектру маніпульованого сигналу. Крім того, з метою звуження спектру сигналу маніпуляційні імпульси скруглюються фільтром низьких частот (ФНЧ) (рис. 1.9).

Аналогічний варіант конструкції схеми блоку формування сигналів представлений на рис. 1.10:

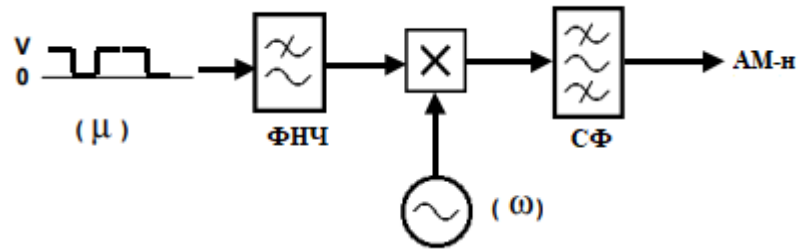


Рисунок 1.10 – Структурна схема формування сигналів АМ-н із попередньою низькочастотною фільтрацією кодової послідовності

На рис. 1.11 представлено осцилограми щодо пояснення роботи блоку формування АМ-н з попередньою низькочастотною фільтрацією.

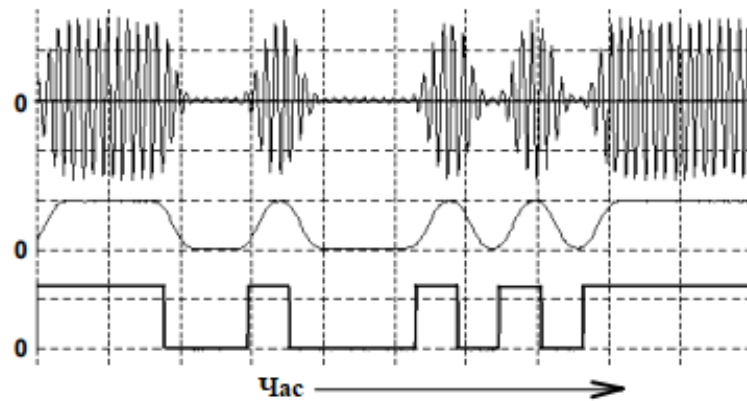


Рисунок 1.11 - Осцилограми щодо пояснення роботи блоку формування АМ-н з попередньою низькочастотною фільтрацією

На рис. 1.12 представлено розподіл енергії по спектральним складовим для АМ-н (клас випромінювання А1А (А1) і А2А (А2)).

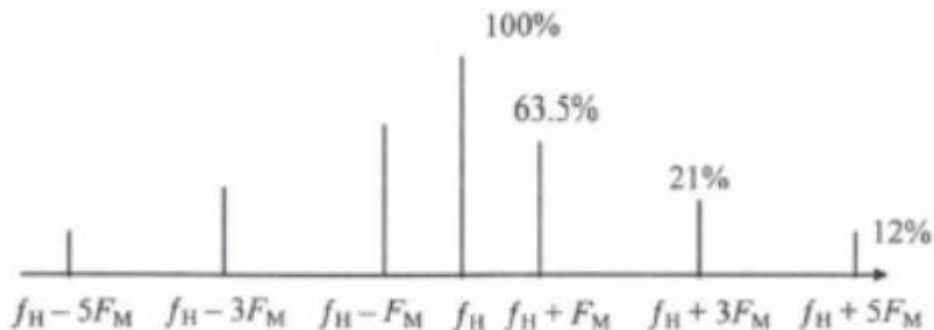


Рисунок 1.12 – Розподіл енергії у спектрів АМ-н

З рис. 1.12 встановлюємо, що основна енергія розміщена у спектральних

складових у до 5-го порядку. Звідки, ширин а спектру АМ-н розраховується з формули:

$$\Delta F_C = 2nF_M \quad (1.8)$$

де F_M – частота маніпуляції

Синтез структурної схеми радіопередавального пристрою з АМ-н передбачає можливий вибір структури формування сигналу. В цьому випадку виділяють режими формування типу незатухаючий і тональної модуляції. На рис. 1.13 подано осцилограми щодо пояснення процесу формування сигналів у цих режимах [6].

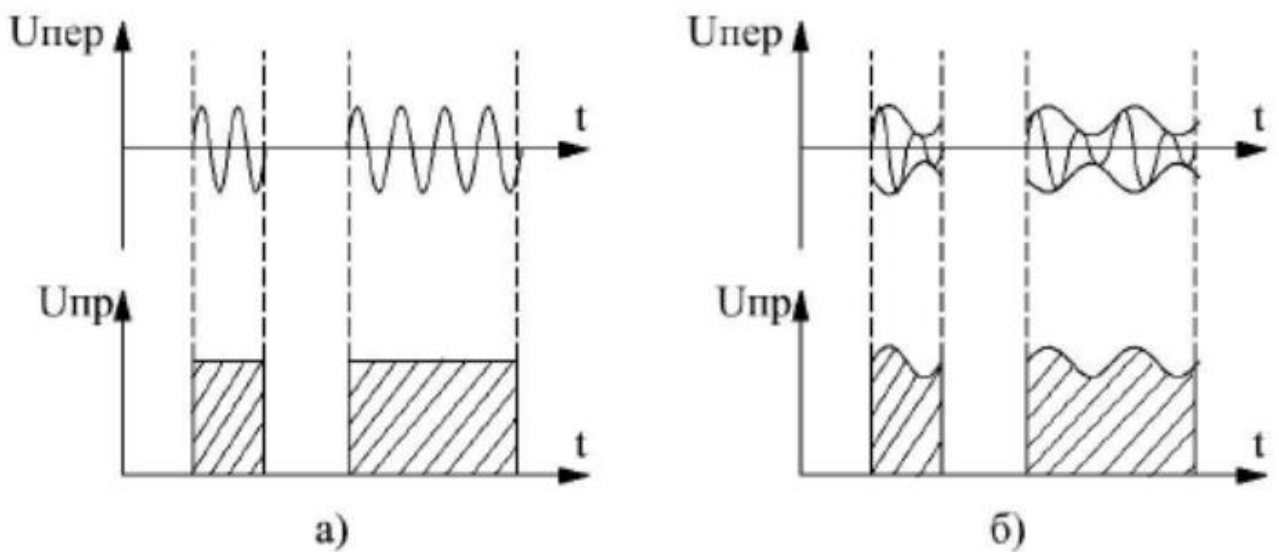


Рисунок 1.13 – осцилограми до пояснення формування АМ-н у : а – неперервному режимі; б – режимі тональної модуляції

Таким чином режим А2А характеризується необхідність розміщення в такті радіопередавача додаткового модулятора тону і відповідно тонального генератора. Тоді приймання таких сигналів можна реалізовувати наслух. При конструюванні радіопередавача типу А2А звичайно використовують тональний модулятор з частотою $F_M = 800 - 1000$ Гц.

Для типових показників будемо мати для приймання на слух при швидкості маніпуляції 20-25 бод, частоті маніпуляції 10-12.5 бод отримаємо ширину спектру сигналу на рівні 100-125 Гц. Загалом така вузькосмуговість дозволяє використовувати такі сигнали на коротких хвилях.

На рисунку 1.16 приведена найбільш поширена схема амплітудного маніпулятора, який застосовується в радіокеруванні. Задаючий генератор із кварцовою стабілізацією частоти зібраний на транзисторі VT1.

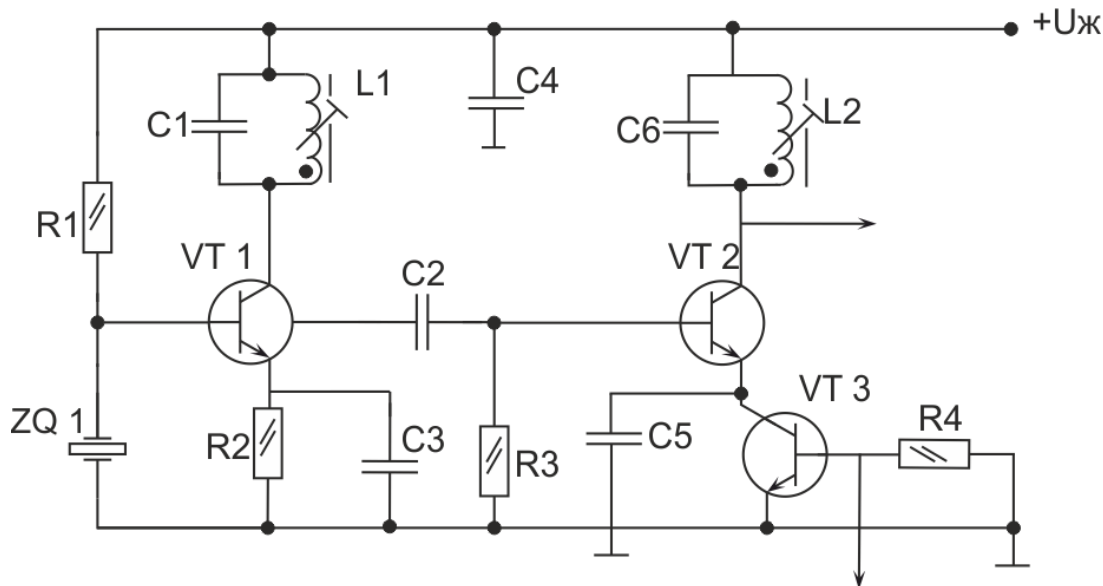


Рисунок 1.16 – Принципова схема амплітудного маніпулятора

Після подачі живлення напруги він працює безперервно. Коливання з його виходу через конденсатор C2 подається на базу буферного каскаду, реалізованого на транзисторі VT2. Між емітером цього транзистора і корпусом увімкнений електричний ключ на транзисторі VT3, який грає роль маніпулятора. В вихідному стані, база ключа з'єднана з корпусом через резистор R4, що забезпечує закритий стан ключа.

Коливання задаючого генератора через буферний каскад не проходять. При надходженні позитивного імпульсу на вхід маніпулятора транзистора VT3 відкривається, з'єднання емітера VT2 з корпусом через постійний струм. Через змінний струм конденсатор C5 блокує найбільший опір ділянки "колектор-емітер" відкритого транзистора ключа. Буферний каскад починає підсилювати вхідні коливання, передаючи їх на вхід наступних каскадів передатчика.

З цілю підвищення КПД буферний каскад працює в режимі класу В. Транзистор VT2 відкривається тільки на час позитивної півхвилі вхідної напруги, через що, через колекторний струм являє собою косинусоїдальні імпульси. Як відомо, в складі їх спектра є гармоніка на частоті вхідного сигналу

і на кратних їй частотах. Коливальний контур $C6, L2$ налаштовується або на першу, або на другу, або на третю гармоніку цих коливань, забезпечуючи відповідно просте підсилення коливань задаючого генератора, подвоєння, або потроєння їх частоти.

Далі, на рисунку 1.17 приведена осцилограма амплітудно – маніпульованого сигналу:

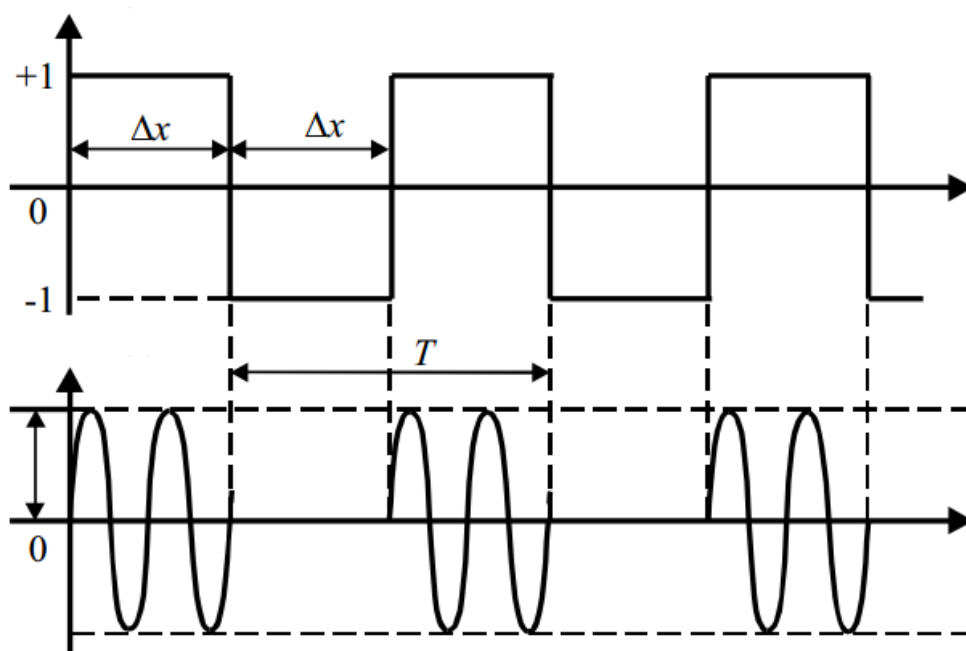


Рисунок 1.17 – Осцилограма амплітудно- маніпульованого сигналу

ВИСНОВОК

У розділі кваліфікаційного проєкту проведено аналіз літературних джерел щодо опису принципів формування сигналів амплітудної маніпуляції. Визначено математичні моделі які описують сигнал з АМ-н. З'ясовано спектральний склад сигналу з АМ-н. Зокрема, основна енергія в спектрі АМ-н зосереджена в межах п'яти перших. Таким чином спектр сигналу АМ-н обмежується такою кількістю гармонік і має вузькосмуговий характер. Розглянуто режими та класи випромінювання радіопередавального пристрою. Проаналізовано осцилограми які пояснюють процес формування сигналів АМ-н. Описано схеми побудови формувача маніпулятора АМ-н для різних режимів роботи. Встановлено, що схема радіопередавача з АМ-н (А2) повинна містити задаючий генератор ключ-маніпулятор генератор тону та тональний модулятор. Такий режим дозволяє забезпечити приймання сигналів АМ-н наслух.

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

2 РОЗРАХУНОК СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА ВИХІДНИХ КАСКАДІВ РАДІОПЕРЕДАВАЧА

2.1 Розрахунок структурної схеми радіопередавача

Початковими даними для розрахунку структурної схеми радіопередавача є потужність у корисному навантаженні P_H (або вихідна потужність) і робоча частота f (або діапазон робочих частот) [1]. Ці початкові дані наведені в розділі 1 кваліфікаційного проєкту.

Проектування структурної схеми радіопередавача починається з вихідного каскаду, оскільки саме до нього відносяться задана потужність P_H і робоча частота f . Вихідний каскад радіопередавача, як правило, є підсилювачем потужності [1].


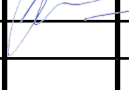
Оскільки корисне навантаження підключається до активного елемента через узгоджувальне коло, у якому неодмінно присутні опори власних втрат, що обумовлюють втрати корисної потужності, то активний елемент для вихідного каскаду повинен вибиратися з урахуванням цих втрат. Втрати потужності в колі узгодження враховуються коефіцієнтом корисної дії (ККД) кола узгодження $\eta_{КУ}$ [1].

Таким чином, з урахуванням втрат потужності у вихідному колі узгодження активного елемента, вихідний каскад повинен розвивати коливальну потужність [1]:

$$P'_H = P_{BK} = \frac{P_H}{\eta_{КУ}} > P_H, \quad (2.1)$$

де P_{BK} – коливальна потужність, яка надходить від активного елемента вихідного каскаду (BK) радіопередавача.

Активний елемент (АЕ) для вихідного каскаду вибирається за потужністю, з умови [1-5]:

					КПТР. 2017021.01.03.ПЗ			
Зм	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Цімар В.О.			Проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот Розрахунок структурної схеми та вихідних каскадів радіопередавача	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Бойко Ю.М.						
Н.контр.					ХНУ, ТР-17-1			
Затвердив					Пояснювальна записка			

$$P_{н.АЕ} \geq k_{ПЗ} \cdot k \cdot P'_н = k_{ПЗ} \cdot k \cdot \frac{P_н}{\eta_{КУ} \cdot \eta_{\Phi}} \quad (2.2)$$

де $k_{ПЗ}$ – коефіцієнт виробничого запасу, який рекомендується вибирати в межах [1,05...1,1], k – коефіцієнт, залежний від виду модуляції (в даному випадку $k=1$).

Використавши формулу (2.2) [1] знайдемо потужність, за якою активний елемент (АЕ) для вихідного каскаду:

$$P_{н. АЕ} = 1,1 \cdot 1 \cdot \frac{135}{0,95} = 156,3 \text{ Вт.}$$

Врахувавши отриману потужність вибираємо транзистор 2Т971А [додаток Д [1]], параметри якого наведені у додатку А.

Після того, як вибраний активний елемент і схема включення його у вихідному каскаді, здійснюємо вибір активного елемента і схеми його включення для передвихідного каскаду. Щоб вибрати АЕ для передвихідного каскаду, необхідно прийняти очікуваний коефіцієнт підсилення за потужністю вихідного каскаду K_P , значення якого звичайно не перевищує 5–10 за умови практично повного використання вихідної потужності транзистора [1, 21-23].

Прийнявши значення коефіцієнта підсилення за потужністю вихідного каскаду $K_{P \text{ ВК}}$, визначають потужність, яку повинен розвивати передвихідний каскад:

$$P_{ПВК} = \frac{P'_н}{K_{P \text{ ВК}}} \quad (2.3)$$

Використовуючи дану формулу (2.3) проведемо розрахунок потужності передвихідного каскаду та каскадів, що йому передують. Як тільки потрібна потужність виявиться близько 0,01% від потужності вихідного каскаду, то приймемо, що така потужність буде забезпечена збудником, що визначає робочу частоту передавача.

$$P_{ПВК} = \frac{156,3}{10} = 15,63 \text{ Вт;}$$

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

Активним елементом оберемо транзистор 2Т903А, характеристики якого описані в додатку А. Характеристики подальше обраних активних елементів наведені, також, в додатку А. Тут приведемо результати розрахунку розподілу потужності між каскадами радіопередавача.

$$P_{ППВК} = \frac{15,63}{10} = 1,563 \text{ Вт};$$

Враховуючи отриману потужністю оберемо транзистор 2Т920А .

$$P_{ПППВК} = \frac{1,563}{10} = 0,1563 \text{ Вт};$$

Оберемо транзистор 2Т606А (додаток А).

$$P_{ППППВК} = \frac{0,1563}{10} = 0,02 \text{ Вт};$$

Оберемо транзистор 2Т606А (додаток А).

Отримана нами потужність являється близько 0,01% від потужності вихідного каскаду, отже така потужність буде забезпечена збудником, що визначає робочу частоту передавача [1].

Структурна схема високочастотного тракту багатокаскадного передавача містить п'ять каскадів генераторів зовнішнього збудження (ГЗЗ). Представимо цю схему на рисунку 2.1

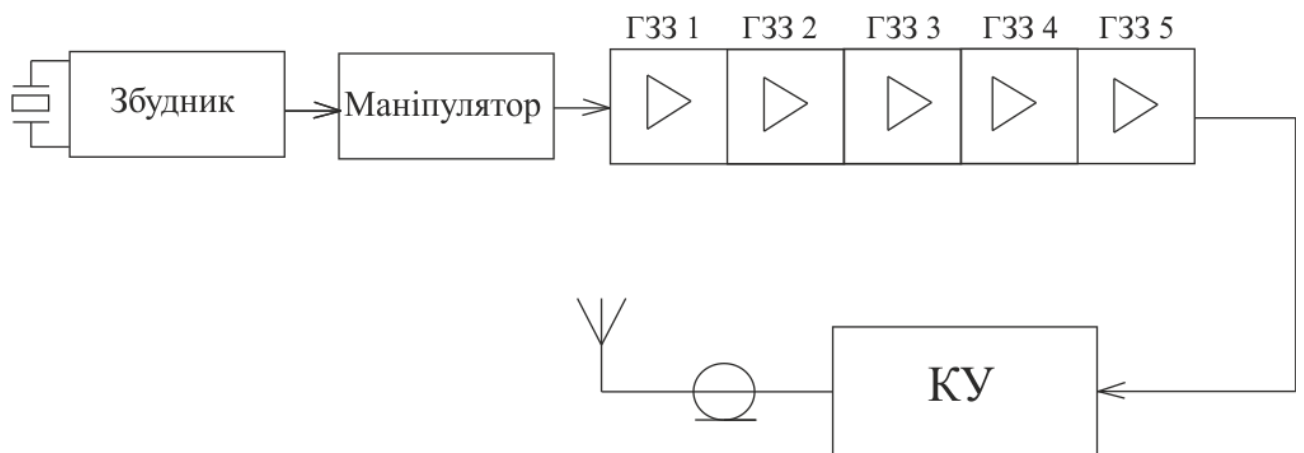


Рисунок 2.1 – Структурна схема високочастотного тракту багатокаскадного передавача

2.2 Електричний розрахунок генератора зовнішнього збудження(ГЗЗ)

Основне призначення ГЗЗ у радіопредавачах наступне. Вони можуть бути застосовані як потужні підсилювальні каскади або як перетворювальні каскади які працюють з коефіцієнтом множення частоти в ціле число разів. Крім того існує практика конструювання радіопередавальних пристроїв, коли вихідні або передвихідні каскади ГЗЗ використовуються для формування сигналів з амплітудною модуляцією [1].

При використанні ГЗЗ як АЕ які застосовується з метою перетворення енергії постійного струму в енергію радіоколиваний, у ГЗЗ застосовують електронні прилади: транзистори, лампи, тетроди, пентоди, лампи біжучої хвилі, клістри тощо. Такі прилади у передавачах звичайно піддаються збудженню струмом чина напругою гармонійної форми створюють на навантаження сигнал тієї ж форми.

Проведемо розрахунок схеми електричної принципової ГЗЗ, рис. 2.2 [1].

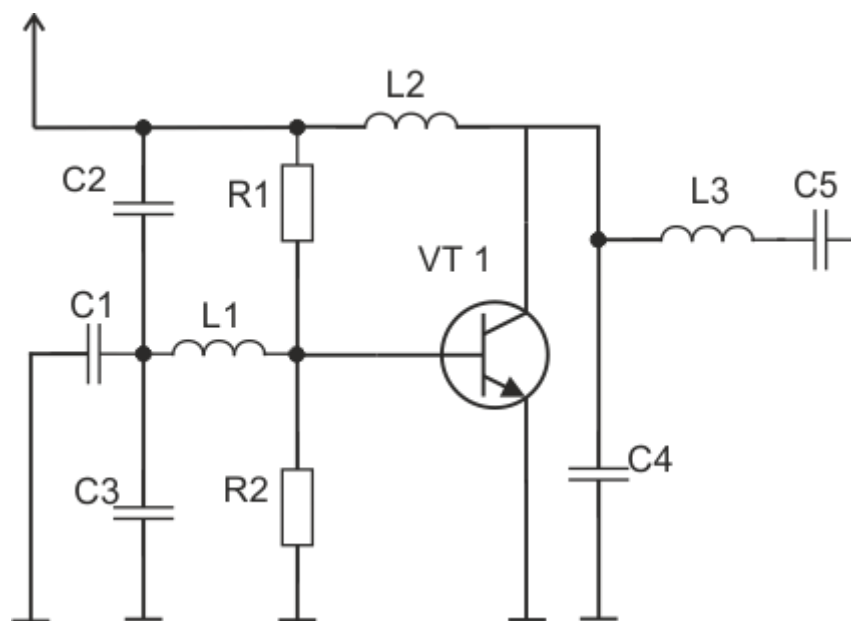


Рисунок 2.2 – Схема електрична принципова ГЗЗ

Знаходимо коефіцієнт використання транзистора за колекторною напругою в граничному режимі:

$$\xi = 0,5 \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \frac{16P_{\Gamma}}{S_{ГР} \cdot E_{\kappa}^2}} \right] \quad (2.1)$$

де $P_{\Gamma} = (0,75..0,9) \cdot P_1$ – вихідна потужність каскаду ГЗЗ (P_1 – потужність першої гармоніки в навантаженні каскаду) [1];

$S_{ГР} = \frac{15 \cdot P_1}{E_{\kappa}}$ – крутість характеристики транзистора (E_{κ} – напруга на колекторі АЕ).

$$P_{\Gamma} = 0,8 \cdot P_1 = 108 \text{ Вт.}$$

Виходячи з початкових даних оберемо транзистор КТ931А (його характеристики наведені в додатку А).

$$S_{ГР} = \frac{15 \cdot 135}{28} = 72,32 \text{ См}$$

Підставимо обраховані вище вирази в (2.1), тоді:

$$\xi = 0,5 \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \frac{16 \cdot 108}{72,32 \cdot 784}} \right] = 0,99$$

Амплітуда напруги еквівалентного генератора (ЕГ):

$$U_{\Gamma} = \xi \cdot E_{\kappa} \quad (2.2)$$

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

Амплітуда струму першої гармоніки ЕГ:

$$I_{\Gamma_1} = \frac{2P_{\Gamma}}{U_{\Gamma}} \quad (2.3)$$

$$I_{\Gamma_1} = \frac{2 \cdot 108}{27,72} = 7,79 \text{ А}$$

Перевіримо умову, чи не перевищує пікове значення напруги на колекторі транзистора допустиме:

$$U_{\kappa \text{ пік}} = E_{\kappa} + U_{\Gamma} < U_{\kappa \text{е доп}} \quad (2.4)$$

$$U_{\kappa \text{ пік}} = 28 + 27,72 < 60$$

З даного виразу можна переконатися, що умова виконується.

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

Визначимо амплітуду імпульсів першої гармоніки колекторного струму:

$$I_{\kappa_1} = y_1(\theta) \cdot i_{\kappa_{max}} \quad (2.14)$$

$$I_{\kappa_1} = 0.5 \cdot 12 = 6 \text{ A}$$

Визначимо постійний струм, який споживається колекторним колом транзистора:

$$I_{\kappa_0} = y_0(\theta) \cdot i_{\kappa_{max}} \quad (2.15)$$

$$I_{\kappa_0} = 0.32 \cdot 12 = 3.84 \text{ A}$$

Амплітуду імпульсів першої гармоніки колекторної напруги визначимо з наступного виразу :

$$U_{\kappa_1} = \xi_{ГР} \cdot E_{жс} \quad (2.16)$$

$$U_{\kappa_1} = 0.99 \cdot 30 = 29.7 \text{ В}$$

Визначимо потужність першої гармоніки:

$$P_1 = \frac{I_{\kappa_1} \cdot U_{\kappa_1}}{2} \quad (2.17)$$

$$P_1 = \frac{6 \cdot 29.7}{2} = 89.1 \text{ Вт}$$

Визначаємо потужність, яка споживається від джерела живлення:

$$P_0 = I_{\kappa_0} \cdot E_{жс} \quad (2.18)$$

$$P_0 = 3.84 \cdot 30 = 115.2$$

Розраховуємо потужність яка розсіюється на активному елементі:

$$P_{роз} = P_0 - P_1 \quad (2.19)$$

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

$$P_{роз} = 115.2 - 89.1 = 26.1 \text{ Вт}$$

Визначаємо ККД ГЗЗ:

$$\eta = P_1/P_0 \quad (2.20)$$

$$\eta = \frac{89.1}{115.2} = 0.77$$

Розраховуємо амплітуду керуючого заряду:

$$Q_{K_1} = \frac{i_{k \max}}{\omega_{ГР} \cdot (1 - \cos\theta)} \quad (2.21)$$

$$Q_{K_1} = \frac{12}{1.5 \cdot 10^9} = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

де: ω_{K_1} – гранична частота роботи транзистора, θ – кут відсікання колекторного струму.

Розраховуємо вихідний опір транзистора ГЗЗ:

$$R_K = \frac{U_{K_1}}{I_{K_1}} \quad (2.22)$$

$$R_K = \frac{29.7}{6} = 4.95 \text{ Ом}$$

Визначаємо коефіцієнт, який показує, в скільки разів збільшується ємність транзистора за рахунок паразитної ємності колекторного переходу:

$$a = 1 + y_1(\theta) \cdot \omega_{ГР} \cdot C_K R_K \quad (2.23)$$

де: C_K – ємність колекторного переходу.

$$a = 1 + 0.5 \cdot 1.5 \cdot 10^9 \cdot 165 \cdot 10^{-12} \cdot 4.95 = 1.24$$

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

Визначаємо амплітуду першої гармоніки струму бази з урахуванням струму, через ємність C :

$$I_{\bar{6}} = \omega \cdot \theta_{K_1} \quad (2.24)$$

$$I_{\bar{6}} = 2 \cdot 3.14 \cdot 25 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 10^{-9} \cdot 1.24 = 1.56 \text{ A}$$

Розраховуємо опір коректуючого резистора, який підключається паралельно входу транзистора і слугує для симетрування імпульсів колекторного струму:

$$R_3 = \frac{1}{\omega_{\beta} \cdot C_e} \quad (2.25)$$

$$R_3 = \frac{1}{50 \cdot 10^6 \cdot 2800 \cdot 10^{-12}} = 7.14 \text{ Ом}$$

де ω_{β} – частота, на якій модуль коефіцієнта підсилення струму в динамічному режимі зменшується в $\sqrt{2}$ разів порівняно зі статичним режимом, коли ω_{β} знаходиться за формулою $\omega_{\beta} = \omega_{ГР}/B$, де B – середній коефіцієнт підсилення струму(15-30).

Визначаємо потужність, яка розсіюється на коректувальному опорі:

$$P'_{\text{вх}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{y_1(\pi - \theta) \cdot Q_{K_1}^2}{R_3 C_e^2} \quad (2.26)$$

$$P'_{\text{вх}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0.5 \cdot 64 \cdot 10^{-18}}{7.14 \cdot 784 \cdot 10^{-20}} = 0.29 \text{ Вт}$$

Розраховуємо вхідний опір транзистора ГЗЗ:

$$R_{\text{вх}} = \frac{\gamma_1(\theta) \cdot \omega_{ГР} \cdot L_e}{a} \quad (2.27)$$

де L_e – індуктивність емітерного виводу транзистора(додаток А).

										Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата						

$$R_{\text{вх}} = \frac{0.5 \cdot 1.5 \cdot 10^9 \cdot 0.29 \cdot 10^{-9}}{1.24} = 0.180 \text{ М}$$

Визначаємо потужність, обумовлену прямим походженням потужності в навантаження через L_e і пов'язану з $R_{\text{вх}}$:

$$P_{\text{вх}}'' = \frac{I_{61}^2 \cdot R_{\text{вх}}}{2} \quad (2.28)$$

$$P_{\text{вх}}'' = \frac{2.43 \cdot 0.18}{2} = 0.22 \text{ Вт}$$

Визначаємо коефіцієнт передачі підсилювача за потужністю:

$$K_p = \frac{P_1 + P_{\text{вх}}''}{P_{\text{вх}}} \quad (2.29)$$

$$K_p = \frac{135 + 0.22}{0.29} = 466.28$$

Розраховуємо вхідну індуктивність підсилювача:

$$L_{\text{вх}} = \frac{L_6 + L_e}{a} \quad (2.30)$$

$$L_{\text{вх}} = \frac{(1.47 + 0.29) \cdot 10^{-9}}{1.24} = 1.4 \cdot 10^{-9} \text{ Гн}$$

де L_6 – індуктивність базового виводу транзистора (додаток Д).

Визначаємо вхідну ємність підсилювача:

$$C_{\text{вх}} = \frac{a \cdot C_e}{\gamma_1 (\pi - \theta)} \quad (2.31)$$

$$C_{\text{вх}} = \frac{1.24 \cdot 2800 \cdot 10^{-12}}{0.5} = 6944 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

Знаходимо усереднений, за період коливань, опір корекції $R_{\text{пар}}$:

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

$$R_{\text{пар}} = R_3 y_1 (\pi - \theta) \quad (2.32)$$

$$R_{\text{пар}} = 7.14 \cdot 0.5 = 3.57 \text{ Ом}$$

2.3 Електричний розрахунок передвхідного каскаду генератора зовнішнього збудження

Знаходимо коефіцієнт використання транзистора за колекторною напругою в граничному режимі за формулою (2.1) [1]

$$P_{\Gamma} = 0.8 \cdot 15.63 = 12.504 \text{ Вт}$$

$$S_{\Gamma P} = \frac{15 \cdot 15.63}{30} = 7.82 \text{ А/В}$$

$$\xi = 0.5 \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \frac{16 \cdot 12.504}{7.82 \cdot 900}} \right] = 0.99$$

Амплітуда напруги еквівалентного генератора за формулою (2.2)

$$U_{\Gamma} = 0.99 \cdot 30 = 29.78 \text{ В}$$

Амплітуду струму першої гармоніки ЕГ знаходимо із формули (2.3)

$$I_{\Gamma_1} = \frac{2 \cdot 12.504}{29.78} = 0.84$$

Перевіримо умову, чи не перевищує пікове значення напруги на колекторі транзистора допустиме:

$$U_{\text{к пік}} = 30 + 29.78 < 60$$

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

З даного виразу можна переконатися, що умова виконується.

Визначимо опір навантаження ЕГ за допомогою виразу (2.5)

$$R_n = \frac{29.78}{0.84} = 35.5$$

Визначимо крутість транзистора за переходом, $t_p = 150$ градусів Цельсія.

$$S_p = \frac{42.5 \cdot 0.84}{1 + 3,66 \cdot 10^{-3} \cdot 150} = 23.05$$

Розрахуємо опір рекомбінації неосновних носіїв у базі:

Оберемо $h_{21} = 15$. Тоді за виразом (2.7)

$$r_\beta = \frac{15}{23.05} = 0.65 \text{ Ом}$$

Крутість статичної характеристики визначимо за допомогою формули (3.8):

$$S = \frac{15}{2 + 0.65} = 5.66 \text{ А/В}$$

Виберемо кут відсікання імпульсу струму АЕ $\theta = 90^\circ$ відповідно до [1]

Коефіцієнти розкладання для нульової і першої гармоніки складових знаходимо за допомогою формули (3,9), тоді:

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= (\sin \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} \cdot \cos \frac{\pi}{2}) / \pi = 0.32 \\ y_1 &= (\frac{\pi}{2} - \sin \frac{\pi}{2} \cdot \cos \frac{\pi}{2}) / \pi = 0.5 \end{aligned} \right\}$$

Перевіряємо умову, чи не перевищує пікова зворотна напруга на емітерному переході допустиму.

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

$$u_{\text{еб} \text{ н} \text{ік}} = \left| 0.7 - \frac{1.69 \cdot (1 + \cos \frac{\pi}{2})}{2\pi \cdot 1500 \cdot 10^6 \cdot 400 \cdot 10^{-12} \cdot 0.5} \right| > 4$$

$$u_{\text{еб} \text{ н} \text{ік}} = |0.7 - 4.13| = 3.43 < 4$$

Умова виконується, продовжуємо розрахунок далі.

Знайдемо амплітуду імпульсів колектора струму, користуючись виразом (2.11)

$$i_{\text{к} \text{ max}} = 0.8 \cdot 5 = 4 \text{ A}$$

Визначимо напругу джерела живлення, за допомогою формули (2.12):

$$E_{\text{жс}} = \frac{60}{2} = 30 \text{ В}$$

Визначимо напруженість граничного режиму роботи ГЗЗ:

$$\xi_{\text{ГР}} = 1 - \frac{4}{7.82 \cdot 30} = 0.98.$$

Визначимо амплітуду імпульсів першої гармоніки колекторного струму за формулою (2.14):

$$I_{\text{к}1} = 0.5 \cdot 4 = 2 \text{ A}$$

Визначимо постійний струм, який споживається колекторним колом транзистора, аналогічно до (2.15):

$$I_{\text{к}0} = 0.32 \cdot 4 = 1.28$$

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

Амплітуду імпульсів першої гармоніки колекторної напруги визначимо з виразу (2.16) :

$$U_{K_1} = 0.98 \cdot 30 = 29.4$$

Визначимо потужність першої гармоніки, користуючись виразом (2.17)

$$P_1 = \frac{2 \cdot 29.4}{2} = 29.4 \text{ Вт}$$

Визначаємо за формулою (2.18) потужність, яка споживається від джерела живлення:

$$P_0 = 1.28 \cdot 30 = 38.4 \text{ Вт}$$

Розраховуємо потужність яка розсіюється на активному елементі:

$$P_{роз} = 38.4 - 29.4 = 9 \text{ Вт}$$

Визначаємо ККД ГЗЗ відповідно до (2.20):

$$\eta = \frac{29.4}{38.4} = 0.76$$

Розраховуємо амплітуду керуючого заряду:

$$Q_{K_1} = \frac{4}{0.75 \cdot 10^9} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

Розраховуємо вихідний опір транзистора ГЗЗ аналогічно до (2.22):

$$R_K = \frac{29.4}{2} = 14.7 \text{ Ом}$$

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

Обрахуємо коефіцієнт, підставивши значення у формулу (2.23), який показує, в скільки разів збільшується ємність транзистора за рахунок паразитної ємності колекторного переходу:

$$a = 1 + 0.5 \cdot 0.75 \cdot 10^9 \cdot 50 \cdot 10^{-12} \cdot 14.7 = 1.27$$

Визначаємо амплітуду першої гармоніки струму бази з урахуванням струму, через ємність С:

$$I_6 = 2 \cdot 3.14 \cdot 25 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 1.27 = 0.99$$

Розраховуємо опір коректуючого резистора, який підключається паралельно входу транзистора і слугує для симетрування імпульсів колекторного струму:

$$R_3 = \frac{1}{0.05 \cdot 10^9 \cdot 400 \cdot 10^{-12}} = 50$$

Визначаємо потужність, яка розсіюється на коректувальному опорі за виразом (2.26):

$$P'_{\text{вх}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0.5 \cdot 64 \cdot 10^{-18}}{7.14 \cdot 784 \cdot 10^{-20}} = 0.29 \text{ Вт}$$

Обрахуємо, відповідно до виразу (2.27) вхідний опір транзистора ГЗЗ:

$$R_{\text{вх}} = \frac{0.5 \cdot 1.5 \cdot 10^9 \cdot 0.29 \cdot 10^{-9}}{1.24} = 0.18 \text{ Ом}$$

Визначаємо потужність, обумовлену прямим походженням потужності в навантаження через L_e і пов'язану з $R_{\text{вх}}$:

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

$$P_{\text{вх}}'' = \frac{2.43 \cdot 0.18}{2} = 0.22 \text{Вт}$$

Визначаємо коефіцієнт передачі підсилювача за потужністю відповідно до формули (2.29):

$$K_p = \frac{135 + 0.22}{0.29} = 466.28$$

Розраховуємо вхідну індуктивність підсилювача:

$$L_{\text{вх}} = \frac{(1.47 + 0.29) \cdot 10^{-9}}{1.24} = 1.4 \cdot 10^{-9} \text{Гн}$$

Визначаємо вхідну ємність підсилювача, користуючись виразом (2.31):

$$C_{\text{вх}} = \frac{1.27 \cdot 400 \cdot 10^{-12}}{0.5} = 1016 \cdot 10^{-12} \text{Ф}$$

Знаходимо усереднений, за період коливань, опір корекції $R_{\text{пар}}$:

$$R_{\text{пар}} = 7.14 \cdot 0.5 = 3.57 \text{Ом}$$

2.4 Розрахунок кіл живлення ГЗЗ

Проведемо вибір схеми кола живлення, яке містить джерело постійної напруги і блокувальні елементи. Завдяки блокувальним елементам виключаються втрати високочастотної потужності в джерелі живлення і усувається небажаний зв'язок між каскадами через джерело живлення.

Як схему живлення виберемо паралельну схему [1-3] (рисунок 2.3), коли джерело живлення, активний елемент і вихідне коло включені паралельно.

Ємність $C_{\text{бл}}$ з індуктивністю $L_{\text{бл}}$ і ємність C_p утворюють коливальний контур, який є на частоті меншої робочої частоти підсилювача, що може

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

привести до збудження коливань. Щоб виключити їх застосовують антипаразитний резистор $R_{ап}$ і проектують кола живлення як фільтр низьких частот, рис. 2.3.

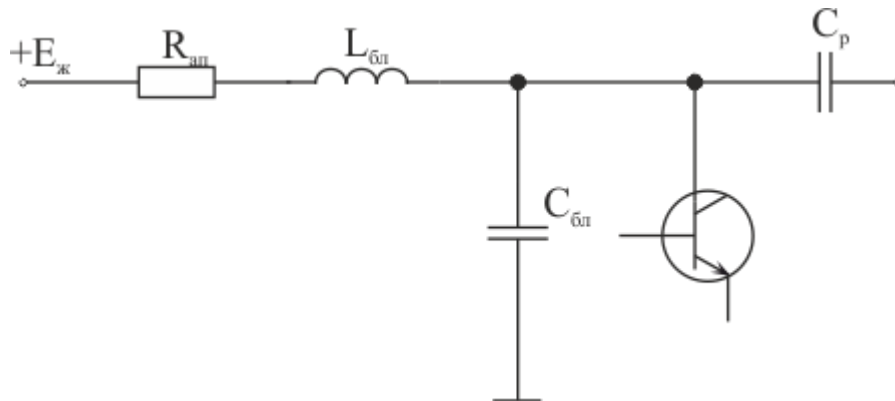


Рисунок 2.3 – Схема живлення активного елемента генератора зовнішнього збудження

Визначаємо блокувальну індуктивність з умови:

$$\omega_{min} \cdot L_{бл} \gg R_{к} \quad (2.33)$$

$$L_{бл} \gg \frac{R_{к}}{\omega_{min}} \quad (2.34)$$

$$L_{бл} \gg \frac{4.95}{2 \cdot 3.14 \cdot 25 \cdot 10^6} = 3.5 \cdot 10^{-9} \text{ Гн}$$

Опір паразитного резистора визначимо з умови:

$$R_{ап} \ll 0.1 \cdot R_{к} \quad (2.35)$$

$$R_{ап} \ll 0.495 \text{ Ом}$$

Визначаємо ємності блокувального і розділового конденсатора:

$$C_{бл} = C_p = \frac{L_{бл}}{2R_{ап}} \quad (2.36)$$

$$C_{бл} = C_p = \frac{3.5 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 0.495} = 0.354 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$$

2.5 Розрахунок кола зсуву ГЗЗ

Напруга зсуву біполярного транзистора в оптимальному режимі залежить від вхідної напруги, а отже від вхідної потужності. Забезпечення необхідної напруги зсуву за допомогою фіксованого зсуву не є доцільним, оскільки зміна вхідної потужності призведе до відхилення режиму роботи транзистора за постійним струмом від оптимального. Для стабілізації режиму роботи транзистора застосовують комбінований зсув, при цьому до бази транзистора необхідно підвести постійну напругу відсікання $U_{\text{від}}$ і забезпечити автозсув [1]:

$$U_{\text{авт}} = \frac{y_0(\pi - \theta) \cdot Q_{K1}}{C_e}$$
$$U_{\text{авт}} = \frac{0.5 \cdot 8 \cdot 10^{-9}}{2800 \cdot 10^{-12}} = 1.43$$

Розрахуємо необхідний опір автозсуву і елементів схеми зсуву:

$$R_{\text{зм}} = \frac{y_0(\pi - \theta) \cdot \tau_{\beta}}{y_0(\theta) \cdot C_e} \quad (2.37)$$

$$R_{\text{зм}} = \frac{0.5 \cdot 0.02 \cdot 10^{-6}}{0.5 \cdot 2800 \cdot 10^{-12}} = 7.14 \text{ Ом}$$

де $\tau_{\beta} = \frac{1}{\omega_{\beta}}$ – стала часу на частоті ω_{β} (частота, на якій модуль коефіцієнта посилення струму в динамічному режимі зменшується в $\sqrt{2}$ разів порівняно із статичним режимом; ω_{β} знаходиться за формулою $\omega_{\beta} = \frac{\omega_{\text{гр}}}{B}$, де B – середній коефіцієнт посилення за струмом)

Умови застосування схеми зсуву(рисунок 2.4):

$$\frac{E_{\text{ж}} \cdot R2}{R1 + R2} = U_{\text{від}} \quad (2.38)$$

$$\frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} = R_{\text{зм}} \quad (2.39)$$

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

$$R1 = \frac{R_{3M} \cdot E_{ж}}{U_{вiд}} \quad (2.40)$$

$$R1 = \frac{7.14 \cdot 30}{0.7} = 306.12$$

$$R2 = \frac{R1 \cdot U_{3M}}{E_{ж} - U_{вiд}} \quad (2.41)$$

$$R2 = \frac{306.12 \cdot 29.9}{30 - 0.7} = 312.39$$

$$U_{3M} = E_{ж} - \frac{I_{K1}}{\beta_0 \cdot R_{3M}} \quad (2.42)$$

$$U_{3M} = 30 - \frac{3.84}{10 \cdot 7.14} = 29.9$$

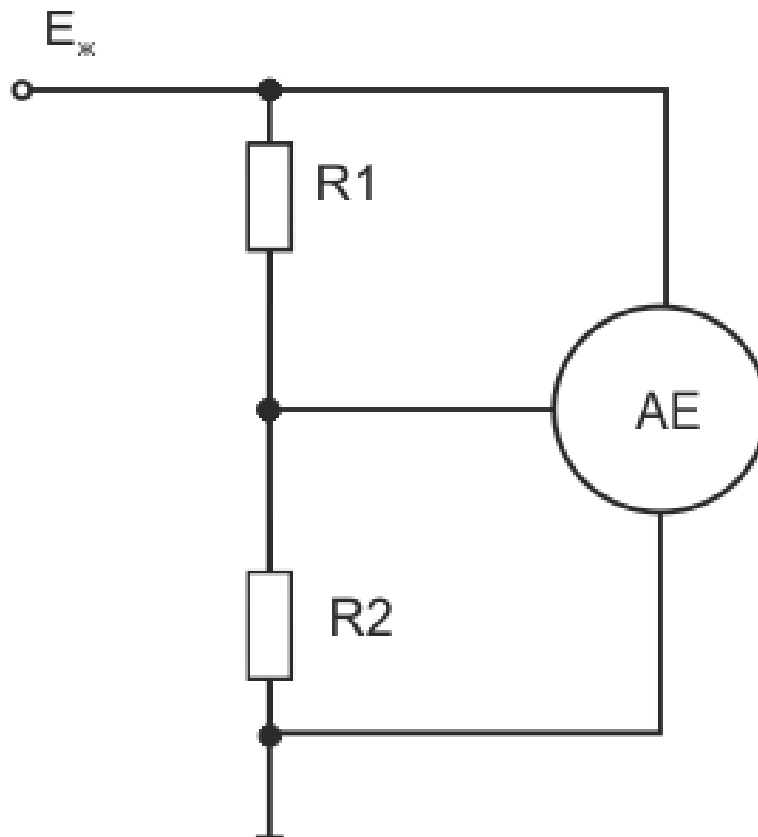


Рисунок 2.4 – Схема кола зсуву АЕ

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

КПТР. 2017021.01.03.ПЗ

Арк.

2.7 Електричний розрахунок системи навантаження

Заданою величиною хвильового опору з умови:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_0 = 250 \dots 500 \text{ Ом}$$

Індуктивність контуру:

$$L_0 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (2.43)$$
$$L_0 = \frac{300}{2 \cdot 3.14 \cdot 35 \cdot 10^6} = 1.36 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

Номинали L , L_0 , C_0 знайдемо зі співвідношень:

$$2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_0 - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_0}$$

Величиною L необхідно задатися відповідно до формули:

$$L > \frac{\sqrt{R_K \cdot R_H}}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (2.44)$$
$$L > \frac{\sqrt{4.95 \cdot 50}}{2 \cdot 3.14 \cdot 35 \cdot 10^6} = 0.5 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

Визначаємо ємність C_0 :

$$C_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot (L_0 \cdot L)} \quad (2.45)$$
$$C_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot (35 \cdot 10^6) \cdot (1.36 - 0.5) \cdot 10^{-6}} = 15.8 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

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

Визначаємо номінальні значення елементів, які входять у контур (C_0 , C_1 , C_2). Враховуємо вихідну ємність транзистора C_K та визначаємо ємність C_1

$$\text{як } C_1^* = C_1 - C_K.$$

Розрахуємо контурну котушку наступним чином:

1. Задамо відношення довжини намотування котушки l до діаметра намотування:

$$v = \frac{l}{D} = 0.5 \dots 2 \quad (2.51)$$

Оберемо $v=2$.

Визначимо площу поперечного перетину котушки $S = l \cdot D$ за формулою:

$$S = l \cdot D = \frac{P_1 \cdot \eta_K}{K_S} \quad (2.52)$$

де, $K_S = 0,1 \dots 1$ – питома теплове навантаження на 1 см^2 перетину котушки, Вт/см^2 .

$$S = \frac{89.1 \cdot 0.94}{1} = 83.75$$

Визначимо довжину l і діаметр D котушки, см [1]:

$$l = \sqrt{v \cdot S} \quad (2.53)$$

$$l = \sqrt{2 \cdot 83.75} = 12.94 \text{ см}$$

$$D = \sqrt{S/v} \quad (2.54)$$

$$D = \sqrt{83.75/2} = 6.4 \text{ см}$$

Розрахуємо число витків контурної котушки:

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

$$N = 10 \cdot \sqrt{\frac{L_0 \cdot (\nu + 0.44)}{D}} \quad (2.55)$$

$$N = 10 \cdot \sqrt{\frac{1.36 \cdot (2 + 0.44)}{6.4}} = 7$$

Визначимо діаметр проводу котушки d , мм:

$$I_K = U_{K_1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_1 \quad (2.56)$$

$$I_K = 29.7 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot 951.05 \cdot 10^{-12} = 6.2 \text{ A}$$

$$d \geq 0.18 \cdot I_K \cdot \sqrt[4]{f}$$

$$d \geq 0.18 \cdot 6.2 \cdot \sqrt[4]{35} = 2.7 \text{ мм}$$

де U_{K_1} – амплітуда імпульсів колекторної напруги, I_K – амплітуда колекторного струму в амперах, f – робоча частота, МГц.

Знайдемо власний опір втрат контурної котушки на робочій частоті:

$$r_0 = \frac{0.525 \cdot D \cdot N \cdot \sqrt{f}}{d} \cdot 10^{-3} \quad (2.57)$$

де f – робоча частота, МГц ; d – діаметр проводу в мм ; D – діаметр котушки.

$$r_0 = \frac{0.525 \cdot 6.4 \cdot 7 \cdot \sqrt{35}}{2.7} \cdot 10^{-3} = 51.5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

Визначимо ККД контуру:

$$\eta_K = \frac{r_{BH}}{r_0 + r_{BH}} \quad (2.58)$$

$$\eta_K = \frac{16.2}{51.5 \cdot 10^{-3} + 16.2} = 0.99$$

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

ВИСНОВОК

В другому розділі кваліфікаційного проєкту розраховано структурну схему проєктованого радіопередавача. За результатами розрахунку, для забезпечення заданої згідно ТЗ потужності у антенно-фідерному тракті, схема містить п'ять каскадів генераторів зовнішнього збудження. Обрано активні елементи для каскадів генераторів зовнішнього збудження в режимі підсилення потужності. Проведено електричний розрахунок вихідного та передвихідного каскаду генератора зовнішнього збудження. Розраховано елементи кола узгодження та системи навантаження.

					КІТР. 2017021.01.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРАХУНОК СИНТЕЗАТОРА СІТКИ ЧАСТОТ

3.1 Опис синтезатора сітки частот

Згідно до вимог технічного завдання на кваліфікаційний проєкт у проєктованому радіопередавальному пристрої потрібно реалізувати синтез сітки частот методом прямого цифрового синтезу.

Прямий цифровий синтез (DDS) - це метод створення аналогового гармонійного сигналу (синусоїдального сигналу) із використанням генерації змінного в часі сигналу у цифровій формі з подальшим виконанням процесу цифро-аналогового перетворення. Однак, так як всі операції у DDS мають цифрову природу, виникає можливість швидкого перемикавання між вихідними частотами, висока розрізнявальна здатність за частотою і забезпечується робота в широкому діапазоні частот. Потрібно відмітити і те, що сучасні технологічні можливості дозволяють реалізовувати такі синтезатори компактними і з низьким енергоспоживанням [14].

На рис. 3.1 представлено внутрішню будову синтезатора.

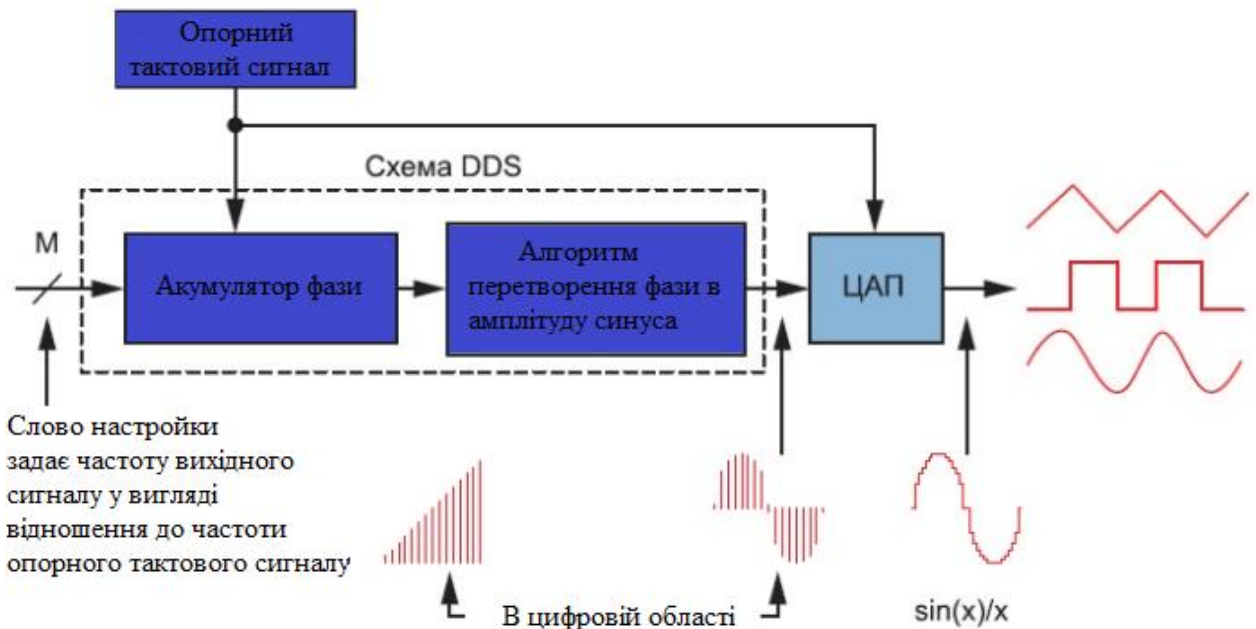
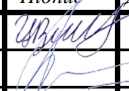
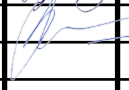


Рисунок 3.1 – Внутрішня побудова синтезатора

					КПРТ.050901.016 ПЗ		
Зм	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Цімар В.О.			Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Бойко Ю.М.					
Н.контр.					ХНУ, ТР-17-1		
Затвердив					Проєктування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот Розрахунок синтезатора сітки частот Пояснювальна записка		

Ця синусоїда може бути використана безпосередньо як джерело частоти.

Інноваційно – висока швидкість ядра мікросхеми AD9850 забезпечує 32-розрядне слово настройки частоти, що призводить до значення вихідної частоти, що рівне 0,0291 Гц для базової вхідної частоті 125 МГц.

Виконаємо розрахунок синтезатора сітки частот.

Використовуємо у збуднику радіопередавача непрямий аналоговий метод синтезу сітки частот. У відповідності до на кваліфікаційний проєкт тип випромінювання – А2 (випромінюється повна несуча і дві бічних смуги). Отже, до структури збудника повинен входити тональний модулятор. Оберемо частоту тону 750-800 Гц. Маніпуляція здійснюється цифровим потоком (телеграфним сигналом) зі швидкістю 300 бод.

Розрахуємо ширину спектру одного каналу в сітці частот на виході РПП. Ширина спектру розраховується з умови пропускання двох – трьох гармонік, помножено на швидкість маніпуляції [1].

$$f_{AT} = (2 \dots 3) \cdot B \quad (3.1)$$

$$f_{AT} = 3 \cdot 300 = 900 \text{ Гц}$$

За умовою завдання на кваліфікаційний проєкт не задані вимоги щодо щільності розташування каналів. Тому захисний інтервал між каналами оберемо такий який дорівнює ширині одного каналу.

Розрахуємо ширину спектру одного каналу на виході РПП із врахуванням захисного інтервалу:

$$\Delta f_K = f_{AT} + f_3 \quad (3.2)$$

$$\Delta f_K = 900 + 900 = 1800 \text{ Гц}$$

Розрахуємо коефіцієнт поділу з формули :

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

$$f_{out} = M \cdot \frac{f_{CLK}}{2^N} \quad (3.3)$$

де: f_{out} – значення вихідної частоти;

f_{CLK} – тактова частота; $N = 32$ – розрядність акумулятора фази;

M – коефіцієнт поділу.

Виконавши математичні перетворення отримаємо вираз для знаходження коефіцієнта поділу:

$$M = \frac{f_{out} \cdot 2^N}{f_{CLK}} \quad (3.4)$$

Знайдемо частоту кожного каналу:

$$f_{out1} = 25 \cdot 10^6 + 0,0018 \cdot 10^6 = 25,0018 \text{ МГц}$$

$$f_{out2} = 25,0018 \cdot 10^6 + 0,0018 \cdot 10^6 = 25,0036 \text{ МГц}$$

$$f_{out3} = 25,0054 \text{ МГц}; f_{out4} = 25,0072 \text{ МГц}; f_{out5} = 25,009 \text{ МГц};$$

$$f_{out6} = 25,0108 \text{ МГц}; f_{out7} = 25,0126 \text{ МГц}; f_{out8} = 25,0144 \text{ МГц};$$

$$f_{out9} = 25,0162 \text{ МГц}; f_{out10} = 25,018 \text{ МГц}$$

Далі виконаємо розрахунки для коефіцієнта поділу:

$$M1 = \frac{25,0018 \cdot 10^6 \cdot 4.3 \cdot 10^9}{125 \cdot 10^6} = 859055306$$

$$M2 = \frac{25,0036 \cdot 10^6 \cdot 4.3 \cdot 10^9}{125 \cdot 10^6} = 859117154$$

$$M3 = \frac{25,0054 \cdot 10^6 \cdot 4.3 \cdot 10^9}{125 \cdot 10^6} = 859179001$$

					КІТР. 2017021.01.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

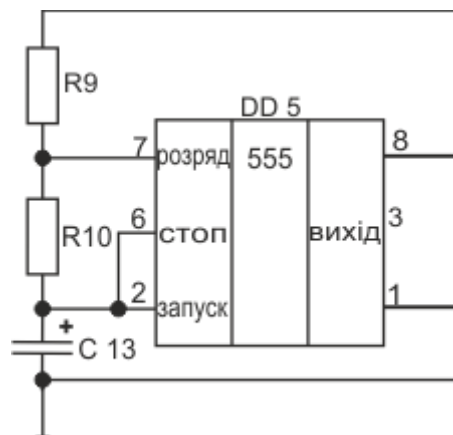


Рисунок 3.10 – Схема генератора імпульсів ICL8038

Генератор ICL8038 сигналу є монолітна інтегральна схема, здатна виробляти високу синус точність, квадратні, трикутні, пилкоподібні і імпульсних сигналів з мінімумом зовнішніх компонентів. Частота (або частота повторення) можуть бути обрані від 0,001 Гц до більш ніж 300 кГц з використанням або резисторів або конденсаторів. ICL8038 виготовлений з використанням новітньої монолітної технології з використанням діодів Шоттки і тонкоплівкових резисторів.

Оберемо в якості ключа-маніпулятора МАХ4715.

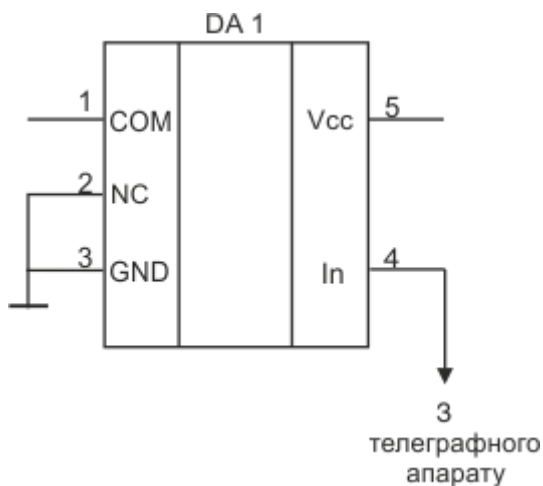


Рисунок 3.11–Схема ключа-маніпулятора МАХ4715

Тип генератора - ХО

Кількість виходів - 1

Діапазон доступних частот – 100 МГц

Типові вихідні частоти - 100 МГц

Діапазон напруг живлення – 5В

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

3.4 Вибір та опис мікроконтролера

Оберемо мікроконтролер ATMEGA 8.

Особливості:

- 8-розрядний високопродуктивний AVR мікроконтролер з малим споживанням
- Прогресивна RISC архітектура
- 130 високопродуктивних команд, більшість команд виконується за один тактовий цикл
- 32 8-розрядних робочих регістра загального призначення. Повністю статична робота, що наближається до 16 MIPS (при тактовій частоті 16 МГц) продуктивність
- Вбудований 2-циклової переможник
- Незалежна пам'ять програм і даних
- 8 кбайт внутрішньосистемний програмованої Flash пам'яті (In-System Self-Programmable Flash)
- Забезпечує 1000 циклів стирання/запису
- Додатковий сектор завантажувальних кодів з незалежними бітами блокування
- Програмовано блокування, що забезпечує захист програмних засобів користувача
- Вбудована периферія:
 - Два 8-розрядних таймера / лічильника з окремим попередніми дільником, один з режимом порівняння

Один 16-розрядний таймер / лічильник з окремим попередніми дільником і режимами захоплення і порівняння

8-канальний аналого-цифровий перетворювач

6 каналів з 10-розрядної точністю

2 каналу з 8-розрядної точністю

6-канальний аналого-цифровий перетворювач

4 канали з 10-розрядної точністю

2 каналу з 8-розрядної точністю

Програмований сторожовий таймер з окремим вбудованим генератором

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

Вбудований аналоговий компаратор

- Спеціальні мікроконтролерні функції:

Виводи I / O і корпусу

23 програмовані лінії введення / виводу

- Робочі напруги

4,5 - 5,5 В (АТmega8)

- Робоча частота

0 - 16 МГц (АТmega8)

Представимо схему мікроконтролера на рис. 3.12:

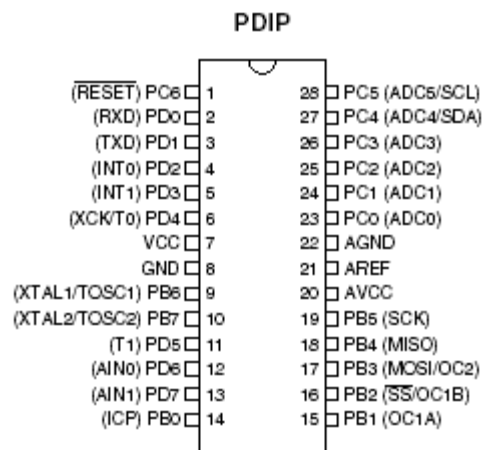


Рисунок 3.12 – Схема мікроконтролера АТmega8

ВИСНОВОК

В розділі кваліфікаційного проєкту проведено опис та вибір синтезатора сітки частот. В якості синтезатора обрано мікросхему DDS типу AD9850. До структури радіопередавального пристрою входять також ключ-маніпулятор на мікросхемі MAX4715, мікроконтролер ATMEGA 8, тональний модулятор на мікросхемі RF9908. Була розрахована сітка частот на виході синтезатора та визначено коефіцієнт поділу для заданої кількості каналів.

					КІТР. 2017021.01.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Отже, радіопередавальні пристрої призначені для генерування електромагнітних коливань високої чи надвисокої частоти і їх модуляції у відповідності до повідомлення, що передається. Темою кваліфікаційного проекту було проектування радіопередавального пристрою з амплітудною маніпуляцією.

Передача дискретної інформації методом амплітудної маніпуляції є історично першим способом радіозв'язку.

В ході виконання кваліфікаційного проекту обрано структурну схему радіопередавача та розраховано вихідний та передвихідний каскади передавача. Виконано розрахунок кола живлення та кола узгодження. Виконано електричний розрахунок системи навантаження та конструктивний розрахунок елементів системи навантаження. Обрано елементну базу та розраховано сітку частот, розраховано коефіцієнт поділу, при чому необхідно зауважити, що чим більша розрядність N , тим менший крок перестройки частоти. Тракт збудника виконана на мікросхемі цифрового синтезатора AD9850, в якості мікроконтролера обрано мікросхему ATMEGA 8.

					КІТР. 2017021.01.03.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: 13.06.2021)

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

3 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.

4 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.

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

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

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

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

9 Прямой цифровой синтез DDS в тестовом, измерительном и коммуникационном оборудовании. Мёрфи Ева, Слэттери Колм, Власенко Алексей [Електронний ресурс] // Режим доступа: http://kit-e.ru/articles/elcomp/2006_8_52.php (дата звернення: 13.06.2021)

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

10 Прямой цифровой синтез (DDS) и преобразование квадратурных сигналов в диапазон 800 - 2500 МГц с одной боковой полосой [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2005/kita/babashev/library/lib5.htm>. (дата звернення: 13.06.2021)

11 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: 13.06.2021)

12 A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis (Analog Devices) [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.ieee.li/pdf/essay/dds.pdf> (дата звернення: 13.06.2021)

13 Ридико Л. И. DDS: прямой цифровой синтез частоты / Л. И. Ридико // Компоненты и технологии. - №8. – 2001. – с. 50-55 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/dds-pryamoy-tsifrovoy-sintez-chastoty/viewer> <http://www.leoniv.diod.club/articles/pdf/dds.pdf> (дата звернення: 13.06.2021)

14 ЭЛИКС, 1998-2021 Прямой цифровой синтез (DDS) [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.eliks.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=8880 (дата звернення: 13.06.2021)

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

16 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.

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

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

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

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

20 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.

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

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



23 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.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Параметри високочастотних транзисторів

Тип транзистора		2Т606А	2Т971А	2Т920А	2Т903А
Параметри ідеалізованих статичних характеристик	$r_{нас}, Ом$	5.0	(0.15)	(2.0-4.0)	1.2(2.5-5)
	$r'_{б}, Ом$	6	-	-	2
	$r_e, Ом$	-	-	-	-
	$R_{y e}, кОм$	>40	>0.12	>16	>0.08
	V_0	20-40	-	10-100	15-70
Високочастотні параметри	$f_{Гц}, МГц$	>350	220-570	400-900	>120
	$C_k, пФ$	<10	200-330	8-15	50-180
	$C_{e, пФ}$	<27	-	36-55	400
	$\tau_k, пс$	10	13-40	5-20	-
	$L_e, нГн$	4.0	0.18	1.7	20
	$L_b, нГн$	4.0	0.56	2.9	20
	$L_k, нГн$	4.00	0.1	2.4	5
Допустимі параметри	$U_{кб доп}, В$	-	-	-	60
	$U_{ке доп}, В$	605	50	36	60
	$U_{бе доп}, В$	4	4	4	4
	$I_{к0}, А$	0.4(0.8)	17	0.5	3(10)
	$I_{б0}, А$	0.1	-	0.25	-
	$ДРЧ, МГц$	>100	50-200	50-200	-
Теплові параметри	$t_{п доп}, ^\circ C$	150	160	150	150
	$R_{пк}, ^\circ C/Вт$	44	0.6	20	3.33
Експериментальні параметри	$f, МГц$	400	175	175	50
	$P_{вих}, Вт$	>0.8	>150	>2	>10
	$K_p, разів$	>2.5	3-9	7-35	>2
	$\eta_{кол}, \%$	>35	55-84	>60	-
	$E_k, В$	28	28	12.6	30
Схема включення		3Е	3Е	3Е	3Е
Режим роботи		Клас В	Клас В	Клас В	Клас В

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
<u>Конденсатори</u>			
C37	K10-42, 15.8 пФ 50 В, E24, ±20%	1	
C38	K73-17, 0.9 нФ, 63 В, E6, ±20%	1	
C38	K73-17, 0.1 нФ, 63 В, E6, ±20%	1	
C25, C32,C14	K10-42, 15 пФ 50 В, E24, ±20%	3	
C29	K10-42, 30 пФ 50 В, E24, ±20%	1	
C4,C5	K10-47; 0,1 мкФ, 250В; H30; E12; ±10	2	
C12	K53-14A, 0,01 мкФ, 50 В, E6, ±10%	1	
C18,C21, C26,C27	K10-42, 100 пФ 50 В, E24, ±20%, M47	4	
<u>Мікросхеми</u>			
DD2	ATMEGA 8	1	
DD3	KXO – 400	1	
DD4	ICL8038	1	
DD5	AD9850	1	
DD6	RF9908	1	
DA1	MAX4715	1	
HG1	ITM1601	1	
<u>Котушки індуктивності</u>			
L10,L11	1 мкГн	2	
L15	1.36 мкГн	1	
<u>Резистори</u>			
R13,R14	МЛТ-0,125 2,2 кОм, E24, ±20%	2	
R15,R29	МЛТ-0,125, 100 Ом, E24, ±20%	2	
R26	МЛТ-0,125 200 Ом, E24, ±20%	1	
<u>Транзистори</u>			
VT1	2Т606А	1	
VT2	2Т920А	1	
VT3	2Т903А	1	
VT4	2Т971А	1	
КІТР. 2017021.01.03.ПЕЗ			
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис Дата
Розроб.	Цімар В.О.		
Перев.	Бойко Ю.М.		
Н.контр			
Затв.	.		
Проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот Перелік елементів		Лім.	Аркуш Аркушів
			1 2
		ХНУ, гр. ТР-17-1	

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

**Проєктування
радіопередавального пристрою з
цифровим синтезатором сітки
частот**

ЦІМАР ВАЛЕРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Кафедра телекомунікацій та радіотехніки, гр. ТР-17-1
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Спеціальність: 172 – «Телекомунікації та радіотехніка»

Керівник роботи: д.т.н.,
професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки
Бойко Ю.М.



- 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, мікроконтролера, схеми маніпуляції (формування сигналів), розрахунок кіл узгодження, розрахувати сітку частот;
- 5) Розробити схему електричну-структурну та електричну принципову радіопередавального пристрою.

- вихідна потужність – 135 Вт
- діапазон робочих частот – 25-30 МГц
- кількість каналів – 10
- метод синтезу сітки частот – DDS (прямий цифровий синтез сітки частот)
- тип модуляції – амплітудна телеграфія (вид випромінювання A2)
- відносна нестабільність частоти -10^{-6}
- опір антени – 75 Ом
- робоча температура – 0..40 гр. за Цельсієм

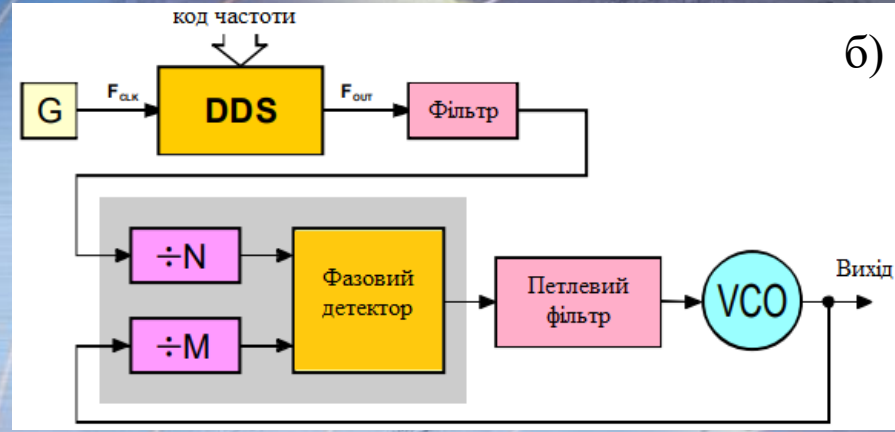
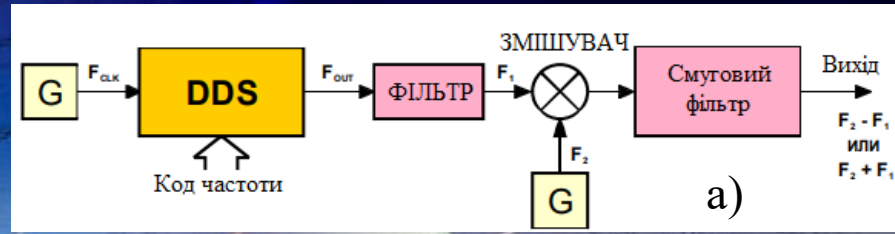
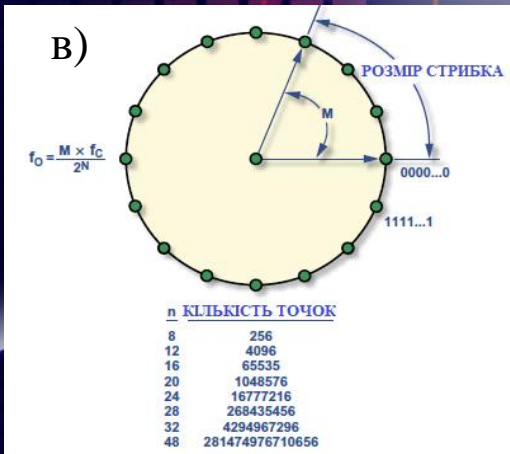
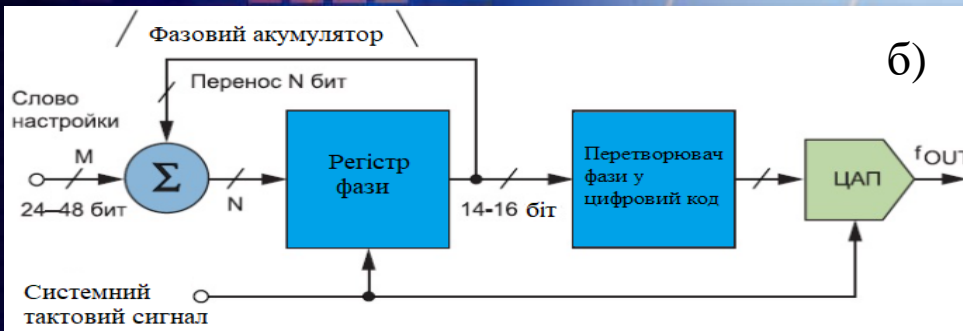
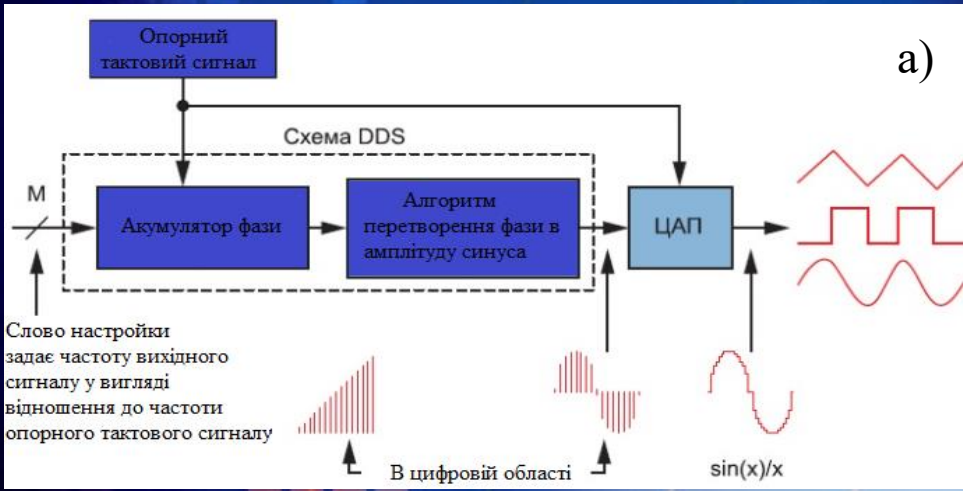
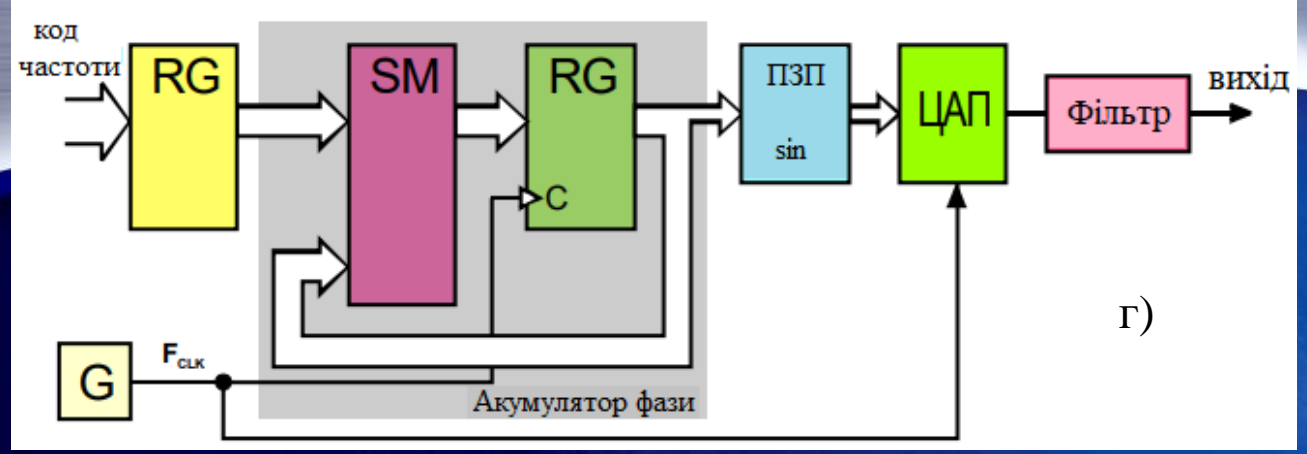


Рисунок 7 – Можливі напрямки використання DDS

Рисунок 6 – Схеми до пояснення принципів функціонування DDS



Г)

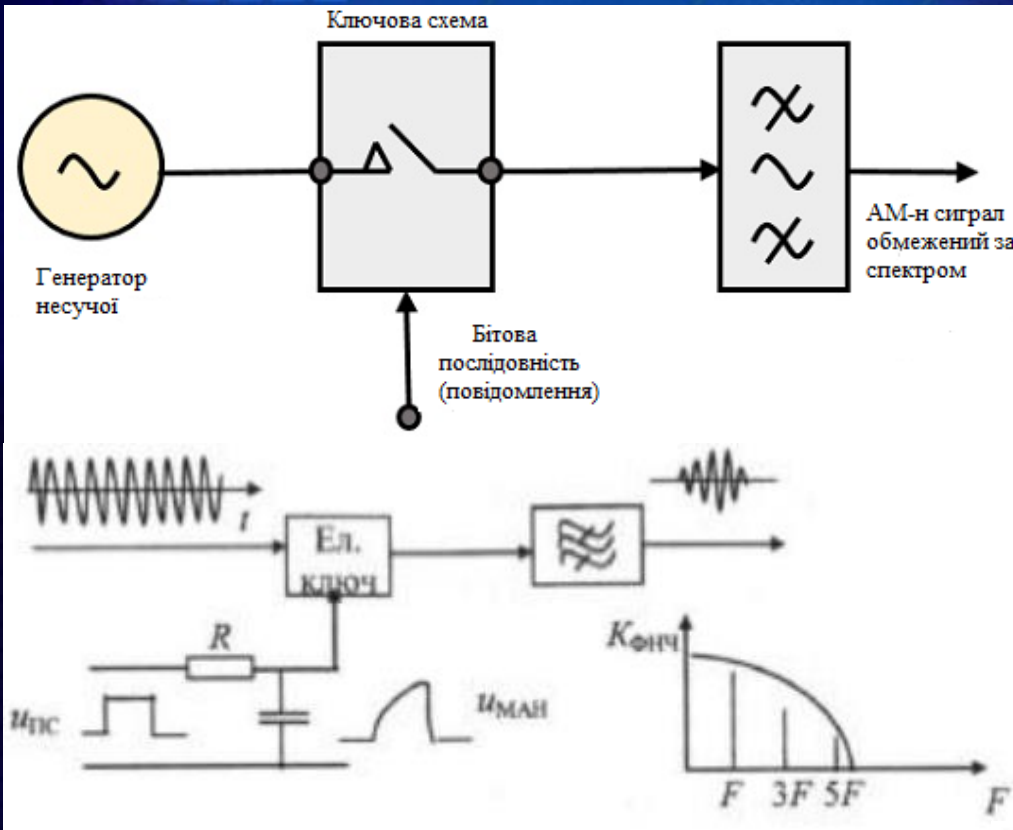


Рисунок 2 – Схеми формування АМ-н

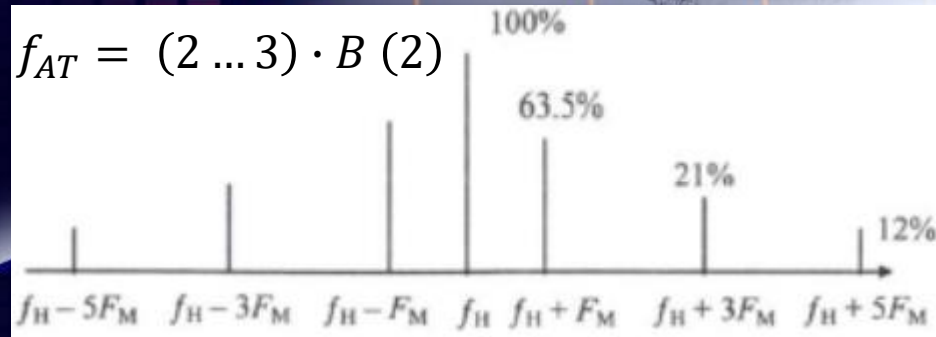


Рисунок 4 – Розподіл енергії у спектрі АМ-н

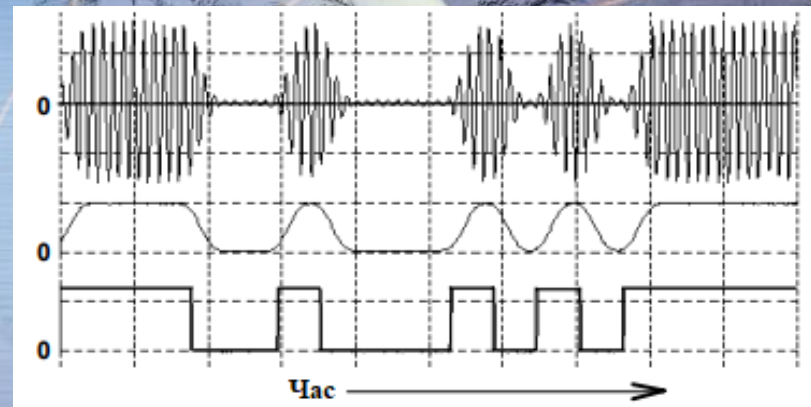
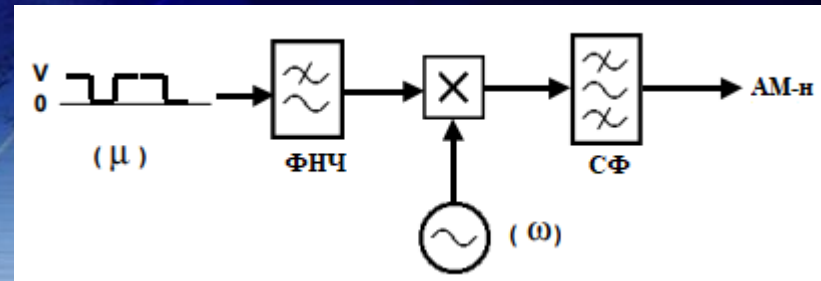


Рисунок 3 – Схема формування АМ-н та осцилограми щодо пояснення принципів формування

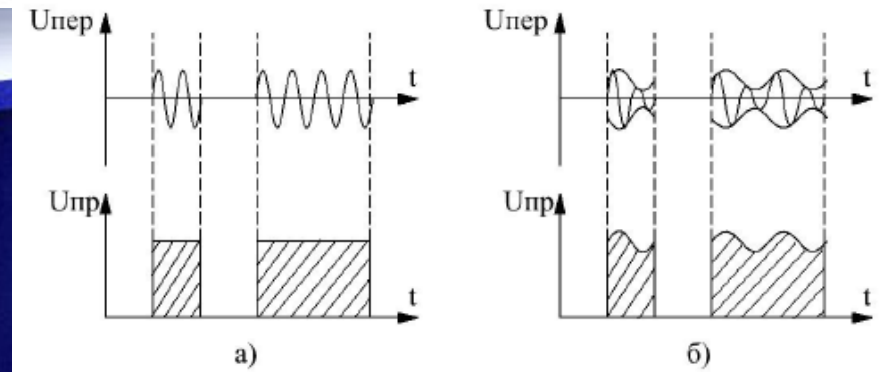
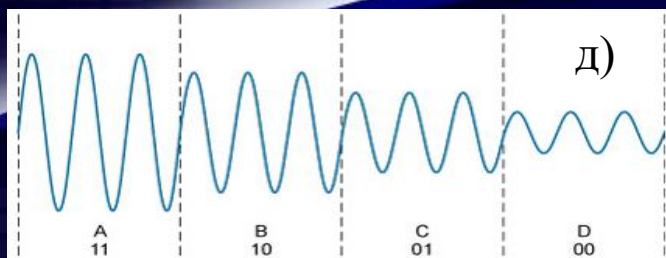
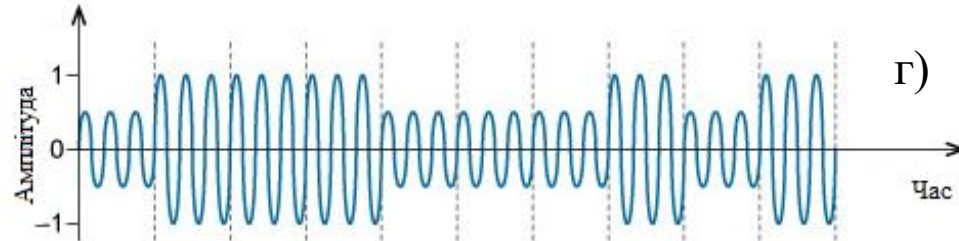
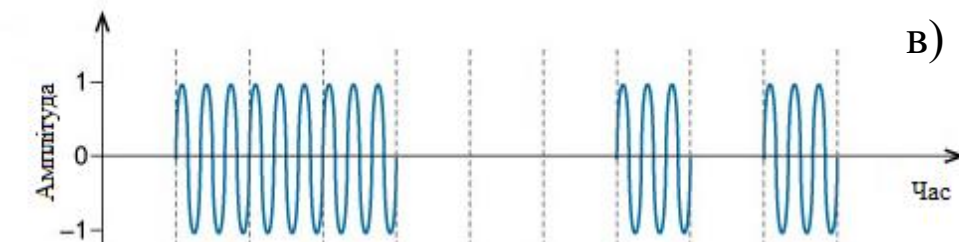
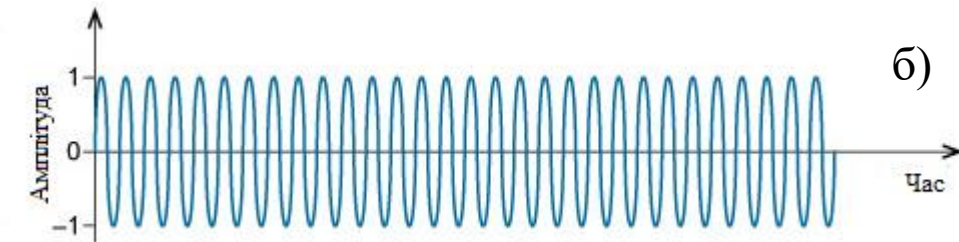
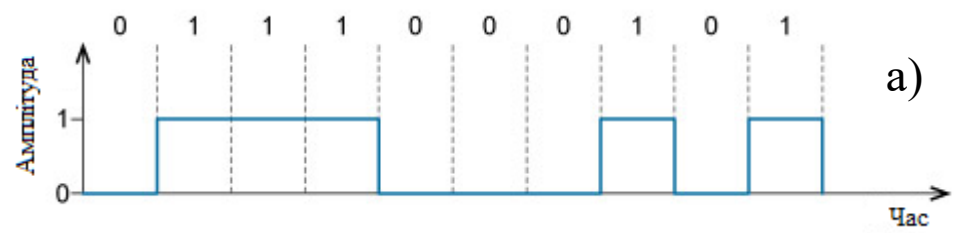


Рисунок 5 – Формування сигналів типу А1А та А2А

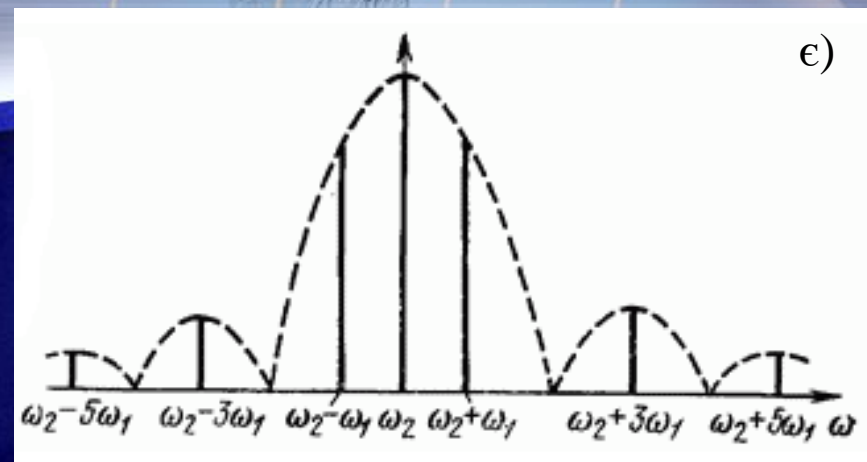
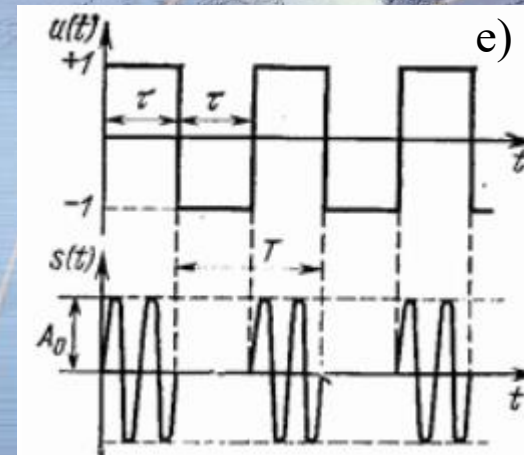
Рисунок 1 – Осцилограми та спектр щодо пояснення формування сигналів АМ-н

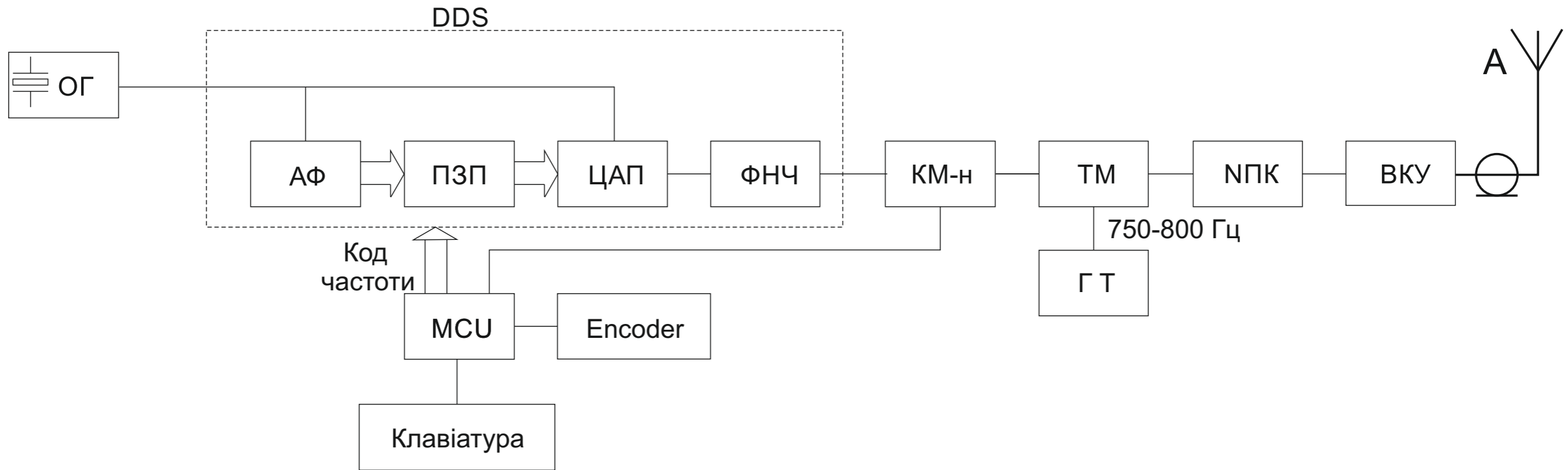


$$s(t) = A_0 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \sin k\omega_1 t \right) \sin(\omega_2 + \varphi_0) =$$

$$= \frac{1}{2A_0} \sin(\omega_2 t + \varphi_0) + \frac{A_0}{2\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \cos(\omega_2 t - k\omega_1 t + \varphi_0) -$$

$$- \frac{A_0}{2\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \cos(\omega_2 t + k\omega_1 t + \varphi_0) \quad (1)$$

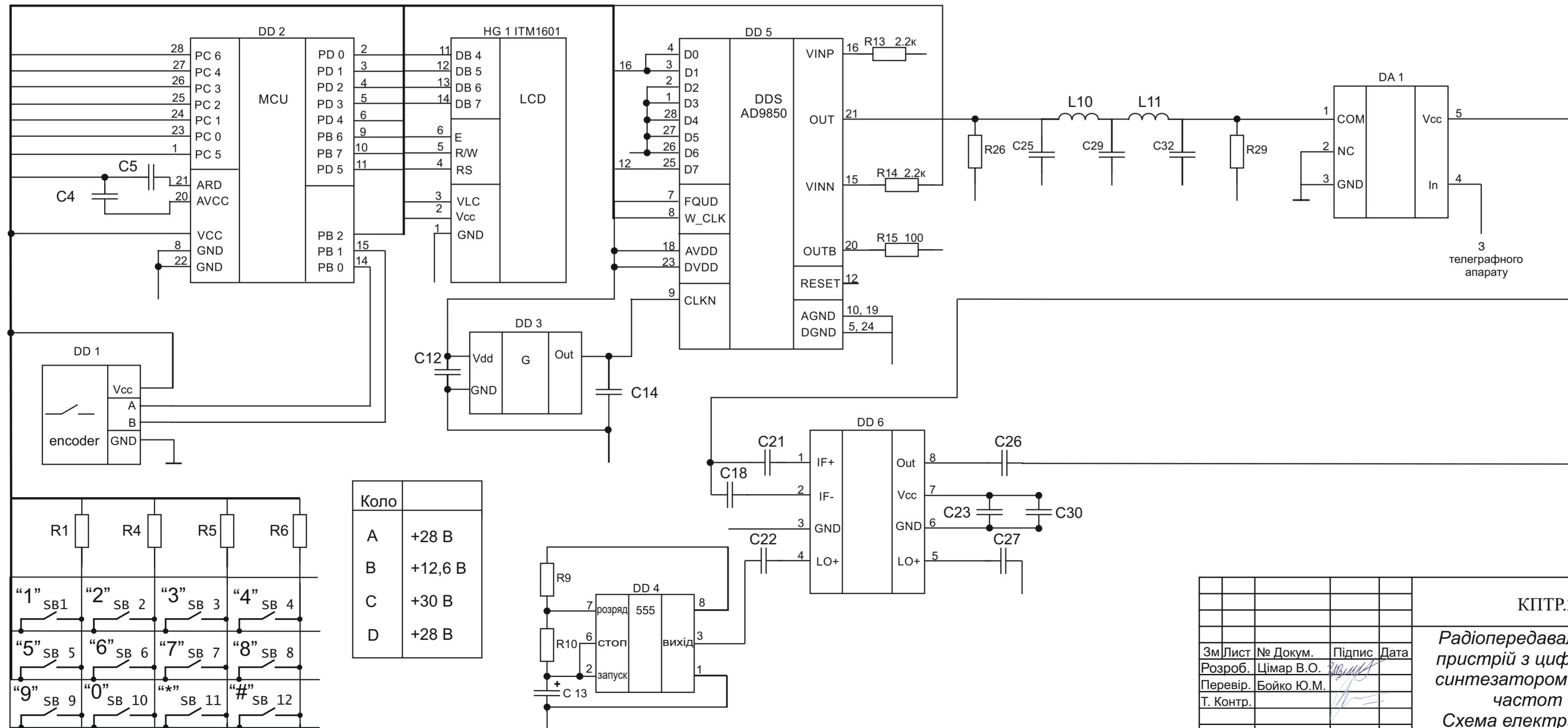
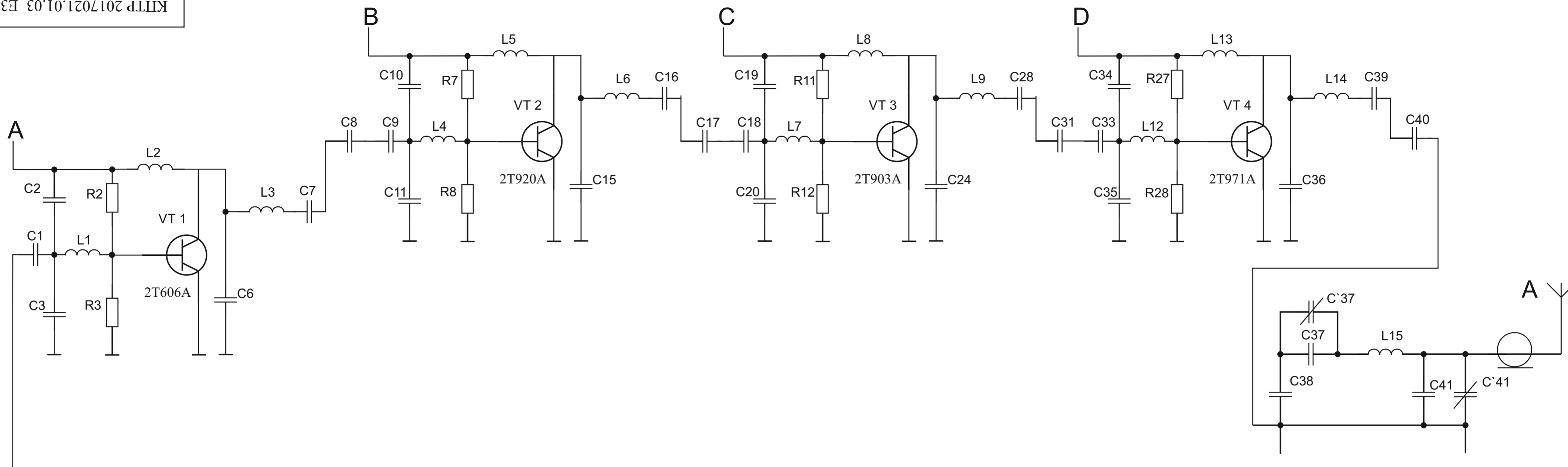




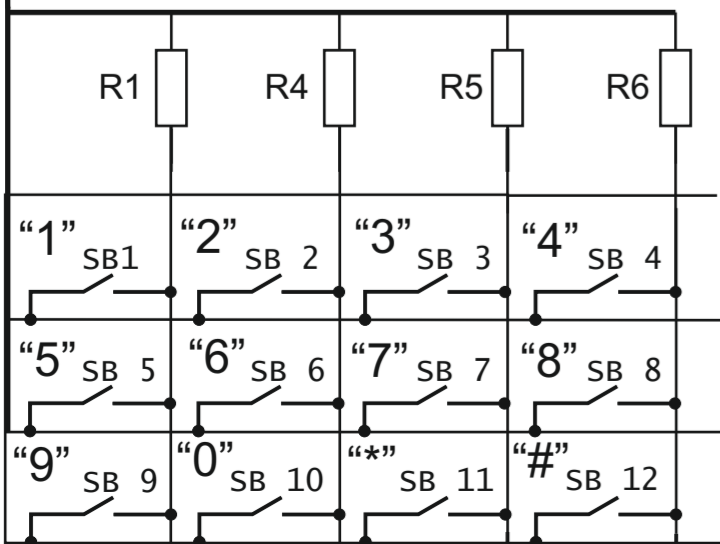
- ОГ - Опорний генератор
- АФ - Акумулятор фази
- ПЗП - Постійний запам'ятовуючий пристрій
- ЦАП - Цифро-аналоговий перетворювач
- ФНЧ - Фільтр низьких частот
- КМ-н - Ключ маніпулятор
- ТМ - Тональний модулятор
- НПК - 5 підсилювальних каскадів
- ВКУ - Вихідне коло узгодження
- А - Антена
- ГТ - Генератор тону
- MCU - Мікроконтроллер

Handwritten signature

					КІТР.2017021.01.03.Е1		
					Радіопередавальний пристрій з цифровим синтезатором сітки частот Схема електрична-структурна		
					Н		
					Аркуш		Аркушів
					ХНУ, гр. ТР-17-1		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Цімар В.О.	<i>Handwritten signature</i>				
Превірив		Бойко Ю.М.	<i>Handwritten signature</i>				
Н. Контр.							
Т. Контр.							
Затв.							



Коло	
A	+28 В
B	+12,6 В
C	+30 В
D	+28 В



КІПТР.2017021.01.03.Е3				Літ.	Маса	Маштаб
Зм.Лист	№ Докум.	Підпис	Дата	Н		
Розроб.	Цімар В.О.			Лист	Листів	
Перевір.	Бойко Ю.М.			ХНУ, гр. ТР-17-1		
Т. Контр.						
Н. Контр.						
Затв.						

Радіопередавальний пристрій з цифровим синтезатором сітки частот
Схема електрична-принципова

Завідувачу кафедри телекомунікацій
та радіотехніки
д.т.н., професору Юлію БОЙКУ
здобувача вищої освіти
Валерія ЦІМАРА
ФПКТС, гр. ТР-17-1

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. 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 моєї роботи 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.

25 травня 2021 р.
дата


підпис

Ім'я користувача:
Kafedra telekom_radiotechniki

ID перевірки:
1008297112

Дата перевірки:
14.06.2021 22:12:23 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
14.06.2021 22:23:40 EEST

ID користувача:
100005656

Назва документа: Цімар В.О. _ TP-17-1

Кількість сторінок: 60 Кількість слів: 8002 Кількість символів: 58800 Розмір файлу: 5.60 MB ID файлу: 1008365434

6.1% Схожість

Найбільша схожість: 4.81% з Інтернет-джерелом (https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/57215/mod_resource/content/...)

6.1% Джерела з Інтернету

65

Сторінка 62

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

1.79% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

1.79% Вилучення з Інтернету

2

Сторінка 63

Немає вилучених бібліотечних джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

194

РІШЕННЯ КАФЕДРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТА РАДІОТЕХНІКИ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

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

Назва: Проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот

Автор: Цімар Валерій Олександрович

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

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

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

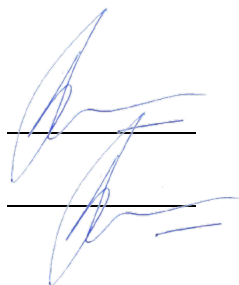
№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	-
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське 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	відповідає
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 6,10% та мають посилання на приведений список літературних джерел.

«14» червня 2021 р.

Науковий керівник

Завідувач кафедру ТР



Юлій БОЙКО

Юлій БОЙКО

Рецензія

опонента на бакалаврський кваліфікаційний проєкт виконаний за темою «Проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот» студента гр. ТР-17-1 Цімара В.О.

В кваліфікаційному проєкті студента Цімара В.О. проведено проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот.

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

У другому розділі проведено розрахунок структурної схеми радіопередавача. Визначне 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 цифрового синтезатора DDS типу AD9850 який під керування мікроконтролера ATMEGA 8 здійснює формування сітки частот. Для формування сигналів амплітудної телеграфії тонального типу, до складу схеми радіопередавача включено мікросхему ключа-маніпулятора та блоку тональної модуляції у складі генератору тогу та тонального модулятора на мікросхемах MAX4715 та RF9908.

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, а студент Цімар В.О. заслуговує оцінки **«відмінно»**.

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



О.І. Єршоменко

**Відгук на кваліфікаційний проєкт виконаний за темою
«Проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором
сітки частот» студента гр. ТР-17-1 Цімара В.О.**

У кваліфікаційній роботі студента Цімара В.О. проведено проектування радіопередавального пристрою з цифровим синтезатором сітки частот. Під час виконання кваліфікаційного проєкту студент Цімар В.О. провів аналітичний огляд літературних джерел де встановила особливості побудови та проектування радіопередавальних пристроїв з цифровою модуляцією, були визначені основні вимоги до радіопередавачів, розглянуто принципи формування сигналів амплітудної 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 цифровий синтезатор на мікросхемі DDS типу AD9850. До структури радіопередавального пристрою входять також ключ-маніпулятор на мікросхемі MAX4715, мікроконтролер ATMEGA 8, тональний модулятор на мікросхемі RF9908. Була розрахована сітка частот на виході синтезатора та визначено коефіцієнт поділу для заданої кількості каналів.

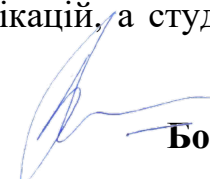
Перевагами прямого цифрового синтезу сітки частот можна віднести велику швидкість перестроювання частоти та частотне розрізнення порядку сотих герца. Крім того, всі перестроювання частот відбуваються без розриву фази, а в наслідок того, що сигнал формується одразу в цифровому вигляді, можна з легкістю реалізувати будь-який вид модуляції.

Єдиним недоліком DDS-методу є той факт, що частота вихідного сигналу не може перевищувати половини частоти відліків.

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, а студент Цімар В.О. заслуговує оцінки *«відмінно»*.

Професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки



Бойко Ю.М.