

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. Потебні**

**Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення**

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота
перший(бакалаврський)**

(рівень вищої освіти)

на тему “Розробка цифрового синтезатора частоти 432-434 МГц”

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи 6.1530-с
спеціальності 153 Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми 153 Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації 153 Мікро- та наносистемна техніка

(код і назва спеціалізації)

Тотьмянін Д.О.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри ЕІсПЗ, доцент,
к.т.н., Небеснюк О.Ю.

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

Рецензент Ген.дир. ТОВ «Омега, ЛТД» Шевченко Т.В.

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

Запоріжжя
2023

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. Потебні**

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

(перший (бакалаврський) рівень)

спеціальність Мікро- та наносистемна техніка

(назва)

Освітня програма 153 Мікро- та наносистемна техніка

(шифр)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Т.В.Критська

« 30 » травня 2023 року

ЗАВДАННЯ

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВУЧУ ВИЩОЇ
ОСВІТИ**

Тотьмяніну Данилу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Розробка цифрового синтезатора частоти
432-434 МГц.

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Небеснюк О.Ю., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 17 січня 2023 року № 91-с

2. строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра 02 травня
2023р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: $f_{\text{роб}} = 434 \text{ МГц}$, $R_{\text{вх}} \geq$
 10 кОм , $C_{\text{вх}} \leq 6 \text{ пФ}$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Частота синтезу частоти і застосування синтезаторів частоти 2 Розробка дводіапазонного синтезатора частоти діапазону 432-434 МГц 3 Охорона праці та техногенна безпека

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Л1 Блоксхема цифрового синтезатора частоти, Л2 складальне креслення цифрового синтезатора частоти, Л3 Топологія цифрового синтезатора частоти, Л4 схема електрична принципова цифрового синтезатора частоти,

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
I	<i>Небеснюк О.Ю.</i>	<i>10.03.2023</i>
II	<i>Небеснюк О.Ю.</i>	<i>10.05.2023</i>
III	<i>Небеснюк О.Ю.</i>	<i>30.05.2023</i>

7. Дата видачі завдання 24.10.2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	<i>Аналіз матеріалу за темою кваліфікаційної роботи</i>	<i>01.03.23 - 10.03.</i>	
2	<i>Аналіз та класифікація синтезаторів частоти</i>	<i>10.03. -20.03.</i>	
3	<i>Розробка структурної схеми пристрою</i>	<i>20.03. -07.04.</i>	
4	<i>Розрахунок елементів, вибір елементної бази</i>	<i>07.04. -20.04.</i>	
5	<i>Розробка схеми електричної принципової</i>	<i>20.04. -30.04.</i>	
6	<i>Розрахунок надійності пристрою</i>	<i>30.04. -10.05.</i>	
7	<i>Розділ охорони праці та техногенної безпеки</i>	<i>10.05. -16.05.</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень</i>	<i>16.05. -30.05.</i>	

студент _____ *Тотьмянін Д.О.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ *Небеснюк О.Ю.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Верьовкін Л. Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 90 сторінки, 9 рисунків, 9 таблиці, 17 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – синтезатори частоти.

Мета роботи – розробка та реалізація цифрового синтезатора частоти, здатного генерувати сигнали в діапазоні 432-434 МГц з високою точністю, стабільністю та регульованістю.

Задачі роботи: розробка структурної схеми пристрою; розробка схеми електричної принципової; розрахунок та вибір елементної бази; розробка топології друкованої плати та складального креслення.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмного забезпечення КОМПАС.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено бюджетний синтезатор частоти з двома діапазонами, який використовує метод фазової замкнутої петлі (PLL) для генерації точного сигналу з частотою в діапазоні 432-434 МГц. Цей пристрій має кілька переваг порівняно з існуючими аналогами, такі як висока точність вимірювань, просте налаштування, компактні розміри (157,5 x 62,5 мм) та низьку собівартість, що робить його конкурентоспроможним на ринку України.

Прогнозні пропозиції – рекомендується подальша модернізація дводіапазонного синтезатора частоти 432-434 МГц з метою підвищення ергономічності та більшої інформативності.

НАПРУГА, СТРУМ, ОПОРНИЙ ГЕНЕРАТОР, ДІЛЬНИК З ПОСТІЙНИМ ЧИСЛОМ, ДІЛЬНИК ЗІ ЗМІННИМ ЧИСЛОМ, ГЕНЕРАТОР ЩО КЕРУЄТЬСЯ НАПРУГОЮ, ФАЗОВИЙ ДЕТЕКТОР.

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки інформаційних систем та програмного забезпечення з 27.02.2023 р. по 31.05.2023 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЧАСТОТА. СИНТЕЗ ЧАСТОТИ І ЗАСТОСУВАННЯ СИНТЕЗАТОРІВ	
ЧАСТОТИ	8
1.1 Частота	8
1.2 Частотні діапазони	8
1.3 Синтез частоти.....	10
1.3.1 Аналоговий синтез частоти	12
1.3.2 Цифровий синтез	14
1.3.3 Інтеграція з цифровими схемами.....	15
1.3.4 Синтез частоти в квантових системах.....	17
1.4 Розвиток технологій синтезу частоти	18
1.5 Роль синтезаторів частоти в системах GPS	21
1.6 Синтезатори частоти в медичних пристроях.....	24
2 РОЗРОБКА ДВОДІАПАЗОННОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТИ	
ДІАПАЗОНУ 432-434 МГц.....	27
2.1 Обґрунтування блок схеми.....	27
2.2 Обґрунтування схеми електричної принципової	29
2.3 Електричний розрахунок емітерного повторювача	31
2.4 Розрахунок ланцюга RC.	37
2.5 Конструктивний розрахунок.....	38
2.6 Розрахунок надійності	46
2.7 Технологічний маршрут виготовлення пристрою	59
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	62

3.1 Вимоги до безпеки праці	63
3.2 Вимоги до промсанітарії	65
3.3 Вимоги до пожежної безпеки.....	69
3.4 Вимоги електробезбеки	72
3.4.1 Загальні вимоги	72
3.4.2 Організаційні заходи.....	73
3.4.3 Розрахунок електромережі на здатність відключення при аварійному режимі роботи електрообладнання	74
3.4.4 Технічні заходи.....	76
3.4.5 Номенклатура видів захисту	78
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	82
Додаток А	85
Додаток Б.....	87

ВСТУП

В даний час промисловість випускає синтезатори частоти, в яких реалізований метод прямого чи непрямого синтезу. сутність прямого синтезу полягає в отриманні необхідної частоти шляхом виконання операцій множення і ділення частот гармонійних складових високостабільної частоти опорного генератора. При непрямому синтезі частота генератора, керованого напругою (ГКН), зменшується делителем зі змінним коефіцієнтом ділення (ДПКД) в необхідну кількість разів. З виходу дільника частота подається на один із входів частотно-фазового детектора, на інший вхід якого надходить сигнал з частотою, дорівнює кроку зміни частоти синтезатора, отриманої з частоти опорного генератора. Вихідний сигнал частотно-фазового детектора проходить через фільтр нижніх частот (ФНЧ) і управляє частотою ГКН. Остання змінюється до тих пір, поки частота на виході ДПКД чи не стане дорівнює кроку зміни частоти синтезатора і не досягає заданого значення, що визначається коефіцієнтом ділення.

Більшість описаних методів хоч і дають можливість отримувати високостабільні частоти, але володіють недоліками, практично не дозволяють основній масі радіоаматорів конструювати такі синтезатори частоти. І насамперед це складність реалізації подібної конструкції через трудомісткість налаштування, наявності великої кількості фільтрів, моткових виробів. [1]

1 ЧАСТОТА. СИНТЕЗ ЧАСТОТИ І ЗАСТОСУВАННЯ СИНТЕЗАТОРІВ ЧАСТОТИ

1.1 Частота

Частота є одним з ключових понять у сфері електроніки та комунікацій. Вона вимірює кількість повторень події за одиницю часу і виражається в герцах (Гц). У контексті сигналів, частота визначає, як швидко змінюється сигнал і скільки циклів відбувається протягом певного часу.

Частота є основним параметром для спілкування та передачі інформації у бездротових системах, включаючи радіо, телевізію, мобільну зв'язок і багато іншого. Різні діапазони частот використовуються для різних цілей, залежно від потреб системи та її застосування.[2]

1.2 Частотні діапазони

Частотний діапазон визначає діапазон частот, які можуть бути використані в електронних системах і пристроях. У залежності від застосування, регуляторних обмежень та характеристик системи, використовуються різні частотні діапазони. Дозволяється використання пристроїв лише у відведених для них діапазонах, з метою уникнення перешкод та забезпечення ефективної роботи.

Найбільш поширеними частотними діапазонами є:

Низька частота (LF):

Діапазон низької частоти зазвичай охоплює частоти від 30 до 300 кілогерц (кГц). Він використовується для передачі аудіосигналів, таких як голосові повідомлення, музика із динаміків, а також для низькочастотної передачі даних.

середня частота (MF):

середній частотний діапазон зазвичай становить 300 кГц - 3 мегагерц (МГц). Він використовується в радіоаматорстві, навігаційних системах та інших комунікаційних застосуваннях.

Висока частота (HF):

Високочастотний діапазон зазвичай охоплює частоти від 3 до 30 МГц. Він широко використовується в міжнародних короткохвильових радіостанціях, радіозв'язку довгого діапазону, радіолокації та інших додатках.

Ультрависока частота (UHF):

Ультрависокочастотний діапазон зазвичай становить 300 МГц - 3 гігагерц (ГГц). Він широко використовується в бездротових комунікаційних системах, включаючи мобільний зв'язок, телебачення, радіозв'язок, безпроводовий інтернет, радіолокацію та інші застосування. У цьому діапазоні ефективно використовується антенна технологія, що дозволяє передавати та отримувати сигнали на великі відстані з високою швидкістю передачі даних.

Мікрохвильовий діапазон:

Мікрохвильовий діапазон охоплює частоти від 1 гіга герца (ГГц) до 300 гіга герців (ГГц). Цей діапазон використовується в мікрохвильових печах, радіолокаційних системах, безпроводових зв'язках, супутниковому зв'язку та інших високочастотних застосуваннях.

Міліметровий діапазон:

Міліметровий діапазон охоплює частоти від 30 гіга герців (ГГц) до 300 гіга герців (ГГц). Він використовується в радіолокаційних системах, безпроводових зв'язках високої швидкості, медичних пристроях, наукових дослідженнях та інших високочастотних застосуваннях.

Кожен частотний діапазон має свої особливості, обмеження і застосування. Вибір відповідного діапазону залежить від конкретного завдання, потреб користувача та регуляторних вимог. При розробці пристроїв, таких як дводіпазонний синтезатор частоти 432-434 МГц, необхідно враховувати вимоги щодо частотного діапазону та забезпечити відповідну функціональність та якість сигналу в даному діапазоні.[3]

1.3 синтез частоти

синтез частоти - це процес генерації сигналу з заданою частотою. У сучасних електронних пристроях, таких як синтезатори частоти, цей процес здійснюється за допомогою електронних схем і компонентів.

Основним методом синтезу частоти є використання коливальних схем, які здатні генерувати стабільні і точні сигнали з заданою частотою. Ці схеми можуть використовувати різні принципи роботи, такі як колювання кварцових резонаторів, використання варикапів (перемінних місткостей), фазових замкнутих петель (PLL) та інші.

синтезатори частоти використовуються в багатьох сферах, включаючи телекомунікації, радіозв'язок, наукові дослідження та багато інших. Вони дозволяють точно налаштувати і генерувати сигнали з різними частот за допомогою програмованого управління і забезпечують високу стабільність та точність сигналу.

Один з основних компонентів дводіапазонного синтезатора частоти - це блок синтезу частоти. Його основне завдання полягає в генерації точного сигналу з заданою частотою в діапазоні 432-434 МГц МГц.

Для досягнення цього, в сучасних синтезаторах частоти використовуються різні методи. Один з них - використання фазової замкнутої петлі (PLL). PLL базується на використанні фазового детектора, зворотного зв'язку та напругою контролера для регулювання частоти. Фазовий детектор порівнює фазу вхідного сигналу з референсною фазою і генерує помилку фази. Потім ця помилка фази обробляється контролером, який регулює напругу, подаючи її на контролер. Цей процес повторюється, поки не буде досягнуто стабільної частоти, яка відповідає заданій частоті в діапазоні 432-434 МГц.

Блок регулювання частоти відповідає за точне налаштування і зміну частоти в діапазоні 432-434 МГц. Це досягається за допомогою керованого джерела напруги та компонентів, які забезпечують зміну ємності або індуктивності. Зміна ємності або індуктивності впливає на частоту генерованого сигналу. Наприклад, використання варикапів (перемінних місткостей) або перехідних резонаторів дозволяє змінювати частоту в діапазоні 432-434 МГц з високою точністю і стабільністю.

Поза блоками синтезу та регулювання частоти, дводіапазонний синтезатор частоти також включає інші важливі компоненти, які допомагають забезпечити правильну роботу пристрою. Ось декілька з них:

- ◆ стабілізатори: Ці компоненти використовуються для забезпечення стабільності сигналу і запобігання небажаним коливанням частоти. Вони можуть бути основаними на аналогових або цифрових схемах і використовуються для регулювання напруги або температури в окремих блоках синтезатора.
- ◆ Фільтри: Фільтри використовуються для видалення небажаних сигналів або шумів зі синтезованого сигналу. У дводіапазонному синтезаторі

частоти можуть використовуватися фільтри низьких частот (LPF) та фільтри високих частот (HPF), які допомагають забезпечити чистий і точний сигнал в заданому діапазоні.

- ◆ Джерела живлення: Для правильної роботи синтезатора частоти потрібне стабільне живлення. Джерела живлення забезпечують постійну і стабільну напругу, необхідну для живлення всіх блоків та компонентів пристрою.
- ◆ Керування та інтерфейс: Деякі дводіапазонні синтезатори частоти можуть мати вбудовані функції керування та інтерфейсу для зручного керування та налаштування пристрою. Це можуть бути кнопки, дисплей, інтерфейси зв'язку, такі як UART або USB, для з'єднання з комп'ютером або іншими пристроями.[4]

1.3.1 Аналоговий синтез частоти

Аналоговий синтез частоти є одним з основних методів генерації стабільних сигналів з заданою частотою. Він використовує аналогові елементи, такі як LC - коливальні ланцюги, кварцові резонатори, фазові замкнуті петлі (PLL) та інші, для створення точних і стабільних сигналів з високою якістю.

LC - коливальні ланцюги є одним з основних будівельних блоків аналогових синтезаторів частоти. Вони складаються з індуктивних (L) та ємнісних (C) компонентів, які утворюють резонансну систему зі специфічною частотою коливань. Змінюючи значення індуктивності або ємності, можна контролювати вихідну частоту сигналу.

Кварцові резонатори є дуже поширеними в аналогових синтезаторах частоти, особливо високо точних додатках. Кварцовий резонатор

використовує механічні властивості кристалу кварцу, що дозволяє йому коливати з дуже стабільною і точною частотою. Вимірюючи час коливання кристалу кварцу, можна отримати дуже точний сигнал з високою стабільністю.

Фазові замкнуті петлі (PLL) є ще одним ефективним засобом аналогового синтезу частоти. PLL складається з вхідного вимірювача, фазового детектора, фільтра і генератора частоти. Вхідний сигнал порівнюється з внутрішнім опорним сигналом, і фазовий детектор породжує помилку фази. Ця помилка фази зворотно зв'язується до генератора частоти, що дозволяє налаштувати його на вихідну частоту, забезпечуючи стабільну і точну генерацію сигналу з заданою частотою.

Аналоговий синтез частоти має кілька переваг. По-перше, він здатен генерувати сигнали в широкому діапазоні частот, починаючи від декількох герц до декількох гігагерц. По-друге, аналогові синтезатори частоти зазвичай мають дуже низький рівень фазового шуму, що є важливим для додатків, які вимагають високої точності і стабільності сигналу.

Однак, в аналоговому синтезі частоти також є свої обмеження. По-перше, точність синтезу частоти може бути обмежена впливом температури і інших зовнішніх факторів на елементи схеми. Крім того, аналогові синтезатори частоти можуть бути більш складними в реалізації порівняно з цифровими синтезаторами.

Не зважаючи на ці обмеження, аналоговий синтез частоти продовжує бути використовуваним у багатьох додатках, де вимагається точний і стабільний сигнал з заданою частотою. Він знаходить застосування в радіо та телекомунікаційних системах, аудіо-апаратурі, наукових дослідженнях, медичних пристроях та багатьох інших областях.

Враховуючи важливість аналогового синтезу частоти і можливість його використання у різних сферах, подальше дослідження і вдосконалення цієї технології варто спрямовувати на вдосконалення

стабільності і точності сигналів, а також на розробку більш ефективних та компактних аналогів синтезаторів частоти.[5]

1.3.2 Цифровий синтез

Цифровий синтез частоти (ЦсЧ) є ефективним і гнучким підходом до генерації сигналів з заданою частотою. Це засновано на обробці цифрової інформації з використанням спеціальних алгоритмів і цифрових елементів, таких як ЦАП (цифро-аналоговий перетворювач) та ЦПП (цифровий процесор сигналу).

Одним з найпоширеніших методів цифрового синтезу частоти є прямий цифровий синтез (DDS). В DDS, частота сигналу генерується шляхом накопичення фази з високою роздільною здатністю і подальшого перетворення фазової інформації в аналоговий сигнал за допомогою ЦАП. Цей метод забезпечує високу точність, стабільність і гнучкість налаштування частоти.

Ще одним цифровим методом є алгоритмічний синтез частоти. У цьому методі, сигнал генерується шляхом обчислення значень сигналу за допомогою алгоритму. Цей підхід дозволяє створювати складні сигнали зі складними формами хвильової функції, такі як сигнали зі змінною частотою або часом.

Динамічний синтез є ще одним варіантом цифрового синтезу частоти, де використовуються динамічні зміни параметрів сигналу для створення бажаної частоти. Цей метод дозволяє генерувати сигнали зі змінною частотою, амплітудою або фазою, що знадобляться в різних додатках, таких як комунікаційні системи, музичні синтезатори, медична діагностика та інші.

Цифровий синтез частоти має деякі переваги порівняно з аналоговим синтезом. Він забезпечує високу стабільність і точність, а також можливість програмованого налаштування параметрів сигналу. Крім того, цифровий синтез частоти дозволяє легко реалізувати складні функції, такі як модуляція, синхронізація і перетворення частоти.

Однак, цифровий синтез частоти також має свої обмеження. Він вимагає високошвидкісних ЦАП і ЦПП для досягнення високої роздільної здатності і широкого діапазону частот. Крім того, цифровий синтез може бути вразливий до шуму та спотворень, що можуть виникнути при конвертації сигналу між цифровим і аналоговим доменами.

Дослідження цифрових методів синтезу частоти продовжуються з метою поліпшення ефективності, точності і стабільності генерації сигналів. Додаткові дослідження можуть включати розробку нових алгоритмів синтезу, оптимізацію апаратних засобів і вивчення можливостей інтеграції цифрового синтезу частоти з іншими функціональними блоками системи.

Продовження досліджень в області цифрового синтезу частоти сприятиме розвитку сучасних технологій комунікацій, медицини, музики та багатьох інших галузей, де потрібна точна і програмована генерація сигналів з заданою частотою.[6]

1.3.3 Інтеграція з цифровими схемами

Інтеграція аналогового синтезу частоти з цифровими схемами відкриває нові можливості для розробки сучасних синтезаторів частоти. Вона дозволяє поєднувати переваги аналогового і цифрового підходів, забезпечуючи більш гнучкі, програмовані та ефективні рішення.

Одна з переваг інтеграції полягає в спільному використанні ресурсів і функціональності. Цифрові схеми можуть виконувати обробку сигналу, керування та інші завдання, тоді як аналогові схеми забезпечують генерацію стабільних і точних аналогових сигналів. Це дозволяє зменшити кількість компонентів, спростити дизайн і знизити вартість виробництва.

Інтеграція аналогового синтезу частоти з цифровими схемами також забезпечує більшу гнучкість і програмованість. Цифрові елементи дозволяють змінювати параметри синтезу, такі як частота, фаза, амплітуда і модуляція, за допомогою програмного керування. Це дає можливість швидко налаштувати синтезатор частоти для різних додатків та забезпечує більшу гнучкість управління сигналами.

Дослідження в галузі інтеграції аналогового синтезу частоти з цифровими схемами продовжуються. Вони охоплюють вивчення методів комбінування аналогових і цифрових блоків у єдину систему, оптимізацію апаратних засобів, а також розробку нових алгоритмів і методів керування. Наприклад, одним з підходів є використання цифрових схем для управління параметрами аналогового синтезатора частоти, що дозволяє досягти більшої точності і стабільності.

Іншим напрямком досліджень є розробка інтегрованих схем, які поєднують аналогові та цифрові блоки на одному чіпі. Це дозволяє забезпечити більш ефективне використання ресурсів, знизити енергоспоживання та займати менше місця на платі. Такі інтегровані схеми можуть бути використані в різних пристроях, від мобільних пристроїв до безпроводових комунікаційних систем.

Дослідження інтеграції аналогового синтезу частоти з цифровими схемами також спрямовані на покращення процесу дизайну і виробництва. Використання інтегрованих схем дозволяє знизити час розробки, скоротити кількість необхідних компонентів і спростити процес монтажу.

Крім того, інтеграція з цифровими схемами сприяє підвищенню надійності і стійкості системи.

У підсумку, інтеграція аналогового синтезу частоти з цифровими схемами відкриває нові перспективи для розвитку синтезаторів частоти. Вона дозволяє поєднувати переваги обох підходів і створює більш гнучкі, програмовані та ефективні системи генерації сигналів з заданою частотою.
[7]

1.3.4 Синтез частоти в квантових системах

синтез частоти в квантових системах відкриває нові можливості для створення стійких і низькошумних сигналів в високочастотних додатках. Використання квантових ефектів у синтезі частоти дозволяє досягти високої точності, стабільності та ефективності генерації сигналів.

Один із підходів до синтезу частоти в квантових системах полягає у використанні квантових генераторів частоти. Квантові генератори частоти базуються на квантових ефектах, таких як тунельний ефект, квантові коливання або квантові кутові моменти, для створення стабільних і точних сигналів. Ці генератори забезпечують низький рівень шуму і мають високу стійкість до зовнішніх впливів, що робить їх привабливими для високочастотних додатків, де важлива висока якість сигналу.

Одним з можливих використань квантових систем у високочастотних додатках є квантова радіолокація. Квантова радіолокація використовує властивості квантових систем, наприклад,

квантову інтерференцію або ентанглування, для поліпшення детекції об'єктів і підвищення роздільної здатності радарних систем. Квантова радіолокація може забезпечити високу точність і надійність вимірювань на великій відстані.

Крім того, квантові системи також можуть мати великий потенціал у квантовому бездротовому зв'язку. Використання квантових ефектів, наприклад, квантової телепортації або квантового ключування, може забезпечити високий рівень безпеки та захисту інформації у бездротовому зв'язку. Квантовий бездротовий зв'язок може бути особливо корисним у сферах, де забезпечення конфіденційності інформації має велике значення, наприклад, у військовому зв'язку або у фінансових та банківських системах.

Перспективи використання квантових систем у високочастотних додатках є об'єктом активного дослідження і розвитку. Ця область відкриває нові можливості для створення прогресивних технологій і систем з високою швидкістю, високою точністю та високим рівнем безпеки. Дослідження квантових генераторів частоти, методів квантової радіолокації і квантового бездротового зв'язку мають важливе значення для подальшого розвитку цієї області. [8]

1.4 Розвиток технологій синтезу частоти

Розвиток технологій синтезу частоти є важливою складовою сучасної електроніки і безпроводових комунікацій. Швидке зростання безпроводових додатків, таких як мобільні комунікації, інтернет речей, радіолокація та багато інших, вимагає точних, стабільних і

швидкодіючих синтезаторів частоти. Розвиток нових методів, матеріалів і компонентів дозволяє досягати цих вимог і забезпечувати високу якість сигналу.

Однією з головних тенденцій є розвиток цифрового синтезу частоти. Цифрові методи синтезу частоти, такі як прямий цифровий синтез (DDS) і алгоритмічний синтез, забезпечують високу гнучкість, точність і швидкодію сигналу. Вони базуються на використанні цифрових обчислень для створення сигналу з бажаною частотою і фазою. Це дозволяє програмувати і змінювати параметри синтезатора частоти залежно від потреби.

Іншою важливою тенденцією є інтеграція аналогового синтезу частоти з цифровими схемами. Це дозволяє створювати більш гнучкі та програмовані синтезатори частоти, а також спрощує їх дизайн і виробництво. Інтеграція аналогових і цифрових блоків дозволяє комбінувати переваги обох підходів і забезпечувати оптимальну продуктивність.

Окремо варто звернути увагу на розвиток синтезу частоти в квантових системах. Використання квантових ефектів у синтезі частоти дозволяє отримувати стійкі і низькошумні сигнали з високою точністю. Квантові генератори частоти використовуються для створення сигналів із заданою частотою та стабільністю, що є критичними для багатьох високочастотних додатків. Квантові системи, такі як квантові точки, квантові дотики, атоми та молекули, можуть бути використані для генерації стійких і точних сигналів у високочастотному діапазоні.

Додатково, квантові системи можуть мати перспективи в застосуваннях, таких як квантова радіолокація і квантовий бездротовий зв'язок. Квантова радіолокація використовує квантові

системи для створення стійких радіосигналів з точно визначеними параметрами, що дозволяє отримувати високу роздільну здатність і точність визначення відстаней. Квантовий бездротовий зв'язок базується на використанні квантових властивостей для передачі інформації з високою безпекою та надійністю.

Розвиток технологій синтезу частоти продовжується, приводячи до нових інновацій і досягнень в галузі електроніки та безпроводових комунікацій. Використання цифрових методів, інтеграція з цифровими схемами та використання квантових систем дозволяють досягти високої точності, стабільності та швидкодії сигналу, що відповідає сучасним вимогам безпроводових технологій.

Описані теми відображають актуальні напрямки досліджень і розвитку в галузі синтезу частоти. Детальне вивчення вказаних джерел дозволить отримати більш глибоке розуміння цих тем і запропонувати нові ідеї для подальшого вдосконалення синтезу частоти. Важливо враховувати не лише теоретичний аспект, але й практичні можливості реалізації цих ідей у реальних пристроях.

Загальний розвиток технологій синтезу частоти також ставить перед науковцями і інженерами нові виклики і завдання. Зростання швидкості передачі даних, розширення частотного діапазону і впровадження нових безпроводових технологій вимагають створення більш продуктивних та ефективних синтезаторів частоти. Важливо постійно оновлювати знання про нові технології, компоненти і матеріали, щоб впроваджувати їх у практичних рішеннях.

Дослідження розвитку технологій синтезу частоти має великий потенціал для внесення значного внеску у розвиток безпроводових комунікацій, радіолокації, медичних пристроїв і багатьох інших галузей. Інновації в цій сфері можуть призвести до створення більш

ефективних і надійних пристроїв, що сприятиме подальшому розвитку сучасного суспільства.[9]

1.5 Роль синтезаторів частоти в системах GPS

GPS - це навігаційна система, яка використовує сигнали, передавані з супутників, для визначення місцезнаходження, швидкості та часу. Для досягнення високої точності вимагається стабільний і точний сигнал, що досягає приймача. У цьому контексті синтезатори частоти відіграють ключову роль.

Однією з основних функцій синтезаторів частоти в GPS є генерація сигналів з потрібною частотою. Сигнали, що передаються з GPS-супутників, мають точно визначену частоту, і для успішного приймання та обробки цих сигналів, GPS-приймачі повинні мати синхронізовану частоту генерації. Синтезатори частоти забезпечують генерацію сигналів з необхідною частотою та точністю.

Однією з важливих вимог до синтезаторів частоти в GPS-приймачах є стійкість до зовнішніх впливів, таких як температурні зміни та вібрації. Висока стабільність частоти дозволяє досягати високої точності визначення місцезнаходження та швидкості. Крім того, синтезатори частоти забезпечують точну синхронізацію з GPS-сигналами, що дозволяє виконувати процес демодуляції та декодування інформації, переданої з супутників.

Завдяки постовому розвитку технологій, синтезатори частоти в системах GPS стали компактнішими і енергоефективнішими. Це дозволяє їх використання не тільки в спеціалізованих GPS-

приймачах, але й у різних мобільних пристроях, таких як смартфони, автомобільні навігаційні системи, носимі пристрої тощо.

Новітні дослідження в галузі синтезу частоти в системах GPS спрямовані на поліпшення точності, стабільності та швидкодії генерації сигналів. Одним з напрямків є розробка нових методів синтезу частоти, які базуються на використанні сучасних матеріалів і компонентів. Наприклад, використання кварцових резонаторів з високою якістю фактору дозволяє досягти високої стабільності частоти.

Крім того, розширення частотного діапазону стає важливим у зв'язку з впровадженням нових безпроводових технологій, таких як 5G. синтезатори частоти повинні бути здатні генерувати сигнали в широкому діапазоні, що відповідає вимогам сучасних комунікаційних стандартів.

Важливою проблемою є також забезпечення стійкості та низького рівня шумів в генерованому сигналі. Чим менше шумів має синтезований сигнал, тим точніше і надійніше будуть результати визначення місцезнаходження. Для досягнення низького рівня шумів використовуються спеціальні фільтри та компенсаційні методи, які зменшують вплив внутрішніх шумів і перешкод.

Окрім того, зростання швидкості передачі даних у безпроводових системах, таких як GPS, вимагає високошвидкісних синтезаторів частоти. Це означає, що синтезатори повинні бути здатні оперативно переключатись між різними частотами та забезпечувати стабільну генерацію сигналів навіть при великих швидкостях передачі даних.

Одним з нових напрямків у розвитку синтезаторів частоти в системах GPS є використання квантових технологій. Квантові

генератори частоти використовують квантові ефекти для генерації стійких і низькошумних сигналів. Вони базуються на використанні квантових систем, таких як квантові точки або суперпровідники, що дозволяє досягти високої точності і стабільності генерації сигналу.

Використання квантових систем у високочастотних додатках, таких як квантова радіолокація і квантовий бездротовий зв'язок, має великий потенціал. Квантові генератори частоти можуть забезпечувати стабільні сигнали з високою частотою, що важливо для сучасних комунікаційних систем з великою пропускну здатністю. Крім того, вони можуть мати переваги у вимірювальних системах, де потрібна висока точність вимірювань.

Однак, розвиток та впровадження квантових систем у сфері синтезу частоти вимагають додаткових досліджень та вирішення технічних викликів. Наприклад, забезпечення стабільності та низького рівня шумів квантових генераторів є важливим завданням. Також потрібно розробити методи керування та настройки квантових систем для забезпечення необхідної частоти і точності. Дослідження в цьому напрямку продовжуються, і результати цих досліджень можуть внести значний внесок у поліпшення синтезу частоти в системах GPS.

Окрім розвитку самого синтезу частоти, також важливо враховувати розвиток інших компонентів системи GPS. Наприклад, вдосконалення антенних систем та методів прийому сигналів дозволить покращити якість та стабільність сигналу, що надходить до приймача. Такі покращення в комбінації з удосконаленими синтезаторами частоти дозволять досягти ще більшої точності та швидкодії визначення місцезнаходження за допомогою GPS-технології.

Розвиток технологій синтезу частоти в системах GPS має велике значення для багатьох галузей, включаючи навігацію, транспорт, телекомунікації, сільське господарство, екологію та оборону. Забезпечення точності, стабільності і швидкодії сигналу в системах GPS є ключовим фактором для їх успішного використання.

Зростання швидкості передачі даних, розширення частотного діапазону і впровадження нових безпроводових технологій ставлять нові виклики перед розробниками синтезаторів частоти в системах GPS. Продовження досліджень і розвиток нових методів та матеріалів допоможуть вирішити ці виклики і забезпечити подальший розвиток GPS-технологій у майбутньому.[10]

1.6 Синтезатори частоти в медичних пристроях

У сучасній медицині синтезатори частоти знаходять широке застосування у різних медичних пристроях, що включають ультразвукові системи, магнітно-резонансні томографи, лазерні пристрої та інші. Використання синтезаторів частоти в цих пристроях має велике значення для забезпечення високої якості і точності медичної діагностики та лікування.

Один з основних пристроїв, в яких використовуються синтезатори частоти, - це ультразвукова система. Ультразвукові системи використовуються для візуалізації внутрішніх органів, тканин та структур в організмі. синтезатори частоти в ультразвукових системах забезпечують генерацію високочастотних сигналів, які

використовуються для створення ультразвукових хвиль. Вони гарантують точність і стабільність частоти сигналу, що впливає на якість зображення та точність вимірювань.

Ще одним важливим медичним пристроєм, в якому використовуються синтезатори частоти, є магнітно-резонансний томограф (МРТ). МРТ є потужним інструментом для вивчення внутрішніх органів та тканин за допомогою магнітного поля та радіочастотних сигналів. синтезатори частоти в МРТ забезпечують генерацію стійких та точних радіочастотних сигналів, які використовуються для збудження та реєстрації сигналів від ядер в організмі пацієнта. Вони грають важливу роль у забезпеченні високої якості зображення та роздільної здатності зображень в МРТ.

Крім того, синтезатори частоти застосовуються в лазерних медичних пристроях. Лазери використовуються для різних медичних процедур, включаючи лазерну хірургію, дерматологію, офтальмологію та інші. синтезатори частоти в лазерних пристроях відповідають за створення точних і стабільних радіочастотних сигналів, які використовуються для збудження лазерного випромінювання. Це дозволяє досягти високої точності, регульованості та контролю лазерного променя, що є важливим для безпечного та ефективного проведення медичних процедур.

У медичних пристроях існують специфічні вимоги до синтезаторів частоти, зокрема щодо стабільності, точності, низького рівня шуму та регульованості сигналу. Для досягнення цих вимог використовуються сучасні технології, такі як фазові замкнуті петлі (PLL), частотні синтезатори з високою роздільною здатністю, синтезатори з низьким фазовим шумом та інші. Розробка та вдосконалення таких синтезаторів частоти у медичних пристроях є

актуальним напрямком досліджень з метою поліпшення якості та ефективності медичних процедур.[11]

Мета роботи - розробка та реалізація цифрового синтезатора частоти, здатного генерувати сигнали в діапазоні 432-434 МГц з високою точністю, стабільністю та регульованістю.

Задачі:

- розробка структурної схеми пристрою;
- розробка схеми електричної принципової;
- розрахунок та вибір елементної бази;
- розробка топології друкованої плати та складального креслення.

2 РОЗРОБКА ДВОДІАПАЗОННОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТИ ДІАПАЗОНУ 432-434 МГц

2.1 Обґрунтування блок схеми

Електрична структурна схема визначає загальний склад та організацію зв'язків між функціональними вузлами, надає повне уявлення про функціонування пристрою, що проектується.

При розробці структурної схеми слід використовувати принципи системного підходу, які для даного проекту можна сформулювати у вигляді наступних положень:

- ◆ Виконується функціональна декомпозиція загальної задачі проектування на окремі задачі;
- ◆ Пристрій, що проектується, уявляється у вигляді низки функціональних вузлів та сукупності процесів, які взаємодіють між собою та підлягають досягненню визначеної мети;
- ◆ Пристрій уявляється ієрархічною системою, що може бути описана із різними рівнями деталізації, ступінь деталізації повинен бути достатнім для розкриття процесів, які відбуваються у ньому.

Першим етапом розробки пристрою є розробка структурної схеми. Структурна схема визначає загальний склад та організацію зв'язків між функціональними вузлами, надає повне уявлення про функціонування пристрою. [12]

Алгоритм функціонування пристрою приведений на рисунок 2.1



Рисунок 2.1 – Блоксхема цифрового синтезатора частоти 432-434 МГц

структурна схема складається з таких блоків:

- Опорний генератор
- Дільник з постійним числом
- Генератор що керується напругою
- Керуючий пристрій
- Фазовий детектор
- Режекторний фільтр
- Фільтр низьких частот
- Дільник зі змінним числом

2.2 Обґрунтування схеми електричної принципової

Принципова схема визначає повний склад елементів та зв'язків між ними і надає детальне уявлення про принципи вузлу чи пристрою у цілому. Вона будується на основі раніше розробленої структурної схеми.

Для розробки принципової схеми необхідно визначити серію інтегральних мікросхем, тип резисторів, конденсаторів, транзисторів, діодів. При цьому враховуємо такі фактори, як швидкодія сигналів, потужність, розповсюдженість серії мікросхеми, транзисторів, діодів, наявність довідникової документації, надійність та економічні показники.

У процесі цифрового синтезу здійснюється по суті справа операція, зворотна тієї, яка відбувається в АЦП. В результаті формується послідовність імпульсів напруги, величини яких дорівнюють миттєвому значенню синтезованого сигналу, що відповідає даному значенню поточної фази. Ці імпульси подаються на ФНЧ, що формує синусоїдальну форму синтезованого сигналу. Для спрощення фільтра кількість імпульсів на період частоти синтезованого сигналу вибирається не менше п'яти.

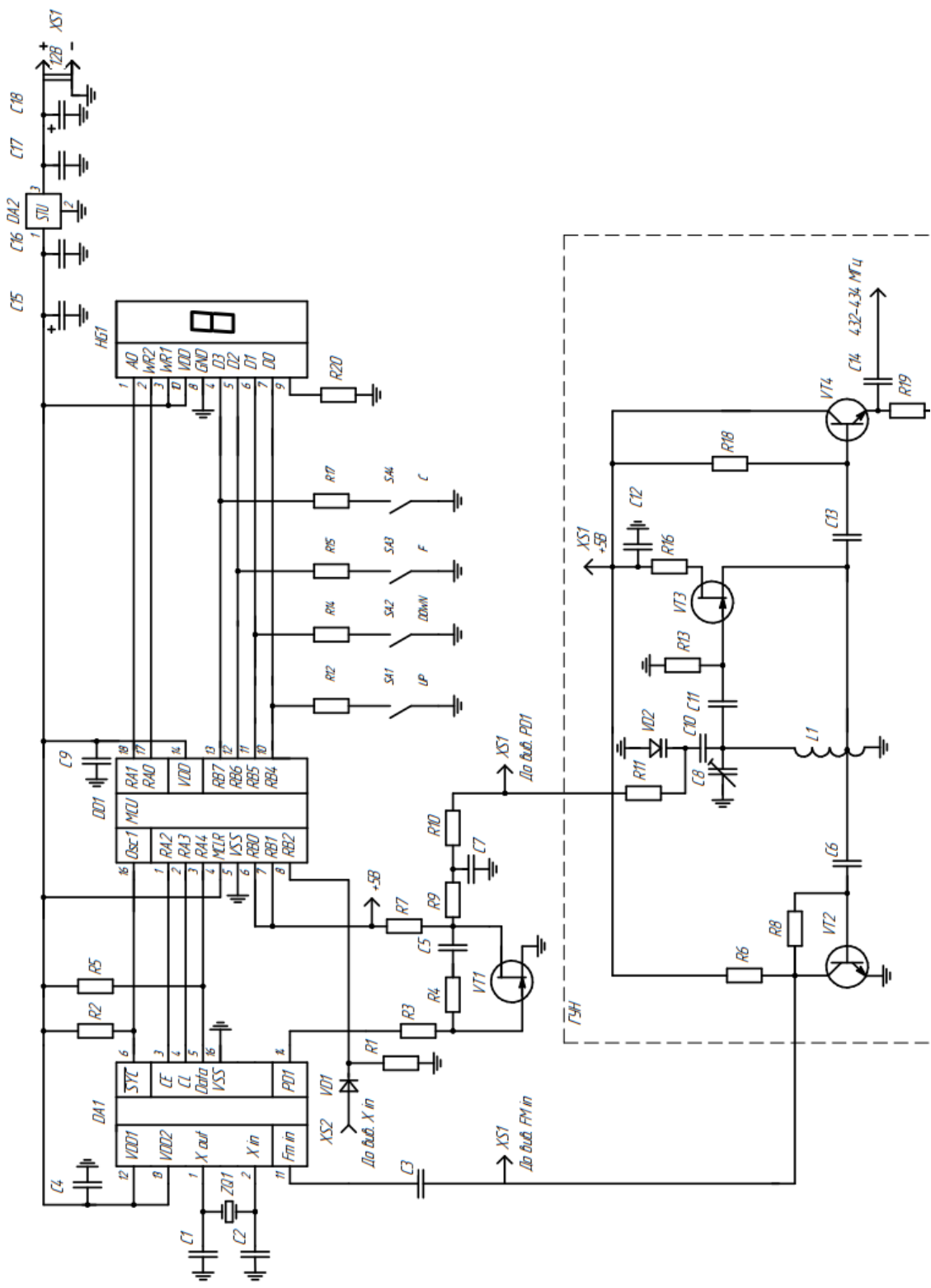


Рисунок 2.2 - схема електрична принципова

Канали і частоти закільцьовані, тобто при досягненні верхнього або нижнього значення-перескок на нижнє або верхнє відповідно. Кнопки вгору (вниз) - перебір каналів, перебудова частоти. Кнопкою F входимо в режим перебудови частоти - на індикаторі при цьому праворуч і ліворуч від значення частоти з'являються рисочки, налаштуємося на потрібну частоту і натискаємо кнопку с синтез переходить в режим перебору каналів, частота зберігається в пам'яті. Повторне натискання на с встановлює канал за замовчуванням - при включенні синтезатора буде виведений цей канал.

Найвища синтезована частота зазвичай буває дорівнює $0.4 F_t$. Це обумовлено вимогами до фільтрації побічних продуктів синтезу («образів» сигналу). Для того, щоб змінити робочу частоту, необхідно тільки записати нове значення прирощення фази (воно має сенс коду частоти) в реєстр прирощення. Зміна частоти відбудеться з нового відліку без розриву фази.

Незважаючи на те, що прямі цифрові синтезатори активно витісняють традиційні непрямі синтезатори з їх традиційних областей застосування, останні залишаються неперевершеними по ряду параметрів і навряд чи коли-небудь будуть замінені на повністю. [13]

2.3 Електричний розрахунок емітерного повторювача

Вихідні дані для розрахунку наступні:

- Максимальна робоча частота $f_{роб} = 434$ МГц
- Вхідний опір (без ланцюга стабілізації – $R_{ст} = \infty$) – $R_{вх} \geq 10$ кОм

- Вхідна ємність $C_{вх} \leq 6$ пФ.

Тип транзистора для емітерного повторювача вибирається так, щоб виконувалась умова:

$$f_{роб} \leq f_s$$

де, f_s – гранична частота транзистора по в схемі з загальним емітером (ЗЕ);

$f_{роб}$ – максимальна робоча частота сигналу.

Цим умовам, задовольняє транзистор ВFR93А, з наступними параметрами:

$$\begin{aligned} I_{k_0} &= 35 \text{ мА} & I_e &= 3 \text{ мА} \\ U_{k.e} &= 12 \text{ В} & C_{к.б} &= 0,6 \text{ пФ} \\ U_{б.e} &= 2 \text{ В} & \tau_k &= 3,5 \text{ нс} \\ h_{21e} &= \beta_0 = 40 & I_b &= 0,25 \text{ мА} \\ h_{22} &= 0,3 \text{ мСм} & f_T &= 8000 \text{ МГц} \end{aligned}$$

Після вибору транзистора необхідно провести його розрахунок у-параметрів.

1. Вхідна активна провідність:

$$g_{11} \frac{(1 + \beta \times \gamma_m \times \gamma_s)}{[(R_b + \beta_0 \times R_e)(1 + \gamma_s^2)]} = \frac{(1 + 40 \times 0,054 \times 72,7)}{(11,6 + 40 \times 3)(1 + 72,7)} = 0,16 \text{ См}$$

$$\text{Де, } \gamma_m = \frac{f_p}{f_T} = \frac{434 \times 10^6}{8000 \times 10^6} = 0,054$$

$$\gamma_s = \frac{f_p}{f_s} = \frac{434}{5970} = 0,073$$

$$f_s = f_T \times \frac{R_e}{R_{\delta}} = 8000 \times 10^6 \times \frac{8,66}{11,6} = 5970 \text{ МГц}$$

$$R_e = \frac{26}{I_e} = \frac{26}{3} = 8,66 \text{ Ом}$$

$$R_{\delta} = \frac{2\tau_k}{C_{к.б}} = \frac{2 \times 3,5}{0,6} = 11,6 \text{ Ом}$$

2. Вхідна реактивна провідність:

$$B_{11} = \omega C_{11} = \frac{(\beta_0 \times \gamma_m - \gamma_s)}{[(R_{\delta} + \beta_0 \times R_e)(1 + \gamma_s^2)]} = \frac{(40 \times 0,054 - 0,073)}{(11,6 + 40 \times 8,66)(1 + 0,073^2)}$$

$$= 0,0057 \text{ См}$$

3. Вхідна ємність транзистора:

$$C_{11} = \frac{B_{11}}{\omega} = \frac{0,0057}{2\pi \times 5 \times 10^9} = 0,187 \text{ пФ}$$

4. Крутість транзистора:

$$\gamma_{21} = S = \frac{\beta_0}{[(R_{\delta} + \beta_0 \times R_e)\sqrt{1 + \gamma_s^2}]} = \frac{40}{(11,6 + 40 \times 8,66)\sqrt{1 + 0,073^2}}$$

$$= 0,111 \text{ См}$$

5. Активна провідність активного зв'язку:

$$g_{12} \approx -h_{226} - \frac{\omega\tau_k(\beta_0 \times \gamma_m - \gamma_s)}{[\beta_0 \times h_{116}(1 + \gamma_s^2)]}$$

$$= -0,0075 - \frac{2\pi \times 5 \times 3,5 \times 10^{-3}(40 \times 0,054 - 0,073)}{40 \times 8,95(1 + 0,073^2)}$$

$$= -0,0081 \text{ См}$$

де, h_{226} – вихідна провідність транзистора в схемі з загальною базою.

$$h_{226} = \frac{h_{22e}}{\beta_0} = \frac{0,3 \times 10^{-3}}{40} = 0,0075 \text{ мСм}$$

h_{116} – вхідний опір транзистора в схемі з загальною базою:

$$h_{116} = R_e + \frac{R_6}{\beta_0} = 8,66 + \frac{11,6}{40} = 8,95 \text{ Ом}$$

6. Реактивна провідність зворотнього зв'язку:

$$\begin{aligned} B_{12} &= -\omega C_{12} = -\omega C_{к.б} + \frac{\omega \tau_k (1 + \beta_0 \times \gamma_m \times \gamma_s)}{\beta_0 \times h_{116} (1 + \gamma_s^2)} \\ &= -2\pi \times 0,6 \times 5 \times 10^{-3} \\ &\quad + \frac{2\pi \times 3,5 \times 10^{-3} (1 + 40 \times 0,054 \times 0,073)}{40 \times 8,95 (1 + 0,073^2)} = 0,019 \text{ См} \end{aligned}$$

7. Ємність зворотнього зв'язку:

$$C_{12} = \frac{B_{12}}{\omega} = \frac{0,019}{2\pi \times 5 \times 10^9} = 0,6 \text{ пФ}$$

8. Вихідна активна провідність:

$$\begin{aligned} g_{22} &= h_{22e} + \frac{\omega \tau_k \times \gamma_s}{h_{116} (1 + \gamma_s^2)} = 0,3 \times 10^{-3} + \frac{2\pi \times 3,5 \times 10^{-3} \times 0,073}{8,95 (1 + 0,073^2)} \\ &= 0,0003 \text{ мСм} \end{aligned}$$

9. Вихідна реактивна провідність:

$$\begin{aligned} B_{22} &= \omega C_{12} = \omega C_{к.б} + \frac{\omega \tau_k}{h_{116} (1 + \gamma_s^2)} \\ &= 2\pi \times 0,6 \times 5 \times 10^{-3} \frac{2\pi \times 3,5 \times 10^{-3}}{8,95 (1 + 0,073^2)} = 0,0002 \text{ См} \end{aligned}$$

10. Вихідна ємність транзистора:

$$C_{12} = \frac{B_{22}}{\omega} = \frac{0,0002}{2\pi \times 5 \times 10^9} = 0,006 \text{ пФ}$$

Після розрахунків у-параметрів транзистора, проводимо розрахунок емітерного повторювача.

11. Визначаємо опір резистора навантаження в ланцюзі емітера за допомогою формул:

$$R_0 = \frac{K_n}{y_{21} + g_{11}} = \frac{0,9}{0,111 + 0,016} = 7,1 \text{ Ом}$$

де, K_n – коефіцієнт передачі емітерного повторювача, вибирається в межах 0,85 ... 0,95

$$R = \frac{R_0}{1 - R_0(y_{21} - 2g_{11})} = \frac{7,1}{1 - 7,1(0,111 - 2 \times 0,016)} = 16,17 \text{ Ом}$$

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R} - \frac{1}{R_{ст}} = \frac{1}{16,17} - \frac{1}{2 \times 10^3} = 0,06 \text{ См}$$

де, $R_{ст}$ – опір стабілізації наступного каскаду, приймаємо його рівним 20 Ом

$$R_e = 16,17 \text{ Ом}$$

Вибираємо по ДСТУ $R_e = 180 \text{ Ом}$

12. Визначаємо параметри вхідного ланцюга каскаду:

$$C_{вх} = \frac{\tau_k(1 - K_n)}{R_6} + C_e \times K_n = \frac{3,5(1 - 0,9)}{11,6} + 0,65 \times 10^{-12} \times 0,9 = 0,03 \text{ Ф}$$

$$R_{\text{вх}} = \frac{1}{g_{11}(1 - K_n)} = \frac{1}{0,016(1 - 0,9)} = 625 \text{ Ом}$$

13. Так як пристрій може отримувати не тільки синусоїдальні сигнали, але сигнали імпульсної форми, то потрібно визначити час наростання фронту імпульсу, який буде доданий каскадом:

$$t_{\text{н}} = 2,2(\tau_i + \tau_s + \tau_k(\frac{2R_0}{R_6} - \frac{R_0}{R})) = 2,2(9,7 + 9,2 + 3,5(\frac{2 \times 7,1}{11,6} - \frac{7,1}{16,7}))$$

$$= 47,7 \text{ пс}$$

$$\text{де, } \tau_i = (1 + y_{21} \times R_6) \times C_e \times R_0$$

$$= (1 + 0,111 \times 11,6) \times 0,65 \times 10^{-12} \times 7,1 = 9,7 \text{ пс}$$

$$\tau_s = (K_0 - 1) \times C_e \times R_0 = (3 - 1) \times 0,65 \times 10^{-12} \times 7,1 = 9,2 \text{ пс}$$

Приймаємо, що коефіцієнт підсилення наступного каскаду $K_0 = 3$

14. Визначаємо опір резисторів R_1 і R_2

$$R_1 = \frac{E_k - U_6}{(\gamma + 1) \times I_{60}} = \frac{15 - 2,049}{(5 + 1) \times 0,25 \times 10^{-3}} = 8,634 \text{ кОм}$$

Вибираємо коефіцієнт $\gamma = 5$;

$$U_6 = U_{6,e} + U_{Re} = 2 + 0,049 = 2,049 \text{ В}$$

В ісходному режимі постійна напруга на резисторі R_e :

$$U_{Re} \approx I_e \times R_e = 3 \times 10^{-3} \times 16,17 = 4,9 \times 10^{-2} \text{ В}$$

$$R_2 = \frac{E_k}{\gamma \times I_6} - R_1 = \frac{15}{5 \times 0,25 \times 10^{-3}} - 8,634 \times 10^{-3} = 3,3 \text{ кОм}$$

Вибираємо по ДсТу $R_1 = 10 \text{ кОм}$; $R_2 = 5 \text{ кОм}$

2.4 Розрахунок ланцюга RC.

При проектуванні схеми "Цифровий синтезатор частоти" необхідно розрахувати параметри RC-ланцюга $R_8 C_3$, який виступає в ролі RC-фільтра. Це дозволить запобігти вхідним перешкодам від надвисоких частот на мікроконтролер DA1. Довжина імпульсу $T = 1,1 \times R_8 \times C_3$.

$$\tau = \frac{1}{f}$$

де: τ -період сигналу на виході генератора

f -частота спектру сигналу на вході МК, 5 кГц

$$\tau = R_8 \times C_3 = (10 \times 10^3) \times (0,1 \times 10^{-6}) = 0,001$$

де: R_8 – опір резистору;

C_3 - ємність конденсатору.

Ємність конденсатору знаходимо із умови, що

$$f_0 = 0,1 \times \frac{10^{-6}}{C_\tau} = (9 \text{ пФ} \dots 500 \text{ мкФ})$$

$$C_\tau = C_3 = 0,1 \times \frac{10^{-6}}{0,1 \times 10^6} = 0,00001 \times 10^{-7} \text{ Ф} = 0,1 \text{ мкФ}$$

Якщо задаємося ємністю конденсатора $C_3 = 0,1 \text{ мкФ}$ та розраховуємо опір резистора R_8 :

$$R_3 \times C_7 = \frac{1}{f} = 2 \times 10^{-1}$$

$$R_8 = 2 \frac{10^{-1}}{1} \times 0,00001 \times 10^{-7} = 20 \text{ Ом}$$

2.5 Конструктивний розрахунок

На цьому етапі виконання курсового проекту необхідно дотримуватись наступної послідовності:

- 1) обрати тип друкованої плати;
- 2) визначити клас точності;
- 3) обрати матеріал для основи плати ;
- 4) відшукати раціональне розташування елементів на платі;
- 5) визначити конфігурацію та габаритні розміри друкованої плати;
- 6) визначити розмір елементів малюнку;
- 7) провести трасування;
- 8) виконати необхідні технологічні розрахунки.

Основою для топологічного проектування друкованої плати є електрична принципова схема пристрою. На першому етапі конструювання вибираємо тип і розмір друкованої плати. Товщина друкованої плати вибирається із рекомендуемого ряду припустимих значень і приймається 1,5мм.

Знайшовши площину кожного елементу площа друкованої плати становить 6,955 мм². В якості матеріалу друкованої плати приймаємо склотекстоліт сФ-Н1-50-1, котрий менше схильний до короблення.

Приймаємо односторонню печатну плату першого класу точності, для якої рекомендується метод виготовлення електрогальванічним ГОСТ 23752-79.

Приймається товщина провідного шару доданого провідника $h_{\phi} = 35$ мкм. Тоді для обраного класу точності робоча напруга складає $U_p = 100$ В, граничний струм $I_{гр} = 2600$ мА і погонний опір – 1,1 МОм/мм.

При топологічному проектуванні розробляється рисунок друкованої плати, включаючи розміщення радіо елементів на робочій площі друкованої плати і трасування з'єднань між контактними площадками. Приймається крок координатної сітки 2,5 мм. Приймаються допуски на між центрову відстань отворів для кріплення елементів $\pm 0,2$ мм. Всі радіо-елементи встановлюються з однієї сторони печатної плати, що дозволяє використовувати пайку “хвилею припою”. Розрахунок розмірів провідного малюнка печатної плати повинний включати розрахунки:

- ◆ діаметрів монтажних не металізованих і металізованих отворів;
- ◆ діаметра контактних площадок і ширини провідників;
- ◆ мінімальної відстані між елементами провідного малюнка.

Так само розраховується електричні параметри печатної плати:

- ◆ значення паразитної ємності між двома провідниками;
- ◆ взаємоіндукції між друкованими провідниками;
- ◆ падіння напруги в провідниках;
- ◆ потужності втрат.

Трасування полягає у з'єднанні контактів кожного елемента, розташованого на печатній платі. При трасуванні необхідно дотримуватися обмежень, що включають у себе заборону перетинання провідників ланцюгів в одному шарі та метричні обмеження, пов'язані з обмеженим обсягом монтажного простору та розмірами провідних з'єднань.

Згідно з стандартом виконуємо наступні розрахунки:

- ◆ діаметр монтажних отворів;
- ◆ діаметр контактних площадок;
- ◆ мінімальна ширина провідника;
- ◆ максимальна ширина провідника.

Розрахунок діаметра монтажних отворів проведемо по формулі:

$$d_m = d_{vi} + (0,2 \div 0,4)$$

де d_m - діаметр монтажних отворів, мм;

d_{vi} - діаметр виводу елемента, мм.

Проведемо розрахунок діаметрів отворів для окремих елементів схеми, починаючи з розрахунку діаметрів отворів для інтегральних мікросхем. Це зумовлено тим, що товщина виводів інтегральних мікросхем є однаковою, тому ми проведемо розрахунок для всіх мікросхем одночасно. Згідно з довідковими даними діаметр виводу мікросхем: $d_{vi}=0,7$ мм. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{m1} = 0,48 + (0,2 \div 0,4) = 0,98 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення отвору $d_{m1} = 1,2 \text{ мм}$.

Далі розрахуємо діаметр отвору під резистори. Згідно з довідковими даними в схемі резистори мають діаметр виводу $d_{B2} = 0,6 \text{ мм}$. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{m2} = d_{Bi} + (0,2 \div 0,4) = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення отвору $d_{m2} = 1,1 \text{ мм}$

Далі розрахуємо діаметр отвору під конденсатори. Згідно з довідковими даними діаметр виводу конденсатору $d_{m4} = 0,6 \text{ мм}$. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{m4} = d_{B4} + (0,2 \div 0,4) = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення отвору з вище приведенного ряду $d_{m4} = 1,1 \text{ мм}$.

Далі розрахуємо діаметр отвору під діоди. Згідно з довідковими даними діаметр виводу діода $d_{m5} = 0,6 \text{ мм}$. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{m5} = d_{B5} + (0,2 \div 0,4) = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення отвору з вище приведенного ряду $d_{m5} = 1,1 \text{ мм}$.

Тепер проведемо розрахунок діаметру отвору під транзистори. Згідно з довідковими даними в схемі транзистор мають діаметр отвору $d_{B6} = 0,6 \text{ мм}$. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{m6} = d_{B6} + (0,2 \div 0,4) = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ мм}$$

Розрахунок діаметра контактних площадок проведемо по формулі (при виготовленні отворів свердленням):

$$D_{k \min} = \sqrt{1,28 \times \text{ПО} + d_{\max}}, \quad (2.5.6)$$

де $D_{k \min}$ - діаметр контактної площадки, мм;

d_{\max} - діаметр металізованого отвору, мм;

ПО – мінімальна площа контактної площадки, дорівнює $2,5 \text{ мм}^2$

Розрахуємо діаметр контактної площадки для мікросхеми:

$$D_{k \min} = \sqrt{1,28 \times 2,5 + 1,5} = 2,09 \text{ мм}$$

Для розрахунку контактної площадки під конденсатори, резистори та транзистори приймається формула (2.4.6):

$$D_{k \min} = \sqrt{1,28 \times 2,5 + 1,1} = 2,07 \text{ мм}$$

Розрахунки параметрів елементів друкованої плати: Розрахунок мінімальної ширини провідника проведемо по формулі:

$$b_{\min} = b_{\text{зад}} + 1,5 \times h_{\phi}, \quad (2.5.7)$$

де b_{\min} - мінімальна ширина провідника, мм;

$b_{\text{зад}}$ - задана ширина провідника, мм;

h_{ϕ} - середня товщина провідника, мм.

$$b_{min} = 0,6 + 1,5 \times 0,035 = 0,653 \text{ мм}$$

Розрахунок максимальної ширини провідника проведемо по формулі:

$$b_{max} = b_{min} + C_{1B}, \quad (2.5.8)$$

де b_{max} - максимальна ширина провідника, мм;

b_{min} - мінімальна ширина провідника, мм.

C_{1B} приймаємо 0,12 мм для першого класу точності.

$$b_{max} = 0,653 + 0,12 = 0,773 \text{ мм}$$

Приймаємо $b_{max} = 1 \text{ мм}$, $b_{min} = 0,6 \text{ мм}$.

Паразитна ємність $C_{\text{пар}}$ між двома друкованими печатними провідниками визначається за формулою:

$$C_{\text{пар}} = C_{\text{пог}} + I_n, \quad (2.5.9)$$

де $C_{\text{пог}}$ - погонна ємність провідника, пФ/см;

I_n - довжина провідника, см.

$$C_{\text{пог}} = K_n \times \varepsilon, \quad (2.5.10)$$

де K_n - погонний коефіцієнт;

ε - діелектрична проникність.

Для провідників однакової ширини $b = 1$ мм і відстані між ними $S = 1,5$ мм погонний коефіцієнт $K_n = 0,14$:

$$C_{\text{пог}} = 0,14 \times 6 = 0,84 \text{ пФ/см}$$

$$\text{Тоді } C_{\text{пар}} = 0,84 + 18 = 15,12 \text{ пФ}$$

$$\text{При } b = 0,6 \text{ мм } K_n = 0,1$$

$$C_{\text{пар}} = 0,1 \times 6 \times 18 = 10,8 \text{ пФ}$$

Отже, паразитна ємність менша за припустиму. Коефіцієнт взаємоіндукції M , що характеризує паразитну взаємоіндукцію між друкованими провідниками, обчислюється за формулою:

$$M = 2 \times I_n \times \left(l_n \frac{2 \times I_n}{S + 0,5(t_1 + t_2)} \right) \quad (2.5.11)$$

де t_1, t_2 - ширина провідника першого і другого відповідно

$$M = 2 \times 18 \times l_n \frac{2 \times 18}{1,5 + 0,5(1 + 1)} = 96 \text{ мГн}$$

Індуктивність друкованого провідника визначається згідно :

$$L = L_{\text{пог}} \times I_n, \quad (2.5.12)$$

де для провідника шириною $b=1$ мм погонна індуктивність:

$$L_{\text{пог}} = 0,0135 \text{ мкГн/см}$$

$$L = 0,0135 \times 18 = 0,243 \text{ мкГн}$$

Визначається потужність витрат друкованої плати згідно :

$$P_n = 2 \times \pi \times f \times C \times U^2 \times \operatorname{tg} \delta, \quad (2.5.13)$$

де f - частота напруги схеми, при постійному струмі живлення, Гц;

U - напруга живлення схеми, В;

$\operatorname{tg} \delta$ - тангенс кута діелектричних втрат;

C – ємність друкованої плати, мкФ, що розраховується по формулі:

$$C = 0,009 \times \varepsilon \times \frac{F}{H_M}, \quad (2.5.14)$$

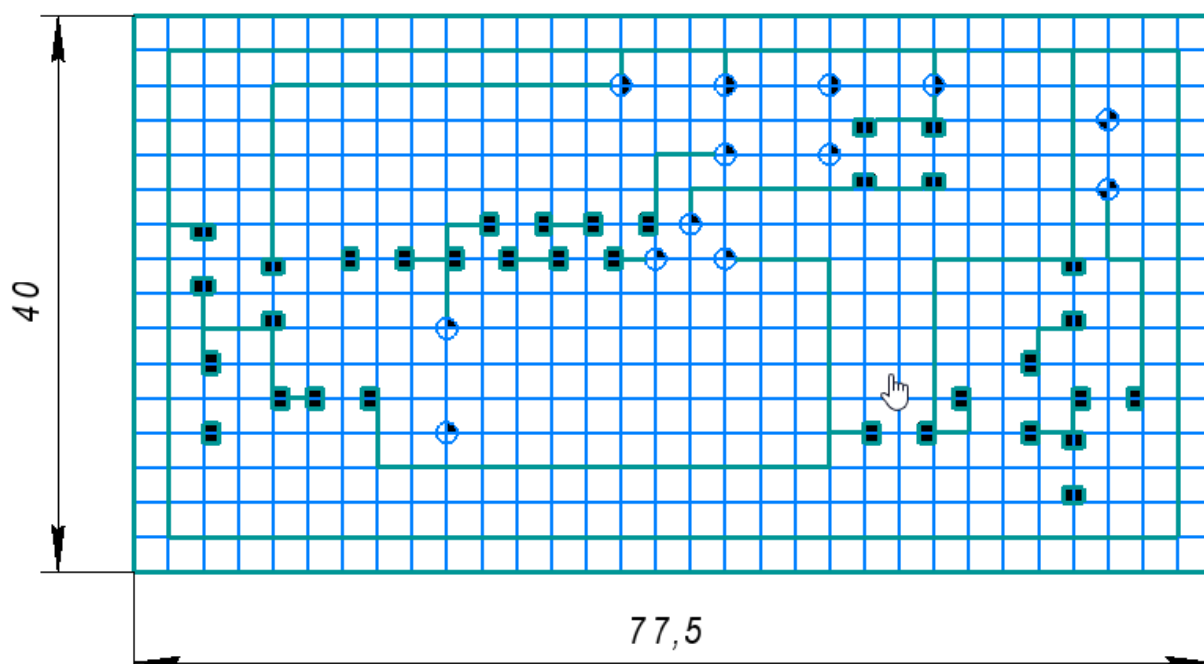
де F – сумарна площа друкованих провідників, мм²;

H_M – товщина плати, мм.

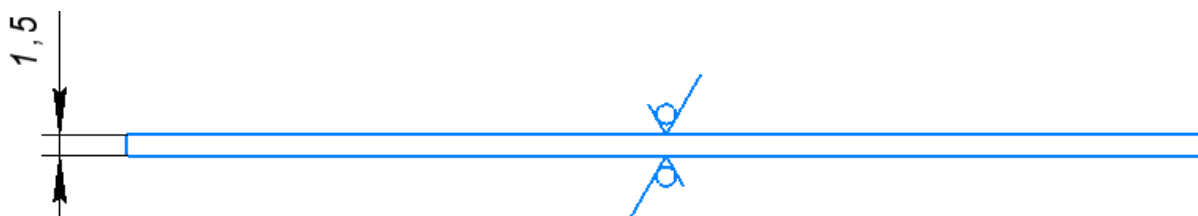
$$C = 0,009 \times 6 \times \frac{2000}{1,5} = 72 \text{ мкФ}$$

$$P_n = 2 \times 3,14 \times 50 \times 72 \times 12^2 \times 10^{-6} = 203,47 \times 10^{-6} \text{ Вт}$$

Таким чином, втрати потужності несуттєві.



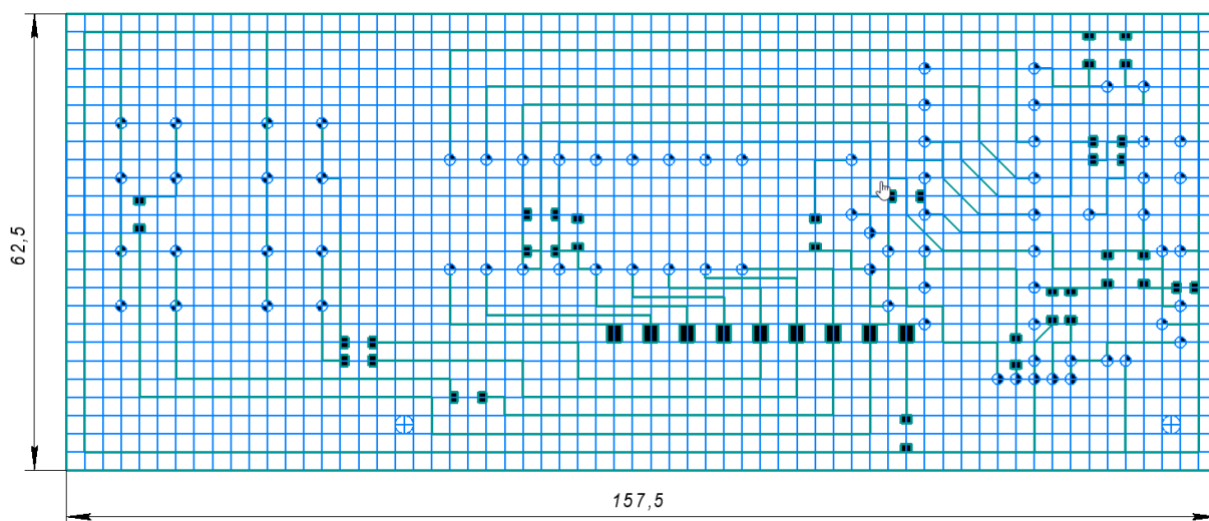
(a)



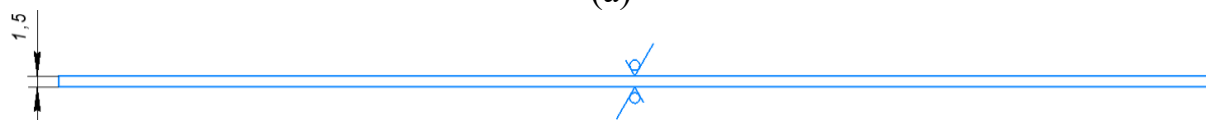
(б)

:а - передня сторона, б - товщина текстоліту

Рисунок 2.3 - Топологія генератора який керується напругою



(а)



(б)

:а - передня сторона, б - товщина текстоліту

Рисунок 2.4 - Топологія цифрового синтезатора частоти

2.6 Розрахунок надійності

У цьому розділі ми проаналізуємо причини виникнення відмов та перерахуємо заходи, які були прийняті під час проектування для забезпечення надійності.

Виникаючі відмовлення викликаються наступними основними факторами:

- ◆ недостатньою надійністю комплектуючих вузлів;
- ◆ порушенням розроблювачем технічних умов на застосування вузлів;
- ◆ схемно-конструкторськими і виробничими недоліками;
- ◆ порушенням правил експлуатації;
- ◆ недостатньою захищеністю радіоелектронної апаратури від зовнішніх впливів.

Фактори, що впливають на надійність підрозділяють на наступні функціональні групи:

- 1) схемно-конструктивні;
- 2) виробничо-технологічні;
- 3) експлуатаційні.

З схемно-конструктивних причин частка відмовлень експлуатованої апаратури складає 70-80% від усіх відмовлень.

Питома вага виробничо-технологічних факторів відмовлень складає 20-30%.

Основні експлуатаційні фактори:

- ◆ ударно-вібраційні навантаження;
- ◆ кліматичні впливи.

Якщо безвідмовна робота пристрою є критично важливою під час його експлуатації, то надійність пристрою характеризується коефіцієнтом оперативної готовності. Для розрахунку параметрів пристрою використовується експоненціальна математична модель надійності:

$$P = e^{\lambda t}$$

де P - ймовірність безвідмовної роботи пристрою, год.;

e – основа натурального логарифму;

λ – інтенсивність відмов пристрою, 1/год.;

t - час, год.

Інтенсивність відмов λ для пристрою розраховується за наступною формулою:

$$\lambda = \sum N_i \times \lambda_i$$

де λ - інтенсивність відмов пристрою, 1/год.;

λ_i - інтенсивність відмов і-го елемента, 1/год.;

N_i - кількість елементів і-го елемента, шт.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов елементів пристрою розраховуємо по наступній формулі:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K \times K_e$$

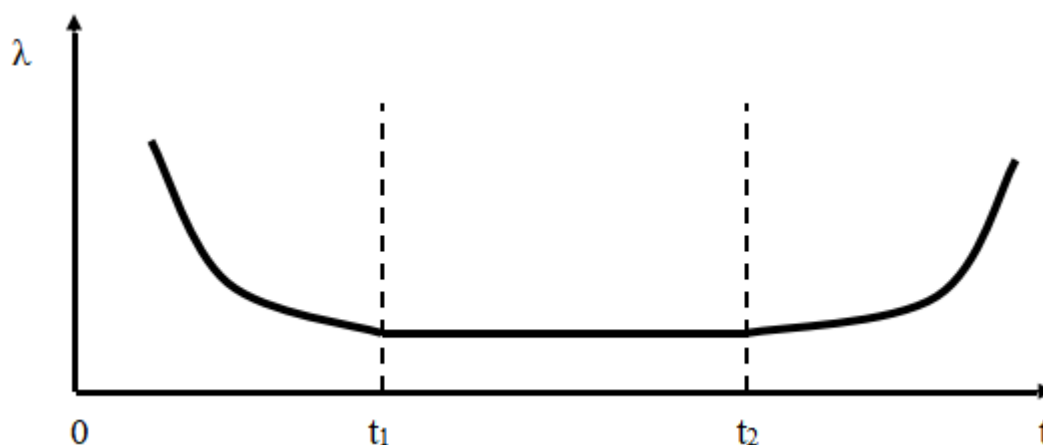
де λ_i - інтенсивність відмов і-го елемента;

λ_0 - інтенсивність відмов типів елементів;

K_e - коефіцієнт залежний від умов експлуатації, приймаємо $K_e = 1$.

Здійснюємо розрахунки за формулами, зазначеними вище, та представимо результати у вигляді таблиці.

Залежність інтенсивності відмов від часу показана на рисунку 2.5



де $0 \div t_1$ – час приробітку, відмови за рахунок прояви схованих дефектів, елементної бази, технології виготовлення

$t_2 \div t_1$ – час нормальної роботи пристрою;

$t_2 \div \infty$ – збільшення інтенсивності відмови виробу за рахунок старіння діелектриків, елементів.

Рисунок 2.5 – Залежність інтенсивності відмов.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов керамічних та оксидно-електролітичних конденсаторів:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_c \times K_e$$

де λ_i – інтенсивність відмов i -тих елементів, 1/год.;

λ_0 – інтенсивність відмов типів (групи) пристроїв відповідно температурі навколишнього середовища $+25^{\circ}\text{C}$ і номінальному електричному навантаженню;

K_p – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

K_e – коефіцієнт залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов постійних резисторів:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_R \times K_e$$

де λ_i – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

λ_0 – інтенсивність відмов типів (групи) пристроїв відповідно температурі навколишнього середовища $+25^{\circ}\text{C}$ і номінальному електричному навантаженню;

K_p – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

K_R – коефіцієнт, залежний від величини номінального опору;

K_e – коефіцієнт залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов змінних резисторів.

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_R \times K_e \times K_{S1}$$

де λ_i – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

λ_0 – інтенсивність відмов типів (групи) пристроїв відповідно температурі навколишнього середовища $+25^{\circ}\text{C}$ і номінальному електричному навантаженню;

K_p – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

K_R – коефіцієнт, залежний від величини номінального опору;

K_e – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації;

K_{S1} – коефіцієнт, залежний від величини відношення робочої напруги до максимально допустимої по ТУ.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов напівпровідникових елементів:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_\phi \times K_{д.н} \times K_{S1} \times K_e$$

де λ_i – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

λ_0 – інтенсивність відмов типів (групи) пристроїв відповідно температурі навколишнього середовища $+25^0\text{c}$ і номінальному електричному навантаженню;

K_p – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

K_ϕ – коефіцієнт, враховуючий функціональне призначення пристрою;

$K_{д.н}$ – коефіцієнт, залежний від величини максимально допустимого по ТУ навантаження по потужності розсіювання струму;

K_{S1} – коефіцієнт, залежний від величини відношення робочої напруги до максимально допустимої по ТУ.

K_e – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов комутаційних пристроїв:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_{к.к.} \times K_e$$

де λ_i – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

λ_0 – інтенсивність відмов типів (групи) пристроїв відповідно температурі навколишнього середовища $+25^0\text{c}$ і номінальному електричному навантаженню;

$K_{к.к.}$ – коефіцієнт, застосований від кількості використовуваних контактів;

K_p – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

K_e – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов мікросхем:

$$\lambda_i = \lambda_{0\text{с.г}} \times K_{\text{сл}} \times K_e$$

де λ_i – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

$\lambda_{0\text{с.г}}$ – інтенсивність відмов типів (групи) пристроїв відповідно температурі навколишнього середовища $+25^0\text{с}$ і номінальному електричному навантаженню;

$K_{\text{сл}}$ – коефіцієнт, залежний від величини максимально допустимого по ТУ навантаження по потужності розсіювання струму;

K_e – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов індикаторів напівпровідникових:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_e$$

де λ_i – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

λ_0 – інтенсивність відмов типів (групи) пристроїв відповідно температурі навколишнього середовища $+25^0\text{с}$ і номінальному електричному навантаженню;

K_p – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

K_e – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов з'єднувачів:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_{\text{к.к.}} \times K_{\text{к.с.}} \times K_e$$

де λ_i – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

λ_0 – інтенсивність відмов типів (групи) пристроїв відповідно температурі навколишнього середовища $+25^0\text{C}$ і номінальному електричному навантаженню;

$K_{к.к.}$ – коефіцієнт, застосований від кількості використовуваних контактів;

K_p – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

$K_{к.с.}$ – коефіцієнт, застосований від кількості використовуваних з'єднань;

K_e – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов запобіжників:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_t \times K_e$$

де λ_i – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

λ_0 – інтенсивність відмов типів (групи) пристроїв відповідно температурі навколишнього середовища $+25^0\text{C}$ і номінальному електричному навантаженню;

K_t – коефіцієнт для запобіжників при номінальному навантаженні;

K_e – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Таблиця 2.1 - Значення інтенсивності відмов конденсаторів

Позиція	Тип	K_n	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год.	K_p	K_c	K_s	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/год.
c1, C2	CC0805JRNPO9BN150- 15МКФ	0,3	0,01	0,08	2,5	1,1	0,0022

c4,c9,c15, c16,C12	CL21B104KBCNNNC- 0,1мкФ	0,3	0,013	0,08	2,5	0,9	0,00234
c3	GRM21BR61C106K- 10мкФ	0,3	0,01	0,08	2,5	1,1	0,0022
c5	GRM21BR61C106K- 1мкФ	0,3	0,01	0,08	2,5	0,6	0,0012
C6,C13,C10	GRM21BR71E225K- 2.2мкФ	0,3	0,01	0,08	2,5	0,6	0,0012
c7	GRM21BR72E103K- 0,01мкФ	0,3	0,01	0,08	2,5	2,65	0,0053
C8	TZC3R100A110 1-5пФ	0,3	0,02	0,08	2,5	2,65	0,0106
C11	GRM21BR61C106K- 5.1мкФ	0,3	0,01	0,08	2,5	1,1	0,0022
c14,c17	K10-176-15мкФ	0,3	0,013	0,08	2,5	1,1	0,0022
$\sum c_i$							0,0456

Таблиця 2.2 - Значення інтенсивності відмов постійних резисторів.

Позиція	Тип	K_H	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/ГОД.	K_p	K_c	K_R	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/ГОД.
R1,R2,R5, R9,R10	RC1206JR- 0710KL- 10кОм	0, 3	0,01	0,48	2,5	1	0,012
R3,R4,R7	RC1206JR- 071K5L- 1,5кОм	0, 3	0,01	0,48	2,5	1	0,012
R6,R19	CMA02040X 1001GB300- 1кОм	0, 3	0,01	0,48	2,5	1	0,012
R8,R18,R2 0	RC1206FR- 07150KL- 150кОм	0, 3	0,01	0,48	2,5	2	0,024
R11	MMA02040E 2402BB100- 24кОм	0, 3	0,01	0,48	2,5	1	0,012
R13,R16	MMA02040D 1003B- 100кОм	0, 3	0,01	0,48	2,5	2	0,024
R12,R14, R15,R17	RC1206JR- 073K3L- 3,3кОм	0, 3	0,01	0,48	2,5	1	0,012

$\sum R_i$									0,3
------------	--	--	--	--	--	--	--	--	-----

Таблиця 2.3 - Значення інтенсивності відмов транзисторів

Позиція	Тип	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год.	K_p	K_ϕ	$K_{д.н.}$	K_ϵ	K_{S1}	n	$\lambda_i \cdot 10^6$ 1/год.
VT2, VT4	BFR93A	0,25	0,2	1,5	0,8	2,5	0,5	1	0,075
VT1, VT3	J308	0,25	0,2	1,5	0,8	2,5	0,5	1	0,075
$\sum VT_i$									0,3

Таблиця 2.4 - Значення інтенсивності відмов комутаційних пристроїв.

Позиція	Тип	K_H	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год.	K_p	$K_{к.к.}$	K_ϵ	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/год.
SA1...							0,00
SA4	FSM14JH	0,12	0,07	0,21	0,25	2,5	91
Σ							0,0364

Таблиця 2.5 - Значення інтенсивності відмов мікросхем.

Позиція	Тип	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год.	$K_{сл}$	K_ϵ	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/год.
DA1	LM7001JM DIP-16	0,013	1.0	2,5	0,0325
DA2	L78L05	0,013	1.0	2,5	0,0325
DD1	PIC16F84A	0,2	1.0	2,5	0,5
Σ					0,565

Таблиця 2.6 - Значення інтенсивності відмов індикаторів напівпровідникових.

Позиція	Тип	K_H	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год	K_p	K_e	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/год
HG1	MT-10T7-7T	0,5	0,77	0,17 4	2,5	0,3349
Σ						0,3349

Таблиця 2.7 - Значення інтенсивності відмов діодів та варикапів.

Позиція	Тип	K_H	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год	K_{s1}	K_p	K_e	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/год
VD1	КД522А	0,12	0,07	0,15	0,25	2,5	0,0065
VD1	KB132AT	0,8	0,07	0,07	0,282	1,5	0,0207
Σ							0,0272

Значення експлуатаційної інтенсивності відмови пайки:

$$\lambda_i = 97 \times 0,01 \times 10^{-6}$$

Кількість пайок – 111 шт.

Розраховуємо сумарну інтенсивність відмов пристрою:

$$\lambda_{пр} = K_{ам} \times K_{обс} \times \lambda_{ci}$$

де λ_i – інтенсивність відмови пристрою, 1/год.;

$K_{ам}$ – коефіцієнт амортизації ($K_{ам} = 0,85$);

$K_{обс}$ - коефіцієнт обслуговування ($K_{обс} = 1$);

λ_{ci} – сумарна експлуатаційна інтенсивність відмови i -тих елементів пристрою.

$$\lambda_{ci} = (0,0456 + 0,3 + 0,3 + 0,0364 + 0,565 + 0,3349 + 0,0272 + 0,97) \times 10^{-6} = 2,6 \times 10^{-6}$$

$$\lambda_{пр} = 0,85 \times 1 \times 2,6 \times 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Розрахунок значення середньої наробітки до відмови:

$$t_{сер} = 1/\lambda_{пр}$$

де $t_{сер}$ - середня наробітку до відмови.

$$t_{сер} = \frac{1}{2,21} \times 10^{-6} = 452488,69 \text{ год}$$

середня наробітка до відмови у роках:

$$t_{сер (р.)} = \frac{452488,69}{365 \times 24} = 51,7 \text{ років}$$

Імовірність безвідмовної роботи :

$$P = e^{-\lambda t}$$

де P – імовірність безвідмовної роботи;

e – основа натурального логарифму;

λ – інтенсивність відмови пристрою, 1/год.;

Для побудови графіка залежності $P = f(t)$ знаходиться крок по осі абсцис ($t_{год}$) і складається таблиця 2.4.10:

$$h = \frac{T_{сер}}{4}$$

де h – крок по осі абсцис, год.

$$h = \frac{452488,69}{4} = 117370,9 \text{ год} \approx 12 \times 10^4 \text{ год}$$

Таблиця 2.8 - Графік залежності $P = f(t)$.

$t \cdot 10^4$	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108
$\lambda \cdot t$	0	0,26	0,51	0,77	1,02	1,28	1,53	1,79	2,05	2,3
$e^{-\lambda t}$	1	0,77	0,6	0,46	0,36	0,28	0,22	0,17	0,13	0,1

Графік залежності $P = f(t)$ зображений на рисунку 2.6

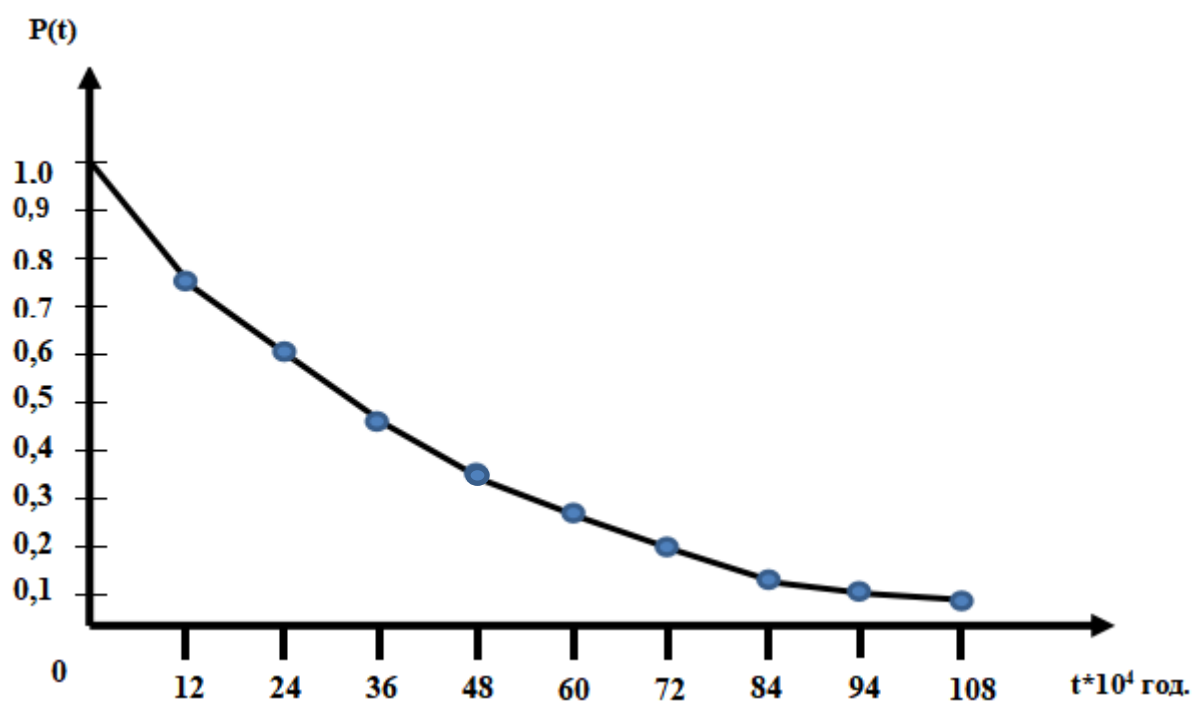


Рисунок 2.6 – Графік ймовірності безвідмовної роботи.

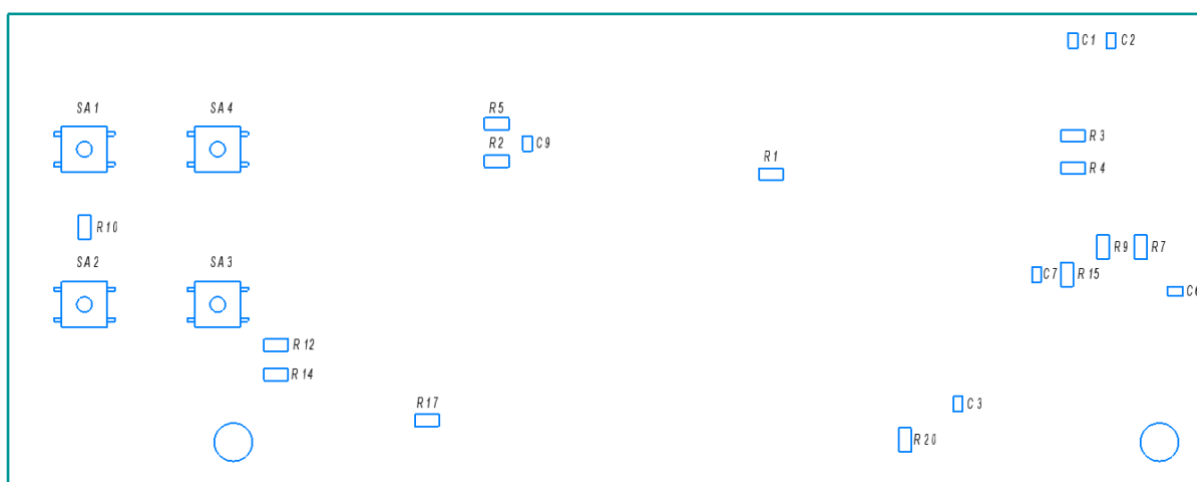
Надійність є основним показником тривалості роботи пристрою та визначає здатність пристрою працювати безвідмовно протягом визначеного періоду в певних умовах експлуатації.

Надійність є фізичною величиною, яка відображає відмови елементів, що входять до складу пристрою, блоку або апаратури, коли ще не розроблені окремі частини. З'єднання елементів з точки зору надійності означає, що відмова будь-якого елемента призведе до відмови всього пристрою.

Тому, для забезпечення високої надійності апаратури, необхідно застосовувати комплекс заходів на всіх етапах виробництва та експлуатації. Один з найважливіших етапів - це етап розробки, на якому вибираються принципи забезпечення надійності. При цьому необхідно враховувати ряд основних вимог до виробу, таких як технічні та тактико-технічні характеристики (габарити, маса, чутливість, точність, швидкодія, час приведення в готовність).

2.7 Технологічний маршрут виготовлення пристрою

Виконано складальне креслення друкованої плати цифрового синтезатора частоти зображеного на рисунку 2.7



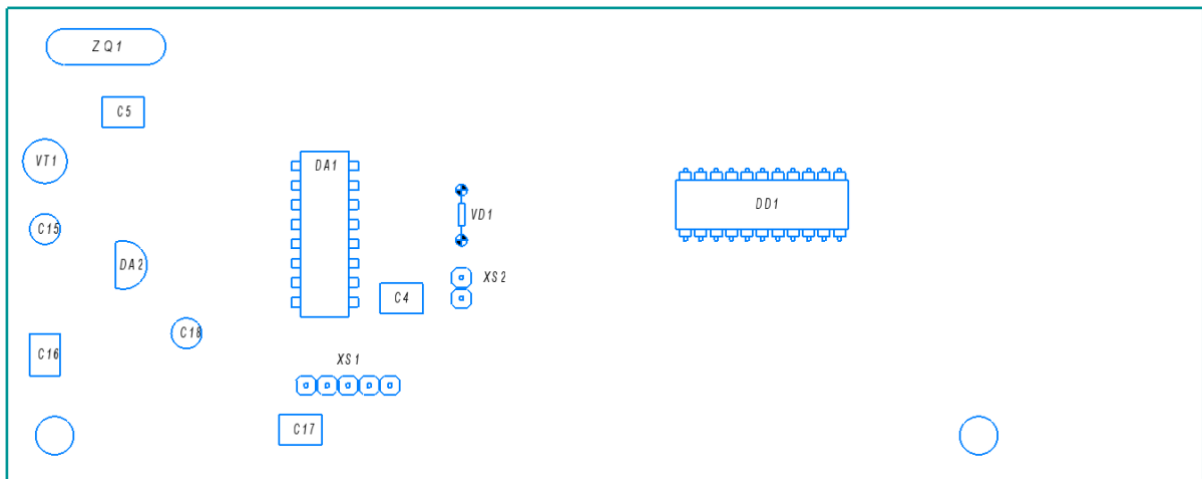
(a)



(б)

: а - передня сторона, б - товщина текстоліту

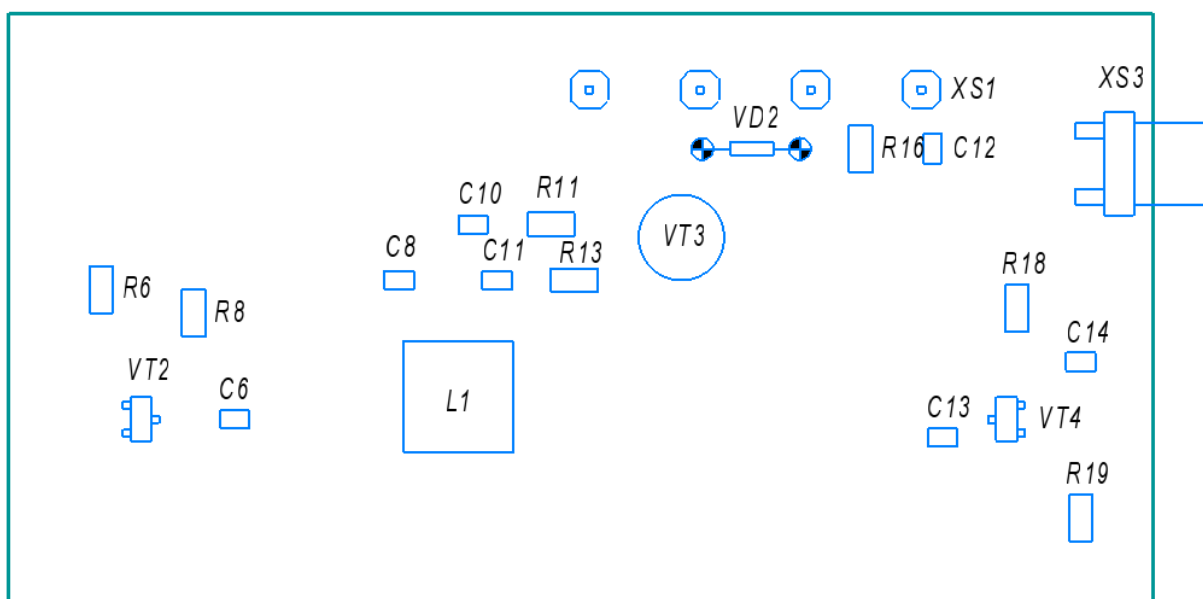
Рисунок 2.7 - складальне креслення друкованої плати цифрового синтезатора частоти



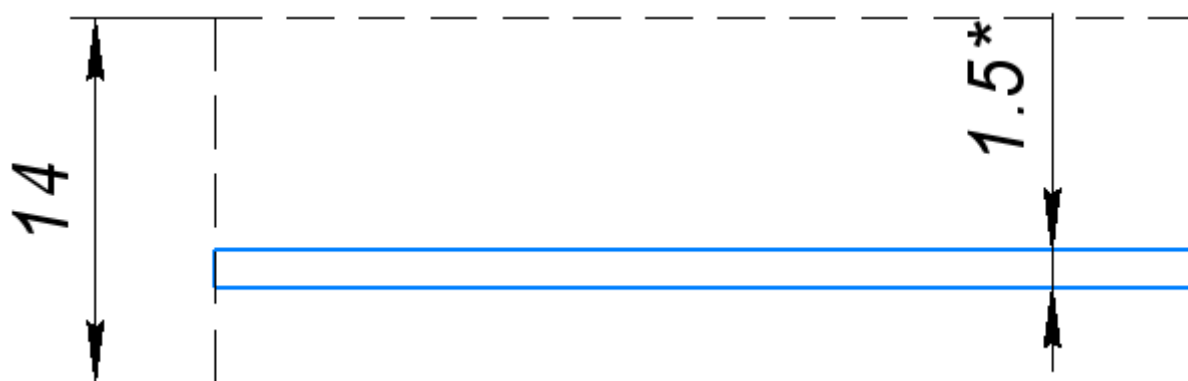
(в)

: в - зворотня сторона

Рисунок 2.8 - складальне креслення друкованої плати цифрового синтезатора частоти



(а)



(б)

:а - передня сторона, б - товщина текстоліту

Рисунок 2.9 - складальне креслення друкованої плати генератора що керується напругою

Загальний вигляд маршруту виготовлення друкованої плати гальвано-хімічним методом є таким:

- ◆ Вирубка заготовки
- ◆ свердління отворів
- ◆ Підготовка поверхні заготівлі
- ◆ Нанесення рисунку схеми

- ◆ Хімічне травлення
- ◆ Покриття сплавом “Розе”
- ◆ Установка елементів на друковану плату
- ◆ Пайка друкованої плати
- ◆ Консервування
- ◆ Вихідний контроль

Після виконання усіх етапів пристрій готовий до експлуатації, а при правильному монтажі починає працювати одразу після ввімкнення.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Правова основа законодавства, що регулює охорону праці в Україні, складається з Конституції України Законів України, таких як "Про охорону праці", "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку", "Про використання ядерної енергії та радіаційний захист", "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення", а також Кодексу законів про працю України (КЗПП). Основним законодавчим документом у галузі охорони праці є Закон України "Про охорону праці", який поширює свою дію на всі підприємства, установи та організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, а також на всіх громадян, які працюють або залучені до праці на цих підприємствах.

Навчання та систематичне підвищення рівня знань працівників та населення України з питань охорони праці є одним з основних принципів державної політики в галузі охорони праці. Це є фундаментальною основою безпеки та необхідною умовою для удосконалення управління

охороною праці та забезпечення ефективної профілактичної роботи щодо запобігання аварій та травматизму на виробництві.

3.1 Вимоги до безпеки праці

Умови праці охоплюють всі фактори виробничого середовища, які впливають на здоров'я та працездатність людини під час виконання роботи.

Згідно з вимогами ГОСТ 12.3.002-75 "Процеси виробничі" та факторами виробничого середовища, виробниче середовище, яке забезпечує здорові та працездатні умови праці, головним чином залежить від вибору технологічного процесу, матеріалів та устаткування, розподілу навантаження між людиною та устаткуванням, режиму праці та відпочинку, естетичної організації середовища та професійного добору працюючих. Організація умов праці повинна враховувати вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть призвести до травм та інших раптових різких погіршень здоров'я або захворювань, зниження працездатності.

Згідно з ГОСТ 12.0.003-74, шкідливі та небезпечні виробничі фактори поділяються на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні, кожна з яких поділяється на підгрупи. Для попередження травм та професійних захворювань від впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів на підприємствах приймаються заходи для їхнього попередження та усунення, а також зниження ступеня впливу на працюючих.

Організація та поліпшення умов праці на робочому місці є одним з найважливіших резервів продуктивності праці та економічної

ефективності виробництва, а також подальшого розвитку самого працюючого. Це є проявом соціального та економічного значення організації та поліпшення умов праці.

Для захисту від дотику до струмоведачущих частин електроустановок використовують захисні засоби, такі як ізоляція, огороження, блокування, електрозахисні засоби, сигналізація та плакати. Ізоляція проводів характеризується її опором, опір ізоляції проводів від землі та корпусів електроустановок створює безпечні умови для обслуговуючого персоналу.

Огороження застосовуються суцільні та сітчасті, вони повинні бути вогнестійкими. суцільні огороження (кожухи та кришки) застосовуються в електроустановках напругою до 1000 В та вище.

Блокування застосовується в електроустановках напругою вище 250 В, у яких часто виробляються роти на струмоведачущих частинах, що обгороджуються..

До електрозахисних засобів відносять:

- ◆ ізолюючі засоби;
- ◆ переносні покажчики напруги і струмовимірювальні кліщі.

При обслуговуванні електроустановок важливо використовувати сигналізацію, яка привертає увагу працівників та попереджає їх про можливі небезпеки.

Радіоелектронне устаткування використовує радіотехнічні пристрої, електронні, іонні, напівпровідникові та квантові пристрої.

При монтажі радіо схем необхідно дотримуватися певних правил безпеки, таких як уникання дотику до струмоведачущих частин схеми, не застосовувати проводи з ушкодженою ізоляцією для з'єднання блоків та пристроїв, не робити пайку та установку деталей в устаткуванні, що знаходиться під напругою, не вимірювати напруги та струми переносними пристроями з неізольованими проводами та щупами, не підключати блоки та пристрої до устаткування, що знаходиться під напругою, не замінювати

запобіжники у включеному устаткуванні та не працювати на високовольтних установках без захисних засобів.

Для виміру параметрів електричної схеми за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури можна витягати блоки налагоджуваного устаткування з корпусу, відкривати дверцята, знімати огороження в місцях підключення вимірювальної апаратури, замикати накоротко блокування. При цьому необхідно дотримуватися вимог безпеки:

1. усі підготовчі роботи, приєднання вимірювальної апаратури повинні вироблятися після зняття напруги і перевірки відсутності залишкових зарядів;
2. до подачі напруги металеві корпуси устаткування і вимірювальної апаратури повинні бути заземлені (занулені). Якщо заземлення вносить перекручування (наведення), то допускається робота без заземлення, але з застосуванням тимчасових огорожень, що застерігають плакатів і захисних засобів;
3. місце розташування і підключення контрольно-вимірювальної апаратури в електричні ланцюги з напругою вище 1000 В варто відгородити і вивісити попереджувальні плакати, залишивши лише доступ до органам управління.[14]

3.2 Вимоги до промсанітарії

При виборі місця для будівництва підприємств необхідно враховувати комплекс санітарно-технічних заходів, які забезпечать сприятливі умови для працівників та навколишнього середовища, включаючи житлові та лісові масиви.

Промислові підприємства, які виділяють в атмосферу дим, пил, гази та хімічні сполуки, повинні бути розташовані відносно інших підприємств та житлових масивів з підвітряної сторони.

Місце для будівництва промислового підприємства повинно відповідати санітарним вимогам щодо прямого сонячного опромінення та природного провітрювання, а також бути розташоване якнайближче до енергетичних комунікацій.

У проектах підприємств необхідно передбачати відсутність або мінімальне виділення в повітряне середовище, атмосферу та стічні води шкідливих та неприємно пахнуть речовин, а також мінімальне утворення шуму, вібрації, ультразвуку, електромагнітних хвиль радіочастот, що іонізує випромінювання та статичної електрики.

У приміщеннях з віконними прорізами необхідно передбачати кватирки, фрамуги та стулки для провітрювання. На підприємствах повинні бути побутові приміщення такі як гардеробні, умивальні, душові, убиральні, кімнати особистої гігієни жінок, курильні, санпропускники тотальні.

Для спуску фекально-господарських та виробничих вод на кожн підприємстві обладнані каналізаційні пристрої. санітарні вимоги до виробничих приміщень встановлюються з урахуванням шкідливих речовин, що виділяються при технологічних процесах, згідно з ДСТУ та ГОСТ.

Шкідливими називаються речовини, які можуть викликати виробничі травми та профзахворювання при контакті з організмом людини в разі порушення вимог безпеки.

Шкідливі речовини підрозділяються на чотири класи небезпеки: надзвичайно небезпечні, високо-небезпечні, помірковано небезпечні та мало-небезпечні.

Гранично припустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони визначаються так, щоб вони не могли викликати захворювань.

Шкідливі речовини підрозділяються на токсичні, о дратують та канцерогенні, і можуть бути у виді зваженого пилу, диму та туману.

При плануванні технологічних процесах варто розміщати устаткування і робочі місця з однорідними шкідливими виробничими факторами на одній ділянці. Виробничі меблі й устаткування повинні відповідати технологічному значенню.

При плануванні технологічних процесів виробництва, важливо розміщувати устаткування та робочі місця з однорідними шкідливими виробничими фактами на одній ділянці. Виробничі меблі та устаткування повинні відповідати технологічному значенню. Метеорологічні умови, такі як температура, вологість повітря та теплове випромінювання, мають значний вплив на людину та можуть призвести до захворювань. Оптимальні та припустимі метеорологічні умови для робочої зони приміщення встановлюються згідно з Державними стандартами та ГОСТами, з урахуванням часу року та ваги виконуваних робіт.

Природне та штучне висвітлення виробничих приміщень повинні відповідати вимогам СНіП 11-4-79. Для будинків, розташованих у III та IV кліматичних районах, повинні бути передбачені сонце-захисні пристрої. У приміщеннях з недостатнім природним світлом та без природного світла повинні застосовуватися установки штучного ультрафіолетового опромінення відповідно до СН 245-71.

Для місцевого освітлення варто застосовувати світильники, установлені на верстатах та відрегульовані так, щоб освітленість у робочій зоні була не нижче значень, встановлених у додатку V. Для місцевого освітлення повинні використовуватися світильники з не просвічуваними відбивачами із захисним кутом не менш 30°. Крім того, повинні бути

передбачені заходи для зниження відбитого блиску. Чищення скла, віконних прорізів та світлових ліхтарів повинні проводитися не рідше двох разів у рік.

Чищення ламп та освітлювальної арматури для інструментальних цехів повинні проводитися не рідше двох разів у рік, а для інших виробничих приміщень — не рідше чотирьох разів у рік.

При розробці технологічних процесів, проектуванні, виготовленні та експлуатації машин, важливо прийняти всі необхідні заходи для зниження шуму. Боротьба з шумом в джерелі його виникнення є найбільш дієвим способом боротьби з шумом. Боротьба з шумом в джерелі його виникнення – це найбільш дієвий спосіб боротьби з шумом.

Шум є одним з найбільш шкідливих виробничих факторів, який може впливати на здоров'я працівників та якість виробництва. Для зниження шуму використовуються різні методи. Один них - створення мало-шумних механічних передач та розробка способів зниження шуму в підшипникових вузлах та вентиляторах. Ще один метод - зниження шуму за допомогою звукопоглинання та звукоізоляції. Для цього об'єкт, який випромінює шум, розташовують у кожусі, внутрішні стін якого покриваються звукопоглинальним матеріалом. Також можна використовувати звукоізолювану стіну або перегородку, щоб ізолювати шумо-випромінювальний об'єкт від основного, менш шумного приміщення.

Для захисту працівників від шкідливих виробничих факторів, таких як пил токсичних металів, необхідно забезпечити їх спецодягом, спецвзуттям та запобіжними пристосуваннями відповідно до діючих типових галузевих норм. Робітника службовці цехів і ділянок обробки різанням повинні мати спецодяг, який систематично очищається від осілого пилу, провітрюється, зберігається в металевих шафах стирається не рідше одного разу в тиждень. Для захисту шкірного покриву від впливу

ЗОР і пилу токсичних металів застосовуються дерматологічні захисні засоби, такі як профілактичні пасти, мазі та креми. [15]

3.3 Вимоги до пожежної безпеки

Для забезпечення безпеки електроустаткування, включаючи можливість їх застосування, монтаж, наладку та експлуатацію, необхідно дотримуватись вимог чинних правил улаштування електроустаткувань (ПУЕ), Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ), Правил техніки безпеки під час експлуатації електроустаткування споживачів (ПТБ) та інших нормативних документів.

Будівельна частина електроустаткувань повинна відповідати протипожежним вимогам будівельних норм та ПУЕ Відстань від повітряних ліній електропередач до будівель і споруд, які містять вибухопожежні та пожежнобезпечні приміщення, до вибухо- і пожежобезпечних зон зовнішніх установок, а також займистих та близьких частин будівель і споруд, що виступають, місце зберігання горючих матеріалів, повинна відповідати нормам, визначеним ПУЕ.

Телефонні апарати, сигнальні пристрої до них, електричні годинники, радіоприймачі та інші подібні споживачі електроенергії можуть використовувати у вибухонебезпечних зонах згідно з класом захисту.

Телефонні апарати, сигнальні пристрої до них, електричні годинники, радіоприймачі та інші подібні споживачі електроенергії можуть використовуватись у вибухонебезпечне вибухозахисту - ступень захисту - класу зони.

Плавкі вставки запобіжників повинні бути калібровані із зазначенням на клеймі номінального струму вставки (клеймо ставиться заводом-виробником або електротехнічною лабораторією Застосування саморобних не каліброваних плавких вставок забороняється.

Наелектродвигуни, світильники, інші електричні машини, апарати обладнання, встановлені у вибухонебезпечних або пезонебезпечних зонах, повинні бути нанесені знаки, що вказують їх ступінь захисту згідно з чинними стандартами.

Для з'єднання, відгалуження та окінцювання проводів і кабелів можна використовувати різні методи, такі як пресування, варювання, паяння або затискачі (гвинтові, болтові тощо). ажливо, щоб місце з'єднання проводів і кабелів, а також з'єднувальні та відгалужувальні затискачі мали мінімальний перехідний опір. Тимчасові електромережі не дозволяються. Влаштування та експлуатація тимчасових електромереж не дозволяється!

Первинні засоби пожежегасіння включають вогнегасники та пожежний інвентар, такі як покривала з негорючої грубововняної тканини або повсті, ящики з піском, бочки і пожежні відра, совкові лопати, а також пожежний інструмент, такий як гаки, сокири тощо. Для визначення видів та кількості первинних засобів пожежегасіння слід враховувати фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості горючих речовин, їх взаємодію з вогнегасними речовинами, а також розміри площ виробничих приміщень, відкритих майданів та установок. Необхідну кількість первинних засобів пожежегасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення, а також для закритих та відкритих установок. Якщо в одному приміщенні знаходиться декілька різних за характером небезпекою виробництв, не відділених одне від одного протипожежними стінами, усі ці приміщення забезпечують вогнегасниками, протипожежним інвентарем та іншими видами засобів пожежегасіння.

Покривала можуть мати різні розміри, але мінімальний розмір повин бути не менше 1 м x 1 м. Вони призначені для гасіння локальних осередків пожеж у разі займання речовин, горіння яких може відбуватися без доступу повітря. У місцях застосування та зберігання легкозаймистих та горючих речовин розміри покривал можуть бути збільшені до розмірів 2 м x 1,5 м, 2 м x 2 м. Покривала слід застосовувати для гасіння речовин класів “А”, “В”, “О”, (Е).

Бочки з водою встановлюються у виробничих та складських приміщеннях, спорудах у разі відсутності внутрішнього протипожежного водогону та за наявності горючих матеріалів.

Вибір вогнегасників залежить від кількох факторів, таких як їх вогнегасна спроможність, гранична площа, клас горючих матеріалів та категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Класифікація вогнегасників включає клас А для пожеж твердих речовин, клас В для пожеж горючих рідин або твердих речовин, клас С для пожеж газів, клас D для пожеж металів та сплавів та клас Е для пожеж, пов'язаних з горінням електроустановок.

Вибір типу вогнегасника (пересувний чи переносний) залежить від розмірів можливих осередків пожеж. У разі збільшених розмірів рекомендується використовувати пересувні вогнегасники. При роботі з радіоелектронним устаткуванням рекомендується використовувати вуглекислотні вогнегасники типу ВВ.

Також необхідно враховувати кліматичні умови експлуатації будівель та споруд, вибираючи вогнегасник з відповідною температурною межею використання. Якщо на об'єкті можливі комбіновані осередки пожеж, то перевага у виборі вогнегасника віддається більш універсальному в цій області застосування.[16]

3.4 Вимоги електробезпеки

3.4.1 Загальні вимоги

Небезпечний і шкідливий вплив на людей електричного струму, електричної дуги та електромагнітних полів проявляється через ураження електричним струмом у вигляді електротравм і професійних захворювань.

ступінь небезпечного і шкідливого впливу на людину електричного струму, електричної дуги та електромагнітних полів залежить від:

- ◆ величини та властивостей (видів) напруги, струму;
- ◆ тривалості впливу електричного струму чи електромагнітного поля на організм людини;
- ◆ шляху струму через тіло людини;
- ◆ частоти електричного струму;
- ◆ умов довкілля.

Основні вимоги щодо безпеки електроустаткування та оцінювання його відповідності встановлено в.

Вимоги електробезпеки до конструкції та будови електроустаткування різних видів установлюють у стандартах та технічних умовах на електротехнічні вироби.

Правила безпечного експлуатування електроустановок встановлює спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з нагляду за промисловою безпекою, охороною праці та гірничого нагляду.

Загальні вимоги захисту від ураження електричним струмом – згідно з ДСТУ ІЕС 61140.

Гранично допустимі значення напруг дотику та струмів в електроустаткуванні – згідно з ДСТУ ІЕС 61140.

Вимоги електробезпеки під час впливу електричних полів промислової частоти – згідно з ГОСТ 12.1.002, під час впливу електромагнітних полів радіочастот – згідно з ГОСТ 12.1.006.

Електробезпека забезпечується:

- ◆ конструкцією електроустаткування;
- ◆ організаційними та технічними заходами;
- ◆ технічними способами та засобами захисту.

Електроустаткування та його частини повинні відповідати вимогам безпеки та бути відтворені так, щоб ті, хто працює, не наражалися на небезпечний і шкідливий вплив електричного струму та електромагнітних полів.

До роботи з електроустаткуванням допускають працівників, які пройшли інструктаж і навчання безпечних методів праці, здали іспити на перевірку знань правил безпеки та охорони праці й інструкцій відповідно до посад, які вони обіймають, стосовно роботи, яку виконують, з присвоєнням відповідної групи з електробезпеки згідно з, та які не мають медичних протипоказань.

3.4.2 Організаційні заходи

Затвердження переліку робіт, які виконують за нарядами та розпорядженнями і в порядку поточної експлуатації.

Надання прав і затвердження списків осіб, відповідальних за безпечне виконання робіт:

- ◆ видавання нарядів, розпоряджень;
- ◆ керівників робіт;
- ◆ допускачів;

- ◆ наглядчів;
- ◆ проведення оперативних перемикачів;
- ◆ видавання дозволів на підготовку робочих місць і на допуск до роботи;
- ◆ одноособове оглядання електроустановок;
- ◆ працівників, які виконують роботи в порядку поточної експлуатації.

Надання зазначених вище прав виконують після перевірки знань.

Під час виконання робіт за нарядами та розпорядженнями має бути виконано:

- ◆ видавання нарядів, розпоряджень;
- ◆ видавання дозволу на підготовку робочих місць та на допуск до роботи;
- ◆ підготовку робочого місця і допуск до роботи;
- ◆ нагляд під час виконання робіт;
- ◆ переведення на інше робоче місце;
- ◆ оформлення перерв у роботі та її закінчення.

Роботи на струмовідних частинах електроустановок, які перебувають під напругою, та поблизу них виконують згідно з вимогами нормативно-правових актів з охорони праці.

3.4.3 Розрахунок електромережі на здатність відключення при аварійному режимі роботи електрообладнання

струм короткого замикання визначається за формулою:

$$I_{к.з} = \frac{U_{\phi}}{(R_{\phi} + R_{н} + Z_{т})} \quad (3.1)$$

де U_{ϕ} — фазова напруга мережі, становить 220 В; R_{ϕ} — опір фазового проводу, становить $\approx 1,6$ Ом; R_H — опір нульового проводу, становить $\approx 1,6$ Ом; Z_T — розрахунковий опір трансформатора, становить 0,1 Ом;

Підставимо значення у формулу (3.1), остаточно отримаємо:

$$I_{к.з} = \frac{220}{1,6+1,6+0,12} \approx 66,26 \quad (3.2)$$

Для надійного спрацювання автоматів струмового захисту необхідно, щоб виконувалась умова:

$$I_{к.з} \geq 1,4 \cdot I_{авт.макс}$$

Відповідно, струм відключення автомату $I_{авт.}$ повинен бути не більше:

$$I_{авт.макс.} = \frac{I_{к.з}}{1,4} = \frac{66,26}{1,4} \approx 47,32 \quad (3.3)$$

Мережа в робочому приміщенні обладнана автоматом струмового захисту, розрахованого на струм $I_{авт.} = 15$ А. Таким чином, струм короткого замикання при виникненні аварійної ситуації в ($I_{к.з}/I_{авт.} = 66,26 / 15 \approx 4,42$) рази перевищує номінальний струм спрацювання автомату, що задовольняє встановленим нормам.

Напругу дотику до зануленого обладнання визначають за формулою:

$$U_{дот.} = I_{к.з.} \cdot R_H = 66,26 \cdot 1,6 \approx 106,01 \text{ В} \quad (3.4)$$

Напруга дотику ($U_{\text{дот.}} < U_{\text{доп}} = 500 \text{ В}$) за час спрацювання автоматів струмового захисту ($t < 0,1 \text{ с}$) не перевищує допустимого значення, що відповідає вимогам ГОСТ 12.1.038-88.

Підключення обладнання виконано у відповідності з вимогами ПБЕ та ПУЕ. Додаткових заходів щодо підвищення рівня електробезпеки в робочому приміщенні впроваджувати не потрібно.

3.4.4 Технічні заходи

Технічні заходи захисту, які забезпечують електробезпеку, встановлюють з урахуванням:

- a) номінальної напруги, виду та частоти струму електроустаткування;
- b) способу електропостачання (від стаціонарної мережі, від автономного джерела живлення електроенергією);
- c) типу заземлення системи;
- d) виду виконання електроустаткування (стаціонарні, пересувні, переносні);
- e) умов довкілля:
 - ◆ особливо небезпечні приміщення,
 - ◆ приміщення підвищеної небезпеки,
 - ◆ приміщення без підвищеної небезпеки, на відкритому повітрі;
- f) можливості зняття напруги зі струмовідних частин, на яких або поблизу яких має проводитися робота;
- g) характеру можливого дотику людини до елементів кола струму:
 - ◆ однофазний (однополюсний) дотик,
 - ◆ двофазний (двополюсний) дотик,

- ◆ дотик до металевих неструмовідних частин, що опинилися під напругою;
- h) можливості наближення до струмовідних частин, що перебувають під напругою, на відстань, меншу за допустиму, чи попадання в зону розтікання струму;
- i) видів робіт: монтування, налагодження, випробування, експлуатування електроустаткування, які виконують у зоні його розташування, а також у зоні повітряних ліній електропередавання.

Вимоги щодо безпеки під час користування електроустаткуванням побутового призначення повинні міститися в інструкціях виробників з експлуатації, що додаються до виробів.

Під час проведення робіт зі зняттям напруги в електроустаткуванні, що працює, повинно бути виконано:

- ◆ проведення необхідних вимкнень і вжиття заходів, що унеможливають помилкове або самочинне ввімкнення комутаційної апаратури;
- ◆ вивішення заборонних плакатів на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;
- ◆ перевіряння відсутності напруги на струмовідних частинах, які треба заземлити для захисту людей від ураження електричним струмом;
- ◆ установлення заземлення (увімкнення заземлювальних ножів, установлення переносних заземлень), вивішення вказівних плакатів;
- ◆ огороження, за потреби, робочого місця або струмовідних частин, що залишилися під напругою, і вивішення на огороженнях плакатів щодо безпеки. Залежно від місцевих умов струмовідні частини огорожують до чи після їх заземлення.

3.4.5 Номенклатура видів захисту

Для забезпечення захисту від випадкового дотику до струмовідних частин застосовують такі види захисту:

- ◆ основне (робоче) ізолювання струмовідних частин (захисне ізолювання);
- ◆ додаткове, посилене, подвійне ізолювання струмовідних частин;
- ◆ захисні оболонки;
- ◆ захисні огорожі (тимчасові або стаціонарні);
- ◆ безпечне розташування струмовідних частин;
- ◆ ізолювання робочого місця;
- ◆ мала напруга;
- ◆ захисне вимкнення;
- ◆ попереджувальна сигналізація (звукова, світлова тощо);
- ◆ блокування;
- ◆ встановлення знаків безпеки;
- ◆ електрозахисні засоби;
- ◆ засоби індивідуального захисту.

Для запобігання ураженню електричним струмом під час дотику до металевих неструмовідних частин, які можуть бути під напругою

внаслідок пошкодження ізоляції, застосовують окремо або в поєднанні такі види захисту:

- ◆ захисне заземлення;
- ◆ автоматичне вимкнення живлення;
- ◆ зрівнювання потенціалів;
- ◆ обладнання класу !I або з рівноцінною ізоляцією;
- ◆ захисний електричний поділ кіл;
- ◆ ізолювальні (непровідні) приміщення, зони, майданчики;
- ◆ системи наднизької напруги (безпечної, захисної);
- ◆ вирівнювання потенціалів.

Технічні види захисту застосовують окремо або в поєднанні один з одним так, щоб було забезпечено оптимальний захист.

Вимоги до технічних видів захисту встановлюють у стандартах і технічних умовах. [17]

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Аналіз прямого та непрямого методів цифрового синтезу показав доцільність використання прямого методу, що дозволить забезпечити високу точність, стабільність і гнучкість налаштування частоти. Вибір методу цифрового синтезу частоти має деякі переваги порівняно з аналоговим синтезом, а саме: висока стабільність і точність, можливість програмованого налаштування параметрів сигналу, реалізація складних функцій (модуляція, синхронізація і перетворення частоти).

Розроблено бюджетний дводіапазонний синтезатор частоти, в якому для генерації точного сигналу з заданою частотою в діапазоні 432-434 МГц використовується метод фазової замкнутої петлі (PLL). В якості матеріала печатної плати рекомендується використовувати склотекстоліт сФ-Н1-35-

15 ГОСТ 10316-78. Запропонований пристрій має ряд переваг перед існуючими аналогами: характеризується високою точністю вимірювань; має просте налаштування, незначні габаритні розміри (157,5 × 62,5) та відносно малу собівартість, що робить його конкурентоспроможним на ринку України.

Запропоновану розробку рекомендується застосовувати в системах телекомунікації, радіозв'язку, при проведенні наукових досліджень в пристроях медичної діагностики і терапії.

Результати роботи обговорювались на XI Міжнародній науково-практичній конференції «MODERN RESEARCH IN WORLD SCIENCE» 29-31 січня 2023 року у м. Львів, Україна

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ahmed, N., & Zakaria, Z. (2019). Design and Simulation of a High-Frequency Synthesizer Circuit. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6), 234-238.
2. American Radio Relay League (ARRL). (2021). Band Plans. Retrieved from URL: <http://www.arrl.org/band-plan> Дата доступу березень 2023.
3. Chenakin, A. Frequency synthesis: Current status and future projections. *Microw. J.* 2017, 60, 22–36. URL: <https://is.gd/64xCcn> Дата доступу березень 2023.
4. Zhao, Y.; Chen, Z.; Liu, Z.; Li, X.; Wang, X. A 4.1 GHz–9.2 GHz Programmable Frequency Divider for Ka Band PLL Frequency Synthesizer. *Electronics* 2020, 9, 1773. URL: <https://is.gd/yJoeE4> Дата доступу березень 2023.
5. Hsieh, K.-P.; Lin, Y.-T.; Lu, Y.-C.; Chen, Y.-J.E. A Fast-Settling Frequency Synthesizer Using Statistical Frequency Measurement Method. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2022, 71, 2004109. URL: <https://is.gd/EBhXDR> Дата доступу березень 2023.
6. Romashov, V.V.; Romashova, L.V.; Khramov, K.K.; Yakimenko, K.A. The use of images of DDS in the hybrid frequency synthesizers. In *Proceedings of the 24th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology (CriMiCo)*, Sevastopol, Ukraine, 7–13 September 2014. URL: <https://is.gd/vIBpw8> Дата доступу березень 2023.

7. Головін Ю.О. Основи радіозв'язку з рухомими об'єктами : навч. посіб. Київ : ІсЗЗІ НТУУ КПІ, 2016. 322 с.
8. Romashov, V.V.; Yakimenko, K.A.; Romashova, L.V.; Doktorov, A.N. Algorithm for designing low-noise frequency synthesizers for remote sensing systems. J. Phys. Conf. Ser. 2020, 1632, 012017. URL: <https://is.gd/btFXju> Дата доступу березень 2023.
9. Yang, D.; Murphy, D.; Darabi, H.; Behzad, A.; Abidi, A.A.; Au, S.C.; Mundlapudi, S.R.; Shi, K.; Leng, W. A Harmonic-Mixing PLL Architecture for Millimeter-Wave Application. IEEE J. Solid-State Circuits 2022, 57, 3552–3566. URL: <https://is.gd/jEmtBn> Дата доступу березень 2023.
10. Scientific Journal, Herald of Khmelnytskyi National University 2017, Issue 6, Volume 255
11. Belega, V.; Plesa, C.-S.; Onet, R.; Neag, M. A novel approach to the stability analysis of conditionally stable circuits. In Proceedings of the 44th International Semiconductor Conference (CAS), Electr Network, Bucharest, Romania, 6–8 October 2021. URL: <https://is.gd/hXxbVd> Дата доступу березень 2023.
12. Jo, J.; Kim, D.; Hejazi, A.; Pu, Y.; Jung, Y.; Huh, H.; Kim, S.; Yoo, J.-M.; Lee, K.-Y. Low Phase-Noise, 2.4 and 5.8 GHz Dual-Band Frequency Synthesizer with Class-C VCO and Bias-Controlled Charge Pump for RF Wireless Charging System in 180 nm CMOS Process. Electronics 2022, 11, 1118. URL: <https://is.gd/RKiZTh> Дата доступу березень 2023.
13. Bagheri, M.; Li, X. An ultra-low power and low jitter frequency synthesizer for 5G wireless communication and IoE applications. Int. J. Circuit Theory Appl. 2022, 50, 1021–1047. URL: <https://is.gd/R0C171> Дата доступу березень 2023.

14. ДСТУ 7238:2011 система стандартів праці. Засоби колективного захисту працюючих – [Чинний від 14.03.2011] – (ДСТУ (Державний стандарт України))
15. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. – [Чинний від 01.12.2007] – (ДСТУ (Державний стандарт України))
16. ГОСТ 12.1.018-93 система стандартів безпеки праці. Пожежовибухобезпека статичної електрики. Загальні вимоги. – [Чинний від 01.01.1998] – (ГОСТ (Міждержавний стандарт.))
17. ДСТУ 7237:2011 система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту – [Чинний від 01.08.2011] – (ДСТУ (Державний стандарт України))

Додаток А

<i>Поз. Познач.</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>				
	А1 Плата пристрою						
	Конденсатори						
c1,c2	Чіп-0805 CC0805JRNPO9BN150-15мкФ	2					
c4,c9,c16,c17	Чіп-0805 CL21B104KBCNNNC-0,1мкФ	4					
c3	Чіп-0805 GRM21BR61C106K-10мкФ	1					
c5	Чіп-0805 GRM21BR61C106K-1мкФ	1					
c7	Чіп-0805 GRM21BR72E103K-0,01мкФ	1					
c15,c18	К10-17б-15мкФ ОЖ0.460.107 ТУ	2					
	Мікросхеми						
DA1	LM7001JM DIP-16	1					
DA2	L78L05	1					
DD1	PIC16F84A	1					
HG1	Індикатор МТ-10Т7-7Т						
	Резистори						
R1,R2,R5,R9,R10	Чіп- 0204 RC1206JR-0710KL-10кОм	5					
R3,R4,R7	Чіп- 0204 RC1206JR-071K5L-1,5кОм	3					
R12,R14,R15,R17	Чіп- 0204 RC1206JR-073K3L-3,3кОм	4					
R20	Чіп- 0204 RC1206FR-07150KL-150кОм	1					
SA1...SA4	Перемикачі FSM14JH	4					
VD1	Діод КД522А ДР3.362.029 ТУ	1					
ІННІ ЗНУ 153							
Зм	Лист	№ докум.	Під пис	Дата			
Розроб.	Готьмянін Д.О.						
Перев.	Небеснюк О.Ю.						
Реценз.	Небеснюк О.Ю.						
		Цифровий синтезатор частоти діапазону 432-434 МГц			Літ.	Лист	Листів
						1	2
					ІННІ ЗНУ		

Поз. Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка			
	Роз'єми					
XS1	ZL201-05G	1				
XS2	ZL201-02G	1				
ZQ1	Кварцовий резонатор РК168 ОД0.338.020 ТУ	1				
VT1	Транзистор J308	1				
	A2 Плата ГУНа					
	Конденсатори					
с6,с10,С13, С14	Чіп-0805 GRM21BR71E225K-2.2мкФ	4				
С8	TZC3R100A110 1-5пФ	1				
с11	Чіп-0805 GRM21BR61C106K-5.1мкФ	1				
с12	Чіп-0805 CL21B104KBCNNNC-0,1мкФ	1				
	Резистори					
R6,R19	Чіп- 0204 СМА02040Х1001GB300- 1кОм	2				
R8,R18	Чіп- 0204 RC1206FR-07150KL-150кОм	2				
R11	Чіп- 0204 ММА02040Е2402BB100- 24кОм	1				
R13,R16	Чіп- 0204 ММА02040D1003В-100кОм	2				
L1	Катушка індуктивності Т.Д4.568.001	1				
VD2	Варикап KB132AT аА0.336.762 ТУ	1				
	Транзистори					
VT2,VT4	BFR93A	2				
VT3	J308	1				
Зм	Лист	№ докум.	Під пис	Дата	ІННІ ЗНУ 153	Ли ст
						2

CERTIFICATE

is awarded to

Totmianin Danylo

for being an active participant in

XI International Scientific and Practical Conference

“MODERN RESEARCH IN WORLD SCIENCE”

24 Hours of Participation

(0,8 ECTS credits)

LVIIV

29-31 January 2023



sci-conf.com.ua

ЦИФРОВИЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТИ

Тотьмянін Данило Олексійович,

студент кафедри електроніки,
інформаційних системи та програмного
забезпечення
aidnot2@gmail.com

Небеснюк Оксана Юріївна,

к.т.н., доцент, доцент кафедри
електроніки, інформаційних системи та
програмного забезпечення
0811oksana@gmail.com

Інженерний навчально-науковий інститут
ім. Ю. М. Потебні
Запорізький національний університет
м. Запоріжжя, Україна

Актуальність. синтезатори частоти – виключно важливі функціональні вузли багатьох систем, від комерційних мереж зв'язку до випробувально-вимірювальних стендів. Необхідність подальшого підвищення ефективності сучасних електронних систем у значній мірі зв'язується з вдосконаленням апаратури частотоформування для всіх діапазонів частот. Більшість описаних методів синтезу частоти хоч і дають можливість отримувати високостабільні частоти, але мають складність технічної реалізації подібної конструкції через трудомісткість налаштування, наявність великої кількості фільтрів, моткових виробів [1]. Тому актуальним є питання розробки пристрою за методом цифрового синтезу, що дозволить усунути такі недоліки і буде доступним для широкого кола фахівці.

Мета. Розробити цифровий синтезатор частоти діапазону 432-434 МГц.

Матеріали та методи./Materials and methods. синтезатор частот — електронний пристрій для одержання електричних гармонійних коливань із необхідними частотами лінійним перетворенням (множенням або розподілом на постійні коефіцієнти, додаванням, відніманням) постійних частот вихідних коливань, створюваних одним або декількома

опорними генераторами. синтезатори частот служать джерелами стабільних (за частотою) коливань у радіопередавачах, супергетеродинних радіоприймачах, вимірювачах частот й інших пристроях, що вимагають настроювання на різні частоти в межах частотних діапазонів, що відповідають призначенню пристрою. синтез частот забезпечує вищу точність і стабільність, чим перебудова частоти зміною індуктивності і ємності коливального контуру [2].

У процесі цифрового синтезу здійснюється по суті операція, зворотна тієї, яка відбувається в аналогово-цифровому перетворювачі. В результаті формується послідовність імпульсів напруги, величини яких дорівнюють миттєвому значенню синтезованого сигналу, що відповідає даному значенню поточної фази. Ці імпульси подаються на фільтр нижніх частот, що формує синусоїдальну форму синтезованого сигналу.

Результати та обговорення./Results and discussion.

Авторами запропоновано цифровий синтезатор частоти діапазону 432-434 МГц, що побудовано на основі метода непрямого синтезу і який складається з таких основних блоків (рис.1): опорний генератор, дільник з постійним коефіцієнтом ділення, генератор керування напругою, керуючий пристрій, фазовий детектор, режекторний фільтр, фільтр низьких частот, дільник зі змінним коефіцієнтом ділення.

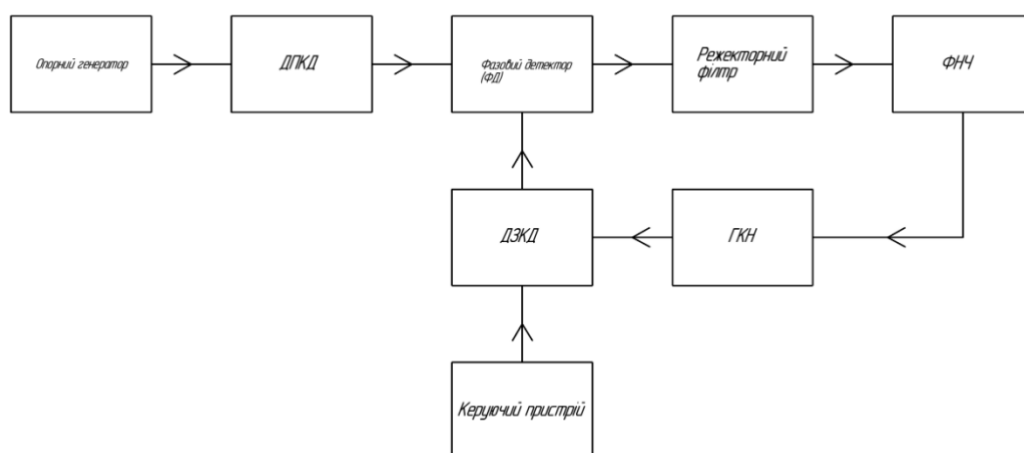


Рис.1. структурна схема синтезатора частоти

При непрямому синтезі частота генератора, керованого напругою, зменшується дільником зі змінним коефіцієнтом ділення в необхідну кількість разів. З виходу дільника частота подається на один із входів частотно-фазового детектора, на інший вхід якого надходить сигнал з частотою, що дорівнює кроку зміни частоти синтезатора, отриманої з частоти опорного генератора. Вихідний сигнал частотно-фазового детектора проходить через фільтр нижніх частот і управляє частотою генератора. Остання змінюється до тих пір, поки частота на виході дільника не відповідатиме кроку зміни частоти синтезатора і не досягне заданого значення, що визначається коефіцієнтом ділення.

Висновки./Conclusions. Запропонований пристрій має ряд переваг перед існуючими аналогами: характеризується високою точністю вимірювань; має просте налаштування, незначні габаритні розміри та відносно малу собівартість, що робить його конкурентоспроможним на ринку України.

Література./References

1. синтезатори частоти. URL:
https://stud.com.ua/171412/tehnika/sintezatori_chastoti (дата звернення: 04.01.2023).
2. A. Chenakin, S. Ojha and S. Phadnis “Rubidium™ Signal Generators Redefine Industry Standards for Spectral Purity and Stability,” *Microwave Journal*, November 2021, pp. 40-42.