

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіoeлектроніки, факультет радіoeлектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи
(ступінь вищої освіти)

на тему Синтезатори шкелот для векторного
у приймачів пристроїв мобільних
мереж зв'язу

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи РІЗ-28/М

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування спеціальності)

Освітньої програми Радіотехніка

Король І.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник Бугрова Т.І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Субботин С.О.
(прізвище та ініціали)

20 19

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ІІР, ФРЕТ
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) _____
 Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
 (код / назва)
 Напрямок підготовки ОПТ Радіотехніка
 (код / назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТТ
Сидоренко Марія Вікторівна
 "_____" 20____ року

ЗАВДАННЯ
 НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Королю Ігорю Юрійовичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Синтезатор частот для використання у прийомних пристроях мобільних мереж зв'язку

керівник роботи Бугрова Тетяна Іванівна доцент кафедри РТТ,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, почесне звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "_____" 20____ року №____

2. Строк подання студентом роботи 18.12.2019р.

3. Вихідні дані до роботи Висхідна частота частоти для прийомів у мобільних мережах зв'язку, які забезпечують частоту частот від 134,64 до 148,62 МГц з ширини 30 кГц. Зі швидкістю навігатора 700 км/год з точністю у частоті робочого навантаження 1-1,5 кГц при частоті модуляції 1400 кГц з ефектом модуляції (50±5) ДБ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд літератури, структурна схема, проєкція забезпечення моделювання в середовищі ADS10b PLL, організаційно-методична частина, охорона праці та безпека у виробничих умовах.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація на 17 слайдів у Power Point.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1,2,3,4	Бурова Т.І. доц.напр РСТ	30.09.19	30.12.19
5	Левченко М.М., д.д.т.н. укр., проф.	16.09.19	25.11.19
6	Шимцов Ю.В. доц.напр ОММС. н.б.м.		
М.О.П.м.м.	Мороз Т.В. асист.напр РСТ		

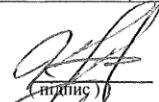
7. Дата видачі завдання

30 вересня 2019 р.

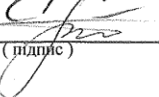
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення літератури, пошук і вивід літератури для виконання роботи з прикладом розрахунку параметрів.	30.09.19 - 18.10.19.	1
2	Вступна частина.	14.10.19 - 25.10.19	2
3	Програмне забезпечення	04.11.19 - 08.11.19	3
4	Моделювання елементів СЧ.	14.10.19 - 14.11.19	4
5	Організаційно-економічне забезпечення	06.11.19 - 25.11.19	5
6	Охорона праці та безпеки життєдіяльності.	11.11.19 - 23.11.19	6
7	Оформлення ПЗ та презентації	12.12.19	
8	Рецензування	16.12.19	
9	Захист.	18.12.19	

Студент


Король І.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


Бурова Т.І.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 102 сторінки, 22 рисунка, 21 таблиця, 38 джерел

Об'єкт розробки: синтезатор частот.

Мета роботи: розробити синтезатор частот, який формує сітку частот з кроком 30 кГц на діапазон від 734,64 до 748,62 МГц з одного високостабільного опорного сигналу 8,192 МГц з другої опорної частотою 15,36 МГц.

Метод дослідження та апаратура – комп'ютерне моделювання в програмі ADIsimPLL.

Отримані результати і їх новизна – низький шумовий профіль вихідного сигналу (мінус 147 дБ / Гц при відбудові від несучої на 100 кГц) при необхідній швидкодії (не гірше 700 мкс) за рахунок застосування КГКН з низьким рівнем СЩПФШ високостабільного сигналу (мінус 160 дБ / Гц при відлаштуванні від несучої на 100 кГц) в опорному кільці ОСЧ ІФАПЧ з ДЗКД на частоту 15,36 МГц і ІФАПЧ з ДДЗКД в вихідному кільці ВСЧ з кроком 30 кГц на діапазон частот від 734,64 до 748,62 МГц.

Основні техніко-експлуатаційні характеристики: діапазон частот робочого коливання – від 734,64 до 748,62 МГц, крок сітки – 30 кГц, швидкодія – не гірше 700 мкс з точністю установки робочого коливання – плюс / мінус 1 кГц, рівні ПВЧ / ПВФ – відповідно 20 Гц / 20 градуси, вихідна напруга - (400 ± 120) мВ на опорі навантаження – (50 ± 5) Ом.

Область застосування – приймальний тракт мобільної системи зв'язку.

ДІАПАЗОН РОБОЧИХ ЧАСТОТ, ШАГ СІТКИ, ШВИДКОДІЯ, ПВА, ПВФ, КГКН, ДЗКД, ДДЗКД, ОСЧ, ВСЧ, СЩПФШ, ЗАПАС СТІЙКОСТІ ПО ФАЗІ

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ, ПАТЕНТІВ, ВИБІР МЕТОДУ СИНТЕЗУ ЧАСТОТ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ ЗВ’ЯЗКУ	12
1.1 Огляд літератури, патентів, вибір методу синтезу	12
1.2 Технічні параметри досліджуваного синтезатора частот	15
1.3 Огляд методів побудови синтезаторів частот	17
2 СТРУКТУРНА СХЕМА	25
2.1 Аналіз синтезаторів частот.....	25
2.1 Структурна схема СЧ на базі ІФАПЧ з ДЗКД	26
2.2 Структурна схема СЧ на базі ІФАПЧ з ДДЗКД.....	29
3 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	33
4 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СЧ	34
4.1 Розрахунок параметрів опорного синтезатора частоти на базі ІФАПЧ-1.....	34
4.2 Розрахунок параметрів вихідного синтезатора частот на базі ІФАПЧ-2 з ДЗКД.....	47
4.3 Розрахунок параметрів вихідного синтезатора частот на базі ІФАПЧ-2 з ДДЗКД	57
4.4 Вибір остаточного варіанту структурної схеми СЧ	65
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	67
5.1 Планування науково-дослідницької роботи.....	67
5.2 Визначення витрат на проведення експерименту.....	69
5.2.1 Розрахунок основної заробітної плати.....	70
5.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати	70
5.2.3 Відрахування на ЄСВ	71

5.2.4	Визначення витрат на матеріали	71
5.2.5	Витрати на спеціальне обладнання	72
5.3	Розрахунок економічної ефективності НДР	79
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	81
6.1	Аналіз потенційних небезпек.....	81
6.2	Заходи по забезпеченню безпеки.....	82
6.3	Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	87
6.4	Заходи з пожежної безпеки	89
6.5	Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях	92
	ВИСНОВКИ.....	97
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	98
	ДОДАТОК А.....	102

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВЗ	– визначник захвату
ГГ	– генератор гармонік
ГКН	– генератор, керуємий напругою
ДДЗКД	– дробовий дільник зі змінним коефіцієнтом ділення
ДЗКД	– дільник зі змінним коефіцієнтом ділення
ДОЧ	– датчик опорних частот
ДФКД	– дільник з фіксованим коефіцієнтом ділення
ЗН	– зарядова накачка
ЗЧ	– змішувач частоти
ІФАПЧ	– імпульсно-фазова автопідстройка частоти
ІФД	– імпульсно-фазовий детектор
КГКН	– кварцевий генератор, керуємий напругою
МКФ	– модулятор коду фази
НКФ	– накопичувач коду фази
НЧК	– накопичувач коду частоти
ОГ	– опорний генератор
ОСЧ	– опорний синтезатор частоти
ПВА	– паразитні відхилення амплітуди
ПВФ	– паразитні відхилення фази
ПВЧ	– паразитні відхилення частоти
ПСС	– паразитні спектральні складові
ПЦС	– прямий цифровий синтезатор
СФ	– смуговий фільтр
СФД	– спусковий фазовий детектор
СЧ	– синтезатор частот
СЩПФШ	– спектральна щільність потужності фазових шумів
ФАПК	– фазоамплітудний перетворювач кодів

ФАПЧ	–	фазова автопідстройка частоти
ФД	–	фазовий детектор
ФІ	–	формувавч імпульсів
ФНЧ	–	фільтр нижніх частот
ЦАП	–	цифро-аналоговий перетворювач
ЧФД	–	частотно-фазовий детектор

ВСТУП

У 30-х роках минулого століття в зв'язку з швидким зростанням числа радіопередавачів виникла необхідність підвищити точність частоти випромінюваних ними коливань, щоб уникнути взаємних перешкод. До радіостанціям ПВЧ надавати групи кварцових резонаторів по одному на кожен робочу хвилю. Резонатори були дорогі, при великій кількості – до ста на одну радіостанцію – їх питома вартість була велика, число стабілізованих частот залишалося дуже обмеженим. Скоро стало очевидним, що для безпошукового входження в зв'язок і без підлаштовувального прийому, для нових видів роботи – частотної телеграфії, одноголосної і частотної модуляції, відносного фазового телеграфування і т.п. – необхідно забезпечити високу точність налаштування радіоприймачів. Це вимагало подальшого збільшення числа використовуваних кварцових резонаторів і тому стимулювало пошуки методів, які дозволили б забезпечити якомога більшу кількість стабілізованих частот радіопередавача або радіоприймача при мінімальному числі кварцових резонаторів, особливо в мобільних системах телекомунікацій, що спеціалізуються на передачі людської мови. Зараз важко знайти людину, яка не користується послугами мобільних телефонних систем [1].

Система GSM є найпоширенішою цифровою системою. Робота мобільних телекомунікаційних систем заснована на вилученні інформації з радіосигналів з високостабільними власними параметрами: частотою, фазою, формою обвідної. Для досягнення таких параметрів необхідні як джерела опорних коливань, стійкі до різних дестабілізуючих впливів, так і технічні можливості управління ними. Виникає запитання про необхідність отримання високостабільного коливання з великою кількістю дискретних частот або одночасних декількох коливань з різними частотами при точності і стабільності частоти, яка визначається одним опорним генератором. Для вирішення такого характеру завдань використовують синтезатори частот (далі СЧ), при проектуванні яких доводиться стикатися зі складністю поставленого завдання –

з одного боку миттєва частота сигналу, що передається, повинна змінюватися в точності відповідно до миттєвого значення модульованого інформаційного сигналу, а з іншого боку, частота несучого сигналу (середнє значення миттєвої частоти) повинна залишатися стабільною. В таких умовах рішення про отримання високоякісного сигналу з частотною модуляцією і високостабільною несівною є неоднозначним і може бути отримано лише за допомогою компромісних варіантів.

Синтезатором частот називають пристрій, що перетворює коливання опорного генератора, прийняте за еталонне, в сигнали бажаного номіналу частоти з незначною втратою еталонних властивостей. Під перетворенням частоти розуміються такі операції над коливаннями, при яких відбувається додавання – віднімання частот або множення і ділення їх на цілі раціональні числа. На виході СЧ може бути як одне коливання, частота якого приймає будь-яке значення із заданої сітки частот, так і кілька одночасно існуючих коливань. Перший випадок зустрічається у збудниках радіопередавачів і гетеродинах радіоприймачів радіотехнічних систем, другий – в багатоканальній апаратурі з частотним поділом каналів [21].

Зазвичай коливання на виході СЧ повинні бути гармонійними, але їх прийнято називати моногармонійними, щоб підкреслити їх відмінність від полігармонійних коливань, що представляють собою суму гармонік декількох частот. В реальних умовах вихідні коливання СЧ є квазігармонійними, так як амплітуда, частота і початкова фаза флюктуують під впливом дестабілізуючих факторів, до яких відносяться тепловий шум, дробовий ефект, пульсації напруги і т.п.

З появою нових стандартів систем мобільного зв'язку посилилися вимоги, що пред'являються до абонентського обладнання, воно повинно підтримувати ряд існуючих стандартів (наприклад, GSM, CDMA і їх різновиди), мати допустимі масогабаритні параметри і можливе мінімальне енергоспоживання. Відповідно, більш жорсткі вимоги пред'являються до всіх функціональних вузлів абонентського обладнання, в тому числі до синтезаторів

частот - певні вимоги до тривалості перехідного процесу, діапазону частот, чистоті вихідного спектра, стабільності середньої частоти, енергоспоживання і т. д.

Метою цієї наукової роботи є дослідження синтезатора частоти, який формує сітку частот з кроком 30 кГц від 734,64 до 748,62 МГц з одного високостабільного опорного сигналу 8,192 МГц з другою опорною частотою рівною 15,36 МГц для приймача мобільної системи зв'язку.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ, ПАТЕНТІВ, ВИБІР МЕТОДУ СИНТЕЗУ ЧАСТОТ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Огляд літератури, патентів, вибір методу синтезу

Проведемо огляд патентної літератури з метою виявлення сучасних і вже використовуваних науково-технічних розробок для виключення невиправданого дублювання і прискорення процесу розробки структурної схеми синтезатора. Дані дослідження включають комплекс робіт по цілеспрямованому пошуку, відбору і систематизації інформації різного типу, аналіз якої дозволяє знизити час розробки пристрою, знайти найбільш оптимальні варіанти розробки структури проектного пристрою, методів аналізу і розрахунків, прийняти оптимальне рішення при виборі схемних реалізацій, визначити найбільш перспективні завдання, які необхідно вирішити при дослідженні синтезатора частот.

Нижче наведемо дані про деякі розробки СЧ, з яких можна виділити потрібну інформацію, що дозволяє вирішити поставлену в даній роботі задачу.

У статті [33] синтезатор частот прийнятий в якості багатоканального джерела сигналу наземної пересувної телефонної станції, що працює на частоті 800 МГц. Необхідно, щоб синтезатор мав високу спектральну чистоту для захисту від інтерференції сигнал-сигнал, спричиненої зовнішніми суміжними сигналами і спектральним шумом синтезатора, високу швидкодію перемикання каналів і придушення паразитної модуляції. Ці завдання були досягнуті за рахунок оригінальної технічної реалізації ГКН, для якої потрібно з'ясувати зв'язок між добротністю індуктивності контуру і співвідношенням сигнал / шум (далі с/ш) на виході ГКН. Було встановлено, що с/ш зменшується при зменшенні вихідної потужності генератора, а сама вихідна потужність зменшується прямо пропорційно ненавантаженій добротності (без урахування втрат) контуру. Тому, щоб отримати коливання високої чистоти, необхідно

застосовувати транзистор з великим коефіцієнтом підсилення і високу добротність контуру коливаль. Схема ГКН включає генератор Колпиця і трьохкаскадний буферний підсилювач. Схеми формуються у вигляді структури мікросмужкових ліній на підкладинці з матеріалу з високим значенням діелектричної проникності ($\epsilon=39$), що виготовлено за тонкоплівковою технологією, а сама індуктивність контуру утворюється мікросмужковою лінією довжиною в чверть хвилі, що дозволяє отримати ГКН з низьким рівнем шуму (краще -35 дБ).

Особливістю є те, що синтезатор частот виконаний спільно з ГКН, він також включає в себе два ЕСЛ-елемента, що представляють собою біполярний двомодульний попередній дільник ($128 \div 129$), який прямо ділить частоту 800 МГц, КМОП схему, що містить два програмованих лічильника, фазовий детектор і фіксований дільник для кварцового генератора з температурною компенсацією.

У статті [26] синтезатор частот, виконаний на кільці ІФАПЧ з ДДЗКД, може використовуватися для приймально-передавальних пристроїв. метою винаходу є підвищення спектральної чистоти вихідних сигналів. СЧ працює наступним чином.

ГКН, ДДЗКД, ІФД і ФНЧ утворюють кільце фазового автопідстроювання частоти. Опорна частота кільця ФАП надходить на вхід дільника з коефіцієнтом ділення K . Коефіцієнт розподілу блоку ДДЗКД дорівнює N або $N + 1$ і визначений на його додатковій шині управління кодом, який показує, яку частину періоду ДДЗКД ділить вхідну частоту керованого генератора на $N + 1$: в частині періоду, що залишилася після розподілу, проводиться розподіл на N частин. Період частоти керованого генератора дорівнює відношенню X до M , де M – інформаційна ємність входу управління СЧ, а X – числове значення коду на цьому вході, тобто значення дробової частини зсуву частоти ГКН. На виході блоку підсумовування ДДЗКД міститься поточне загальне випередження сигналом ГКН цілої частини частоти вихідного сигналу ГКН. Коли випередження досягає цілого періоду, на виході

перенесення блоку підсумовування з'являється імпульс, зменшуючи кількість поділів на N на одиницю і збільшуючи кількість поділів на $N + 1$ в блоці поділу ДДЗКД, тобто з вхідного сигналу ГКН вирізається один імпульс. За рахунок цього вихідний сигнал ІФД містить постійну і пилкоподібну складові. Стробування вихідного сигналу струму ЦАП на час $T_C = T_0/K$ і підсумовування струмів ЦАП і генератора струму ІФД дозволяє усунути пилкоподібну складову в вихідному сигналі ІФД.

Управління роботою елементів, що виконують стробування і підсумовування, здійснюється за допомогою двох RS-тригерів і ключа.

У статті [24] СЧ може використовуватися для формування сітки частот в радіопередавальних і радіоприймальних пристроях. Відомий синтезатор частот, що містить послідовно з'єднаний опорний генератор, фазовий детектор, перший ФНЧ, ГКН і ДЗКД. Однак, такий СЧ має недостатньо високу швидкодію і недостатньо малий рівень вихідних шумів, які обумовлені вузькосмуговістю контуру ФАПЧ і його обмеженою пропускну здатністю. Мета роботи [24] – підвищення швидкодії і зниження рівня вихідних шумів. Для цього в синтезатор частоти між виходом ДЗКД і іншим входом ФД введені послідовно з'єднані суматор, ЦАП, другий ФНЧ і ФМ, при цьому до інформаційних входів суматора підключений регістр коду.

СЧ працює наступним чином. Генератор 1 призначений для синхронізації синтезатора частоти. Детектор 2 порівнює частоту генератора 1 з частотою, що надходить на його вхід по ланцюгу зворотного зв'язку з виходу формувача 10, і виробляє сигнал помилки, пропорційний різниці фаз порівнюваних сигналів, фільтр 3 виділяє постійну складову сигналу і подає її на вхід керованого генератора ГКН 4, який служить для формування сітки частот: його вихід є виходом синтезатора. ДЗКД 5 призначений для попереднього розподілу частоти ГКН; коефіцієнт ділення ДЗКД 5 в запропонованому синтезаторі вибирається значно меншим, ніж в відомому. Сумматор 7 використовується для послідовного підсумовування при прибутті імпульсів з виходу ДЗКД 5 значення коду частоти, що записується в регістрі коду 6.

Перетворювач 8 перетворює код сумматора 7 до відповідних значень напруги. Фільтр 9 використовується для формування аналогового синусоїдального сигналу по дискретним вибірках. Формувач 10 служить для формування імпульсів, що відповідають нулям синусоїди. Відзначимо, що в запропонованому пристрої ДЗКД 5 виробляє зниження частоти ГКН 4 до значень, необхідних для забезпечення стійкої роботи включених після ДЗКД 5 пристроїв. Розглянувши в патентних дослідженнях особливості рішень найбільш поширених при реалізації СЧ задач, перейдемо до розробки та дослідження структурної схеми синтезатора частот.

1.2 Технічні параметри досліджуваного синтезатора частот

Як будь-який технічний пристрій, призначений для певних цілей експлуатації, СЧ характеризується рядом експлуатаційно-технічних характеристик [39]. У нашому випадку основними експлуатаційно-технічними характеристиками СЧ, використовуваного в якості гетеродина приймача мобільного зв'язку, є:

а) діапазон частот робочого коливання – область частот, що лежить між максимальними f_{MAX} і мінімальними f_{MIN} номінальними значеннями частоти робочого вихідного коливання. Відносним діапазоном перестроювання частоти (коефіцієнтом перекриття K) називається їхнє відношення, яке визначається як:

$$K = f_{MAX} / f_{MIN} \quad (1.1)$$

При $K = 1,2$ СЧ вважається вузькосмуговим, при $K \geq 2 \div 3$ – широкосмуговим і при цьому весь діапазон розбивається на ряд піддіапазонів. У нашому випадку СЧ є вузькосмуговим, так як при $f_{MAX} = 748,62$ МГц і $f_{MIN} = 734,64$ МГц коефіцієнт перекриття виходить рівним 1,01;

б) крок (дискрет) сітки робочого коливання Df – інтервал між

сусідніми значеннями частот, що входять в сітку частот (в діапазон частот робочого коливання):

$$Df = (f_{\text{MAX}} - f_{\text{MIN}}) / K \quad (1.2)$$

Від кроку і від діапазону залежить кількість створюваних частот K . В нашому випадку при заданому кроці $F = 30$ кГц кількість частот виходить рівною 466;

в) частоти допоміжних коливань – частоти коливань, які використовуються для отримання діапазону частот робочого коливання. У нашому випадку до таких частот можна віднести високостабільну опорну частоту $F_{\text{оп}}$, що служить для отримання 12 другої опорної частоти кварцового генератора $f_{\text{СЧ1}}$, за допомогою якої необхідно реалізувати на виході синтезатора необхідний діапазон частот робочого коливання.

Згідно ТЗ: $F_{\text{оп}} = 8,192$ МГц, $f_{\text{СЧ1}} = 15,36$ МГц.

г) величина вихідної напруги (середньоквадратичне значення):

$U_{\text{вих.ср.кв}} = (400 \pm 120)$ мВ на опорі навантаження $R_{\text{н}} = (50 \pm 5)$ Ом.

д) показники відмінності реального коливання від моногармонійного – до них відносять так звані паразитні відхилення амплітуди ПВА, частоти ПВЧ і фази ПВФ.

ПВА – це ненавмисне відхилення миттєвого значення амплітуди коливання, що лежить в заданій смузі частот, від його середнього квадратичного значення, виражене в децибелах.

ПВЧ – це середньоквадратичне значення суми спектральних складових паразитного відхилення частоти коливання, що лежать в заданій смузі частот.

ПВФ – це середньоквадратичне значення суми спектральних складових паразитного відхилення фази коливання, що лежать в заданій смузі частот;

е) час встановлення (перестроювання) частоти вихідного коливання – час переходу з однієї частоти на іншу, приймає значення від сотень мксек. до декількох секунд. Згідно ТЗ: $t_{\text{п}}$ не гірше 700 мксек з точністю ± 1 кГц.

є) відносна нестабільність – підрозділяється на короткочасну КС (за секунду), що дорівнює від 10^{-7} до 10^{-10} і довготривалу ДС (за рік), що дорівнює від 10^{-6} до 10^{-9} .

Згідно ТЗ необхідно забезпечити виконання наступних вимог:

- середньоквадратичне значення ПВЧ основного коливання на інтервалі частот від 300 до 3400 Гц не більше 20 Гц;
- середньоквадратичне значення ПВФ основного коливання на інтервалі частот від 300 до 3400 Гц не більше 2 градусів.

Проведений аналіз основних експлуатаційно – технічних характеристик СЧ дозволяє перейти до вирішення поставленого в даній роботі завдання.

1.3 Огляд методів побудови синтезаторів частот

Пошуки рішень, що дозволяють отримати високі показники по тому або іншому комплексу основних експлуатаційно – технічних характеристик, привели до створення численних типів СЧ. Всі типи синтезаторів частот ділять на групи[21, 3, 32]:

а) за способом формування сітки частот, вимогами до стабільності і чистоти спектру вихідного сигналу на два класи: активного і пасивного синтезу частот;

б) по застосовуваній елементній базі розрізняють СЧ на аналогових елементах, з широким застосуванням цифрової елементної бази, наприклад, цифрові дільники частот і дільники змішаного типу.

У пасивних СЧ (їх іноді називають «прямими») використовуються тільки перемножувачі і дільники частот, змішувачі частот і пасивні фільтри, принцип дії яких заснований на лінійному перетворенні ряду опорних частот і виділенні потрібної частоти за допомогою фільтра. На рис.1.1 приведена структурна схема СЧ пасивного синтезу, побудована на аналоговій елементній базі. У датчику опорних частот ДОЧ за допомогою помножувача і дільника частоти виробляються два коливання з вторинними опорними частотами $f_{01} = f_0$

· M_1 і $f_{02} = f_0 / M_2$. Кожен з генераторів гармонік ГГ складається з формувача імпульсів ФІ1, ФІ2 і перебудовуються смугових фільтрів СФ1, СФ2. Перший ГГ перетворює вхідне гармонійне коливання в послідовності дуже коротких імпульсів тієї ж частоти з інтенсивними вищими гармоніками.

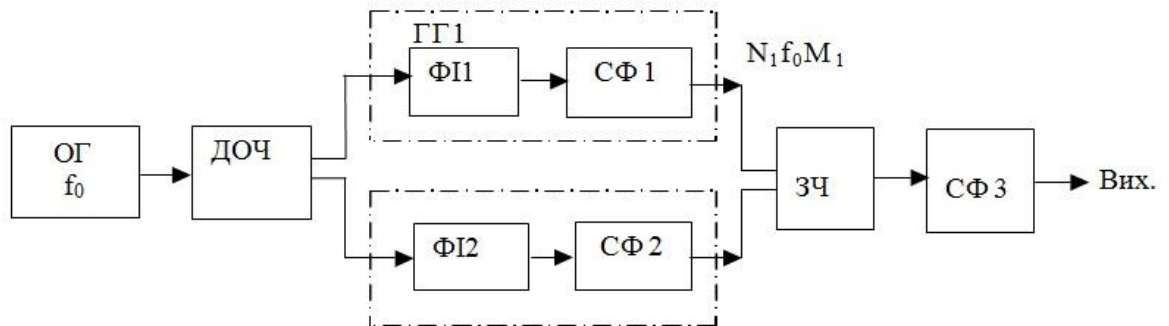


Рисунок 1.1 – Структурна схема аналогового СЧ пасивного синтезу

Фільтр виділяє потрібну вищу гармоніку $N_1 f_0 M_1$. Другий ГГ виділяє гармоніку N_2 частоти $N_2 f_0 / M_2$. Змішувач частоти СМ і смуговий фільтр СФ3 виділяють квазігармонійне коливання з частотою

$$f_{\text{вих}} = f_0 (M_1 N_1 + N_2 / M_2) \quad (1.3)$$

Якщо $M_1 = 10$, $M_2 = 2$, $N_1 (1,2,3)$, $N_2 (20,21, \dots, 39)$, то СЧ має діапазон частот $20f_0 \dots 49,5f_0$ з кроком $0,5f_0$.

Недолік СЧ – велике число дискретних побічних спектральних складових, рівні яких важко зробити малими, вони залежать лише від якості фільтрації, підвищення якої досягається за рахунок збільшення числа вихідних фільтрів.

У системах пасивного цифрового синтезу коливання потрібної частоти формується з потоку імпульсів зі значно більшою фіксованою частотою. Всі операції здійснюються на логічних елементах і тільки на виході системи використовується цифровий фільтр.

На рис.1.2 приведена структурна схема СЧ пасивного синтезу,

побудована на цифровий елементній базі.



Рисунок 1.2 – Структурна схема прямого цифрового синтезатора

У прямому цифровому синтезаторі ПЦС (Direct Digital Synthesizer – DDS) вихідний сигнал формується на виході ланцюжка з послідовно включених накопичувача коду частоти НКЧ, накопичувача коду фази НКФ, модулятора коду фази МКФ, фазоамплітудного перетворювача кодів ФАПК і ЦАП. При фіксованих значеннях частоти і фази вихідного сигналу з кожним імпульсом опорної частоти в НКФ до поточного коду фази K_J додається код частоти K_f . Частота повторення циклів переповнення лічильника НКФ пропорційна коду частоти:

$$f_{\text{ВИХ}} = (K_f / R) f_0 \quad (1.4)$$

де R – обсяг лічильника НКФ.

Похибка пов'язана з помилками дискретизації при некрatних значеннях R і K_f . Мінімальний крок по частоті $D_f = f_0/R$ задається розрядністю шини K_f . НКЧ використовується в режимі автоматичного перестроювання частоти. При цьому швидкість зміни K_f на сусідніх тактах підсумовування задається кодом K_β . Модуляція фази вихідного сигналу кодом K_J мод вводиться в МКФ. У блоці пам'яті ПК за кодом фази K_J зчитуються коди синусного K_s та/або косинусного

K_c відліків вихідного сигналу, які ЦАП перетворить у вихідні напруги $U_s(t)$ та/або $U_c(t)$.

Якість вихідного сигналу ПЦС визначається розрядністю ЦАП, близькістю вихідної частоти до половини частоти дискретизації і шумового спектру джерела опорного колювання. Більшість моделей DDS мають ЦАП досить високою розрядності (10 – 14 біт), завдяки чому вміст вищих гармонік не перевищує мінус (15 – 20) дБ. ПЦС забезпечує малі похибки установки параметрів, має широкі можливості по модуляції, характеризується малим часом переходу від однієї частоти до іншої. Але значення його вихідної частоти обмежені швидкодією цифрових вузлів.

В активних («непрямих») СЧ використовується принцип когерентного синтезу частот, згідно з яким фільтрація колювань синтезованих частот здійснюється за допомогою активного фільтра у вигляді кільця фазового автопідстроювання частоти ФАПЧ (Phase Locked Loop) або компенсаційного генератора.

На рис.1.3 приведена структурна схема СЧ активного синтезу, побудована на аналоговій елементній базі. Такий СЧ дозволяє отримати стабільність частоти, що дорівнює стабільності опорного генератора. Вихідним сигналом такого СЧ є колювання генератора, керованого напругою ГКН, частота якого змінюється за допомогою керуючого елемента напругою, що подається на нього через фільтр нижніх частот ФНЧ з фазового детектора ФД. ДОЧ виробляє три опорних колювання з частотами $f_0 \cdot M_1$, f_0 / M_2 і $f_0 \cdot M_3$. Колювання з частотою $f_0 \cdot (N_2 / M_2)$, що задає крок сітки частот, формується за допомогою генератора гармонік ГГ. В результаті роботи кільця ФАПЧ отримаємо: $f - (f_0 \cdot M_1) - (N_2 \cdot f_0 / M_2) = f_0 \cdot M_3$, отже, частота вихідного сигналу, ГКН дорівнюватиме величині

$$f_{\text{вих}} = f_0 \cdot (M_1 + M_3 + (N_2 / M_2))$$

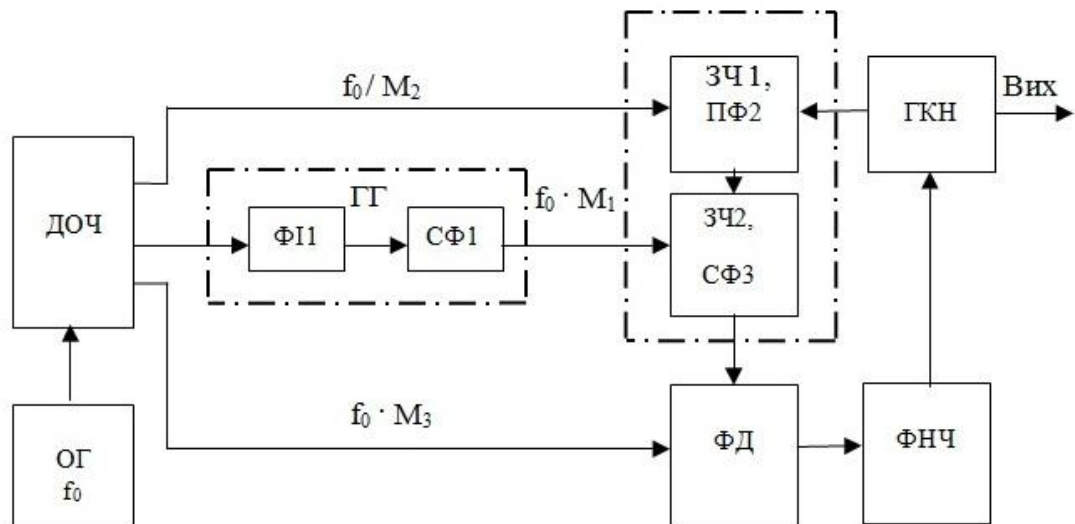


Рисунок 1.3 – Структурна схема СЧ активного синтезу з ФАПЧ

Якість вихідного сигналу підвищується за рахунок ефективної фільтрації побічних складових кільця ФАПЧ, проте, цій схемі притаманні такі недоліки, як відсутність можливості застосування принципів мікромініатюризації, які необхідно забезпечити, так як СЧ буде використовуватися в приймальному пристрої мобільної системи зв'язку, а також така побудова СЧ не дозволяє здійснити швидкий маневр в широкому діапазоні робочих частот. В цьому відношенні істотну перевагу мають СЧ, побудовані методом активного цифрового синтезу з використанням кільця імпульсно-фазового автопідстроювання частоти ІФАПЧ, структурна схема якого представлена на рис. 1.4.

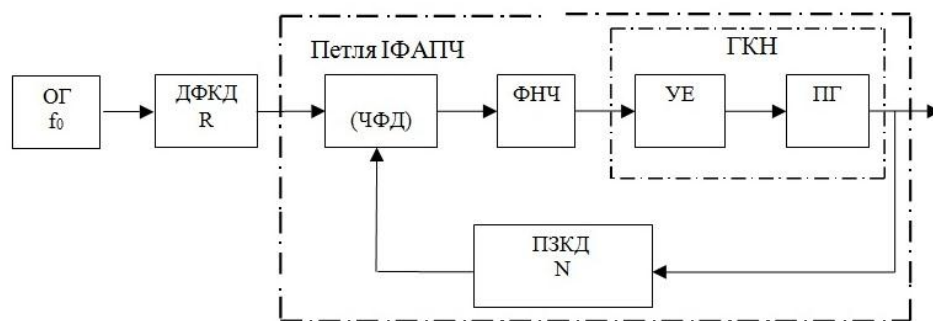


Рисунок 1.4 – Структурна схема СЧ на кільці ІФАПЧ з ДЗКД

Система ІФАПЧ [6] працює по замкнутому циклу і має три канали: опорний канал, канал управління і канал зворотного зв'язку. У канал зворотного зв'язку і в опорний канал включені відповідно програмовані дільники з змінним цілочисельним ДЗКД N (Integer – N Divider) і фіксованими ПФКД R коефіцієнтами ділення. Частота вихідного сигналу ГКН ділиться на N , і сигнал з частотою F_N порівнюється по частоті і фазі в імпульсно – фазовому детекторі ІФД з стабільною частотою F_R і фазою вихідного сигналу ПФКД, отриманого внаслідок поділу частоти f_0 вихідного сигналу високостабільного кварцового опорного генератора ОГ. Сигнал помилки, що виробляється ІФД, по каналу управління надходить на ГКН для корекції і стабілізації його частоти. Канал управління містить фільтр нижніх частот ФНЧ, що пригнічує небажані спектральні складові і коригувальні параметри синтезатора в цілому для забезпечення стійкості, точності і швидкодії. В результаті дії ІФАПЧ в СЧ встановлюється стаціонарний режим, при якому на виході формується коливання з такою ж відносною нестабільністю частоти, як і у кварцового ОГ. При цьому має місце співвідношення

$$f_0 / R = F_R = f_{ГКН} / N = F_N. \quad (1.5)$$

З цих співвідношень випливає, що частота вихідного сигналу ГКН буде дорівнювати

$$f_{ГКН} = (N / R) f_0. \quad (1.6)$$

Необхідна робоча частота $f_{ГКН}$ синтезується відповідною зміною коефіцієнтів ділення N ДЗКД і R ПФКД. При різних значеннях R і N частота ГКН може приймати дискретні значення з кроком $D_f = f_0 / R$. Для переходу на іншу робочу частоту необхідно переключити коефіцієнти R та/або N . Це викликає перехідний процес в кільці авторегулювання ФАПЧ, тривалість якого t дорівнює 30 - 50 періодам частоти порівняння. В СЧ типу, наведеного на рис.

1.4, виникає суперечність між прагненням мати малий крок сітки частот D_f для зменшення похибки встановлення частоти і тривалістю процесу її встановлення t , обернено пропорційному кроку. Крім того, при зменшенні D_f ускладнюється фільтрація найближчих до несівної частоти паразитних дискретних компонент спектра.

Для вирішення цієї суперечності використовується більш складна схема дільника частоти в кільці – дільник з дрібно – змінним коефіцієнтом ділення (Fractional-N Divider), представлена на рис.1.5. Ця схема містить Prescaler – двомодульний дільник частоти $N / (N + 1)$, який має поглинаючий лічильник – ПЛ (Swallowing Counter) і S - D – модулятор для корекції перешкод дрібності. Дільник $N / (N + 1)$ ділить частоту імпульсів ГКН в N раз, якщо на його вхід управління надходить логічний "0", і в $N + 1$ раз, якщо на вході управління надходить логічна "1". Лічильник ПЛ видає на виході логічну "1", якщо число в його рахунковому регістрі не перевищує його обсягу M , тобто q менше M ; в іншому випадку формується логічний "0". Вихідний імпульс переповнення лічильника M скидає вміст регістра ПЛ в нуль. Під час роботи СЧ на виході вузла $N / (N + 1)$ чергуються послідовності з q імпульсів з періодом $(N + 1) \cdot P / f_{ГКН}$ і $(M-q)$ імпульсів з періодом $N \cdot P / f_{ГКН}$. Тому середня частота $f_{ГКН}$ дробовим чином пов'язана з частотою опорного генератора:

$$f_{ГКН} = ((N + (q / MP)) \cdot f_0) / R. \quad (1.7)$$

Крок сітки частот $D_f = f_0 / (MRP)$ значно менше, ніж в схемі на рис.1.4, так як значення MP може становити 26-212. При цьому тривалість перехідного процесу в кільці ІФАПЧ, як і в схемі на рис.1.4, визначається частотою порівняння f_0 / R . Однак через періодичне перемикування коефіцієнта ділення прескейлера $N / (N + 1)$ в схемі з дробовим дільником частоти виникають регулярні фазові похибки і, відповідно, паразитні спектральні складові (ПСС). Для їх зменшення використовують S-D-коректор, який псевдовипадковим чином перериває регулярність циклів перемикування $N / (N + 1)$.

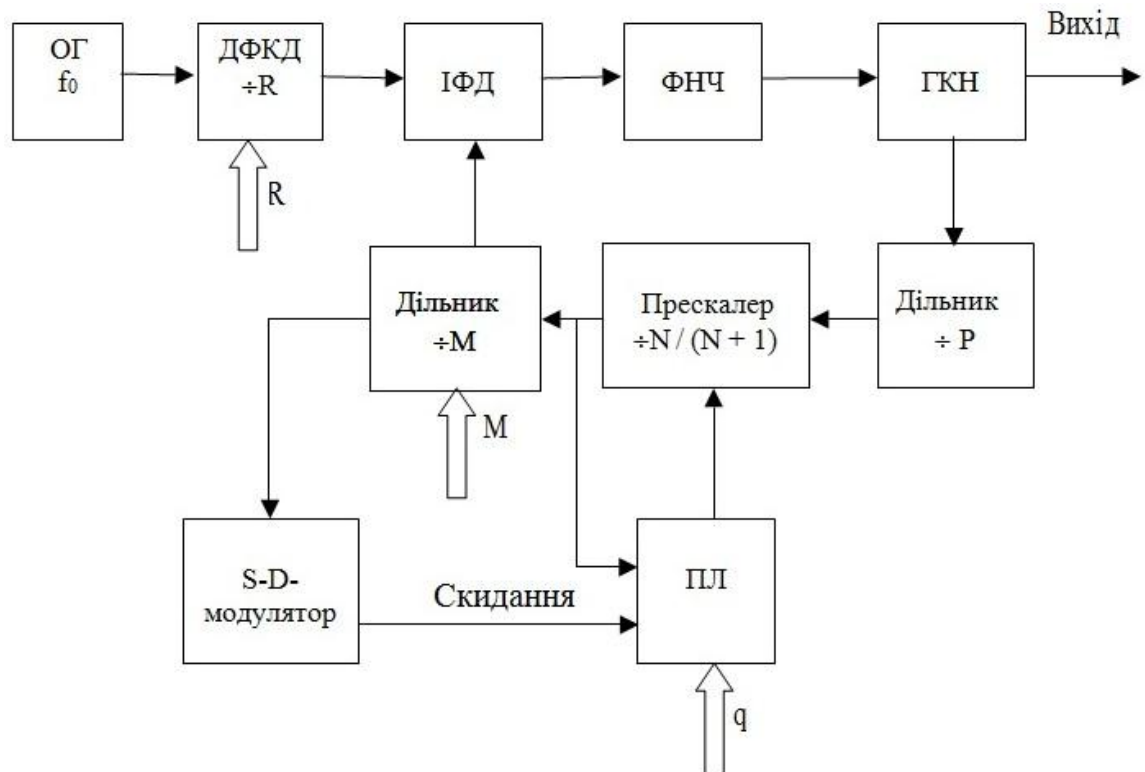


Рисунок 1.5 – Структурна схема СЧ на кільці ІФАПЧ з ДДЗКД

СЧ, представлений на рис.1.5, дозволяє забезпечити дуже малий крок сітки частот (порядку 20-30 кГц) і одночасно короткий час перехідного процесу (не більше 500-700 мкс). У підсумку відзначимо, що завдання побудови швидкодіючих СЧ, що мають високу якість вихідного сигналу, може бути ефективно вирішена при оптимальному поєднанні різних методів як з першої, так і з другої груп. Вибір конкретної структури може бути проведений лише з урахуванням всього різноманіття вимог, що пред'являються до синтезатора.

2 СТРУКТУРНА СХЕМА

2.1 Аналіз синтезаторів частот

На підставі проведеного аналізу методів побудови СЧ, патентних досліджень і вимог ТЗ роботи можна зробити висновок, що для отримання високої спектральної чистоти вихідного сигналу, малого кроку сітки і високої швидкодії слід використовувати СЧ, побудований за непрямим методом з використанням систем ІФАПЧ. Виникає питання про вибір схеми кільця ІФАПЧ. З ТЗ видно, що повністю сформувати сітку частот на одному кільці не є можливим, так як опорна частота 8,192 МГц не ділиться в ціле число разів, щоб отримати з кроком 30 кГц вихідний діапазон частот від 734,64 до 748,62 МГц. При цьому слід зазначити, що для побудови СЧ, який має низький рівень шуму, велике значення має характеристика спектральної щільності потужності фазових шумів (далі СЩПФШ) сигналу опорного генератора ОГ, оскільки рівень СЩПФШ синтезованого сигналу в ближній зоні значною мірою визначається перетвореними шумами сигналу ОГ.

Так аналіз характеристик СЩПФШ опорних генераторів фірми «Моріон» [38] на частоті 8,192 МГц показав, що на відстроювання 100 кГц від несівної рівень СЩПФШ становить від мінус 145 дБ/Гц до мінус 155 дБ/Гц. Для порівняння рівень СЩПФШ керованих кварцових генераторів КГКН тієї ж фірми «Моріон» [38] на частоті 15,36 МГц при вістроюванні від несівної на 100 кГц склав мінус 160 дБ / Гц. Звідси видно, що, якщо побудувати СЧ за тандемною схемою на двох кільцях ІФАПЧ, то можна дещо поліпшити шумовий профіль вихідного синтезованого сигналу, не втративши при цьому в швидкодії. В цьому випадку завданням першого опорного прецизійного кільця ІФАПЧ – 1 з ДЗКД стане отримання сигналу на частоті 15,36 МГц з опорного високостабільного коливання з частотою 8,192 МГц з граничною стабільністю і низьким шумовим профілем для другого кільця ІФАПЧ – 2, в завдання якого входить формування сигналу з кроком 30 кГц на діапазон частот від 734,64 до

748,62 МГц, при цьому друге кільце ІФАПЧ може бути побудовано як з ДЗКД, так і з ДДЗКД.

Нижче наведемо аналіз і розрахунок схем СЧ з ДЗКД і ДДЗКД, на підставі якого визначимося з вибором методу розподілу частоти в кільці ІФАПЧ - 2 і відповідно з вибором загальної схеми СЧ.

2.1 Структурна схема СЧ на базі ІФАПЧ з ДЗКД

Структурна схема даного синтезатора представлена на рис. 2.1. Перше кільце ІФАПЧ-1 можна розглядати як допоміжний самостійний синтезатор, що формує першу допоміжну частоту опорного КГКН, що дорівнює 15, 36 МГц з опорної високостабільної частоти 8,192 МГц для другого кільця ІФАПЧ-2, за допомогою якого реалізується необхідний діапазон частот з необхідним кроком.

У складі обох ІФАПЧ передбачається використання функціональних вузлів з високими експлуатаційними параметрами відомих фірм [39, 40, 41]. Дільник із змінним коефіцієнтом ділення ДЗКД N_1 , дільник з фіксованим коефіцієнтом ділення ДФКД R_1 , частотно-фазовий детектор ЧФД, визначник захоплення ВЗ і зарядова накачування ДТ об'єднані в мікросхемі (чіпі) ІФАПЧ. ЧФД є пусковий фазовий детектор, що має двополярну лінійну фазову характеристику детектування в діапазоні фаз від мінус 2π до плюс 2π . Він працює в одному з двох режимів – в частотному (при захопленні частоти) і в фазовому (робочий режим астатичного відстеження частоти). Схема підтримки заряду (зарядова накачування) являє собою струмовий формувач на виході ЧФД. В якості фільтра в поєднанні з ДТ використовуються пропорційно-інтегруючі ланцюги, виконані найчастіше на базі малошумних операційних підсилювачів, що забезпечують астатизм системи ІФАПЧ по відношенню до фази.

В результаті система ІФАПЧ з ДЗКД працює з нульовою неузгодженістю і, відповідно, з нульовими пульсаціями на виході ФД в сталому

Управління коефіцієнтами розподілу R_1 і N_1 , а також коефіцієнтом передачі ЧФД і іншими параметрами чіпа ІФАПЧ передбачається здійснювати мікроконтролером PIC-12C509A фірми MicroChip [14] за допомогою трьохпроводної шини послідовного інтерфейсу з 24-х розрядним регістром. Програмні значення коефіцієнтів розподілу R_1 і N_1 укладені в 14 і 13-ти розрядних словах, відповідно. Значення вихідних струмів ДТ, що надходять на вхід ФНЧ, також програмується за допомогою відповідних шин: 1) DATA (Дані); 2) CLOCK (такти); 3) LOAD ENABLE (запис). Вихідний сигнал визначника захоплення служить для запуску роботи мікроконтролера. При прибутті з виходу ВЗ сигналу про відсутність захоплення кільця ІФАПЧ мікроконтролер посилає кодограми на вхідний інтерфейс чіпа ІФАПЧ для установки необхідних коефіцієнтів розподілу R_1 і N_1 , а також інших параметрів чіпа. По досягненню стану захоплення ВЗ видає сигнал «захоплення» на мікроконтролер, який переходить в режим «мовчання». Керуюча напруга з виходу ЧФД впливає через ДТ і ФНЧ на вхід керованого напругою генератора до настання режиму стабілізації вихідний частоти 15,36 МГц.

Частота і крок на виході ГКН визначається виразами:

$$f_{ГКН} = (N_1 / R_1) f_{ОП} \quad , \quad (2.1)$$

$$D_f = f_{ОП} / R_1. \quad (2.2)$$

З представлених формул видно, що, щоб отримати частоту 15,36 МГц з 8,192 МГц, коефіцієнти розподілу R_1 і N_1 повинні дорівнювати відповідно 32 і 60. Кільце ІФАПЧ-2 виконано за тим же принципом, що і перше, для реалізації якого необхідні коефіцієнти розподілу: $R_2 = 512$ (ПФКД) і $N_2 = 24488 \div 24954$ (ДЗКД). Як і в попередньому випадку, частота і крок на виході ГКН визначається за формулами (9) і (10), при цьому коефіцієнт розподілу N_2 буде визначатися виразом:

$$N_2 = (P \cdot B) + A, B \geq A. \quad (2.3)$$

Коефіцієнти розподілу P , B і A програмуються користувачем. Перевага СЧ, побудованого за схемою на рис.3.1, полягає в простоті схемотехнічної реалізації. Недоліком СЧ є відсутність можливості підвищити його швидкодію. Швидкодія СЧ визначається параметрами елементів ФНЧ, тобто його частотою зрізу, яка безпосередньо залежить від частоти порівняння на ЧФД.

На практиці частота зрізу ФНЧ вибирається з розрахунку не більше 10% від частоти порівняння, які дозволяють забезпечити гарантованість стійкості роботи системи в цілому. Вище 10% брати частоту зрізу НЕ рекомендується, тому що в шумовому спектрі вихідного сигналу можуть з'явитися регулярні побічні складові ПС. Нижче 10% вибирати частоту зрізу можна, але до певного значення, нижче якого можна погіршити швидкодію системи, т. к. в цьому випадку доводиться звужувати смугу, тим самим збільшуючи порядок ФНЧ, що підвищує його інерційність. Щоб підвищити швидкодію СЧ при тому ж кроці сітки, треба збільшити частоту зрізу ФНЧ, що досягається за рахунок застосування в петлі ІФАПЧ ідеї дробового синтезу.

2.2 Структурна схема СЧ на базі ІФАПЧ з ДДЗКД

При використанні синтезатора з дробовим коефіцієнтом ділення [43, 31] крок сітки синтезованих частот завжди менше частоти порівняння. Це зручно, а часто необхідно в разі дрібного кроку сітки при високій вихідній частоті, тобто при великих значеннях N коефіцієнта ділення з ДЗКД. У більшості таких синтезаторів максимальне відношення дрібності встановлюється в межах від 1/16 до 1/128 і вище. Ідея дрібного ділення полягає в чергуванні цілочисельних коефіцієнтів розподілу за певним законом за певний інтервал часу. Дрібний синтез дозволяє збільшити частоту порівняння при підтримці того ж самого кроку, що і в схемі на рис. 2.1. Структурна схема СЧ з ДДЗКД представлена на рис. 2.2.

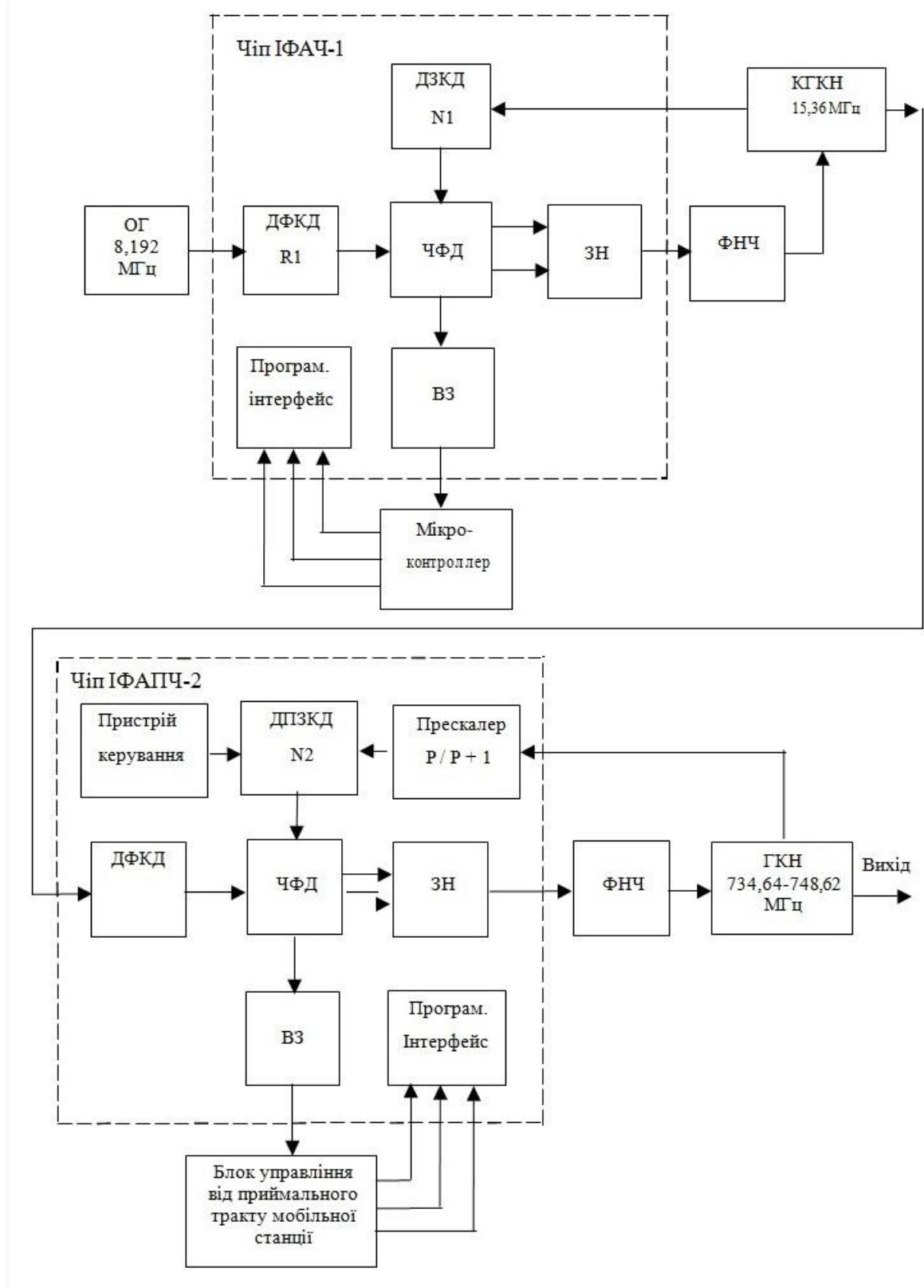


Рисунок 2.2 – Другий варіант структурної схеми розробляемого синтезатора

У цій схемі перше допоміжне кільце ІФАПЧ таке саме, що і в схемі синтезатора з ДЗКД, а ось друге кільце реалізовано за іншим принципом. Дане

кільце ІФАПЧ містить ЧФД з джерелом струму ДТ, загальний вихідний мультиплексор, програмований інтерфейс, двукоефіцієнтний дільник $P / (P + 1)$ з лічильниками А і В і пристрій управління УУ, що представляє собою схему корекції перешкод дрібності. Отримуючи інформацію установки необхідного значення коефіцієнта P від вхідного інтерфейсу і сигнали з виходу попереднього дільника P , УУ черзі перемикає попередній дільник в режим поділу на $P + 1$ або на P . В результаті за повний цикл роботи коефіцієнт ділення N_2 буде визначатися:

$$N_2 = N + 1/\Delta N = [(P \cdot B) + A] + 1/\Delta N \quad (2.4)$$

де $[(P \cdot B) + A]$ – коефіцієнт розподілу (ціле), а $1 / \Delta N$ - дробовий компонент.

Робота ЧФД складається в підстроювання напруги, що подається на ГКН до відповідності частоти (і фази) сигналу зворотного зв'язку частоті (і фазі) опорного сигналу. Коли ця умова фазової синхронізації існує, частота ГКН встановлюється $(N + 1 / \Delta N)$ разів більшою, ніж частота порівняння, тобто

$$f_{ГКН} = ([N + 1/\Delta N] / R_1) f_{оп} \quad (2.5)$$

з кроком

$$D_F = f_{ЧФД} / (1/\Delta N) \quad (2.6)$$

Формули (13) і (14) справедливі для мікросхем ІФАПЧ з ДДЗКД серії LMX американської фірми National Semiconductor [13] зі схемами компенсації перешкод дрібності у вигляді каскадів змінної затримки по фазі, при чому для LMX2352 коефіцієнт $N = (P \cdot B) + A$, а для LMX2364 коефіцієнт $N = (P \cdot C) + (4 \cdot B) + A$, а для мікросхем фірми Analog Devices [12], наприклад, ADF4153 (54), що містить схему компенсації перешкод дрібності у вигляді дельта - сигми модулятора третього порядку, формула (2.7) враховуватиме значення подовжувача частоти, передбаченого в структурах мікросхем даного типу, тобто:

$$f_{ГКН} = ([N + 1/\Delta N] / R_1) f_{оп} \cdot (1 + D) \quad (2.7)$$

де D – значення подовжувача опорної частоти.

Для того, щоб отримати на виході кільця необхідний діапазон частот від 734,64 до 748,62 МГц і крок 30 кГц необхідно задатися коефіцієнтом дробності, наприклад, при $1 / \Delta N = 1/16$, отримуємо коефіцієнти $R_2 = 32$ і $N_2 = 1530,5-1559,625$ при частоті порівняння рівній 480 кГц, при $1 / \Delta N = 1/64$, отримуємо коефіцієнти $R_2 = 8$ і $N_2 = 382,625 - 389,90625$ при частоті порівняння рівній 1,92 МГц, при $1 / \Delta N = 1/128$, отримуємо коефіцієнти $R_2 = 4$ і $N_2 = 191,3125-194,953125$ при частоті порівняння рівній 3,84 МГц. розглянувши особливості представлених варіантів структурних схем СЧ, перейдемо до їх моделювання.

3 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Синтезатор частот з ІФАПЧ являє собою складний нелінійний пристрій автоматичного регулювання з елементами дискретизації [17]. Тому для опису процесів в таких системах застосовується математичний апарат теорії автоматичного регулювання [18, 21]. питанням математичного опису та побудови математичної моделі СЧ з системою ІФАПЧ присвячені роботи [18, 19, 27]. При цьому треба відзначити, що в даний час розроблено велика кількість спеціалізованих прикладних програм, які здійснюють моделювання СЧ з системою ІФАПЧ для аналізу динамічних і шумових характеристик. Як приклад можна привести програму «Mathlab Simulink». Виробники чіп-ІФАПЧ «National Semiconductor» і «Analog Devices» також пропонують програми для розрахунку синтезаторів частот [35, 36]. З метою прискорення процесу розробки СЧ проведемо попереднє моделювання СЧ з ДЗКД і ДДЗКД за допомогою одного з пропонованих програмних продуктів – «ADIsimPLL» фірми «Analog Devices».

4 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СЧ

4.1 Розрахунок параметрів опорного синтезатора частоти на базі ІФАПЧ-1

При проведенні розрахунків необхідно розробити опорний синтезатор частоти (далі ОСЧ) на частоту 15,36 МГц з граничною стабільністю не гірше сигналу опорного генератора і низьким шумовим профілем синтезованого сигналу. Для розрахунку оптимальної частоти зрізу системи ІФАПЧ-1 необхідно задати спектральні розподілу потужності фазових шумів опорного генератора ОГ, керованого кварцового генератора КГКН, чіп-ІФАПЧ, визначитися з величиною струму на виході ЧФД і запасом стійкості по фазі. Вибір ОГ і КГКН є ключовим моментом при розробці опорного кільця ІФАПЧ-1 СЧ, оскільки важливий внесок в спектральну характеристику вихідного сигналу ОСЧ вносять фазові шуми саме цих елементів ІФАПЧ. Розглянемо спектральні характеристики опорних кварцових автогенераторів, наведені у табл. 4.1

Очевидно, що для досягнення необхідної якості опорного сигналу прецизійного опорного кільця необхідний генератор, який має найкращий профіль фазових шумів при відбудові від несучого коливання від 1 до 100 кГц. В даному випадку необхідні параметри забезпечує генератор ГК – 54ТС [10]. Далі виберемо КГКН. Вибір значень спектральної щільності потужності фазових шумів і крутизни характеристики управління КГКН зроблений виходячи з зіставлення параметрів сучасних кварцових генераторів, керованих напругою, які виробляються фірмами «Jauch», «Vectron», «Mercury», «Valpey Fisher» [37].

Таблиця 4.1 – СЦПФШ кварцових опорних автогенераторів

Налаштування від несівної		1 Гц	10 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц
Тип ОГ	Рівень СЦПФШ, дБ/Гц	мінус 95	мінус 120	мінус 140	мінус 150	мінус 155
ГК-54ТС		мінус 80	мінус 120	мінус 112	мінус 150	мінус 155
ГК-68ТС		мінус 97	мінус 102	мінус 129	мінус 134	мінус 145
ГРАН		мінус 111	мінус 110	мінус 133	мінус 140	мінус 145
ТОПАЗ						

Шумовий профіль КГКН різних фірм - виробників представлений в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – СЦПФШ кварцових керованих автогенераторів

Налаштування від несівної		10 Гц	100 Гц	1 Гц	10 кГц	100 кГц	Крутизна управл-я, кГц / В
Тип КГКН	Рівень СЦПФШ, дБ/Гц	мінус 70	мінус 100	мінус 130	мінус 150	мінус 160	2,5
ГК-77УНМ		мінус 50	мінус 80	мінус 115	мінус 135	мінус 140	2,5
VECTRON		мінус 70	мінус 100	мінус 130	мінус 145	мінус 150	2,5
MERCURY							

На підставі проведеного аналізу характеристик вітчизняних і зарубіжних КГКН (див. табл. 4.2), можна зробити висновок, що необхідні для реалізації прецизійного опорного кільця ОСЧ характеристики має генератор ГК-77УНМ

фірми «Моріон» [38].

Далі перейдемо до вибору чіп ІФАПЧ, в якому об'єднуються функціональні вузли системи імпульсно – фазового автопідстроювання частоти: попередній перемикається дільник вхідної частоти «prescaler», ЧФД з ДТ, дільник з фіксованим коефіцієнтом ділення і дільник з дрібно – змінними коефіцієнтом ділення. В даний час існує велика кількість чіпів ІФАПЧ, розроблених провідними фірмами виробниками «Analog Devices», «National Semiconductor» [39, 40, 41]. Основними критеріями вибору чіп ІФАПЧ є такі характеристики:

- максимальний і мінімальний коефіцієнти розподілу і діапазон вхідних частот змінного і фіксованого дільників;
- максимальна робоча частота ЧФД;
- власні шуми дільників частоти і ЧФД;
- діапазон зміни струму зарядним накачування;
- максимальне значення показника дрібності;
- габаритні розміри і споживана потужність.

Як було відзначено вище, щоб отримати частоту 15,36 МГц з 8,192МГц, коефіцієнти розподілу R_1 і N_1 повинні бути рівні відповідно 32 і 60, при цьому частота порівняння на ЧФД виходить рівною 256 кГц. Даним вимогам по R_1 і N_1 , за діапазоном опорних і робочих частот, частоті порівняння на ЧФД відповідає чіп ІФАПЧ ADF4001 фірми Analog Devices, технічні параметри якого представлені в табл. 4.3. Крім того, чіп ADF4001 має низький (- 213 дБ/Гц) рівень власних фазових шумів.

Таблиця 4.3 – Технічні параметри мікросхеми ADF4001

Діапазон робочих частот, МГц	Діапазон опорних частот, МГц	Частота порівняння на ЧФД, МГц	Значення ПФКД R	Значення ДЗКД N	Струм ЗН, мА	Напруга живлення, В	Струм споживання, мА
10-200	0-100	55 (max)	1-16383	1-8191	0,29-8,7	5,0	4,5

Так як у обраного в якості КГКН ГК – 77УНМ діапазон керуючого напруги від 0,5 до 4,5 В і максимальна амплітуда напруги на виході ЧФД з ДТ ADF4001 становить 5В, то не має сенсу в якості ФНЧ використовувати операційний підсилювач, оскільки обраний чіп ІФАПЧ дозволяє перекрити діапазон напруги, що управляє КГКН. Крім того, фільтр на базі операційного підсилювача може погіршити шумовий профіль вихідного сигналу за рахунок власних внутрішніх шумів, що визначаються неоднорідністю його внутрішньої структури, тому в якості фільтра візьмемо простий RC-фільтр 2-го порядку. Високий порядок ФНЧ в ОСЧ брати до розгляду НЕ будемо, так як вищий порядок фільтра передбачає збільшення в ньому елементів, зокрема резисторів, шуми яких прямо пропорційно пов'язані з номіналом опору [34] і визначаються формулою Неймана 4.1:

$$S_{ER} = 4 \cdot k \cdot T \cdot R \quad (4.1)$$

де k – постійна Больцмана,

T – абсолютна температура,

R – номінал резистора.

З формули видно, чим більше номінал резистора, тим більше рівень його шуму. Завданням же ОСЧ є забезпечення на його виході сигналу з якомога меншим шумовим профілем.

Виходячи з дослідів моделювання, макетування попередніх СЧ і рекомендацій фірм – виробників чіпів ІФАПЧ [40,41] для майбутнього в даній

роботі попереднього моделювання задамося струмом на виході ЧФД з ДТ 8,7 мА і запасом стійкості по фазі 55 градусів. У табл. 4.4 представлений перелік вимог до ОСЧ. Він включає в себе як вихідні попередні дані для проведення моделювання, так і вихідні параметри, які повинен забезпечити ОСЧ.

Таблиця 4.4 – Перелік вимог до ОСЧ

Параметр		Величина		
Струм ЧФД		8,7 мА		
Запас стійкості по фазі		55 градусів		
Синтезуєма частота		15,36 МГц		
Крутизна характеристики КГКН		2,5 кГц / В		
Спектральні характеристики				
ОГ		КГКН		ЧФД
Відстроювання, Гц	СЦПФШ, дБ / Гц	Відстроювання, Гц	СЦПФШ, дБ / Гц	СЦПФШ, дБ / Гц
1	мінус 95	10	мінус 70	мінус 213
10	мінус 120	100	мінус 100	Частота порівняння на ЧФД, кГц
100	мінус 140	1000	мінус 130	
1000	мінус 150	10000	мінус 150	
				256

Перейдемо до процесу моделювання ОСЧ. На рис.4.1 представлені графіки рівня СЦПФШ ОГ і КГКН.

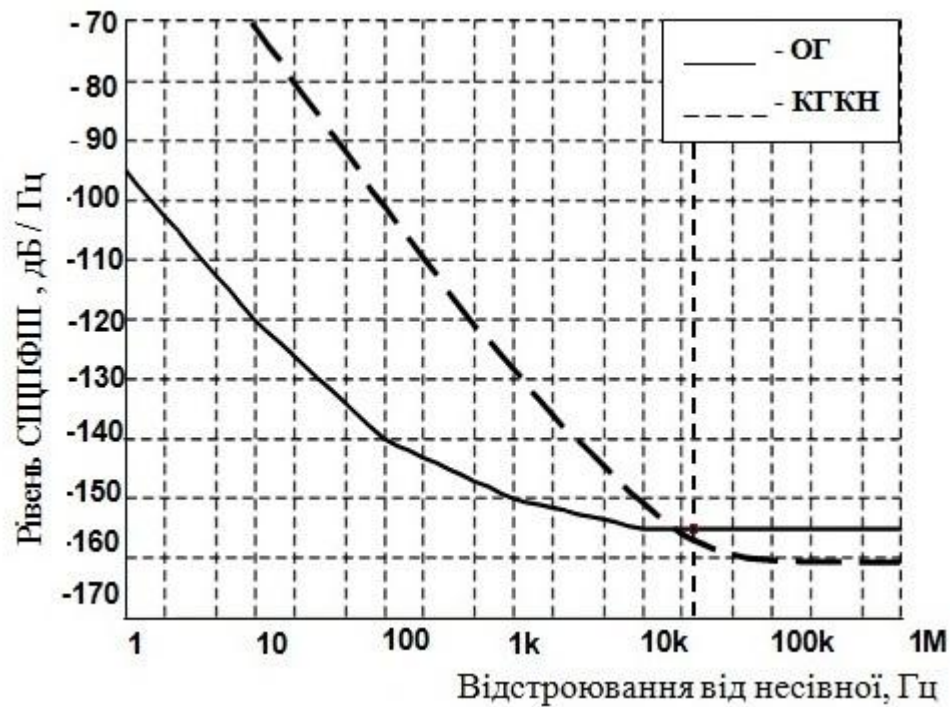


Рисунок 4.1 – Рівні СЩПФШ обраних ОГ і КГКН

На відстроювання 24.6 кГц,
 СЩПФШ ОГ=-155.0000 дБ/Гц,
 СЩПФШ ГКН=-156.0197 дБ/Гц.

З рис.4.1 видно, що шумовий профіль вихідного сигналу КГКН в ближній зоні, починаючи з 10 кГц, краще шумового профілю вихідного сигналу ОГ. При заданому запасі стійкості по фазі 550 градусів і вибраних елементах ІФАПЧ-1 знайдемо частоту зрізу і шумовий профіль вихідного сигналу ОСЧ.

Для цього відповідно до алгоритму роботи програми введемо послідовно один за одним дані по вибору виду синтезу (синтез на одну частоту з ДЗКД), по вихідній частоті, частоті порівняння на ЧФД, виберемо відповідно до заданих техніко – експлуатаційних параметрів моделі чіпа ІФАПЧ, ОГ, КГКН, ФНЧ.

Отримані результати моделювання СЩПФШ рівня вихідного сигналу і встановлювання частоти зрізу кільця для більш якісної оцінки представимо

графіками на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Шумовий профіль вихідного сигналу ОСЧ при різних частотах зрізу кільця ІФАПЧ-1

З аналізу графіків розподілу рівня СЩПФШ в вихідному сигналі ОСЧ видно, що найменший шумовий профіль на виході ОСЧ виходить при частоті зрізу кільця ІФАПЧ-1 поблизу 150 Гц. Чисельні дані про розподілі СЩПФШ вихідного сигналу ОСЧ при різних частотах зрізу ІФАПЧ-1 представлені в табл. 4.5

На даному етапі виконання моделювання зупинимося на частоті зрізу системи в 150 Гц з запасом стійкості по фазі у 55 градусів, і подивимося, як вплине на шумовий профіль вихідного сигналу зміна запасу стійкості по фазі, а також переконаємося в правильності висновків про вплив типу ФНЧ на шумовий профіль вихідного сигналу шляхом заміни пасивного фільтра активним і активно-пасивними RC-фільтрами на різних операційних підсилювачах.

Таблиця 4.5 – Результати розрахунку рівнів СЦПФШ вихідного сигналу ОСЧ при різних частотах зрізу кільця ІФАПЧ-1

Відстроювання від несівної		10 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц
Частота зрізу кільця, Гц	Рівень СЦПФШ, дБ/Гц					
50		мінус 89	мінус 98	мінус 128	мінус 150	мінус 160
100		мінус 101	мінус 98	мінус 128	мінус 150	мінус 160
150		мінус 105	мінус 101	мінус 126	мінус 150	мінус 160
300		мінус 108	мінус 106	мінус 120	мінус 150	мінус 160

Під стійкістю системи ІФАПЧ розуміють здатність даної системи повертатися в початковий стан після деякого зовнішнього впливу на неї. Існує багато критеріїв оцінки стійкості системи [17], але в даній роботі будемо оперувати запасом стійкості по фазі, оскільки саме цей критерій використовується в програмі «ADIsimPLL». Під запасом стійкості по фазі мають на увазі величину кута на частоті зрізу, при якій коефіцієнт передачі розімкнутої системи дорівнює одиниці, тобто це додатковий набіг фаз, при якому замкнута система залишається стійкою. На практиці запас стійкості по фазі лежить в межах 30-60 градусів.

Подивимося, як зміниться форма СЦПФШ вихідного сигналу при запасах стійкості по фазі, що дорівнюють 350, 450 і 550 градусів, відповідно. Результати дослідження шумового профілю вихідного сигналу від запасу стійкості по фазі представлено на рис.4.3.



Рисунок 4.3 – Залежність рівня СЩПФШ ОСЧ від запасу стійкості по фазі

З рис. 4.3 видно, що найменший рівень СЩПФШ має ОСЧ з запасом стійкості по фазі 55 градусів. В цьому випадку відсутнє зменшення рівня шумового профілю вихідного сигналу при відстроюванні від несівної до 100 Гц і його зростання при відстроюванні від 100 Гц до 500 Гц.

Далі розглянемо вплив різного впливу ФНЧ на шумовий профіль і рівень регулярних побічних складових вихідного сигналу ОСЧ. На рис.4.4 і в табл. 4.6 представлені результати проведеного моделювання для трьох реалізацій ФНЧ: а) пасивний RC-фільтр 3-го порядку, б) активний RC-фільтр 3-го порядку на ОП AD8610, в) активно – пасивний RC – фільтр 3-го порядку на ОП ОР27.

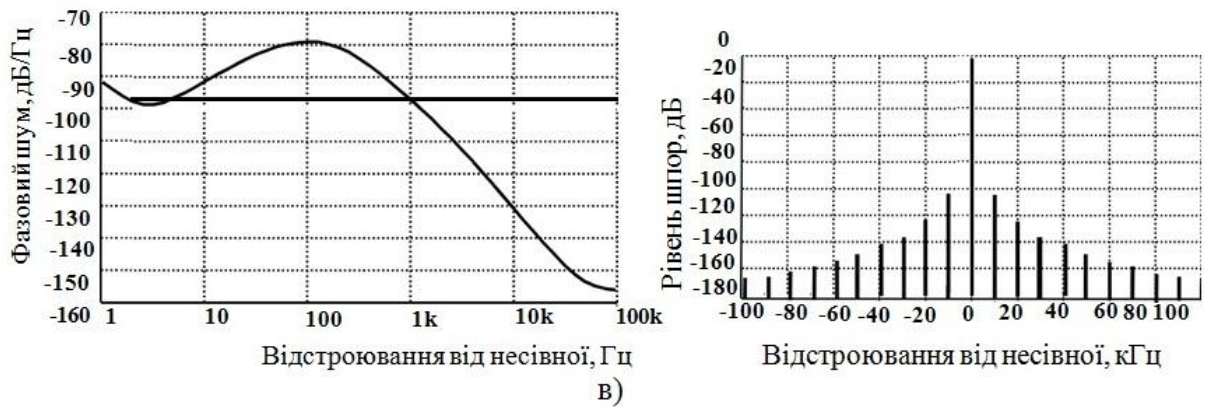
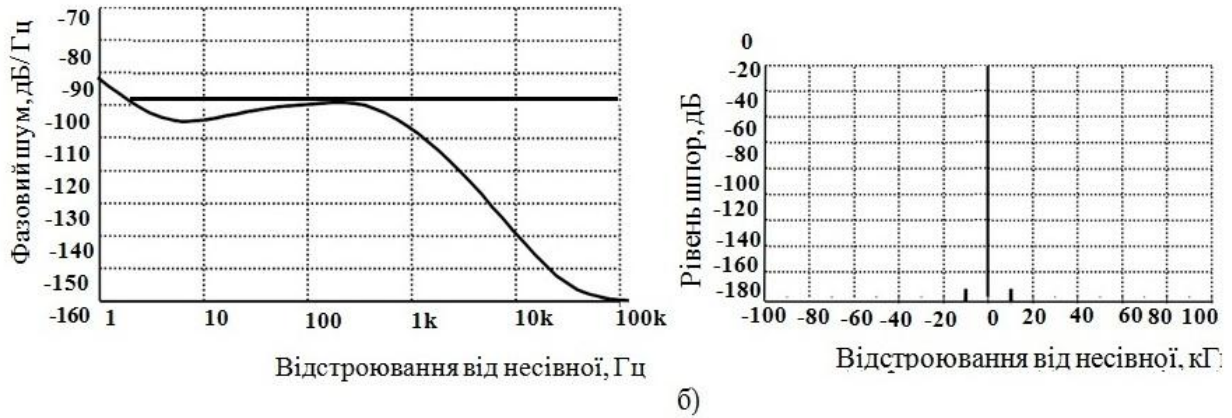
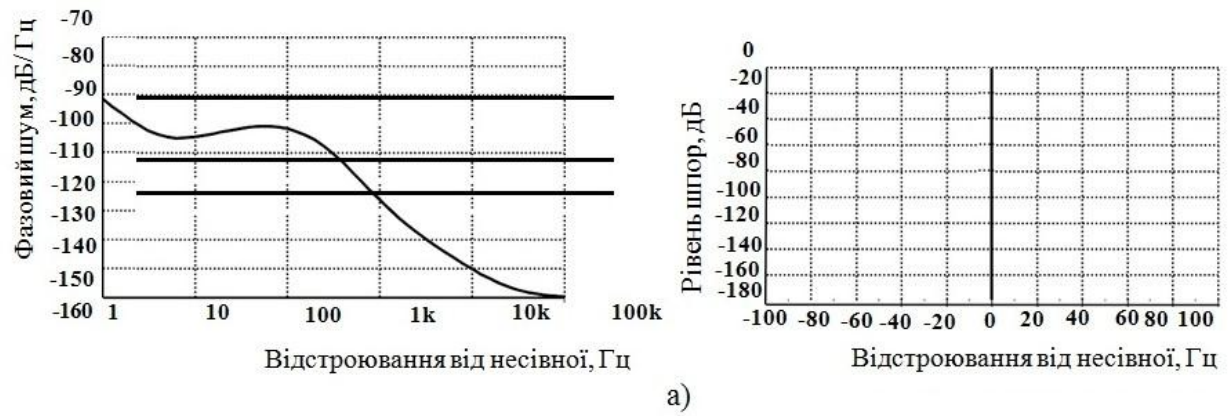


Рисунок 4.4 – СЦПФШ і рівень ПС в вихідному сигналі ОСЧ
для різних ФНЧ

Для всіх трьох випадків синтез параметрів ФНЧ проведено для запасу стійкості по фазі 55 градусів і частоти зрізу системи ІФАПЧ-1 – 150 Гц.

Таблиця 4.6 – Результати розрахунку шумового профілю вихідного сигналу ОСЧ при різній реалізації ФНЧ

Відстроювання від несівної		10 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц
Тип ФНЧ	Рівень СЦПФШ, дБ/Гц					
Рис.а		мінус 104	мінус 102	мінус 126	мінус 150	мінус 160
Рис.б		мінус 104	мінус 99	мінус 109	мінус 142	мінус 160
Рис.в		мінус 91	мінус 78	мінус 97	мінус 132	мінус 159

Як видно з таблиці 4.6 і представлених на рис.4.4 графіків, найменший внесок в шумовий спектр вихідного сигналу вносить пасивний RC фільтр 3-го порядку (рис. 4.4 а).

Підіб'ємо підсумки моделювання опорного синтезатора частоти. Уявімо графічно результат розрахунку оптимальної частоти зрізу ІФАПЧ-1 на рис.4.5, з якого видно, що точка перетину графіків кривих розподілу СЦПФШ опорного і керованого кварцових генераторів відповідає частоті зрізу кільця ІФАПЧ-1 і дорівнює 150 Гц. Частота зрізу системи $F_{зрізу} = 150$ Гц.

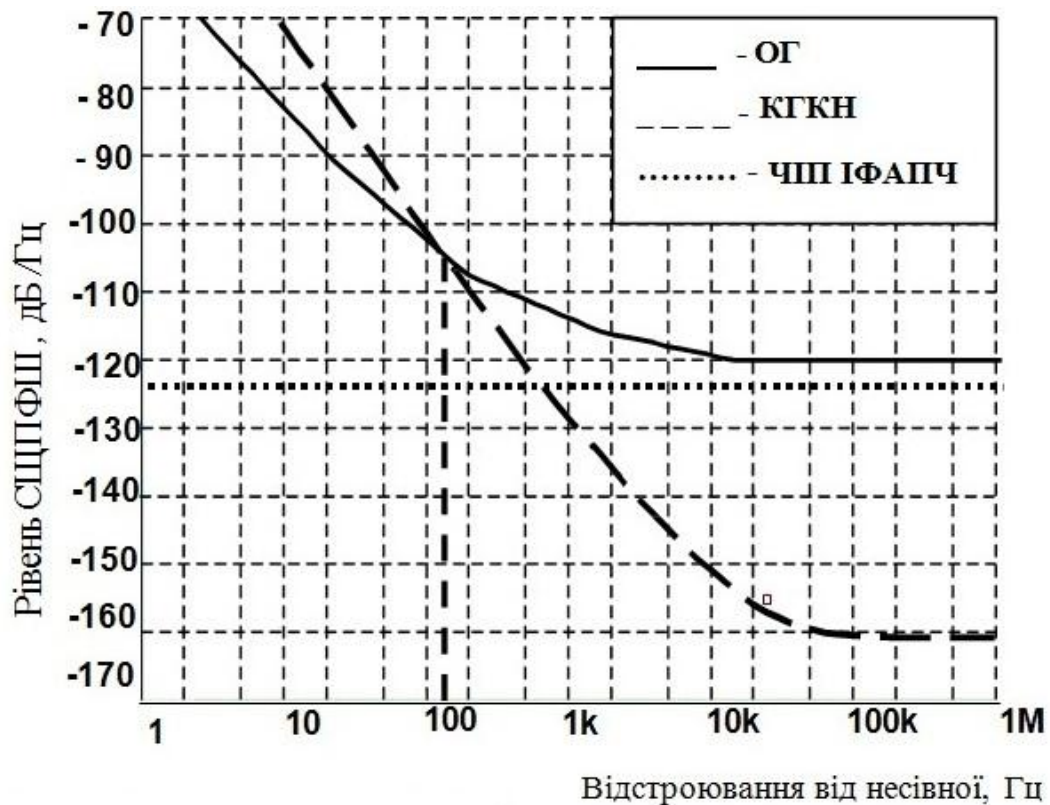


Рисунок 4.5 – Оптимізація частоти зрізу ІФАПЧ-1 ОСЧ

Частота зрізу системи $F_{\text{зрізу}} = 150 \text{ Гц}$.

Перерахований до виходу ІФАПЧ-1 рівень СЩПФШ чіпа ІФАПЧ, як $(-213 + 10 \cdot \log f_{\text{чФД}} + 20 \cdot \log N)$, склав мінус 123 дБ/Гц і вийшов нижче рівнів СЩПФШ ОГ і КГКН. В результаті до частоти зрізу шумовий профіль вихідного сигналу ОСЧ визначається шумами опорного генератора, перерахованими як $(20 \cdot \log N)$, а після частоти зрізу - шумами кварцового генератора, керованого напругою.

За результатами моделювання приймемо спрощену розрахункову функціональну схему ОСЧ. Дана схема представлена на рис.4.6. Крім того, були отримані результати розрахунку рівнів паразитного відхилення частоти / фази (ПВЧ / ПВФ) в смузі радіоканалу:

рівень ПВЧ в смузі частот від 300 Гц до 3,4 кГц склав 0,0363 Гц,

рівень ПВФ в смузі частот від 300 Гц до 3,4 кГц склав 0,0 градусів.

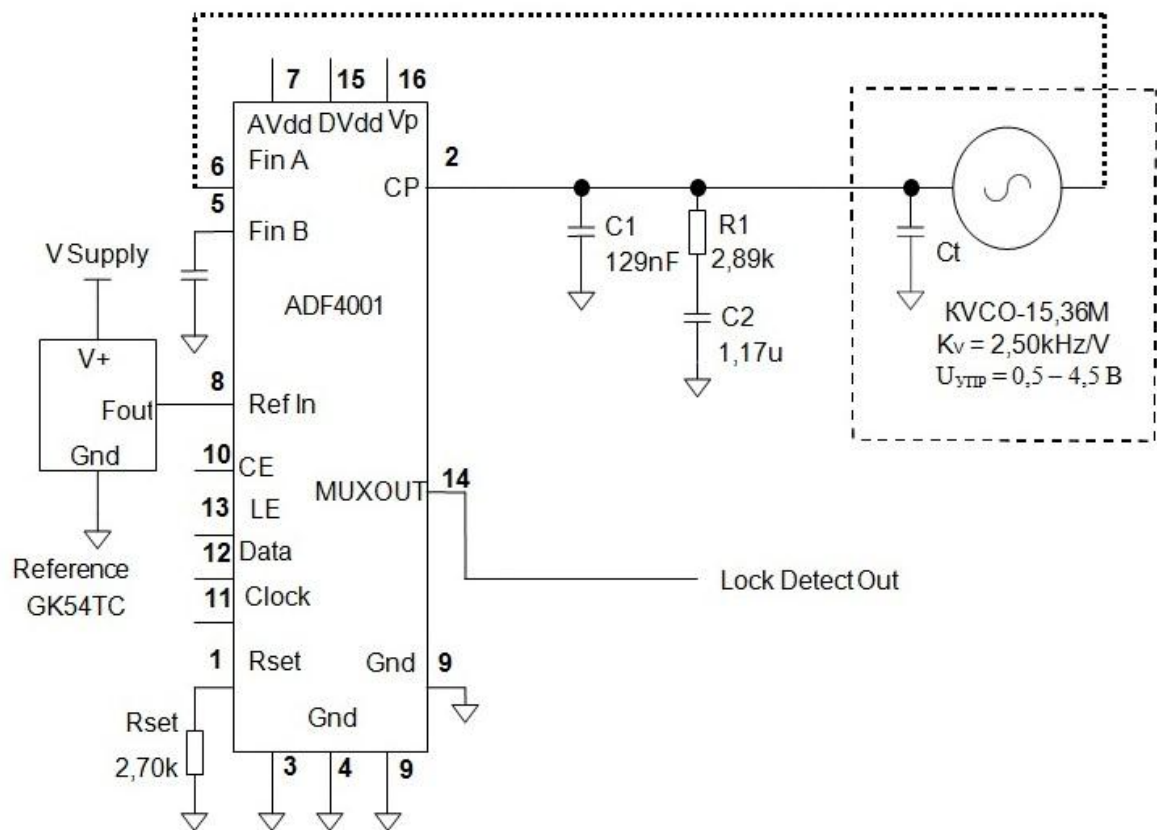


Рисунок 4.6 – Спрощена функціональна розрахункова схема ОСЧ

Дані на ADF4001:

- а) V_p – напруга живлення схеми зарядним накачування ДТ;
- б) V_p має бути більше або дорівнює напрузі живлення чіпа V_{dd} ;
- в) операція запуску тактових імпульсів CE повинна здійснюватися по високому потенціалу.
- г) повна деталізація схеми виконується виходячи з довідкових даних на чіп.

Отримані результати розрахунку параметрів кільця ІФАПЧ-1 ОСЧ зведемо в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Результати розрахунку параметрів ОСЧ на кільці ІФАПЧ-1

Параметр			Величина	
Струм на виході ЧФД с ЗН			8,7 мА	
Запас стійкості по фазі			55 градусів	
Синтезуема вихідна частота			15,36 МГц	
Частота зрізу кільця			150 Гц	
ПВЧ в смузі частот від 300 Гц до 3,4 кГц			0,0363 Гц	
ПВФ в смузі частот від 300 Гц до 3,4 кГц			0,0 градусів	
Спектральні характеристики			Елементна база ФНЧ	
ОСЧ		ЧФД		
Відстроювання, Гц	СЦПФШ, дБ / Гц	СЦПФШ, дБ / Гц	Тип елементу	Номінал
10	мінус 105	мінус 123	Резистор R1	2,89 кОм
100	мінус 101		Конденсатор C1	129 нФ
1000	мінус 126		Конденсатор C2	1,17 мкФ
10000	мінус 150			
100000	мінус 160			

4.2 Розрахунок параметрів вихідного синтезатора частот на базі ІФАПЧ-2 з ДЗКД

При проведенні розрахунків необхідно розробити вихідний синтезатор частот (далі ВСЧ) з кроком 30 кГц на діапазон частот від 734,64 до 748,62 МГц з швидкодією не гірше 700 мкс з точністю встановлення вихідної частоти плюс / мінус 1 кГц. Для розрахунку швидкодії системи ІФАПЧ-2 необхідно визначитися з вибором наявних в програмі «ADIsimPLL» моделей ГКН, чіпа ІФАПЧ, ФНЧ. Вибір тих чи інших моделей зробимо виходячи з вимог, які повинен забезпечити розробляємий ВСЧ. даний перелік вимог представлений в

табл. 4.8 – він включає в себе як вихідні попередні дані для проведення моделювання, так і вихідні параметри, які повинен забезпечити ВСЧ.

Таблиця 4.8 – Перелік вимог до ВСЧ з ДЗКД

Параметр		Величина		
Струм ЧФД		4,5 – 8,7 мА		
Запас стійкості по фазі		45 градусів		
Діапазон синтезованих частот		734,64 – 748,62 МГц		
Синтезуєма вихідна частота		742 МГц		
Спектральні характеристики		Швидкодія		
ОСЧ		ЧФД	Тривалість	Точність
Відстроюван ня, Гц	СЩПФШ, дБ / Гц	СЩПФШ , дБ / Гц	перехідного процесу при	встановлення вихідної
10	мінус 105	мінус 213	частотному стрибку 14 МГц, в мкс	частоти, в кГц
100	мінус 101			
1000	мінус 126			
10000	мінус 150		700	1,0
100000	мінус 160			

Виходячи з вимог по СЦПФШ як опорного генератора для кільця ІФАПЧ-2 приймемо розроблений ОСЧ на кільці ІФАПЧ-1. В програмі «ADIsimPLL» ОСЧ відповідає «model REF_PLL».

Далі вибираємо чіп ІФАПЧ-2, що забезпечує виконання вимог щодо СЦПФШ і частоти порівняння на ЧФД. Оскільки передбачається використання в кільці дільника з цілочисельним коефіцієнтом ділення, то частота порівняння на ЧФД буде визначатися кроком сітки частот, рівним 30 кГц. Тому, щоб отримати частоту порівняння на ЧФД 30 кГц, коефіцієнти розподілу дільників ПФКД і ДЗКД повинні бути рівні 512 і 24488 – 24954, відповідно. У табл.4.9

представлені технічні характеристики чіпів ІФАПЧ з ДЗКД відомих фірм – виробників [40,41].

Таблиця 4.9 – Технічні параметри чіпів ІФАПЧ з ДЗКД

Чіп ІФАПЧ	Діапазон робочих частот, МГц	Діапазон опорних частот, МГц	Частота порівняння на ЧФД, МГц	Значення ПФКД, R	Значення ДЗКД,			Струм ЗН, мА	Нарука живлення, В	СЩПФШ, дБ/Гц
					A	B	P			
LMX 2316	100-1200	5-40	10 (max)	3-16383	0-31	3-8191	32	0,25-5,0	5,0	-213
ADF 4112	100-3000	5-100	10 (max)	3-16383	0-63	3-8191	8 16 32 64	0,625-8,7	5,0	-213
ADF 4117	45-1200	5-100	55 (max)	1-16383	0-31	3-8191	32	0,25-5,0	5,0	-213

З табл.4.9 видно, що всі представлені в ній чіпи ІФАПЧ дозволяють виконати вимоги по ПФКД, ДЗКД, частоті порівняння на ЧФД, діапазону робочих частот і рівню СЩПФШ. Зупинимо свій вибір на чіпі ADF4112.

Вибір ГКН виконаємо, виходячи з необхідного синтезованого діапазону частот. У табл.4.9 представлені технічні характеристики керованих генераторів ГКН різних фірм – виробників [44, 45].

Таблиця 4.10 – Технічні характеристики ГКН різних фірм - виробників

Найменування ГКН /фірми виробника	Мінімальна частота, МГц	Максимальна частота, МГц	Середня крутизна управління, МГц/В	Мінімальна керуюча напруга, В	Максимальна керуюча напруга, В	СЦПФШ при відстроювання 10 кГц. дБ/Гц	Напруга живлення, В	Вихідна потужність, дБ
CLV0769E / Zcomm	734	804	40	1,0	4,0	-112	5,0	2,5
RQRA-0732-0757 / Raltron	732	757	11	1,0	4,0	-115	5,0	-
RQRA-0730-0790 / Raltron	730	790	16	0	5,0	-105	5,0	3,0
VC0190-752T / Sirenza	717	782	13	0	5,0	-118	5,0	3,0
JCOS-ED6046/3 / MiniCircuits	701	798	5,0	0,5	8,0	-120	8,0	7,0
RQRA-0465-0810 / Raltron	465	810	60	0,5	8,0	-106	12,0	-

Даному діапазону відповідає кілька видів ГКН. З представлених в табл. 4.10 параметрів при інших рівних умовах найбільш підходящими є ті ГКН, які мають найменший шумовий профіль вихідного сигналу при відбудові від несівної 10 кГц. Таким ГКН відповідають: «QRA-0732-0757 Raltron» на діапазон частот 732 - 757 МГц з крутизною $KV = 11$ МГц / В, діапазоном $U_{упр} = 1,0 - 4,0$ В, рівнем СЦПФШ = мінус 115 дБ / Гц; «CLV0769E Zcomm» на діапазон частот 734 - 804 МГц з крутизною $KV = 40$ МГц / В, діапазоном $U_{упр} = 1,0 - 4,0$ В, рівнем СЦПФШ = мінус 112 дБ / Гц; «VC0190 - 750U Sirenza» на діапазон частот 717 - 780 МГц з крутизною $KV = 19$ МГц / В, діапазоном $U_{упр} = 0 - 5,0$ В, рівнем СЦПФШ = мінус 118 дБ / Гц. Оскільки обраний чіп ІФАПЧ

забезпечує перекриття за діапазоном напруги, що управляє, то в якості ФНЧ, з метою забезпечення на виході сигналу з найменшим шумовим профілем, будемо використовувати пасивний РС – фільтр 2-го порядку. Для того, щоб остаточно визначитися з вибором ГКН, проведемо розрахунок параметрів ВСЧ при використанні в кільці ІФАПЧ-2 трьох вище обраних типів ГКН. Для цього відповідно до алгоритму роботи програми введемо послідовно один за одним дані по вибору виду синтезу (синтез на діапазон частот з ДЗКД), по вихідній частоті, частоті порівняння на ЧФД, виберемо відповідно до заданих техніко – експлуатаційних параметрів моделі чіпа ІФАПЧ, ГКН і ФНЧ.

Результати розрахунку швидкодії ВСЧ і шумового профілю його вихідного сигналу при різній реалізації ГКН представимо на рис. 4.7 і рис. 4.8, відповідно.

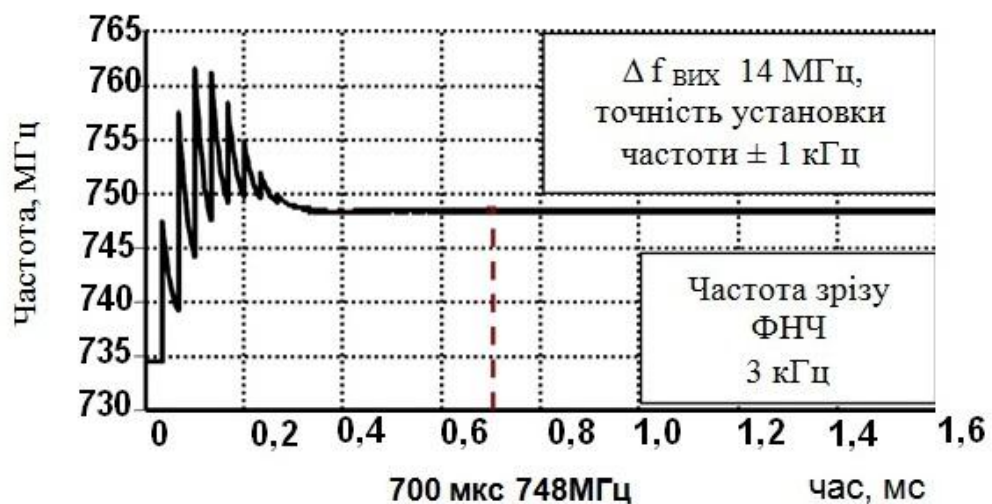


Рисунок 4.7 – Графік перехідного процесу в ВСЧ з різними ГКН в кільці ІФАПЧ-2



Рисунок 4.8 – Розрахунок СЦПФШ ВСЧ з різними ГКН в кільці ІФАПЧ-2

На $f_{зр}=3.0$ кГц,

ІФАПЧ ВСЧ1 – мінус 80.58 дБ/Гц,

ІФАПЧ ВСЧ2 – мінус 78.73 дБ/Гц,

ІФАПЧ ВСЧ3 – мінус 80.39 дБ/Гц.

З рис.4.7 видно, що вибір ГКН в кільці ІФАПЧ-2 в ВСЧ на його швидкодію не впливає, так як швидкодія кільця ІФАПЧ визначається частотою зрізу ФНЧ, а позначається лише на шумовому профілі вихідного сигналу, що наочно продемонстровано на рис. 4.8.

Розрахунок показав, що вдалося забезпечити тривалість перехідного процесу не більше 700 мкс з точністю установки вихідної частоти плюс / мінус 1 кГц при частоті зрізу ФНЧ, що дорівнює 3 кГц.

У табл.4.11 представлені результати розрахунку СЦПФШ ВСЧ з різною реалізацією ГКН.

Таблиця 4.11 – Результати розрахунку СЦПФШ ВСЧ з різною реалізацією ГКН

Відстроювання від несівної		10 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц	1 МГц
Тип ГКН	Рівень СЦПФШ, дБ/Гц						
ВСЧ1 – Raltron		мінус 52	мінус 72	мінус 81	мінус 96	мінус 136	мінус 160
ВСЧ2 – Zcomm		мінус 52	мінус 72	мінус 80	мінус 93	мінус 120	мінус 140
ВСЧ3 – Sirenza		мінус 52	мінус 72	мінус 81	мінус 96	мінус 133	мінус 150

З рис.4.8 і табл.4.11 видно, що найменший внесок в шумовий профіль вихідного сигналу вносить ГКН – «model QRA-0732-0757 Raltron», тому зупинимо свій вибір на цій моделі ГКН. Далі покажемо вплив спектральної щільності шумів окремих елементів системи ІФАПЧ на загальний шумовий профіль вихідного сигналу. На рис.4.9 наведені спектральні щільності шумів елементів ІФАПЧ в вихідному сигналі на частоті 742 МГц. З рис. 4.9 видно, що до частот ~ 300 Гц шуми вихідного сигналу обумовлені шумами ОСЧ, далі до частот ~ 3000 Гц шумами чіпа ІФАПЧ і ФНЧ, після 3000 Гц – шумами ГКН. Можна показати, що перерахований до виходу ІФАПЧ-2 рівень СЦПФШ чіпа ІФАПЧ, як $(-213 + 10 \cdot \log f \text{ ЧФД} + 20 \cdot \log N)$, склав мінус 81 дБ / Гц, що графічно підтверджується даними на рис.4.9.

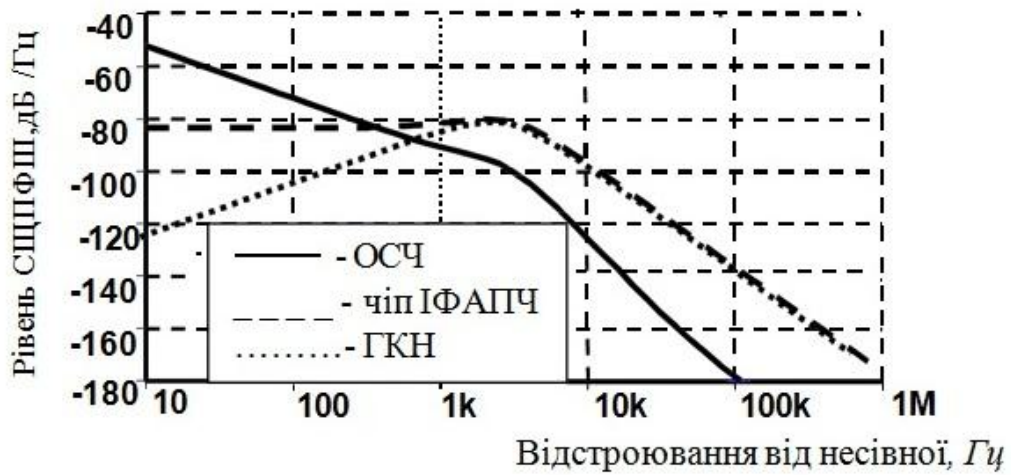


Рисунок 4.9 – СЩПФШ елементів ІФАПЧ в вихідному сигналі на 742 МГц

Отримані результати розрахунку параметрів кільця ІФАПЧ-2 ВСЧ зведено в табл. 4.12, а спрощену розрахункову функціональну схему ВСЧ, що задовольняє розрахованим параметрам, представлено на рис. 4.10.

Таблиця 4.12 – Результати розрахунку параметрів ВСЧ з ДЗКД

Параметр		Величина		
Струм на виході ЧФД з ЗН		8,7 мА		
Запас стійкості по фазі		45 градусів		
Синтезуема вихідна частота		742 МГц		
Частота зрізу ФНЧ		3 кГц		
ПВЧ в смузі частот от 300 Гц до 3,4 кГц		15,7 Гц		
ПВФ в смузі частот от 300 Гц до 3,4 кГц		0,44 градуси		
Спектральні характеристики			Елементна база ФНЧ	
ВСЧ		ЧФД		
Відстроювання , Гц	СЦПФШ, дБ / Гц	СЦПФШ, дБ / Гц	Тип елементу	Номінал
10	мінус 52	мінус 81	Резистор R1	5,87 кОм
100	мінус 72			
1000	мінус 81			
10000	мінус 96		Конденсатор C1	4,51 нФ
100000	мінус 136		Конденсатор	
1000000	мінус 160		C2	
				21,8 нФ

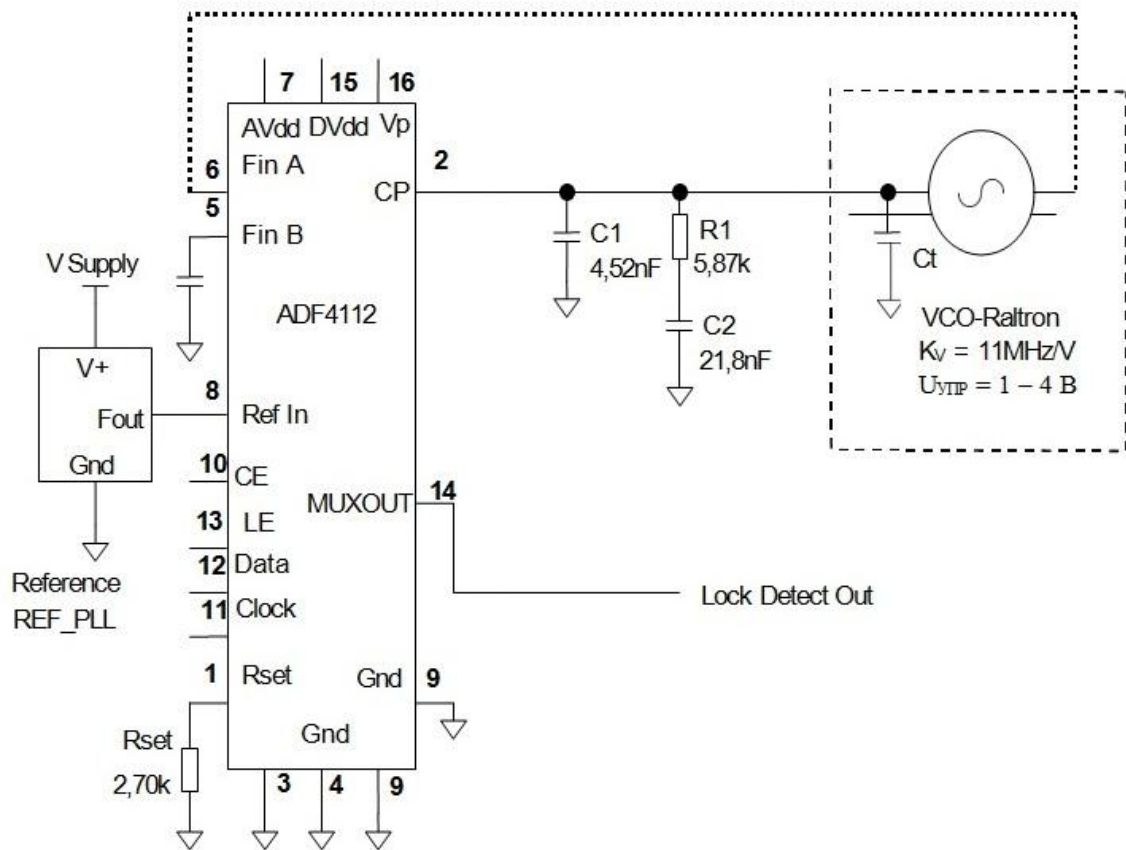


Рисунок 4.10 – Спрощена функціональна розрахункова схема ВСЧ з ДЗКД

Дані на ADF4112:

- V_p – напруга живлення схеми зарядним накачування ДТ;
- V_p має бути більше або дорівнює напрузі живлення чіпа V_{dd} ;
- AV_{dd} – напруга живлення аналогової частини чіпа;
- DV_{dd} – напруга живлення цифрової частини чіпа;
- $AV_{dd} = DV_{dd}$, V_p має бути більше або дорівнює AV_{dd} , DV_{dd} ;
- операція запуску тактових імпульсів CE повинна здійснюватися по високому потенціалу;
- повна деталізація схеми виконується виходячи з довідкових даних на чіп.

4.3 Розрахунок параметрів вихідного синтезатора частот на базі ІФАПЧ-2 з ДДЗКД

Для розрахунку параметрів ВСЧ з ДДЗКД скористаємося тим же переліком вимог, що і для ВСЧ з ДЗКД. Даний перелік вимог представлений в табл. 4.13 – він включає в себе як вихідні попередні дані для проведення моделювання, так і вихідні параметри, які повинен забезпечити ВСЧ. Виходячи з вимог по СЩПФШ як опорного генератора для кільця ІФАПЧ-2 приймемо розроблений ОСЧ на кільці ІФАПЧ-1. В програмі «ADIsimPLL» ОСЧ відповідає «model REF_PLL».

Вибір ГКН виконаємо, виходячи з необхідного синтезованого діапазону частот. Даному діапазону відповідає кілька ГКН, але ми приймемо ГКН, використовуваний в ВСЧ з ДЗКД – «QRA-0732-0757 Raltron» на діапазон частот 732 - 757 МГц з крутизною $KV = 11 \text{ МГц} / \text{В}$, діапазоном $U_{\text{упр}} = 1,0 - 4,0 \text{ В}$, рівнем СЩПФШ = мінус 115 дБ / Гц.

Далі вибираємо чіп ІФАПЧ-2, що забезпечує виконання вимог щодо СЩПФШ і частоти порівняння на ЧФД. Оскільки передбачається використання в кільці дільника з дрібно – змінним коефіцієнтом ділення, то частота порівняння на ЧФД буде визначатися не кроком сітки частот, а згідно з формулою (14) – показником дрібності «fraction». Тому, щоб отримати крок сітки 30 кГц, необхідно задатися коефіцієнтом дрібності і визначити з формули (14) частоту порівняння на ЧФД. Поставивши собі за показником дрібності 1/128 і знаючи необхідний на виході ІФАПЧ-2 крок сітки, обчислимо частоту порівняння на ЧФД – вона виходить рівною 3,84 МГц, при цьому коефіцієнти розподілу дільників ПФКД і ДЗКД повинні бути рівними 4 і 191 – 194, відповідно. Провівши аналіз наявних в табл. 4.13 чіпів ІФАПЧ з ДДЗКД різних фірм - виробників [40, 41] на виконання вимог по СЩПФШ, ПФКД, ДЗКД, частоті порівняння, струм на виході ЧФД з ДТ попередньо зупинимося на двох чіпах - ADF4154 і ADF4252.

Таблиця 4.13 – Технічні параметри чіпів ІФАПЧ з ДДЗКД різних фірм-виробників

Чіп	Діапазон робочих частот, МГц	Діапазон опорних частот, МГц	Частота порівняння, МГц	ПФКД R	Дільник N	Дільник P	Коефіцієнт дрібності	Струм ЗН, мА	Напруга живлення, В	Струм споживання, мА
LMX 2352	500-1200	2-50	10 (max)	3-32767	272-16383	16	15, 16	0,1-1,6	5,0	6,0
LMX 2364	500-1200	2-110	15 (max)	1-511	40-4095	8, 12	128	1-16	5,0	7,2
ADF4153	500-4000	100 (max)	32 (max)	1-15	INT = 31-511 FRA = 2-4095	4, 8	4095	0,312-5,0	2,7-5,5	10
ADF4154	500-4000	100 (max)	32 (max)	1-15	INT = 31-511 FRA = 2-4095	4, 8	4095	0,312-5,0	2,7-5,5	10
ADF4252	50-1200	250 (max)	55 (max)	1-32767	INT = 31-255 FRA = 4095	8, 16, 32, 64	2-4095	0,625-5,0	2,7-5,5	4,0-5,5

Так як обидва попередньо обраних чіпа ІФАПЧ забезпечують перекриття за діапазоном керівної напруги, то в якості ФНЧ, з метою забезпечення на виході сигналу з найменшим шумовим профілем, будемо використовувати пасивний RC-фільтр 2-го порядку. Для того, щоб остаточно визначитися з вибором чіпа ІФАПЧ-2, проведемо розрахунок параметрів ВСЧ для двох варіантів чіпа ІФАПЧ. Для цього відповідно до алгоритму роботи програми введемо послідовно один за одним дані по вибору виду синтезу (синтез на діапазон частот з ДДЗКД), по вихідній частоті, частоті порівняння на ЧФД, виберемо відповідно до заданих техніко – експлуатаційних параметрів моделі чіпа ІФАПЧ, ГКН і ФНЧ.

Результати розрахунку швидкодії ВСЧ з ДДЗКД і шумового профілю його вихідного сигналу при різній реалізації чіпів ІФАПЧ представимо графіками на рис.4.11, 4.12 та рис.4.13.

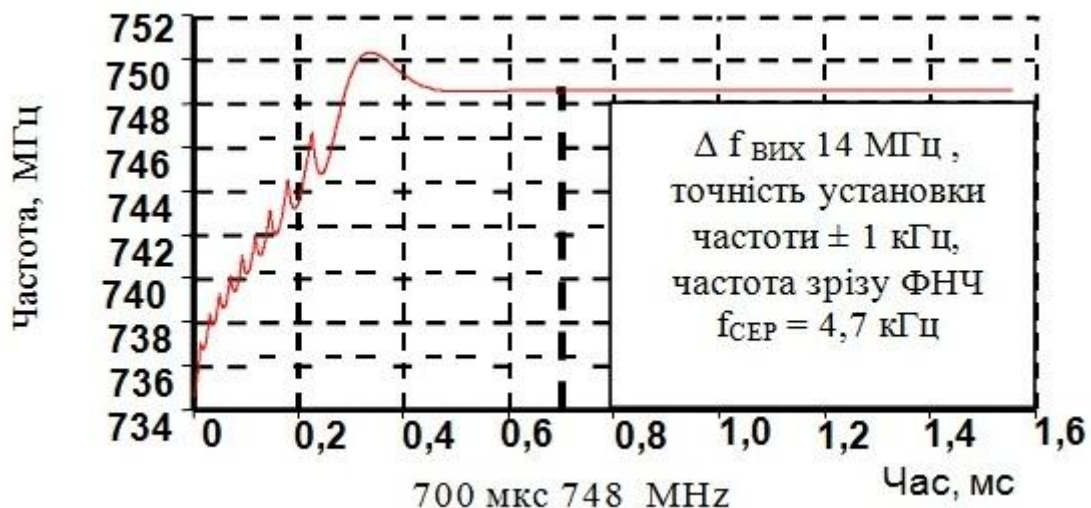


Рисунок 4.11 – Графік перехідного процесу в ВСЧ на різних чіпах ІФАПЧ з ДДЗКД

З рис.4.11 видно, що вибір чіпа ІФАПЧ на швидкодію ВСЧ НЕ впливає, а позначається лише на шумовому профілі вихідного сигналу, що наочно

демонструється кривими СЩПФШ на рис.4.12. Розрахунок показав, що при використанні пасивного РС – фільтра 2-го порядку вдалося домогтися швидкодії в ВСЧ з ДДЗКД не гірше 700 мкс з точністю установки вихідної частоти плюс/мінус 1 кГц при частотному стрибку 14 МГц, при цьому частота зрізу ФНЧ склала 4,7 кГц.

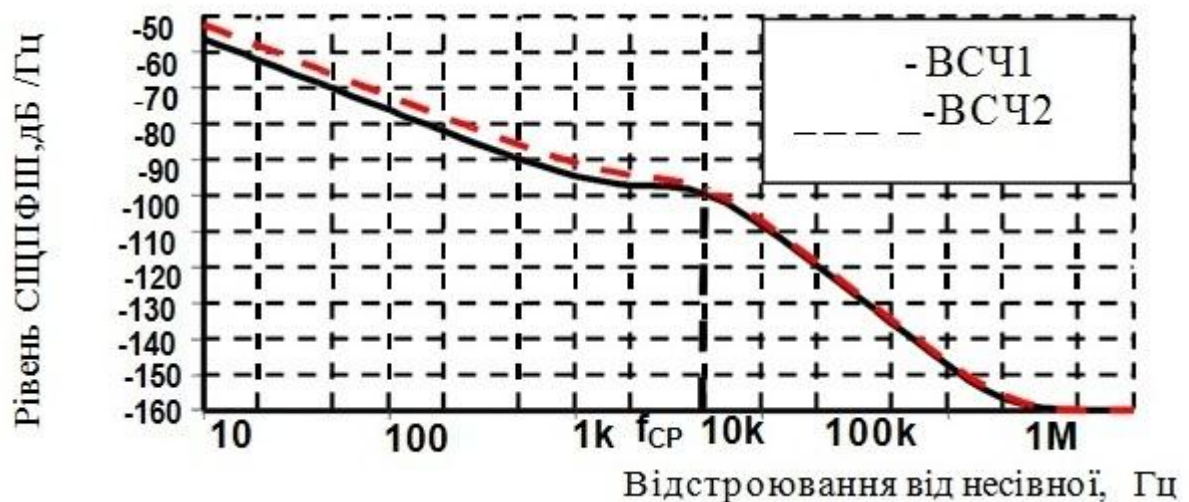


Рисунок 4.12 – Розрахунок СЩПФШ ВСЧ на різних чіпах ІФАПЧ з ДДЗКД

На $f_{зр} = 4.7$ кГц,

СЩПФШ ВСЧ1 – мінус 99.31 дБ/Гц,

СЩПФШ ВСЧ2 – мінус 97.83 дБ/Гц,

З рис. 4.12 і табл. 4.14 видно, що найменший внесок в шумовий профіль вихідного сигналу вносить чіп ІФАПЧ – ADF4252, тому зупинимо свій вибір на цьому чіпі ІФАПЧ.

Таблиця 4.14 – Результати розрахунку СЩПФШ ВСЧ на різних чіпах ІФАПЧ з ДДЗКД

Відстроювання від несівної		10 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц	1 МГц
Тип чіпу	ІФАПЧ						
ВСЧ1 – ADF4252	Рівень СЩПФШ, дБ/Гц	мінус 56	мінус 76	мінус 95	мінус 108	мінус 147	мінус 160
ВСЧ2 – ADF4154		мінус 52	мінус 72	мінус 91	мінус 107	мінус 147	мінус 160

Далі покажемо вплив спектральної щільності шумів окремих елементів системи ІФАПЧ на загальний шумовий профіль вихідного сигналу. на рис.4.13 наведені спектральні щільності шумів елементів ІФАПЧ в вихідному сигналі на частоту 742 МГц. З рис.4.13 видно, що до частот ~ 2500 Гц шуми вихідного сигналу обумовлені шумами ОСЧ, далі до частот ~ 4700 Гц шумами чіпа ІФАПЧ і ФНЧ, після 4700 Гц - шумами ГКН.

Можна показати, що перерахований до виходу ІФАПЧ-2 рівень СЩПФШ чіпа ІФАПЧ, як $(-213 + 10 \cdot \log f_{\text{чФД}} + 20 \cdot \log N)$, склав мінус 101 дБ / Гц при $N = 191$, що графічно підтверджується на рис. 4.13.

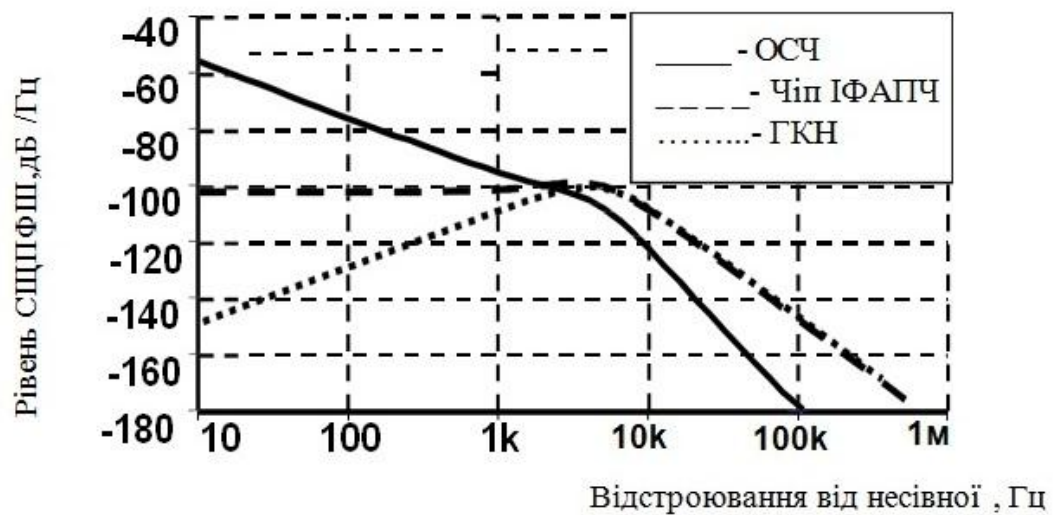


Рисунок 4.13 – СППФШ елементів ІФАПЧ в вихідному сигналі на 742 МГц

Отримані результати розрахунку параметрів кільця ІФАПЧ-2 з ДДЗКД ВСЧ зведемо в табл.4.15, а спрощена розрахункова функціональна схему ВСЧ, що задовольняє розрахованим параметрам, представлена на рис. 4.14.

Таблиця 4.15 – Результати розрахунку параметрів ВСЧ з ДДЗКД

Параметр			Величина	
Струм на виході ЧФД с ЗН			4,5 мА	
Запас стійкості по фазі			45 градусів	
Синтезуєма вихідна частота			742 МГц	
Частота зрізу ФНЧ			4,7 кГц	
ПВЧ в смузі частот от 300 Гц до 3,4 кГц			2,3 Гц	
ПВФ в смузі частот от 300 Гц до 3,4 кГц			0,1 градус	
Спектральні характеристики			Елементна база ФНЧ	
ВСЧ		ЧФД		
Відстроювання , Гц	СЦПФШ, дБ / Гц	СЦПФШ, дБ / Гц	Тип елементу	Номінал
10	- 56	мінус 101	Резистор R1 Конденсатор C1 Конденсатор C2	143 Ом 118 нФ 571 нФ
100	мінус 76			
1000	мінус 95			
10000	мінус 108			
100000	мінус 147			
1000000	мінус 160			

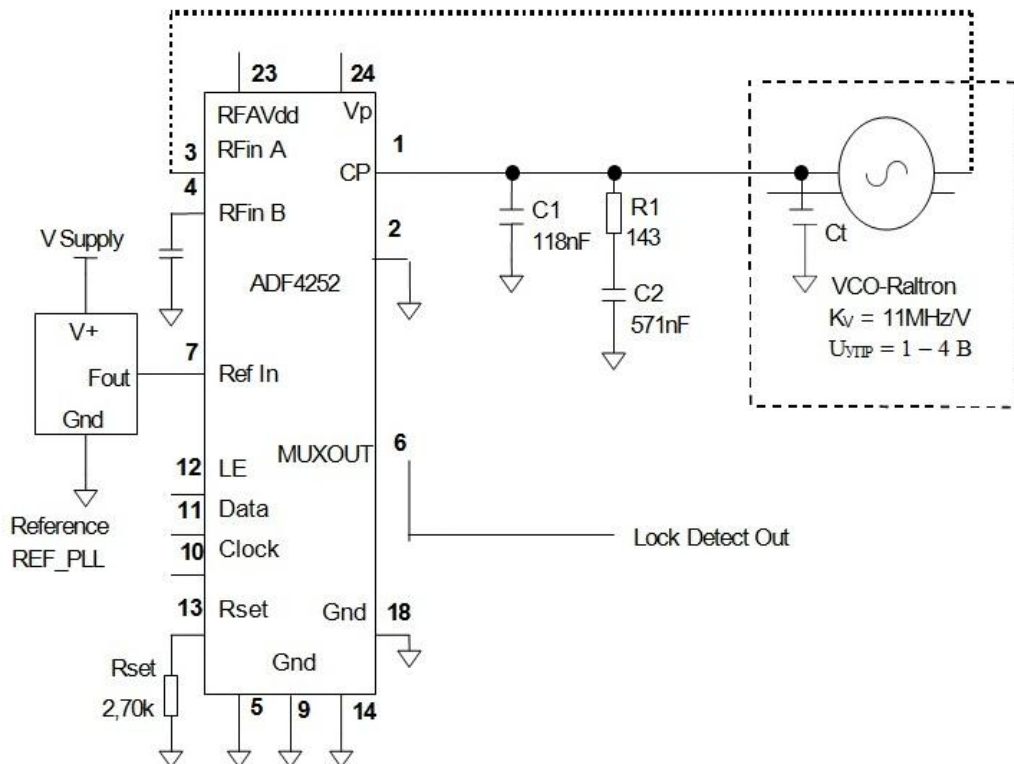


Рисунок 4.14 – Спрощена функціональна розрахункова схема ВСЧ з ДЗКД

Дані на ADF4252:

- здвоєний чіп ІФАПЧ з дільниками ДЗКД / ДДЗКД;
- вхід / вихід ІФАПЧ з ДДЗКД позначений через "RF";
- V_p – напруга живлення схеми зарядним накачування ДТ;
- V_{dd} – напруга живлення чіпа;
- AV_{dd} – напруга живлення аналогової частини чіпа с ДДЗКД;
- AV_{dd} , V_p має бути більше або дорівнює V_{dd} ;
- Повна деталізація схеми виконується виходячи з довідкових даних на

чіп.

4.4 Вибір остаточного варіанту структурної схеми СЧ

За результатами проведеного моделювання синтезатора частот визначимося з вибором остаточного варіанту структурної схеми синтезатора і підходящої елементної бази, яка дозволить виконати вимоги ТЗ і реалізувати окремі вузли і елементи СЧ відповідно до проведених в пп.4.1 – 4.3 розрахунках. Розрахунки показали, що досліджені ВСЧ як з ДЗКД, так і з ДДЗКД дозволяють виконати вимоги ТЗ щодо забезпечення швидкодії при зміні частот в рамках заданого діапазону – від 734,64 до 748,62 МГц. При цьому слід відзначити те, що ВСЧ з ДДЗКД дозволяє забезпечити найкращий профіль фазових шумів у вихідному сигналі в порівнянні з ВСЧ з ДЗКД, що якісно демонструється на графіках СЩПФШ, наведених на рис.4.15 і в вигляді кількісної порівняльної оцінки щодо шумів, яка представлена в табл.4.13.

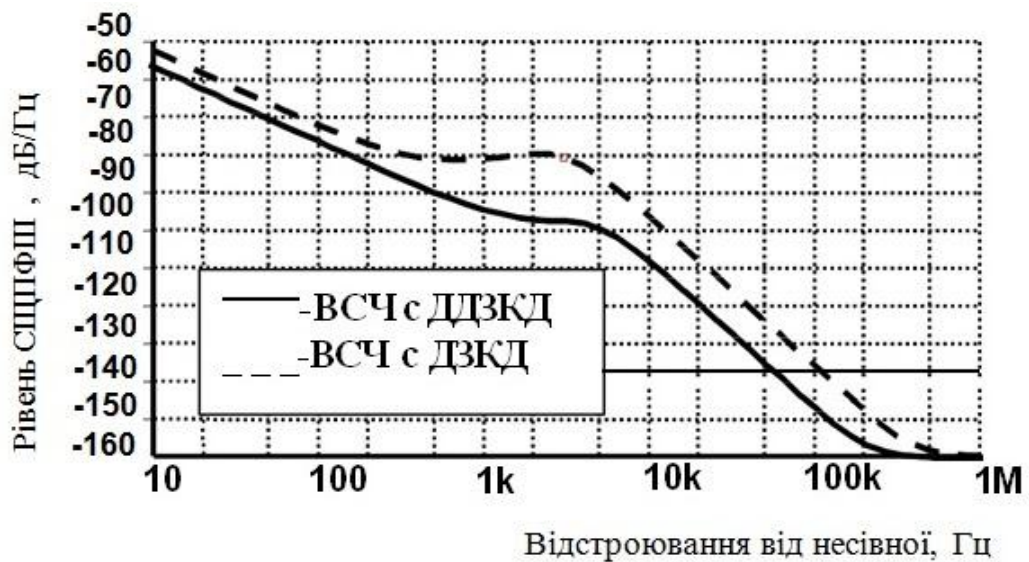


Рисунок 4.15 – СЩПФШ ВСЧ з ДЗКД і ДДЗКД

Таблиця 4.16 – Розрахунок СЩПФШ ВСЧ з ДЗКД і ДДЗКД

Відстроювання від несівної		10 Гц	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц	1 МГц
Тип ВСЧ	Рівень						
ВСЧ1 – с ДЗКД		мінус 52	мінус 72	мінус 81	мінус 96	мінус 136	мінус 160
ВСЧ2 – с ДДЗКД		мінус 56	мінус 76	мінус 95	мінус 108	мінус 147	мінус 160

З рис.4.15 і табл.4.16 видно, що найменший шумовий профіль в вихідному сигналі досягається за рахунок використання в ВСЧ кільця ІФАПЧ з дрібно – змінним коефіцієнтом ділення ДДЗКД. Тому в якості дільника частоти в ВСЧ будемо використовувати ДДЗКД.

При розробці електричної принципової схеми тандемного СЧ використовуємо обрану в пп. 4.4, 4.6 елементну базу. Вибір відповідних номіналів ємності і опору до розрахованих в програмі «ADIsimPLL» зробимо відповідно до низки бажаних значень E12 або E24 з допомогою [15] при побудові схеми електричної принципової СЧ на основі обраної за результатами розрахунків структурної схеми. При побудові електричної схеми необхідно приділити увагу ланцюгам живлення чіп і ГКН для зниження рівня пульсацій і шуму в них. Для цього можна ввести по ланцюгах живлення ФНЧ або, що є більш ефективним, окремі стабілізатори напруги [29].

Відповідно до [39] призначимо розробленим СЧ умовне позначення:

СЧ.30.734 / 748. Схеми електрична принципова СЧ.30.734 / 748 з переліком елементів представлена відповідно у Додатку А.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Планування науково-дослідницької роботи

В роботі брали участь інженер – конструктор та консультант. Тривалий час розробки три місяці. Інженер – конструктор працював три місяці, консультант пів місяця. Заробітна плата інженера – конструктора 11000 грн. в місяці, консультанта 8500 грн. в місяць.

Планування розробки і калькуляція кошторисної вартості роботи по проведенню дослідження приведено нижче.

Тривалість роботи визначають за формулою (5.1):

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R}, \quad (5.1)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, днів;

Q – трудомісткість, чоловіко-днів;

R – кількість виконавців, чол.

Отримана інформація занесена в таблицю 5.1.

У ряді випадків дуже важко встановити загальну трудомісткість проведеної НДР. Це пов'язано з елементами невизначеності в процесі виконання більшості робіт. У таких випадках використовують дві або три ймовірні оцінки часу, даються відповідальним виконавцям по кожному етапу робіт. За даними таблиці 5.1 складається підсумковий стрічковий графік. Даний графік приведений в таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – Тривалість дослідницьких робіт та її результати

Назва роботи	Трудомісткість		Виконавці	Тривалість, днів
	Чол.- дні	% підсумку		
1	2	3	4	5
1. Аналіз предметної області	8	6,78	Інженер-конструктор, консультант	4
2. Підбір необхідної літератури	5	8,47	Інженер - конструктор	5
3. Підготовка установки для роботи	20	33,9	Інженер - конструктор	20
4. Підготовка необхідних матеріалів та запуск установки	20	16,95	Інженер - конструктор, консультант	10
5. Обробка отриманих результатів	10	16,95	Інженер - конструктор	10
6. Висновки по виконаній роботі	10	16,95	Інженер - конструктор	10
Разом	68	100		59

Таблиця 5.2 – Зведений стрічковий графік планування науково - дослідницької роботи

Назва роботи	Календарний період, дні										
	30.09.-04.10.19	07.10.-11.10.19	14.10.-18.10.19	21.10.-25.10.19	28.10.-01.11.19	04.11.-08.11.19	11.11.-15.11.19	18.11.-22.11.19	25.11.-29.11.19	02.12.-06.12.19	09.12.-13.12.19
Аналіз предметної області	■ ■										
Підбір необхідної літератури		■	■	■							
Виконання теоретичних розробок по темі					■	■	■	■			
Проведення розрахунків									■	■	
Обробка отриманих результатів і висновки											■
■	Консультант				■				Інженер		

5.2 Визначення витрат на проведення експерименту

Для визначення витрат на проведення експерименту складається калькуляція кошторисної вартості роботи, яка включає наступні статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування на єдиний соціальний внесок (ЕСВ);
- затрати на спеціальне обладнання;
- матеріали;

– накладні витрати.

5.2.1 Розрахунок основної заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються з планового фонду зарплати всіх категорій працівників. Розрахунок заробітної плати (ЗП) ведеться на підставі даних про трудомісткості, представлених в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3– Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Кількість, Чол.	Місячний оклад, грн.	Кількість місяців роботи	Сума ЗП, грн.
Інженер-конструктор	1	11000	3	33000
Консультант	1	8500	0.7	5,950
Разом	2			38,950

5.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати

Додаткову заробітну плату приймають рівною 10% від основної заробітної плати і розраховуємо по формулі (4.2):

$$ЗП_{\text{дод.}} = ЗП_{\text{осн.}} \cdot 0.1 \quad (5.2)$$

Підставивши величину основної заробітної плати в формулу (5.2), отримаємо:

$$ЗП_{\text{дод}} = 11000 \cdot 0,1 = 1100 / \text{міс (Інженер - конструктор)}$$

$$ЗП_{\text{дод}} = 8500 \cdot 0,1 = 850 \text{ грн./міс (Консультант)}$$

$$ЗП_{\text{дод}} = 38,950 \cdot 0,1 = 3,895 \text{ грн. (за період роботи)}$$

5.2.3 Відрахування на ЄСВ

Відрахування на соціальне страхування становлять 22% і беруться від основної та додаткової заробітної плати, і визначається за формулою 3.3.

$$ВІД = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{дод}}) \cdot 0,22 \quad (5.3)$$

$$ВІД = (38,950 + 3,895) \cdot 0,22 = 9,426 \text{ грн.}$$

5.2.4 Визначення витрат на матеріали

Під час комп'ютерного моделювання були використані наступні матеріали: USB flash накопичувач KINGSTON 8 GB (1шт.), папір офісний формату А4 (1 уп.) , картридж фарбувального пристрою (1 шт.).

Затрати на матеріали розраховуються за формулою 3.4.

$$M = \sum_{i=1}^n (Ц_i \cdot N_i \cdot (1 + K_{\text{т.з.}}) - Ц_{\text{іо}} \cdot N_{\text{іо}}), \quad (5.4)$$

- де
- M – затрати на матеріали, комплектуючі вироби, грн.;
 - $K_{\text{т.з.}}$ – коефіцієнт, який враховує транспортно-заготовлені витрати;
 - $Ц_i$ – ціна i -го найменування матеріалу і комплектуючого, грн.;
 - N_i – потреба в i -му матеріалі і комплектуючому;
 - $Ц_{\text{іо}}$ – ціна зворотних відходів i -го найменування матеріалу, грн.;
 - $N_{\text{іо}}$ – кількість зворотних відходів i -го найменування;
 - n – кількість найменувань матеріалів і комплектуючих.

USB flash накопичувач KINGSTON 8 GB (1шт.)	160 грн.
папір офісний формату А4 (1 уп.)	100 грн.
картридж фарбувального пристрою (1 шт.)	400 грн.

$$C_{io} = 0; N_{io} = 0, K_{m.з.} = 0.05$$

$$M = (1 + 0,05) * (160 + 100 + 400) = 693 \text{ грн.}$$

Разом, затрати на матеріали складають 693 грн.

5.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

В цю статтю входять витрати на придбання, транспортування, монтаж і налагодження обладнання.

Практично, в даному випадку, в цій статті враховуються витрати на оплату машинного часу установки для проведення експерименту. Для чого необхідно скласти кошторис «витрат на утримання і експлуатацію устаткування» виходячи з якої визначиться вартість одного машинного часу роботи установки, після множення якої на машинний час пішло на розрахунки отримаємо витрати на оплату машинного часу.

Амортизаційні відрахування визначають за формулою 5.5:

$$A = \Phi_{\sigma} \cdot \frac{H_a}{100}. \quad (5.5)$$

де Φ_{σ} – балансова вартість установки, грн.;

H_a – норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення установки, %.

Балансова вартість установки становить 13000 грн. Отримуємо:

$$A = 13,000 \cdot 0,25 = 3,250 \text{ грн.}$$

Статтю «експлуатація обладнання» розраховують підсумовуванням витрат на електроенергію і допоміжні матеріали і розраховується за формулою 5.6.

$$C_e = N_n \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{зч} \cdot K_{зн} \cdot C_e, \quad (5.6)$$

де N_n – номінальна потужність установки, кВт;

Φ_{ef} – річний ефективний фонд часу роботи установки, машинного - часу;

$K_{зч}$ – середній коефіцієнт завантаження за часом;

$K_{зн}$ – коефіцієнт завантаження по потужності;

C_e – ціна одного кВт·ч електроенергії, грн./ (кВт·ч).

Номінальна потужність установки – 0.3 кВт. Річний ефективний фонд часу роботи установки становить 1800 годин. Середні коефіцієнти завантаження за часом і за потужністю рівні відповідно 0.9 і 0.6. Ціна однієї кіловат - години електроенергії становить 229,29 коп./кВт год. (без ПДВ)

Отримаємо:

$$C_B = 0.3 \cdot 1800 \cdot 0.9 \cdot 0.6 \cdot 2.29 = 667.77 \text{ грн.}$$

Зарплата обслуговуючого персоналу розраховується за формулою 5.7

$$ЗП_{обсл} = \Phi ЗП_{Г} \times (1 + K_{вц}) \times \frac{t_{обсл}}{\Phi_{ef.обсл}} \quad (5.7)$$

де $\Phi ЗП_{Г}$ – річний фонд заробітної плати (основної і додаткової) обслуговуючих робітників, грн.;

$K_{вц}$ – коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальне страхування та

в інші фонди;

$t_{обсл}$ – час протягом року, необхідний на технічне обслуговування ЄВМ, г/рік;

$\Phi_{эф.обсл.}$ – річний ефективний фонд часу обслуговуючого персоналу, г/рік.

Місячна заробітна плата обслуговуючого персоналу становить 4000 грн., а річний фонд заробітної плати відповідно дорівнює 48000. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговування ПК робітника дорівнює 1750 г/рік. На обслуговування одного ПК витрачається по 1 годині у місяць, що в рік становить 12 годин.

Отримаємо:

$$\Phi ПЗ_r = (11000 + 1100) + (8500 + 850) \cdot 12 = 257,400 \text{ грн};$$

$$ЗП_{обсл} = 257,400 \cdot (1 + 0,22) \cdot 12 / 4000 = 942,08 \text{ грн.}$$

Стаття «Поточний ремонт обладнання» приймається рівною 3% від балансової вартості обладнання становить 4950,00 грн. Сума всіх попередніх статей дорівнює 7934,65 грн., 5% від суми, становить 320.6 грн.

Розраховані статті витрат на утримання і експлуатацію устаткування внесені в таблицю 3.4.

Витрати на оплату машинного часу установки для проведення експерименту визначаються за формулою 5.8:

$$C_{мо} = B_{екс} \cdot t_{мо}, \quad (5.8)$$

де $C_{мо}$ – витрати на оплату машинного часу, грн.;

$B_{екс}$ – експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу цієї установки, грн./машинного – часу.;

$t_{мо}$ – машинний час установки для проведення експерименту, машинного – часу.

Таблиця 5.4 – Кошторис витрат на утримання і експлуатацію обладнання

Найменування статей витрат	Сума, грн.
Амортизація обладнання	1374,8 грн
Експлуатація обладнання	667,77 грн
Заробітна плата основних та додаткових обслуговуючих робітників з відрахуванням на соціальні заходи	942,08 грн
Поточний ремонт обладнання	4950,00 грн
Інші витрати	396,73 грн
Разом	8331,38 грн

Експлуатаційні витрати на одну машинного часу використовуваної установки розраховують діленням суми витрат за кошторисом «Витрати на утримання і експлуатацію устаткування» на річний ефективний фонд часу роботи установки. Річний ефективний фонд часу роботи установки дорівнює 1800 годин. В результаті експлуатаційні витрати на одну машинного часу дорівнюватимуть:

$$B_{\text{вкс}} = 8331,38 / 1800 = 4,62 \text{ грн./машинно-год.}$$

Установка експлуатується 59 днів в одну зміну, що становить в сумі 472 години. Таким чином, витрати на оплату машинного часу складуть:

$$C_{\text{мо}} = 4,62 * 472 = 2180,64 \text{ грн.}$$

До спеціального обладнання відноситься таке обладнання, яке використовується тільки для проведення окремої дослідницької роботи. Вартість спеціального обладнання для проведення НДР визначається на підставі їх кількості, цін по прейскурантах. Результати розрахунку занесені в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок вартості спеціального обладнання

Устаткування	Марка	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість, грн
Ноутбук	Lenovo IdeaPad 330	1	13000,00	13000,00
МФУ	Xerox WorkCentre 3119	1	3500,00	3500,00
Разом				16500,00

Розрахуємо суму амортизаційних відрахувань. Так як основна робота проводиться на комп'ютері, розрахуємо амортизаційні відрахування.

Для розрахунку амортизації використаємо строки корисного використання (експлуатації) об'єкта основних засобів (комп'ютера і принтера), встановлені правилами бухгалтерського обліку. Мінімально допустимі строки амортизації основних засобів та інших необоротних активів для електронно - обчислювальних машин, інших машин для автоматичного оброблення інформації – становить 2 роки (встановлено пп. 138.3.3 п. 138.3 ст. 138 Податкового кодексу). При застосуванні прямолінійного методу місячна сума амортизації визначається діленням річної суми амортизації на 12. Річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Отже, при застосуванні прямолінійного методу річну суму амортизації (A_p) можна визначити за такою формулою:

$$A_p = V_a : C_{\text{кв}}, \quad (5.4)$$

де $V_a = V_{\text{п}} - V_{\text{л}}$ – вартість комп'ютера і принтера, яка амортизується;

$V_{\text{п}}$ – первісна вартість;

$V_{\text{л}}$ – ліквідаційна вартість;

$C_{\text{кв}}$ – строк корисного використання (2 роки).

Місячна сума амортизації (A_m) визначається за такою формулою:

$$A_m = A_p : 12, \quad (5.5)$$

де A_p – річна сума амортизації;

12 – кількість календарних місяців у одному році корисного використання.

Результати розрахунку суми амортизаційних відрахувань за період роботи занесені у таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Найменування	Балансова вартість, грн.	Ліквідаційна вартість, грн	Річна сума амортизації, грн	Місячна сума амортизації, грн.	Сума, грн
Ноутбук	13000	0	6500	541.6	1083.2
МФУ	3500	0	1750	145.8	291.6
Всього					1374.8

Розрахуємо заробітну плату всіх категорій працівників, безпосередньо зайняті в процесі проведення всіх етапів моделювання. Сума заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт і середньоденного заробітку для кожної категорії персоналу. Результати розрахунку занесені в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7 – Заробітна плата

Посада	Місячний оклад, грн	Кількість виконавців	Зайнятість НДР, міс	Зарплата, грн
Інженер	11000,00	1	3	33000,00
Консультант	8500,00	1	0,7	5950,00
Всього	–	2	–	38950,00

Сума з основної заробітної плати становить 38950,00 грн. Додаткова плата приймається 10% від основної заробітної плати, становить 3895,00 грн. Підсумкова сума заробітної плати становить 38950,00 грн.

До накладних витрат відносять затрати на загальне керування і загальногосподарські потреби, утримання та експлуатацію будівель. В даному випадку накладні витрати складають 25% від основної заробітної плати, що складає 9737,5 грн.

Результати визначення витрат на виконання чисельних розрахунків у вигляді калькуляції кошторисної вартості робіт наведені в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Калькуляція кошторисної вартості роботи

Найменування статей витрат	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
Основна заробітна плата	38950,00 грн.	60,07
Додаткова заробітна плата	3895,00 грн.	6,01
ЕСВ	9426,00 грн.	14,53
Матеріали	660,00 грн.	1,01
Витрати на спеціальне обладнання	2180,64 грн.	3,36
Накладні витрати	9737,5 грн.	15,02
Разом	64849,14 грн.	100
ПДВ (20%)	16212,28	
Разом	81061,42	

5.3 Розрахунок економічної ефективності НДР

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їхню техніко - економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливість дослідження;
- складності розробки;
- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють по його призначенню:

- рішення проблемних питань;
- задоволення вимог спеціальної техніки; пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень і т.п.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє проведення.

Результативність НДР можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає плановому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко - економічної ефективності теоретичних НДР по формулі 5.9:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (5.9)$$

де $K_{\text{НДР}}$ – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко - економічної ефективності НДР);

$J = 2$ – важливість роботи. Таке значення обрали, тому що результати роботи

являються базовим матеріалом для моделювання і рекомендуються для подальшого розвитку радіоелектроніки;

$R = 2$ – результативність роботи. Обрали таке значення, тому що всі поставлені дослідницькі задачі виконано;

$T = 3$ – технічна складність виконання НДР.

$V_{НДР} = 79,980$ тис. грн. – витрати на проведення НДР;

$t_{НДР} = 0,352$ року – час проведення НДР;

$n = 3$ – показник використання результатів НДР

При значенні $КНДР \geq 1$ дослідницька робота вважається ефективною.

Отже, розрахуємо $КНДР$:

$$КНДР = (2 \cdot 2 \cdot 3) / (79,980 \cdot 0,3) = 1,28.$$

Після розрахунку (5.6) отримаємо рівень ефективності дослідження $КНДР = 1,28$. Це більше 1, тому робимо висновок, що дана дослідницька робота є ефективною.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек

У дипломному проекті “Синтезатори частот для використання у приймальних пристроях мобільних мереж зв’язку” виконання робіт складатиметься з комп’ютерного моделювання даного пристрою, тому основними потенційними небезпеками при виконанні робіт на комп’ютерному обладнанні є такі:

- небезпека ураження електричним струмом, внаслідок недотримання правил електробезпеки або виходу з ладу електроприладів;
- порушення роботи кістково-м’язового апарату внаслідок тривалих статичних навантажень при роботі з ПК.
- незадовільні ергономічні характеристики робочого місця внаслідок нерационального планування робочого місця, що може призвести до механічних травм, уражень електричним струмом та порушень кістково-м’язового апарату;
- негативний вплив недостатнього освітлення робочої зони на зір та продуктивність роботи працюючого;
- негативний вплив незадовільних параметрів повітряного середовища робочої зони на здоров’я працюючого;
- негативний вплив підвищеного рівня шуму на психоемоційний стан працюючого, який пов’язаний з використанням застарілої периферійної техніки, кондиціонерів, копіювальної техніки, освітлювальних приладів;
- небезпека загоряння у зв’язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що може призвести до пожежі;
- неправильні дії персоналу у надзвичайних ситуаціях.

6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Приміщення, в якому перебувають співробітники, які займаються комп'ютерним моделюванням пристрою відносяться до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом.

Обладнання, що використовується в цих приміщеннях є споживачем електроенергії, що живиться від змінного струму 220 В від мережі з заземленою нейтраллю, та відноситься до електроустановок до 1000В закритого виконання. Опір контуру заземлення не повинен перевищувати 4 Ом.

Розрахунок заземлюючого пристрою:

Вихідні дані:

- а) ширина полиці кутового профілю електродів $d=0.06\text{м}$
- б) периметр з'єднувальної арматури

$$l_r=8*5.0*+4.0=44.0\text{м}$$
- в) тип– глибина $\rho=40\text{ Ом/м.}$
- г) кліматичний район III
- д) поправочний коефіцієнт для найгірших умов
 - для електродів $k_B=1,3$
 - для смуги $k_r=2,5$
- е) коефіцієнт використання електродів:
 - вертикальних $\eta_B = 0,88$
 - з'єднувальних $\eta_r = 0,82$
- ж) глибина закладення електродів:
 - вертикальних $t_B = 1,75\text{м}$
 - з'єднувальних $t_r = 0,8\text{м}$

Розрахунок:

- а) питомий опір ґрунту для найгірших умов:

$$\rho_B = k_B * \rho = 1.3 * 40 = 52 \text{ Ом/м.}$$

$$\rho_r = k_r * \rho = 2,5 * 40 = 100 \text{ Ом/м.}$$

б) опір розтіканню одного електрода (вертикальний електрод з круглої арматурної сталі)

$$R'_{зв} = \frac{0.366 \cdot p_B}{l_B} \left(\lg \frac{2l_B}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t_B + l_B}{4t_B - l_B} \right) = \frac{0.366 \cdot 52}{2.5} \left(\lg \frac{2 \cdot 2.5}{0.06} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 1.75 + 2.5}{4 \cdot 1.75 - 2.5} \right) = 19.83 \text{ Ом.}$$

в) опір розтіканню для всіх електродів електрично зв'язаних між собою, без урахування опору з'єднувальної арматури, з урахуванням взаємного екранування:

$$R_{зв} = \frac{R'_{зв}}{n \cdot \eta_B} = \frac{19.83}{9 \cdot 0.88} = 2.6 \text{ Ом.}$$

г) опір розтіканню з'єднувальної арматури:

– без урахування екранування:

$$R'_{зг} = \frac{2 \cdot \rho_r}{l_r} = \frac{2 \cdot 100}{44.0} = 4.56 \text{ Ом.}$$

– з урахуванням екранування:

$$R_{зг} = \frac{R'_{зг}}{n_r} = \frac{4.56}{0.88} = 5.19 \text{ Ом.}$$

д) загальний опір розтіканню всього заземлювача:

$$R_з = \frac{R_{зв} \cdot R_{зг}}{R_{зв} + R_{зг}} = \frac{2.6 \cdot 5.19}{2.6 + 5.19} = 1.74 \text{ Ом.} \quad 1.74 \text{ Ом.} < 4.0 \text{ Ом.}$$

Висновок: розрахована кількість електродів забезпечує припустимий опір розтіканню (менше 4 Ом), що відповідає вимогам ПУЕ та ПТЕ.

За способом захисту людини від ураження електричним струмом відповідає згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 "Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок" та "Правилам улаштування електроустановок" (далі "ПУЕ") виконані такі групи заходів з електробезпеки:

Конструктивні заходи забезпечують захист від випадкового дотику до струмопровідних частин за допомогою їх ізоляції та захисних оболонок. Згідно ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд» у приладах II класу захисту використовується подвійна

ізоляція – електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції. Так як згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» офісні приміщення у більшості своїй відносяться до класу пожежонебезпечної зони П - Па (приміщення, в яких містяться тверді горючі речовини), тому передбачений ступінь захисту ізоляції обладнання IP44.

Технічні заходи призначені для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих оболонок, які можуть опинитися під напругою в результаті аварій. Згідно з ДБН В.2.5-27-2006 у приміщеннях влаштовується занулення.

Організаційні заходи. Експлуатація електроустановок і електроустаткування проводиться відповідно до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі «ПБЕЕ») та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі «ПБЕЕС»).

Для запобігання статистичного навантаження при користуванні ПК рекомендовано використовувати перерви в роботі 10 хв. через кожні дві години.

Синдром зап'ястного каналу, або тунельний синдром зап'ястя, який може бути наслідком хронічної травми, трапляється у людей внаслідок тривалої роботи з мишею: постійні напруга і здавлювання приводить до мікротравм, здавлювання нерву прилеглими оточуючими тканинами, через що виникає набряк. Щоб тунельний синдром вас не турбував, потрібно дотримуватися кількох правил організації робочого місця:

- оптимальна висота клавіатури від підлоги – 65-75 см;
- наявність ергономічних і зручних особисто для вас миші і клавіатури;
- можливість регулювання висоти і нахилу клавіатури (відстань від поверхні стола до середини клавіатури – не більше 30 мм, кут підйому клавіатури – від 2° до 15°);

- наявність у клавіатури підставки для рук; – наявність килимка для миші з захистом від тунельного синдрому (спеціальний виступ забезпечує правильне положення кисті);

- наявність стільця або крісла з підлокітниками.

При роботі з мишкою і клавіатурою також слід дотримуватися певних правил. Коли ви набираєте текст, рука повинна бути зігнута в лікті під прямим кутом (90°), а при роботі з мишкою стежте, щоб кисть була прямою і лежала на столі якнайдалі від краю. Щоб попередити тунельний синдром потрібно робити спеціальні вправи для кистей – чим частіше, тим краще. Ці вправи допоможуть поліпшити кровообігу в м'язах і розтягнути їх. Комплекс вправ потрібно повторювати приблизно кожні 45 хвилин, тривалість однієї вправи – 1-2 хв. Нервові напруження впливає на серцево – судинну систему, збільшуючи артеріальний тиск і частоту пульсу, а також на терморегуляцію організму та емоційні стани працівника. Особливу роль у запобіганні втоми працівників відіграють професійний відбір, організація робочого місця, правильне робоче положення, ритм роботи, раціоналізація трудового процесу, використання емоційних стимулів, впровадження раціональних режимів праці і відпочинку тощо. Боротьба зі втомою, в першу чергу, зводиться до покращення санітарно - гігієнічних умов виробничого середовища (ліквідація забруднення повітря, шуму, вібрації, нормалізація мікроклімату, раціональне освітлення тощо). Крім того, для профілактики втоми працівників застосовуються специфічні методи, до яких можна віднести засоби відновлення функціонального стану зорового та опорно - рухового апарату, зменшення гіподинамії, підсилення мозкового кровообігу, оптимізацію розумової діяльності. Загальні ергономічні вимоги встановлено ДСТУ ISO 9241-1:2003 «Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 1. Загальні положення».

Організація робочого місця передбачає: правильне розміщення робочого місця у виробничому приміщенні; вибір ергономічно обґрунтованого робочого положення, виробничих меблів з урахуванням антропометричних

характеристик людини; раціональне компонування обладнання на робочих місцях; врахування характеру та особливостей трудової діяльності

Відповідно до НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно – обчислювальних машин» є неприпустимим розташування приміщень, призначених для роботи з ВДТ у підвалах та цокольних поверхах. Також забороняється розташування вибухонебезпечних приміщень категорії А і Б (НАПБ Б.03.002-2007 «Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности») та виробництв з мокрими технологічними процесами поряд з приміщенням, де розташовуються ЕОМ (ПЕОМ), а також над такими приміщеннями, або під ними. Окрім того, виробничі приміщення для роботи з ВДТ не повинні межувати з приміщеннями, у яких рівень шуму і вібрації перевищує допустимі значення.

Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо згідно наступних вимог:

- схеми розміщення робочих місць з персональними комп'ютерами повинні враховувати відстань між робочими столами з відеомоніторами (в напрямку тилу поверхні одного відеомонітора і екрана іншого монітора), які повинні бути не менше 2 м, і відстань між боковими поверхнями відеомоніторів - не менше 1,2 м;

- робоче крісло повинне бути підйомно – поворотним, регульованим по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також по відстані спинки від переднього краю сидіння. Регулювання кожного параметру повинно бути незалежним, легко здійснюватись і мати надійну фіксацію.;

- екран відеомонітора повинен знаходитися від очей користувача на оптимальній відстані 600-700 мм, але не ближче 500 мм з врахуванням розмірів алфавітно – цифрових знаків і символів.

- в приміщеннях з персональним комп'ютером щоденно повинно проводитися вологе прибирання;

- висота робочого стола повинна бути 725 мм або регулюватися в межах 680-800 мм;
- робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450мм і на рівні витягнутих ніг не менше 650мм;
- підставка для ніг повинна мати ширину не менше 300 мм, глибину не менше 400 мм, регулювання по висоті в межах 150 мм і по куту нахилу опорної поверхні підставки до 20°. Підставка повинна мати рефлену поверхню та бортик на передньому краї заввишки 10 мм;
- найкраще розмістити комп'ютеризовані робочі місця рядами вздовж стіни з вікнами. Це дасть змогу унеможливити дзеркальне відбиття на екрані ВДТ джерел природного світла (вікон) та потрапляння останніх у поле зору операторів, що погіршує умови їх зорової роботи.

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Санітарія і гігієна праці розглядає ряд факторів, що можуть впливати на здоров'я і самопочуття людини, визначає джерела виникнення цих факторів і встановлює способи захисту від них. Основним завданням санітарії та гігієни праці залишається створення для працюючих комфортних умов праці.

Для забезпечення санітарного благополуччя працюючих на об'єкті необхідно дотримувати вимог санітарно - гігієнічних норм щодо будинків і приміщень, з урахуванням санітарної характеристики робочого процесу. Для цього необхідно дотримуватися норм корисної площі для працюючих, нормативних площ для розміщення устаткування, необхідної ширини проходів і проїздів, що створить умови для безпечної роботи та зручності в обслуговуванні машин і устаткування.

Площа на одне робоче місце для виконання робіт із застосуванням ВДТ, ЕОМ і ПЕОМ має становити не менше ніж 6м^2 , а об'єм не менше ніж 20м^3

згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 “Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами ЕОМ”, затвердженими постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10.12.98 № 7.

Проведемо розрахунок, та перевіримо кількість робочих місць що можна розмістити згідно даних приміщення:

Ширина – 6м.

Довжина – 6м.

Висота – 3,2м.

Площа – 36м².

Об'єм приміщення - 115,2 м³.

($V_{p.m.min} = 20 \text{ м}^3$)

Об'єм приміщення становить 115,2 м³, а об'єм, що припадає на одне комп'ютеризоване робоче місце - $V_{p.m.} = 20 \text{ м}^3$. В даному приміщенні розміщено п'ять комп'ютеризованих робочих місць. Таким чином норма об'єму приміщення на одне робоче місце з комп'ютером відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Якщо в будинку розташовані приміщення з різним ступенем небезпечності, то вони повинні бути ізольовані між собою. Не можна допускати, щоб більш небезпечні приміщення розміщалися під безпечними приміщеннями. Приміщення, у яких розміщаються електрощити, вентиляційне, компресорне устаткування, повинні бути завжди закриті на ключ.

Важливе значення для здоров'я людей має розміщення меблів, устаткування в приміщенні. До устаткування, що має електропривод, необхідно забезпечити вільний підхід з боку робочої зони шириною не менше 1 м, з боку неробочої зони — не менше 0,6 м. Меблі можна ставити впритул до конструктивних елементів стін, колон.

До складу будь-якого об'єкта входять допоміжні приміщення, до яких відносять: санітарно-побутові, медичні, суспільного харчування, культурного обслуговування та адміністративні приміщення.

Працівники повинні бути забезпечені санітарно-побутовими приміщеннями: роздягальнями, приміщеннями для відпочинку й обігріву, душовими, умивальниками, приміщеннями для сушіння спецодягу (у разі потреби), туалетами, оздоровчими пунктами (куточками), місцями для паління.

Роздягальні для робочого одягу повинні бути розміщені ізольовано від роздягалень для вуличного та домашнього одягу. В роздягальнях для робочого одягу передбачаються відокремлені кладові площею не менше 3 м² для зберігання забрудненого та чистого одягу. Роздягальні повинні бути обладнані лавками шириною 0,3 м та мати шафи для працюючих. Відстань між рядами шаф у роздягальнях, обладнаних лавками, повинна становити 2 м, а в роздягальнях, не обладнаних лавками – 1,5 м. У випадку наявності забрудненого одягу шафи для спецодягу повинні забезпечуватися витяжною вентиляцією. При виконанні робіт на відкритому повітрі чи в умовах, що приводять до зволоження робочого одягу, повинні передбачатися відповідно обладнані приміщення для сушіння одягу.

Приміщення для відпочинку у робочий час має площу, яка залежить від кількості працюючих у найбільш чисельній зміні, з розрахунку 0,2 м² на одного працюючого, але не менше 18 м². Ці приміщення обладнують умивальниками з підведеною холодною та гарячою водою, електроживленням.

До вимог особистої гігієни відносяться заходи щодо миття рук, ніг, чищення зубів, прийняття душу, стрижки волосся і т.д.

6.4 Заходи з пожежної безпеки

Причинами пожеж та вибухів на підприємстві є порушення правил і норм пожежної безпеки, невиконання Закону “Про пожежну безпеку”. За стан пожежної безпеки на підприємстві відповідають її керівники, начальники цехів, майстри та інші керівники.

За вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщення, де

використовується комп'ютерне обладнання відноситься класу Д.

За пожежонебезпечністю приміщення відноситься до класу зони II - IIa.

За вибухонебезпечністю приміщення відноситься до класу зони В - IIa.

За ступіню вогнестійкості відноситься до класу III.

Для забезпечення пожежної безпеки в установах проводять пожежну профілактику, яка включає в себе комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її поширення, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Автоматична установка пожежогасіння (АУПГ) – установка пожежогасіння, яка автоматично спрацьовує при перевищенні фактором (факторами) пожежі порогових значень в захищеній зоні. Відмінною особливістю автоматичних установок є виконання ними і функцій автоматичної пожежної сигналізації.

Вогнегасник – технічний засіб, призначений для припинення горіння подаванням вогнегасної речовини, що міститься в ньому, під дією надмірного тиску, за масою і конструктивним виконанням придатний для транспортування і застосування однією людиною.

Вогнегасники поділяються на п'ять видів:

- а) вуглекислотні;
- б) повітряно-пінні;
- в) порошкові;
- г) водні;
- д) аерозольні.

Приміщення, у яких розміщено оргтехніку, слід оснащувати переносними вуглекислотними вогнегасниками (ВВК - 5).

Вимоги пожежної безпеки:

– Меблі та обладнання мають розміщуватися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до виходу з приміщення (завширшки не менше). Евакуаційні шляхи та виходи необхідно постійно

утримувати вільними, нічим не захаращувати.

У міру накопичення та після закінчення роботи горючі відходи слід прибирати у спеціально відведені сміттєзбірники.

Електромережі електроприлади і апаратура повинні експлуатуватися тільки у справному стані з урахуванням вказівок і рекомендацій підприємств - виготовлювачів. У разі виявлення пошкоджень електромереж, вимикачів, розеток, та інших електровиробів їх слід негайно вимкнути та вжити заходів щодо приведення у пожежонебезпечний стан.

Документи, папір, інші горючі матеріали слід зберігати на відстані не менше 1м від електрощитів, електрозборок, електрокабелів; 0,5 м від електросвітильників; 0,6 м від сповіщувачів автоматичної пожежної сигналізації на від приладів центрального водяного опалення.

Засоби протипожежного захисту слід утримувати у справному стані. Усі працівники повинні вміти користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння, знати місце їх знаходження.

Відстань від найбільш віддаленого місця приміщення до місця розташування вогнегасника не повинна перевищувати.

У службових не допускається:

- влаштовувати тимчасові електромережі, прокладати електричні провoda безпосередню по горючій основі, експлуатувати світильники зі знятими ковпаками (розсіювачами);
- захаращувати підступи до засобів пожежогасіння;
- палити, використовувати легкозаймисті рідини;
- проводити вогневі, зварювальні та інші роботи без спеціального дозволу;
- вмикати електронагрівальні прилади без негорючих підставок.

6.5 Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях

Захисні споруди розрізняють:

- за призначенням – для захисту населення. Розміщення органів управління, вузла зв'язку) і медичних закладів;
- за місцем знаходження – вбудовані, відокремлені, метрополітен, у гірських виробках;
- за терміном будівництва – зведені завчасно, швидко зведені;
- за захисними властивостями – найпростіше укриття (щілини відкриті і перекриті), протирадіаційні укриття (ПРУ) сховища.

У системі захисту населення особливе значення мають найпростіші укриття типу щілин. Це найбільш масові захисні споруди що можуть бути збудовані у найкоротший термін (вони захищають людей від світлового випромінювання і уламків зруйнованих будинків, а також понижують дію проникаючої радіації, ударної хвилі, вибуху і радіоактивних випромінювань ні зараженій місцевості).

Щілини будують відкритими і перекритими.

Відкрита щілина зменшує ймовірність ураження ударною хвилею (в 1,5 - 3 рази), світловим випромінюванням і проникаючого радіацією.

Перекрита щілина захищає: від світлового випромінювання – повністю, від ударної хвилі у 1,5 рази, від проникаючої радіації у 200-300 разів, а також надійно захищає від осколкових і кулькових бомб, від запалювальних засобів.

Щілини виконують в ґрунті у вигляді вузьких ровів зі зломами у плані під кутом 90-120°. Довжина прямого відрізка повинна бути не більше 15 м. Глибина 1,8 – 2,0 м. Ширина зверху 1,1 – 1,3 м на дні 0,8 м. Стінки щілини укріплюють дошками, жердинами, очеретом, іншими наявними матеріалами.

Щілини перекривають колодами, шкалами або малогабаритними залізобетонними плитами. Зверху покриття влаштовують шар гідроізоляцій з толю, руберойду, хлорвінілової плівки або утрамбовують шар глини і

насипають шар ґрунту товщиною 50-60 см.

У перекритті щілини роблять вхід з однієї або двох сторін з дверима і тамбуром для вентиляції встановлюють витяжну коробку.

Нормальна місткість щілини від 10-50 чол., до 25 чол. Робиться один вхід, а при більшій місткості – два входи.

Протирадіаційні укриття (ПРУ) – це споруди які забезпечують захист людей від дій іонізуючих випромінювань при радіоактивному зараженні місцевості за неперервного перебування в них протягом 1-2 діб.

До ПРУ відносяться не тільки спеціально побудовані споруди, а й будівлі господарського призначення (погреби, підпілля, овочесховища), пристосовані під укриття і звичайні житлові будівлі.

ПРУ повинні мати приміщення для:

- розміщення людей,
- санітарного вузла,
- вентиляційної камери,
- зберігання брудного верхнього одягу.

У ПРУ улаштовується не менше двох входів якщо вони розраховані на 50 і більше чоловік ширина входу 1м – 1,80. Входи розташовуються в протилежних кутах укриття.

Для підсилення захисних властивостей у приміщенні забивають вікна, зайві двері, насипають шар ґрунту на перекриття і роблять, якщо треба, ґрунтову підсипку ззовні біля стін, що виступають вище поверхні землі.

Для герметизації приміщень замурують тріщини, щілини, отвори у стінах і стелях.

Приміщення, які пристосовуються під ПРУ, повинні бути забезпечені вентиляцією, опаленням, каналізацією і освітленням згідно з вимогами їх експлуатації в мирний час і в НС.

У ПРУ будь-якої місткості на цокольних і перших поверхах будинках, а також в укриттях до 50 чоловік, що розміщуються в підвальних поверхах

будинків, використовується не примусова вентиляція. В інших випадках використовується примусова вентиляція.

Система опалення ПРУ є спільною з опалювальною мережею і повинна мати пристрої відключення.

Норма води на 1 людину – 25 л на добу. При відсутності водопроводу в укриттях передбачено місце з боками питної води з урахуванням 3 л води на добу на 1 людину.

Електрозабезпечення ПРУ від загальної мережі або переносними електричними ліхтарями. Крім того в укритті встановлюють пари (лавки) для відпочинку, стелажі для продуктів харчування.

Сховища ЦО – це споруди, які забезпечують комплексний захист людей від дій уражаючих факторів ядерного вибуху, отруйних та сильнодіючих отруйних речовин, бактеріальних засобів, а також високих температур і обвалів будівель. Воно обладнане комплексом інженерних споруд, що забезпечують необхідні умови життєдіяльності протягом певного часу:

- захисні герметичні двері;
- шлюзові камери (тамбури);
- санітарно побутові відсіки;
- основне приміщення для людей;
- аварійний вихід;
- фільтровентиляційна камера;
- комора для продуктів харчування;
- медична кімната.

За місцем знаходження сховища бувають вбудованими (у підвалах будинків) і відокремленими. Їх споруджують заздалегідь, у мирний час, але можуть будувати і в період загрози наряду, або під час воєнних дій.

Сховища бувають:

- малі – 150 - 300 чол.
- середні – 300 - 600 чол.

- великі – понад 600 чол.

Сховища мають фільтровентиляційні установки (ФВУ).

Вони очищують зовнішнє повітря, розподіляє його по відсіках і створює у захисному приміщенні надлишковий тиск, що перешкоджає проникненню зараженого повітря.

Передбачається два режими вентиляції:

- 1 режим – чиста коли зовнішнє повітря очищається від пилу.
- 2 режим – фільтровентиляція, коли повітря проходить крізь поглинальні фільтри, де очищується від реактивного пилу, отруйних речовин, СДОР і бактеріологічних засобів.

Система водопостачання від зовнішньої водопровідної мережі.

Передбачено аварійний запас води або її джерело.

Є система каналізації.

Санвузол влаштовується окремо ізольований від секцій сховища з витяжкою.

Система опалювання сховища працює від опалювальної мережі будинку під яким воно знаходиться.

Освітлюється від міської електромережі в аварійних випадках від автономної електростанції, або від акумуляторів або ліхтарями.

Запас продуктів не менше ніж на 2 доби.

Медичне обслуговування здійснюють санітарні пости і медпункти.

Правила перебування у захисній споруді:

- населення укривається у захисних спорудах за сигналами ЦО. Заходити до них потрібно організовано, швидко і без паніки. У сховищі зручніше розміщуватися групами — з тих, хто разом працює або мешкає в одному будинку;

- в кожній групі призначають старшого. Тих, хто з дітьми, розміщують в окремих відсіках або у спеціально відведених місцях. Літніх і хворих намагаються влаштувати ближче до вентиляційних труб;

– у сховище (укриття) потрібно приходити зі своїми засобами індивідуального захисту органів дихання, продуктами харчування і документами. Не дозволяється приносити з собою речі громіздкі, з сильним запахом, легкозаймисті, приводити тварин;

– у сховищі забороняється ходити без потреби, шуміти, курити, виходити назовні без дозволу коменданта. Всі у сховищі зобов'язані виконувати розпорядження чергового по сховищу, надавати посильну допомогу хворим, інвалідам.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі велася розробка синтезатора частот на основі системи ІФАПЧ для використання у приймальних пристроях мобільних мереж зв'язку. При цьому були зроблені патентні дослідження і аналіз існуючих методів побудови СЧ, розроблено два варіанти структурних схем СЧ, один з яких був остаточно обраний за результатами проведеного моделювання в програмі ADIsimPLL. Обидва варіанти структурних схем СЧ, як показало моделювання, забезпечують виконання вимог ТЗ. Однак критерієм вибору серед них найбільш успішного став такий додатковий показник, як шумовий профіль сигналу в ВСЧ. Цьому показнику найкраще відповідає структурна схема СЧ з застосуванням в вихідному кільці ІФАПЧ подільника частоти з дрібно-змінним коефіцієнтом ділення ДДЗКД, яка і стала основою для побудови по ній схеми електричної принципової.

За результатами проведених організаційно-економічних розрахунків була досягнута економія за річними витратам на живлення акумуляторної електроенергією у споживача в умовах експлуатації. Розглянуті в роботі питання існуючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів і заходи щодо зменшення ступеня їх впливу на здоров'я людини дозволяють раціонально і комфортно організувати робоче місце для співробітників науково-дослідного відділу при дослідженні СЧ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Акімов М.М. Резистори, конденсатори, трансформатори, дроселі та комутаційні пристрої РЕА [Текст] / М.М. Акімов. – М.: 1994. – 591 с.
2. Бессекерській В.А. Теорія систем автоматичного регулювання [Текст] / В.А. Бессекерській, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1972. – 767 с.
3. Белов Л. А. Синтезатори стабільних частот [Текст] / Л.А. Белов Електроніка: НТБ. – 2004. – №3. – 38-44 с.
4. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. 2017. – 12 с.
5. ГОСТ.12.1.003-83. Шум. Загальні вимоги безпеки. 1983. – 5 с.
6. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. 2019.
7. ДСТУ EN 482:2016 Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин.
8. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Улаштування блискавки – захисту будівель і споруд.
9. ДСТУ EN 50400:2007 Радіостанції систем з радіодоступом базові. Вимоги до базових граничних чи контрольних рівнів радіочастотних електромагнітних полів від 110 МГц до 40 ГГц, пов'язаних з дією цих полів на широкий загальний під час введення радіостанцій в експлуатацію.
10. Демірчголян Г. Г. Комп'ютер і здоров'я. [Текст] / Г.Г. Демірчголян. – К., 1997. – 68с.
11. Закон України «Про екологічну експертизу» від 23.05.17р. №29.
12. Йоган Шиллер. Мобільні комунікації [Текст] / Йоган Шиллер. – М.: Изд. будинок «Вільямс», 2002 – 384 с.
13. Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика: навч. посібник для вузів [Текст] / Г.Ф. Коновалов. – М.: Вища школа. 1990. – 335 с.
14. Левін В.А. Синтезатори частот з системою імпульсно-фазового автопідстроювання [Текст] / В.А. Левін, В.Н. Малиновський., С.К.Романов. –

М.: Радіо та зв'язок, 1989. – 232 с.

15. Левін В.А. Порівняльний аналіз динамічних і фільтруючих властивостей астатической системи ІФАПЧ при різних запасах стійкості [Текст] / В.А. Левін, М.М. Тихомиров. – Сер. ТРС. – 1985 – №7. – 1985. – 82 с.

16. Манасевич В.М. Синтезатори частот. Теорія і проектування: переклад з англ. [Текст] / під ред. В.М. Манасевич, А.С. Галина – М.: Связь., 1979. – 384 с.

17. Майстренко В.А. Синтезатори частот УВЧ / СВЧ діапазону на основі систем фазової синхронізації [Текст] / В.А. Майстренко. – Омськ: Вид. ОмГТУ, 1999. – 124 с.

18. Методичні вказівки до виконання економічного обґрунтування дипломних проектів для студентів денної та заочної форми навчання / Укл.: проф. Прушківський В.Г., доц. Афендікова Н.О. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. – 27с.

19. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах / Укл. : М. О. Журавель – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018 – 33 с.

20. Міцкевич А.Д. Синтезатор частот для формування сітки частот у приймально передавальних пристроях [Текст] / А.Д Міцкевич – Автор.Свідотство № 794706-МКІ Н 03 В21 / 02, 1981. 124с.

21. Партола О.Н. Радіокомпоненти і матеріали [Текст] / О.Н.Партола Довідник. – К.: Радіоаматор. М.: 1998. – 720 с.

22. Пятецкий В.М. Синтезатор частот для приймально-передавальних пристроїв. [Текст] / В.М. Пятецкий, С.В. Щегольков. Автор.Свідотство № 1555862-МКІ Н 03 L 7/18, 1987. – 207 с.

23. Романов С.К. Математичні моделі цифрових синтезаторів частот [Текст] / С.К Романов, В.Н.Малиновський. – Сер. ТРС. – 1981. – №7 – 72 – 85 с.

24. Стандарт Галузі. ОСТВ.4.0032-97. Порядок проведення НДДКР на радіотехнічних підприємствах. – М.: ВНДІ «Еталон», 1998 – 130с.

25. СН512-78. Інструкції з проектування будівель і приміщень для ЕОМ. – М.: 1978. – 15 с.
26. Шапиро Д.Н. Основы теории синтеза частот. [Текст] / Д.Н Шапиро, А.А. Паин. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.
27. Шахгильдян В.В. Загальні принципи побудови швидкодіючих синтезаторів частот на основі систем ФАПЧ [Текст] / В.В. Шахгильдян, А.В. Пестряков. – 1983. – №10 – 36 – 42 с.
28. Шуомі Юкі. Синтезатор частот для нової мобільної радіоустановки [Текст] / Юкі Шуомі, С. Нішікі, Н. Канмурі. Electrical Communication Laboratories Review. – № Д – 32249 1982. – 16 с.
29. Яворський Б.М. Довідник з фізики для інженерів та студентів вузів. [Текст] / Б.М Яворський, А.А. Детлаф – М.: Наука, 1977. – 942с.
30. ADIsimPLL users manual [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http: www.analog.com /](http://www.analog.com/) .
31. LMX2352 / Data Sheet / National Semiconductor Inc. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http: www.national.com / pll / Codeloader](http://www.national.com/pll/Codeloader).
32. VFT594 / Data Sheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http: www.valpeyfisher.com / VCXOS](http://www.valpeyfisher.com/VCXOS) .
33. Продукція ВАТ "Моріон" [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http: www.morion.com](http://www.morion.com).
34. Представницька вибірка технічних характеристик зарубіжних синтезаторів частот [Електронний ресурс] – Режим доступа: [http: www.radiocomp.ru](http://www.radiocomp.ru) .
35. Синтезатори частот фірми Analog Devices для мобільних станцій стандартів GSM, CDMA, WCDMA [Електронний ресурс] – Режим доступа: [http: www.analog.com](http://www.analog.com) .
36. Мікроконтролери фірми Microchip Technology для синтезаторів частот мобільних станцій [Електронний ресурс] – Режим доступа: [http: www.cdinfo@microchip.com](http://www.cdinfo@microchip.com) .

37. Компоненты для беспроводной связи фирмы Motorola [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http: www.design-net.com](http://www.design-net.com) – .

38. Продукція фірми "Minicircuits" [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http: www.minicircuits.com](http://www.minicircuits.com) - .

39. Продукція фірми "Raltron" [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http: www.raltron.com](http://www.raltron.com) .

ДОДАТОК А

