

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломного проекту на тему:

«Генератор випадкових чисел для тестування телекомунікаційних пристроїв.»

Завідувач кафедри

А.С. Опанасюк

Керівник проекту

Т.О. Протасова

Проектував студент

І.В. Нижегородцев

Суми  
2022 р.



### Календарний план

№ п/п	Найменування етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Огляд технічної літератури	22.02.22	
2.	Розробка алгоритму функціонування та структурної схеми	10.05.22	
3.	Розрахунок вузлів та блоків пристрою та розробка схеми електричної принципової	15.05.22	
4.	Оформлення графічної частини	05.06.22	
5.	Оформлення пояснювальної записки	08.06.22	
6.	Рецензування та підготовка до захисту	09.06.22	

Студент-дипломник \_\_\_\_\_ Нижегородцев І.В.

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Протасова Т.О.

## РЕФЕРАТ

Створення генератора сигналів потребує ряд наступних дій:

1. Опрацювання літературного огляду (наявність аналогів, та знайти потрібні розрахунки)
2. Розробка структурної схеми (потрібні блок схеми пристрою, синтезатор, блок керування, вихідний блок)
3. Розробка схеми алгоритму (потрібних блок схеми пристрою, синтезатор, блок керування, вихідний блок)
4. Розробка принципової схеми (потрібних блок схеми пристрою, синтезатор, блок керування, вихідний блок)
5. Проведення розрахункових робіт з визначення кількості втрат і т.д.
6. Зведення загально списку елементів бази генератора

## ЗМІСТ

### Вступ

1. Літературний огляд
  2. Розробка структурної схеми
    - 2.1. Синтезатор
    - 2.2. Автоматичне регулювання рівня
  3. Розробка алгоритму функціонування
    - 3.1. Алгоритм функціонування синтезатора
    - 3.2. Алгоритм функціонування автоматичного регулятора рівня
  4. Розробка принципової схеми
    - 4.1. Принципова схема синтезатора
    - 4.2. Принципова схема автоматичного регулятора рівня
  5. Розрахункова частина
    - 5.1. Розрахунок вихідної частоти в системі синтезатора
    - 5.2. Розрахунок амплітудної модуляції
    - 5.3. Розрахунок зменшення похибки за рахунок інсталювання аттенюатора
- Висновок  
Список літератури  
Перелік елементів

					6.172.00.02.442 ПЗ		
<b>Зм</b>	<b>Лист</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підп.</b>	<b>Дата</b>			
Розроб.		Нижегородцев І.В				Лит	Листів
Перев.		Протасова Т.О				5	41
Т. контр.					СумДУ гр.ТК-81		
Н. контр.							
Затв.		Опанасюк А.С					
Генератор випадкових чисел для тестування телекомунікаційних пристроїв. Пояснювальна записка							

## ВСТУП

Якщо ми говоримо про прилади для вимірювання параметрів електронного обладнання, то перше, що спадає на думку, це, як правило, осцилограф чи логічний аналізатор. Проте ці прилади здатні виконувати вимірювання лише у тому випадку, якщо на них надходить сигнал. І можна навести безліч прикладів, коли такий сигнал відсутній, поки що досліджуваній пристрій не буде поданий зовнішній сигнал. Наприклад, тензометричний підсилювач не створює сигналу - він просто посилює сигнал, що надходить від датчика. Аналогічним чином, мультиплексор, підключений до цифрової шини адреси, не є джерелом сигналів; він лише перенаправляє сигнальний трафік, що надходить від лічильників, регістрів та інших елементів. Однак підсилювачі та мультиплексори обов'язково повинні тестуватись до того, як вони почнуть працювати у складі відповідної системи. Щоб використовувати реєструючий прилад для оцінки поведінки таких пристроїв потрібно подати їм на вхід сигнал, що впливає.

Наприклад ще один приклад. інженерам потрібно виміряти характеристики схеми, що розробляється, і переконатися, що вона відповідає вимогам технічного завдання у всьому робочому. діапазоні та за його межами. Такий вимір називається випробуванням у гранично допустимих режимах. Таке вимірювальне завдання вимагає закінченого рішення - рішення, що забезпечує не тільки вимір, але і створення необхідних сигналів. Набір інструментів для вимірювання характеристик цифрових схем відрізняється від свого побратима у сфері аналогових та змішаних сигналів, але в будь-якому випадку такий набір повинен включати джерела сигналу, що впливає, і реєструючі прилади. Генератор сигналу, або джерело сигналу, є джерело сигналу, що впливає, який у парі з реєструючим приладом дозволяє створити закінчене вимірювальне рішення. Існує кілька способів створення сигналів за допомогою генераторів. Вибір методу залежить від наявної інформації про досліджуваній пристрій і його вхідних характеристик, а також від того, чи потрібно вносити сигнал спотворення або помилки і т.п. Сучасні продуктивні генератори пропонують, як мінімум, три способи отримання сигналів:

1. Створення: створення абсолютно нових сигналів для моделювання та тестування
2. Реплікація: синтез недоступних реальних сигналів (захоплених осцилографом або логічним аналізатором)
3. Генерація: створення ідеальних чи спотворених опорних сигналів для промислових стандартів із зазначеними допусками

Генератори сигналів відіграють важливу роль при проведенні електро вимірювань та випробувань. Вони служать джерелами тестових сигналів, що подаються на такі випробувані компоненти, як фільтри, підсилювачі або навіть готові модулі з метою перевірити їхню роботу та вивчити їхню поведінку та характеристики. Крім формування однотональних сигналів, ключовою функцією генераторів сигналів є створення сигналів з аналоговою та цифровою модуляцією.

Генератор сигналів формує електричні сигнали із заданими часовими характеристиками. Залежно від типу генератора сигналів формується сигнал може змінюватися від простого синусоїдального, пілкоподібного та прямокутного до сигналу з аналоговою модуляцією, такий як АМ, ЧС та ФМ, або навіть до сигналу з складною цифровою модуляцією, на зразок тих, що використовуються в мобільному зв'язку (GSM, UMTS, LTE тощо). Діапазон частот може змінюватися від кількох кГц до десятків ГГц. За допомогою використання зовнішнього помножувача частоти можна отримати сигнал частотою до кількох сотень ГГц. Частота вихідного сигналу, як правило може змінюватися з дуже маленьким кроком ( $< 1$  Гц). ВЧ-генераторами, що використовуються у виробничих автоматичних тестових системах, можна дистанційно керувати через LAN-з'єднання, USB-порт або GPIB-порт, залежно від наявного обладнання.

Генератори ВЧ-сигналів можна розділити на два основні класи:

- Аналогові генератори сигналів
- Векторні генератори сигналів

Навіщо потрібні генератори випадкових сигналів

Генератори сигналів, в основному, використовуються при розробці та виробництві електронних модулів та компонентів.

Сигнал, що формується генератором, подається на випробуваний ВЧ-модуль (підсилювач, фільтр тощо).

Потім вихідний сигнал модуляналізується за допомогою відповідного контрольно-вимірювального обладнання, наприклад аналізатора спектра або сигналів, осцилографа, вимірювача потужності та і т.д.

На основі результатів такого аналізу можна визначити, чи коректно модуль виконує свої функції. Крім стандартних функцій вибору частоти, амплітуди та режиму модуляції, сучасні генератори сигналів також мають здатність додавати шум до тестового сигналу або імітувати багатопроменеве поширення (завмирання) вхідного сигналу. Таким чином, з'являється можливість вивчити роботу приймача за наявності сильно зашумлених сигналів, які до того ж досягли входу після багаторазового перевідображення. Хоча у строгому сенсі генератори сигналів не є вимірювальним обладнанням, завдяки описаним вище функціям вони все ж таки є тестовими передавачами.

## 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Вибір відповідного генератора сигналів завжди визначається областю застосування. Важливими критеріями є діапазон частот, діапазон рівнів, чистота спектра, доступні типи модуляції (аналогова, цифрова) та можливість додавання певних перешкод до сигналу (шум, імітація багатопроменевого розповсюдження). Прості генератори низькочастотних сигналів називаються тональними генераторами. Як правило, тональний генератор формує синусоїдальний, прямокутний, або пілкоподібний електричний сигнал у чутному людському вухому діапазоні, тобто. від 20 Гц до 20000 Гц. Можна вручну настроїти як частоту, так і амплітуду вихідного сигналу. Тональні генератори найчастіше використовуються в контрольно-вимірювальній апаратурі для акустичних та електроакустичних приладів поєднанні з відповідним вимірником рівня звуку.

Наприклад, у такий спосіб можна визначити наявність необхідного рівня на виході тонального передавача сигналу. При вимірюваннях зі змінною вхідною частотою можна додатково використовувати відповідний вимірник рівня (наприклад, осцилограф, аналізатор спектра, вимірник потужності) для вимірювання повної частотної характеристики передавальної системи, постійно змінюючи вхідну частоту сигналу генератора або використовуючи як джерело сигналу аналізатор спектра. Генератори сигналів, які можуть формувати лише прості періодичні сигнали називаються генераторами стандартних сигналів. Як правило, вони можуть формувати синусоїдальні, прямокутні та трикутні коливання. Сучасні генератори стандартних сигналів здебільшого цифрові. Їх робота заснована на прямому цифровому синтезі і вони можуть формувати різні періодичні сигнали. Прикладом використання генераторів стандартних сигналів може бути перевірка таких електронних схем, як підсилювачі та фільтри.

Генератори ВЧ-сигналів використовуються для формування високочастотних синусоїдальних коливань. Також вони часто містять функцію гойдання частоти, що дозволяє проводити повторювану розгортку в заданому діапазоні частот. Діапазон частот може досягати від кількох кГц до десятків ГГц. ВЧ-генератори поділяються на дві категорії: аналогові чи векторні генератори сигналів. Аналогові генератори сигналів дозволяють формувати сигнали з частотною та амплітудною модуляцією. Вони можуть формувати імпульсні сигнали. Генератори векторних сигналів до того ж здатні формувати сигнали цифровою модуляцією для різних стандартів мобільного зв'язку, цифрового радіо та ТБ тощо. Як і аналогові генератори сигналів, векторні генератори сигналів також можуть модулювати високочастотні несучі сигнали.

Генератори сигналів довільної форми (ARB-генератори) – це векторні генератори сигналів, для яких дані модуляції розраховуються заздалегідь (а не в реальному масштабі часу) і зберігаються у пам'яті приладу. Вихідний сигнал такого генератора завжди є модулюючим. Перевагою таких генераторів є те, що вони способи формувати сигнал практично будь-якої форми та повторювати його практично з будь-якою необхідною частотою. ARB-генератори використовуються



як універсальні джерела сигналів при розробці нових пристроїв, наукових дослідженнях, випробуваннях та технічному обслуговуванні. У наступному розділі цих навчальних матеріалів наводиться більш докладний огляд генераторів ВЧ-сигналів (аналогових, з векторною модуляцією) та генераторів сигнали довільної форми.

Основним завданням аналогових генераторів сигналів є формування високоякісних ВЧ-сигналів. Вони забезпечують функціонування режимів АМ/ЧМ та ФМ модуляції. Багато приладів також здатні формувати високоточні імпульсні сигнали із заданими характеристиками.

Аналогові генератори сигнали працюють на частотах аж до НВЧ діапазону. Крім гойдання частоти в заданому діапазоні частот, деякі прилади також можуть у заданих межах виконувати розгорнення рівня вихідного сигналу. Завдяки такій можливості ці генератори здатні формувати частину сигналів. генератора стандартних сигналів, зокрема, пилкоподібний та трикутний.

Як уже згадувалося, рівні із задалегідь заданим коефіцієнтом заповнення дозволяють виводити послідовність прямокутних імпульсів, що повторюється.

Аналогові генератори зазвичай мають такі характеристики:

- Дуже висока чистота спектра (відсутність гармонік), наприклад  $-100$  дБн
- Дуже низький власний широкосмуговий шум, наприклад  $-160$  дБн
- Дуже низький односмуговий фазовий шум, наприклад  $-140$  дБн/Гц (відбудова від
- несучої  $10$  кГц,  $f = 1$  ГГц, смуга вимірів  $1$  Гц)

Варіанти застосування аналогових генераторів сигналів:

- Формування стабільного опорного сигналу, що використовується як гетеродинного, наприклад, при вимірюванні фазового шуму або як калібрувального опорного сигналу
- Універсальний прилад для вимірювання коефіцієнта посилення, лінійності, смуги частот тощо.
- При розробці та тестуванні ВЧ та інших напівпровідникових мікросхем, наприклад, аналогово-цифрових перетворювачів
- Для випробувань приймачів (двотональні випробування, генерація перешкодних сигналів та сигналів блокування)
- Для випробувань на електромагнітну сумісність (ЕМС)
- У складі автоматичного випробувального обладнання (АІО) на виробництві
- У додатках авіаційної електроніки (таких як система ближньої навігації VOR, система інструментальної посадки літаків ILS)
- Для випробувань радіолокаційних систем (РЛС)
- Для військових цілей

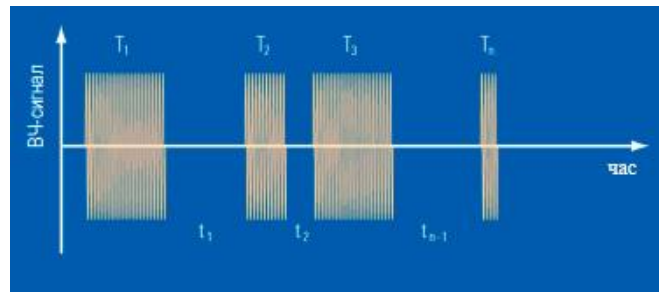


Рисунок 1.1 – Комбінація імпульсів різної тривалості та міжімпульсних інтервалів для РЛС

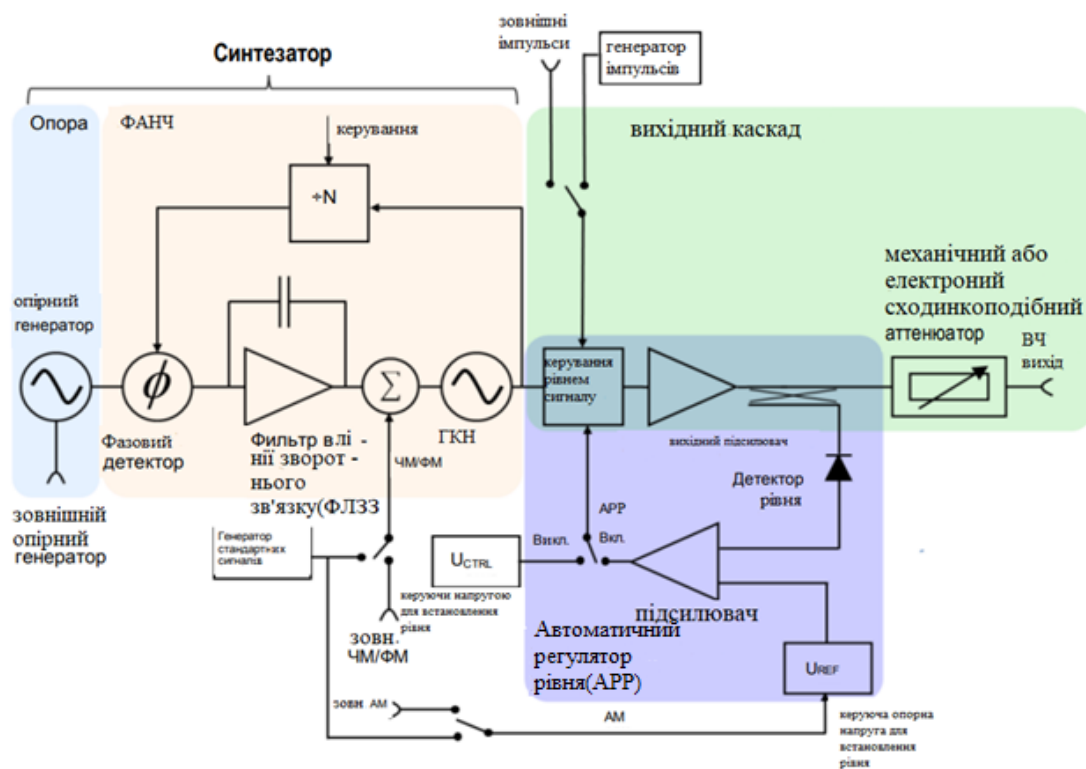


Рисунок 1.2 - Схема аналогового генератора ВЧ-сигналів

Генератор сигналів складається з трьох основних функціональних блоків:

- Синтезатор, що формує коливання
- Автоматичний регулятор рівня для стабілізації рівня вихідного сигналу
- Вихідний каскад з підсилювачами та ступінчастими атенюаторами для керування вихідною потужністю

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

## 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

### 2.1 Синтезатор

Синтезатор є ядром генератора, що формує коливання. Термін синтезатор описує принцип формування коливань за допомогою множення та розподілу частоти фіксованого опорного сигналу кварцового генератора (опорного генератора).

Як правило, генератор сигналів можна використовувати із зовнішнім джерелом опорного сигналу, підключеного до відповідного частотного входу. Такий підхід дозволяє синхронізуватися з іншими вимірвальними приладами, наприклад, з аналізатором спектра.

Оскільки частота кварцового генератора має довготривалою стабільністю і слабо залежить від температури, такі генератори використовуються для формування опорної частоти. Якість генератора, як правило, визначається стабільністю його амплітуди, частоти та фази. Стабільність можна підвищити, якщо використовувати кварцовий генератор із температурною компенсацією (КГТК). Він складається з генератора, керованого напругою (ГКН), та схеми стабілізації, що компенсує температурну залежність генератора. Точність частоти таких генераторів становить близько 100 чнм (чнм: частин на мільйон, тобто.  $10^{-6}$ ), що робить їх у десять тисяч разів точнішими, ніж резонансні LC-ланцюги на дискретних компонентах. Тим не менш, КГТК все ж володіють невеликим температурним дрейфом частоти, який неприпустимий у високоточних додатках. Щоб ще більше збільшити точність частоти, для більшості генераторів сигналів також пропонуються опціональні.

Термостатовані кварцові генератори (ТСКГ). У випадку КГТК кварцовий генератор поміщається в опалювальну камеру з керованою температурою. Підвищуючи температуру кристала і схеми генератора вище за кімнатну, можна ще більше підвищити стабільність частоти генератора, що дозволяє досягти ще більшої точності, ніж без нагрівання. Залежно від типу використовуваного генератора, діапазон робочих температур знаходиться в межах від +30 до +85 °С. Таким способом можна отримати рівень точності в тисячу разів більше, ніж у КГТК, близько 0,001 чнм або  $10^{-9}$ . Дрейф частоти, викликаний старінням генератора, теж зменшується. У цьому випадку досягається поліпшення до 100 разів, від  $10^{-6}$ /рік до  $10^{-8}$ /Рік.

Оскільки старіння опорного генератора уникнути не можна, то залежно від програми, для зменшення абсолютної похибки може знадобитися здійснює періодичне підстроювання опорної частоти. Множення частоти, зазвичай, виконується з допомогою системи фазової автоналаштування частоти (ФАНЧ). Базова схема системи ФАНЧ показано рисунку 1.3

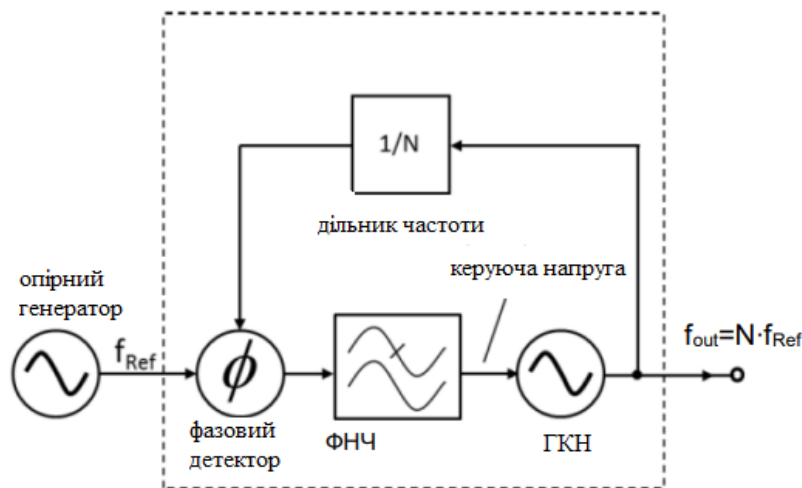


Рисунок 2.1 - схема системи ФАНЧ

Коло складається із замкнутого контуру.

У нього входять три функціональні групи: фазовий детектор для компенсації фази, контурний фільтр низьких частот фільтрації високочастотних складових з керуючої фазової напруги детектора та генератор, керований напругою (ГКН). Вхідні та вихідні параметри системи ФАНЧ є частоти.

У замкнутому контурі фазовий детектор здійснює порівняння фазового зміщення генератора, керованого напругою (ГКН) та фазового зміщення опорного генератора. Отримана різниця використовується для формування керуючої напруги, що у свою чергу використовується для регулювання фазового зміщення генератора кілька разів на секунду.

Принцип ФАНЧ використовується для множення частот у генераторі сигналів. Для цього проводиться розподіл вихідної частоти ГКН на ціле число  $N$  за допомогою цифрового програмованого дільника частоти, вихідний сигнал якого подається на фазовий детектор через ланцюг зворотного зв'язку (ФАНЧ із цілим множенням). У замкнутому контурі ФАНЧ вихідна частота  $f_{out}$ , таким чином, буде точно  $N$  разів більше вхідної частоти  $f_{in}$  опорного генератора.

Головною перевагою такого підходу є те, що частота, що генерується, змінюватися в широкому діапазоні частот, одночасно володіючи таким же стабільністю та точністю як частота опорного кварцового генератора. Недоліком такого підходу є те, що вихідна частота є кратною вхідною частотою, крок роздільної здатності по частоті дорівнює опорній частоті.

Щоб реалізувати мінімальну можливу роздільну здатність, частоту опорного генератора можна розділити на систему ФАНЧ за допомогою дільника частоти. Для отримання високих частот через підсумковий невеликий крок доводиться вибрати відповідний великий коефіцієнт дільника  $N$  (працює як множник вихідної частоти системи ФАНЧ).

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат

Це негативно впливає на фазовий шум вихідного сигналу, який збільшується на  $20 \log(N)$  дБ. У цьому випадку для генератора сигналів з кроком частотою 100 кГц і максимальною вихідною частотою 1 ГГц фазовий шум збільшується для 1 ГГц на  $\log(10000)$  дБ = 80 дБ. Зменшення опорної частоти призводить до звуження смуги захоплення. Час захоплення безпосередньо залежить від лінії захоплення. Чим менша смуга, тим гірше працює система ФАНЧ.

Для того, щоб обійти зазначені вище недоліки великого коефіцієнта дільника та відповідне погіршення фазового шуму, синтезатори можуть будуватися з урахуванням кількох систем ФАНЧ, як показано на рисунку 1.4.

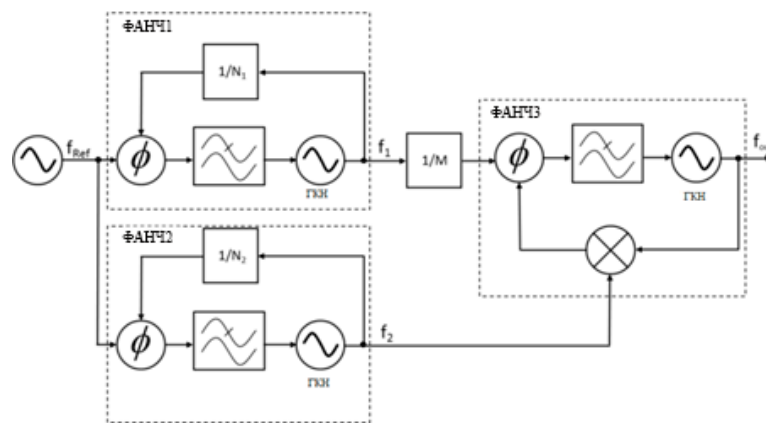


Рисунок 2.2 – Багатоконтурний синтезатор (кілька систем ФАНЧ)

Для реалізації малого кроку за частотою частотний дільник міститься у верхній сигнальний тракт на вихід першої системи ФАНЧ (ФАНЧ1). Великі кроки по частоті реалізовані в нижньому сигнальному тракті за допомогою другої системи ФАНЧ (ФАНЧ2). Вихідна частота після ще однієї системи ФАНЧ (ФАНЧ3), яка містить змішувач у ланцюгу зворотного зв'язку

Склад синтезатора

- Опірний генератор
- Фазовий детектор для компенсації фази
- Контурний фільтр низьких частот фільтрації високочастотних складових з керуючої фазової напруги детектора
- Генератор керований напругою(ГКН)
- Дільник зі змінним коефіцієнтом ділення(ДЗКД)

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат

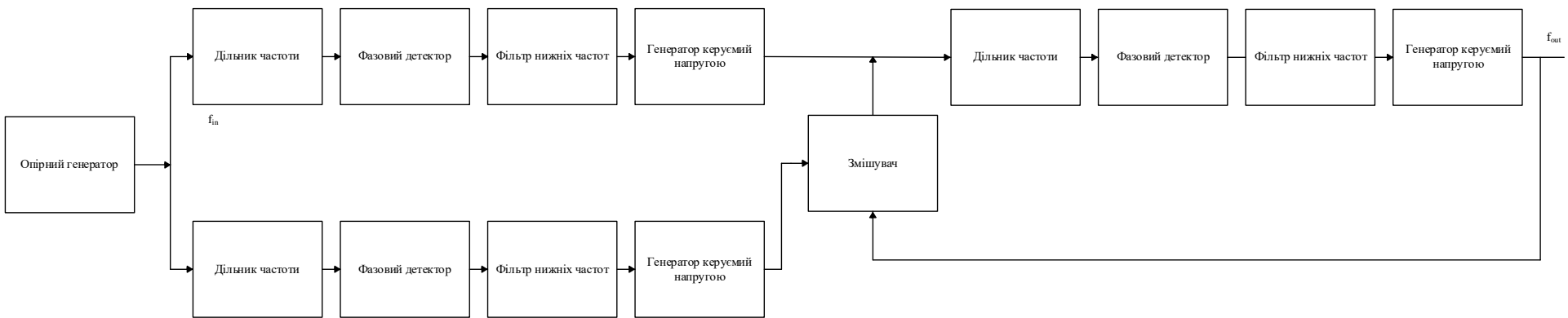


Рисунок 2.3 - структурна схема синтезатора

Змi.	Лист	№ докум.	Пiдп.	Дата

6.172.00.02.442 ПЗ

## 2.2 Блок автоматичного регулювання рівня

Автоматичне регулювання рівня (АРР) знаходиться у вихідному каскаді перед ступінчастим атенюатором. На рисунку 2.2 показана схема та принцип дії системи. АРР виконує три завдання:

1. Встановлення рівня з малим кроком (до 0,01 дБ)
2. Підтримка постійного значення рівня в діапазоні температур та часу
3. Амплітудна модуляція (АМ) шляхом зміни вхідного значення

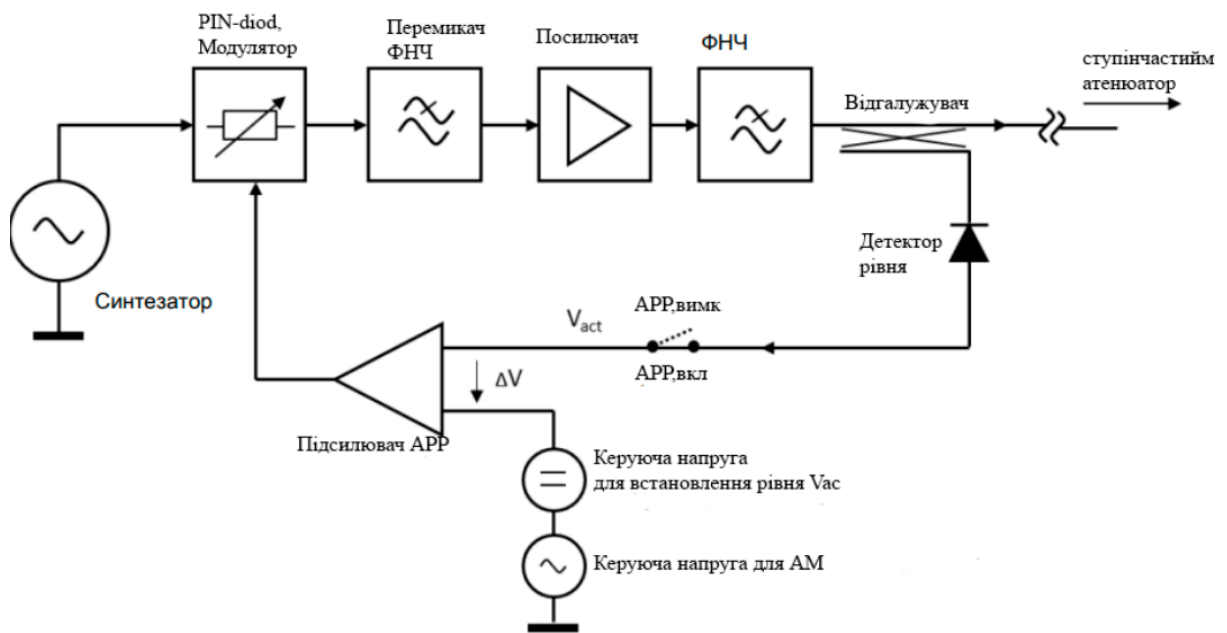


Рисунок 2.4 - Схема автоматичного регулювання рівня (АРР)

Для керування рівнем сигнал синтезатора подається на PIN-діодний модулятор. PIN-діод для високих частот є опір, керований постійним струмом, який використовується для управління амплітудою сигналу. Фільтри нижніх частот, що перемикаються, призначені для придушення гармонік. Розташований далі підсилювач дозволяє компенсувати внутрішні втрати модулятора. Гармоніки, що знаходяться вище за максимальну вихідну частоту синтезатора, пригнічуються наступним фільтром нижніх частот. У разі роботи системи АРР, керуючий контур постійно підтримує вихідний сигнал на необхідному рівні. Управління реалізовано за допомогою спрямованого відгалужувача з відомим коефіцієнтом втрат, який використовується для передачі частини вихідного сигналу Детекторний діод. Підсилювач АРР в ланцюзі зворотного зв'язку порівнює опорну напругу  $V_{ref}$ , що дорівнює заданому вихідному рівню, з фактичною вихідною напругою  $V_{act}$ .

Виходячи з різниці між двома напругами, формується коригуюча постійна напруга для управління PIN-діодом. Система АРР дозволяє отримати дуже точне електронне ослаблення рівня. 40 дБ, наприклад, від -15 до +25 дБмВт, з дуже

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат

маленьким кроком до 0,01 дБ. Використовуючи систему АРР за допомогою зміни керуючої напруги ( $V_{ref}$ ) модулюючим сигналом можна отримати амплітудну модуляцію. Більшість додатків системи АРР, зазвичай, включена. Однак у разі сигналів з імпульсною модуляцією система АРР призведе до змін рівня вихідних послідовностей імпульсів. генератори сигналів, що містять систему АРР, що дозволяють її вимкнути. Ще одним прикладом негативного впливу системи АРР є багатотональні виміри з використанням двох генераторів сигналів. На рисунку 2.3. вимірювання використовуються визначення точки перетину третього порядку (ІРЗ) підсилювача.

На підсилювач через ВЧ суматор подається два сигнали з однаковим. рівнем та різними частотами  $f_1$  і  $f_2$ . Спектр вихідного сигналу за допомогою аналізатора спектра. По коефіцієнту третьої гармоніки  $a_{ІМЗ}$  (різниця між першою і третьою гармонікою), можна обчислити точку перетину ІРЗ. Багато аналізаторів спектру для обчислення та відображення точки перетину ІРЗ використовують спеціальну функцію вимірювання.

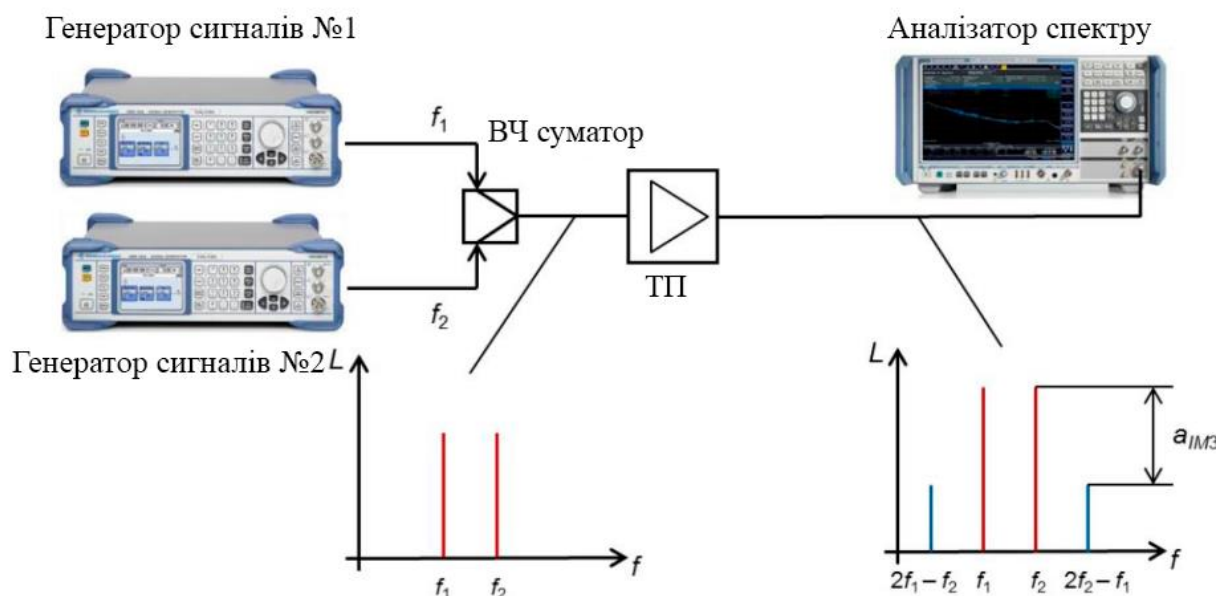


Рисунок 2.5 – Установка для вимірювання точки перетину ІРЗ підсилювача

На рисунку 2.5 показано вплив системи АРР на результат багатотональних вимірів. Незважаючи на те, що ВП не включений у вимірювальну установку, на виході ВЧ-суматора з'являються не тільки перші гармоніки з частотами  $f_1$  і  $f_2$ , а й інтермодуляційні складові. Причина полягає в неідеальності ВЧ-суматора та спрямованого відгалужувача системи АРР. Якщо різниця частот між сигналами генератора знаходиться в межах керуючої смуги частот системи АРР, частина вихідного сигналу генератора 2 або генератора 1, як перешкодний сигнал,



потрапляти в керуючий контур системи АРР іншого генератора (на рисунку 2.4) показано тільки вплив генератора 2 на генератор 1) .

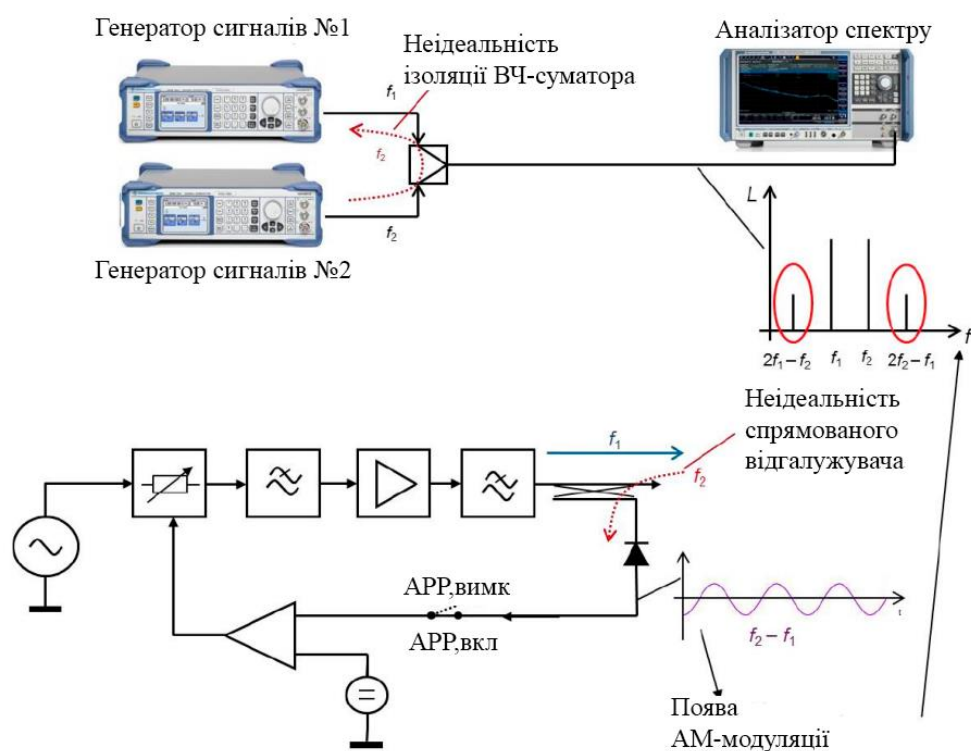


Рисунок 2.6 – Вплив системи АРР на багатотональні виміри

Цей перешкодовий сигнал викликає АМ-модуляцію обох тестових сигналів, що призводить до появи верхньої та нижньої бічних смуг спектру:

Бічні смуги щодо несучої частоти  $f_1$ :

$$f_1 \pm (f_2 - f_1)$$

1. нижня бічна смуга:  $2f_1 - f_2$

2. верхня бічна смуга:  $f_2$

Бічні смуги щодо несучої частоти  $f_2$ :

$$f_2 \pm (f_2 - f_1)$$

1. нижня бічна смуга:  $f_1$

2. верхня бічна смуга:  $2f_2 - f_1$

З наведених вище виразів стає зрозуміло, що ці бічні смуги точно збігаються з точкою перетину третього порядку ІРЗ, тим самим спотворюючи результати вимірів. Щоб цього уникнути, для такого типу вимірів необхідно вимкнути систему АРР в обох генераторах сигналів. Якщо різниця частот двох генераторів сигналів перевищує керуючу смугу частот системи АРР, перешкодні компоненти генератора 1 або 2 не впливатимуть на систему АРР, та її можна залишити увімкненою.

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

## Склад АРР

- PIN-diod , для високих частот є опір
- Перемикач Фільтра нижніх частот що перемикаються, призначені для придушення гармонік
- Підсилювач дозволяє компенсувати внутрішні втрати модулятора
- Фільтри нижніх частот, придушують гармоніки, що знаходяться вище за максимальну вихідну частоту синтезатора
- Детектор рівня, детекторний діод який пов'язаний з керуючим відгалужувачем
- Відгалужувач, керуючий
- Атенюатор, для зменшення похибки вихідного сигналу
- Керуюча напруга для амплідної модуляції
- Керуючий постійний струм
- АРР перемикач для вмикання рівня з посилювачем

					6.172.00.02.442 ПЗ	Лист
Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат		16

Изм.	
Лист	
№ докум.	
Подп.	
Дата	

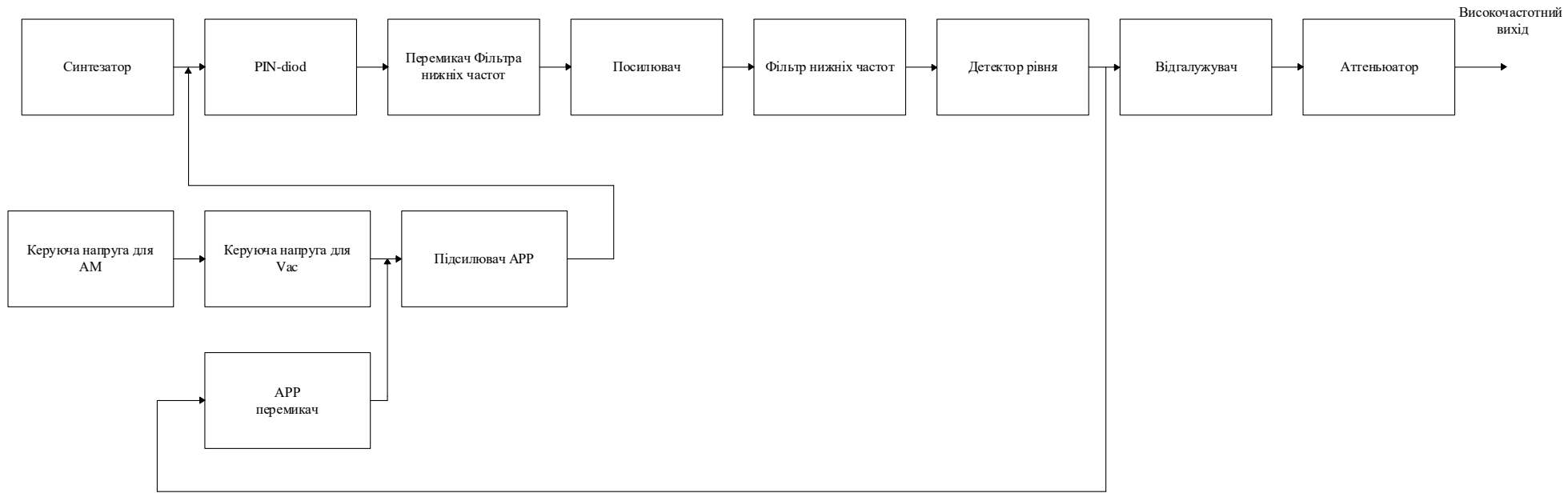


Рисунок 2.7 - Структурна схема автоматичного регулювання рівня

6.050903.442 ПЗ

### 3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ

#### 3.1 Алгоритм функціонування синтезатора

Система автоматичного налаштування, що підлаштовує фазу керованого генератора так, щоб вона дорівнювала фазі опорного сигналу, або відрізнялася на відому функцію від часу.

Регулювання здійснюється завдяки наявності негативного зворотного зв'язку. Вихідний сигнал керованого генератора порівнюється на фазовому детекторі з опорним сигналом, результат порівняння використовується для підстроювання керованого генератора.

Система ФАНЧ використовується для частотної модуляції та демодуляції, множення та перетворення частоти, частотної фільтрації, виділення опорного коливання для когерентного детектування та в інших цілях. ФАНЧ порівнює фази вхідного та опорного сигналів та виводить сигнал помилки, що відповідає різниці між цими фазами.

Сигнал помилки проходить далі через фільтр низьких частот і використовується як керуючий для генератора, керованого напругою (ГКН), що забезпечує негативний зворотний зв'язок. Якщо вихідна частота відхиляється від опорної, сигнал помилки збільшується, впливаючи на ГКН у бік зменшення помилки. У стані рівноваги вихідний сигнал фіксується на опорній частоті.

Принцип ФАНЧ використовується для множення частот у генераторі сигналів. Для цього проводиться розподіл вихідної частоти ГКН на ціле число  $N$  за допомогою цифрового програмованого дільника частоти, вихідний сигнал якого подається на фазовий детектор через ланцюг зворотного зв'язку (ФАНЧ із цілим множенням). У замкнутому контурі ФАНЧ вихідна частота  $f_{out}$ , таким чином, буде точно  $N$  разів більше вхідної частоти  $f_{in}$  опорного генератора.

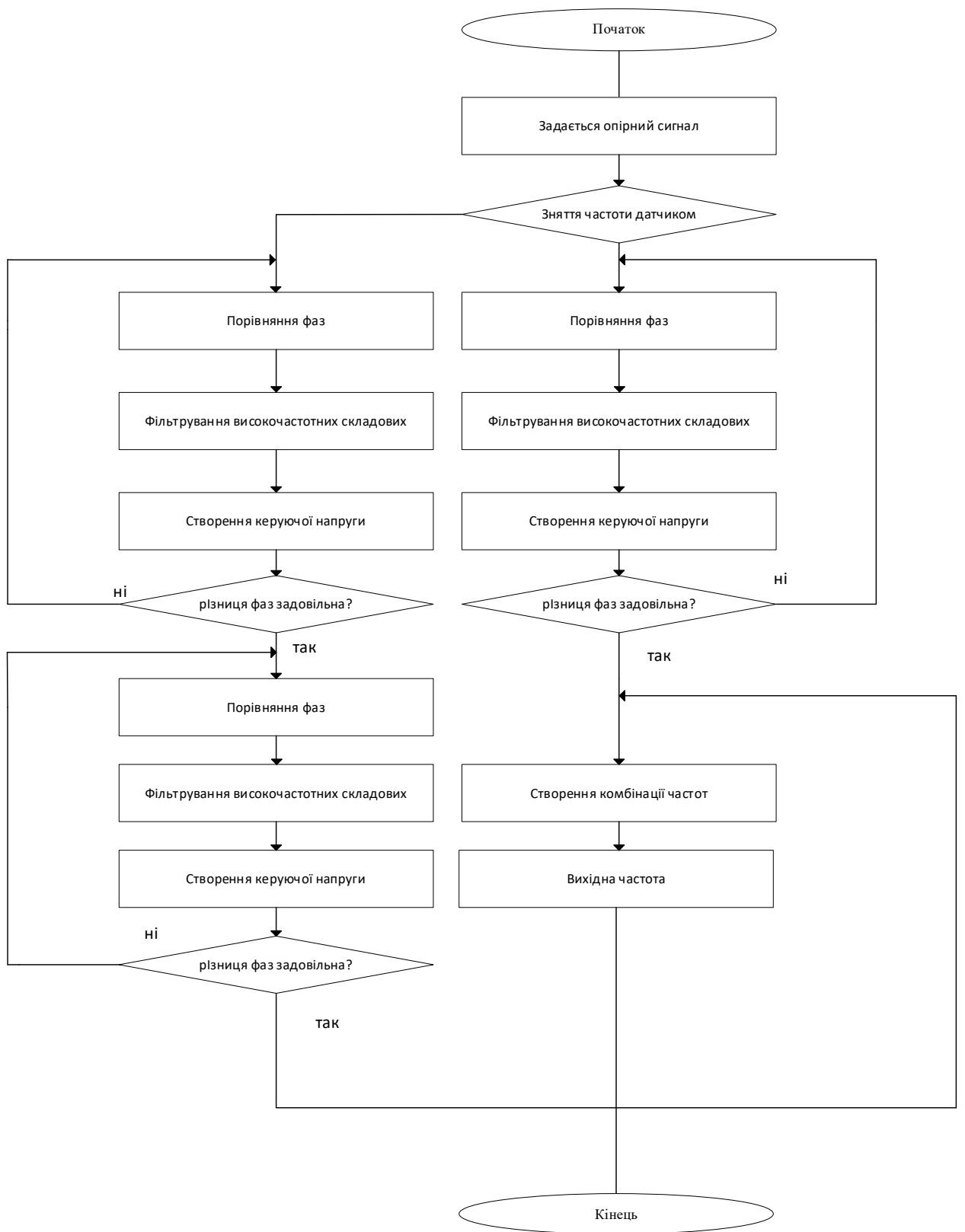


Рисунок 3.1 - Алгоритм функціонування синтезатора

### 3.2 Алгоритм функціонування автоматичного регулятора рівня

У разі роботи системи АРР, керуючий контур постійно підтримує вихідний сигнал на необхідному рівні. Управління реалізовано за допомогою спрямованого відгалужувача з відомим коефіцієнтом втрат, який використовується для передачі частини вихідного сигналу Детекторний діод. Підсилювач АРР в ланцюзі зворотного зв'язку порівнює опорну напругу  $V_{ref}$ , що дорівнює заданому вихідному рівню, з фактичним вихідною напругою  $V_{act}$ .

Виходячи з різниці між двома напругами, формується коригуюча постійна напруга для управління PIN-діодом. Система АРР дозволяє отримати дуже точне електронне ослаблення рівня.

Системи автоматичного регулювання посилення призначені для стабілізації рівня сигналу підсилювача. Необхідність в АРР обумовлена значним динамічним діапазоном сигналу на вході приймача, що без вжиття заходів щодо стабілізації рівня сигналу призвело б до перевантаження каскадів приймача та спотворення корисної амплітудної модуляції сигналу. Якщо вхід системи стеження надходить сигнал з таким динамічним діапазоном, це призведе до збільшення коефіцієнта посилення контуру і може бути причиною порушення стійкості.

Таким чином, система АРР потрібна для розширення динамічного діапазону, щоб уникнути перевантаження каскадів та спотворення амплітудної модуляції та забезпечити стійкість стежить системи.

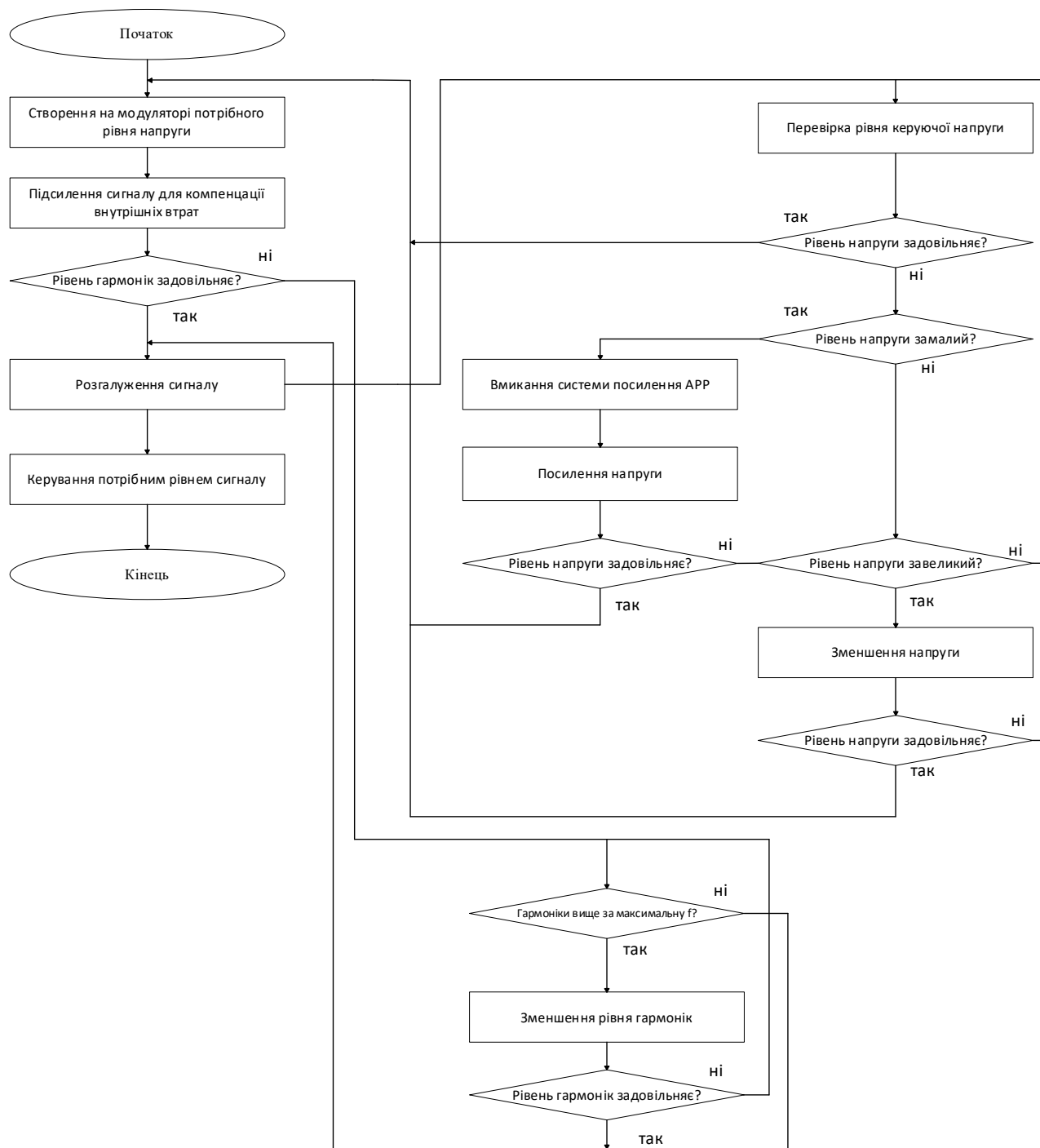


Рисунок 3.2 - алгоритм функціонування автоматичного регулятора рівня

## 4 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

### 4.1 СИНТЕЗАТОР

Перелік елементної бази

- 74НС86 - Чотири 2-х входових логічних елементи та "Виключає АБО"
  - Мікросхема КР193ІЕ6
  - Транзистор КТ315
  - Транзистор КТ3109
  - Транзистор КТ368
- 
- 74НС86. Забезпечує чотири незалежних, ексклюзивних 2 входи АБО зі стандартними двотактними виходами. Пристрій призначений для роботи в діапазоні живлення від 2,0 В до 6,0 Вольт.
  - КР193ІЕ6. Також цей виріб може називатися: КР-193ІЕ6, КР 193ІЕ6, kr193ієб, kr-193ієб, kr 193ієб. Мікросхеми КР193ІЕ6 широко застосовуються в різних електро-, радіо- та контрольно-вимірювальних приладах.
  - Транзистор КТ315 – кремнієвий, малопотужний, високочастотний біполярний транзистор з n-p-n структурою. Використовується у схемах підсилювачів високої, проміжної та низької частоти. Також може працювати у різних імпульсних схемах.
  - Транзистор КТ3109 - структури p-n-p, епітаксійно-планарний, кремнієвий, об'ємний. Коефіцієнт шуму нормований частоті 800 МГц. Використовується в селекторах телевізійних каналів як метрового, і дециметрового діапазонів.
  - Транзистор КТ368 – кремнієвий, малопотужний, високочастотний транзистор n-p-n структури. Застосовується у схемах посилення високої частот



6.172.00.02.442 ПЗ

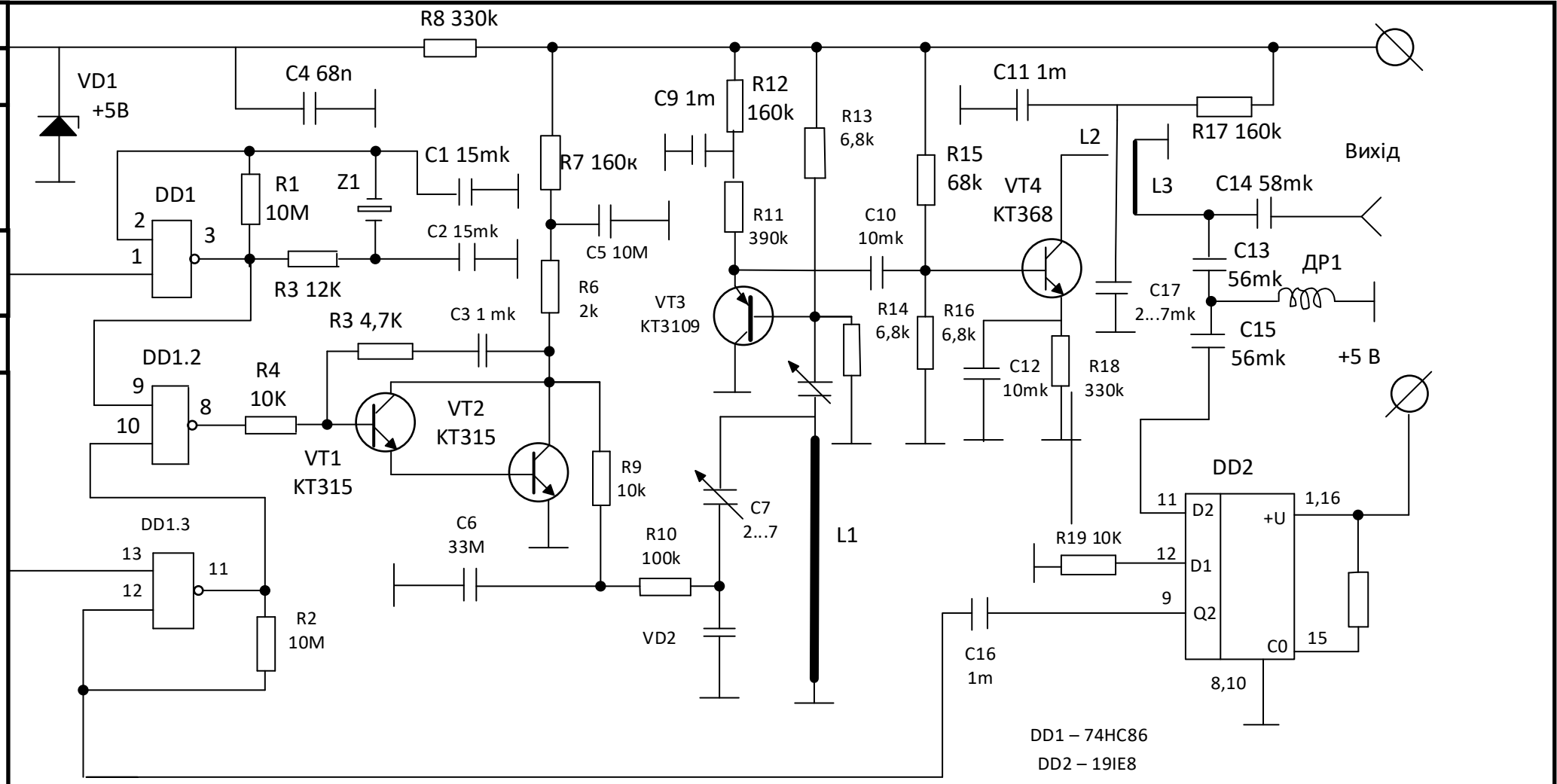


Рисунок 4.1 - принципова схема синтезатора

## 4.2 АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ(АРР)

Перелік елементної бази

- Операційний підсилювач TLO74CD
  - Кремнієвий транзистор BC817
  - Кремнієвий симетричний р-канальний польовий транзистор PMBFJ175
  - діод загального призначення BAS32
- 
- TLO74CD. Малошумний операційний підсилювач J-FET QUAD . TL074 є високошвидкісними операційними підсилювачами з J-FET вхідними квадроциклами, що містять добре поєднані високовольтні J-FET та біполярні транзистори в монолітній інтегральній схемі. Пристрої мають високі швидкості наростання, низькі вхідні струми зміщення та зміщення, а також низький температурний коефіцієнт напруги зміщення
  - Пристрої серії BC817 і BC818 – це кремнієві транзистори NPN, відлиті з епоксидної смоли в корпусі для поверхневого монтажу, призначені для комутацій загального призначення та підсилювачів.
  - PMBFJ175 - Кремнієві симетричні р-канальні польовий транзистор в пластикових мікромініатюрних оболонках SOT23. Вони призначені для застосування з аналоговими перемикачами, подрібнювачами, комутаторами тощо за технологією SMD. Особливістю є взаємозамінність з'єднань стоку і джерела
  - BAS32 - це діод загального призначення, виготовлений за планарною технологією та інкапсульований у пластиковий корпус SOD 323

					6.172.00.02.442 ПЗ	Лист
Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат		24

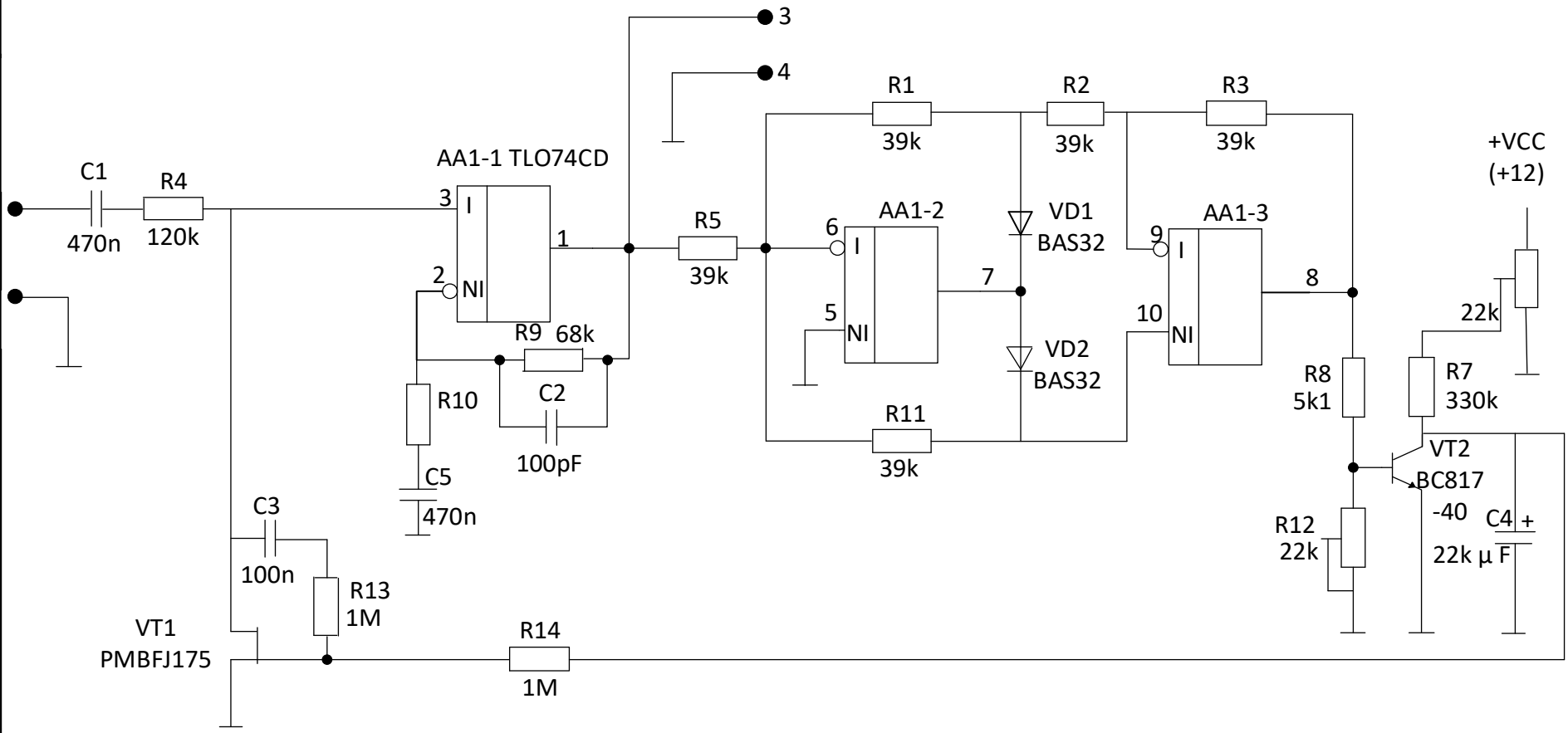


Рисунок 4.2 - Принципова схема автоматичного регулювання рівня

## 5 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 5.1 СИНТЕЗАТОР

$$f_{out} = f_{ref} * \left( \frac{N_1}{M} + N_2 \right)$$

Наприклад, якщо  $N_1 = 100$ ,  $M = 100$  і  $N_2 = 99$ , при опорній частоті  $f_{ref} = 10$  МГц за допомогою наведеної вище формули можна отримати значення вихідної частоти 1 ГГц ( $F_{out} = 1$  ГГц). Мінімальний крок за частотою дорівнює 100 кГц. Порівняно із системою ФАНЧ з рисунку 1.3, значно менші значення дільника призводять до зменшення фазового шуму вихідного сигналу. Крім того, з рівняння стає зрозуміло, що вибравши відповідні значення коефіцієнтів  $N_1$  і  $M$  в системі з декількома ФАНЧ можна отримати дробові значення вхідної частоти і, таким чином, дуже невеликі кроки по частоті.

Недоліком системи з декількома ФАНЧ є те, що для стабілізації вихідного сигналу потрібно очікувати захоплення всіх систем ФАНЧ, що дозволяє реалізувати дуже малі часи встановлення. В цілому, при розрахунку параметрів систем ФАНЧ з цілочисленним множенням, вимога до високого дозволу за частотою суперечить вимогам до чистоти спектру та короткому часу захоплення. Системи з декількома ФАПЛ дозволяють отримати малий крок по частоті за низького рівня фазового шуму. Проте час встановлення частоти в таких системах часто виявляється непридатним для багатьох додатків, таких як випробування на виробництві

Для отримання малого часу встановлення сучасні генератори сигналів містять дільник частоти в ланцюзі зворотного зв'язку ФАНЧ, який ділить частоту ГКН за допомогою набору коефіцієнтів дільника. Для цього постійно в часі змінюються коефіцієнт дільника із набору цілих чисел, щоб у середньому вийшло потрібне дробове число. Наприклад, для отримання числа 100,5, одну половину часу частота ділиться на 100, а решту половину часу – на 101.

У середньому виходить потрібне значення 100,5. Системи, що працюють за таким принципом, називаються системи ФАНЧ із дробовим коефіцієнтом множення або синтезатори з дрібним коефіцієнтом множення. Однак при такому підході на виході з'являються дробові частоти перешкод, які необхідно компенсувати або відфільтрувати, використовуючи відповідні заходи протидії (дельта-сигма метод). Синтезатори частот з дробовим множенням можуть забезпечити нескінченно малий крок по частоті при малому часу встановлення та дуже хорошій спектральній чистоті.

## 5.2 АМПЛІТУДНА МОДУЛЯЦІЯ

### Методи аналогової модуляції

При аналогових видах модуляції здійснюється безперервне оброблення таких аналогових сигналів, як голосові, музичні або відеосигнали без оцифровки значень сигналу передачі.

Існує два основні види аналогової модуляції: амплітудна модуляція та кутова модуляція. Всі інші методи аналогової модуляції є похідними цих двох методів модуляції. Всі інші методи аналогової модуляції є похідними двох методів модуляції. У таблиці 1 показано найважливіші види аналогової модуляції.

Вид модуляції	Скорочення
Амплітудна модуляція	АМ
Односмугова(з однією бічною смугою)	SSB-АМ (ОБС)
З частково пригніченою бічною смугою	VSB-АМ (ЧПБС)
З двома бічними смугами та пригніченою несучою	DSBSC-АМ (ДБС)
Частотна модуляція	FM(ЧМ)
Фазова модуляція	PM(ФМ)

При амплітудній модуляції (АМ) інформація з корисного сигналу безперервно перетворюється на коливання амплітуди переданого сигналу.

У процесі модуляції низькочастотний корисний сигнал з основної смуги частот перетворюється на діапазоні високих частот, що супроводжується появою нових частотних складових. Вони виникають у результаті твору модульованого корисного сигналу та коливання несучої. У разі лінійної амплітудної модуляції амплітуда коливань несучої лінійно змінюється з величиною корисного сигналу, так що з'являються лише складові першого порядку.

Основні сфери застосування амплітудної модуляції:

- Радіомовлення в різних діапазонах частот (довгі хвилі, середні хвилі, короткі хвилі)
- Телемовлення, залежно від стандарту мовлення
- Радіоаматорський зв'язок (в основному в зміненому форматі односмуговий модуляції)
- Аеронавігація (радіопеленгація та ОВЧ-радіомаяк)
- Зв'язок забезпечення польота

**ФУНКЦІЯ ЧАСУ ТА ЧАСТОТНИЙ СПЕКТР АМПЛІТУДНОГО СИГНАЛУ модуляції** На рисунку 5.1 ілюструється концепція амплітудної модуляції. Корисний сигнал  $v_s(t)$  з накладеною постійною напругою  $V_0$ , а також несучий сигнал  $v_c(t)$  подаються на амплітудний модулятор. На виході АМ-модулятора з'являється модуляційна складова  $v_{AM}(t)$ . Після модулювання постійна складова ( $V_0$ ) представляє складову несучого сигналу в модульованому сигналі.

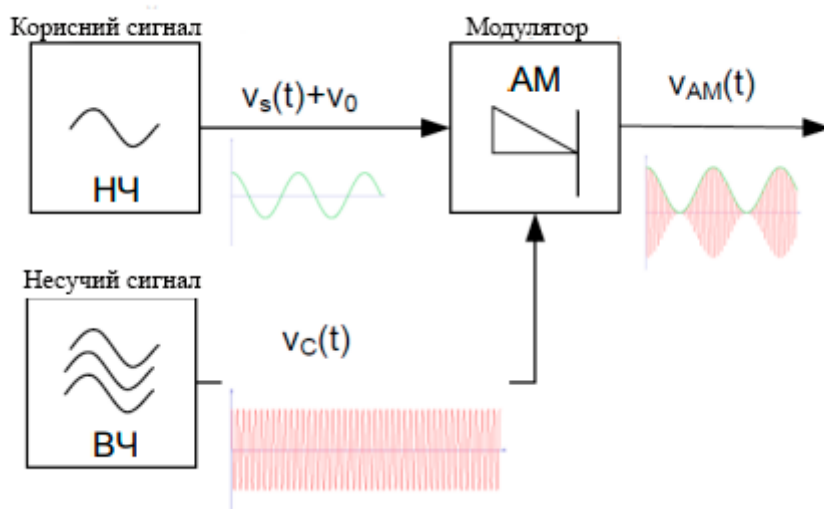


Рисунок 5.1 - Амплітудний модулятор

У модуляторі застосовується наступна передатна функція:

$$V_m(t) = V_{AM}(t) = (V_s(t) + V_0) * \frac{V_c(t)}{\hat{V}_c(t)}$$

Вплив амплітуди несучої перетворює постійну амплітуду  $v_c$  несучого колювання в залежну від часу амплітуду  $V_{AM}(t)$ . Нульове відлікове значення  $\hat{V}_c$  визначається постійною складовою  $V_0$ . Максимальне відхилення амплітуди  $\Delta \hat{V}_c$  пропорційно амплітуді  $V_s$  модулюючого сигналу.

Вплив, створюваний амплітудою несучого колювання можна описати так:  
 $V_{AM}(t) = V_c + \Delta \hat{V}_c * \cos(\omega_s t)$ .

де:

$\omega_s = 2\pi f_s$  – кругова частота.

Коефіцієнт (глибина) модуляції  $m$  визначає величину впливу модулюючого корисного сигналу на амплітуду несучого сигналу, що модулюється. Він визначається як відносна зміна амплітуди несучої

$$m = \frac{\Delta \hat{V}_c}{\hat{V}_c}$$

Наступне рівняння визначає функцію часу амплітудно-модульованого коливання:

$$V_{AM}(t) = \hat{V}_{AM}(t) * \cos \omega_c t = \hat{V}_c * (1 + m * \cos \omega_s t) * \cos \omega_c t$$

Це рівняння обумовлює тимчасову характеристику несучого сигналу, який промодульований корисним синусоїдальним сигналом з коефіцієнтом модуляції 60%, як показано на рисунку 5.2

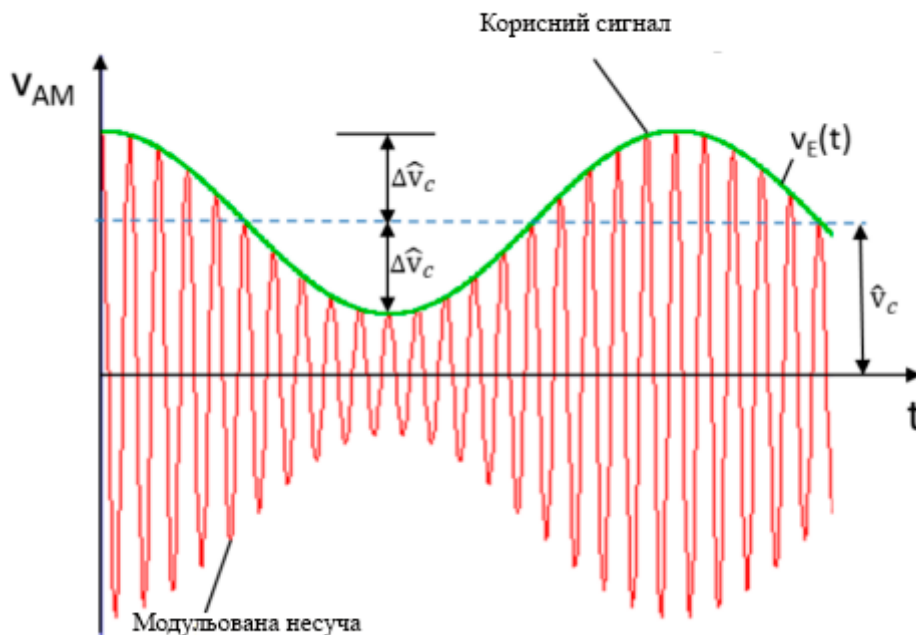


Рисунок 5.2 - Часові характеристики амплітудно-модульованого сигналу

Як правило, коефіцієнт модуляції лежить у межах від 0 до 1. При  $m = 0$  несе коливання немодульоване і передається лише несуча. За  $m = 1$  спостерігається 100-відсоткова амплітудна модуляція. Обмежуючі обгинальні корисних сигналів лежать з їхньої мінімумам. Перемодуляція спостерігається за  $m > 1$ . Вона

виникає, якщо на модуляторі є сигнал з більш високою амплітудою, ніж потрібно для режиму з  $m = 1$ . У цьому випадку виникають фазові зрушення, які призводять до спотворення корисного сигналу. Для запобігання цьому ефекту до виконання модуляції проводять обмеження амплітуди модулюючого сигналу.

Приймаючи  $\cos(\alpha) * \cos(\beta) = \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta)$ , можна математично перетворити наведене вище рівняння так:

$$V_{AM}(t) = \hat{V}_c * \cos \omega_c t + \hat{V}_c \frac{m}{2} * \cos(\omega_c + \omega_s)t + \hat{V}_c \frac{m}{2} * \cos(\omega_c - \omega_s)t$$

$\hat{V}_c * \cos \omega_c t$  – Несуче коливання

$\hat{V}_c \frac{m}{2} * \cos(\omega_c + \omega_s)t$  – Коливання верхньої бічної полоси

$\hat{V}_c \frac{m}{2} * \cos(\omega_c - \omega_s)t$  – Коливання нижньої бокової полоси

Видно, що модуляційна складова включає не лише несе коливання з частотою  $f_c$ , а й інші коливання частотах  $f_c+f_s$  і  $f_c-f_s$ . Амплітуда двох бічних модуляційних складових залежить від коефіцієнта модуляції  $m$ ; при 100%-вій АМ-модуляції ( $m = 1$ ) вона дорівнює половині амплітуди несучою  $\hat{V}_c$ . В результаті, амплітудно-модульоване коливання може бути представлено наступним малюнком у частотній області:

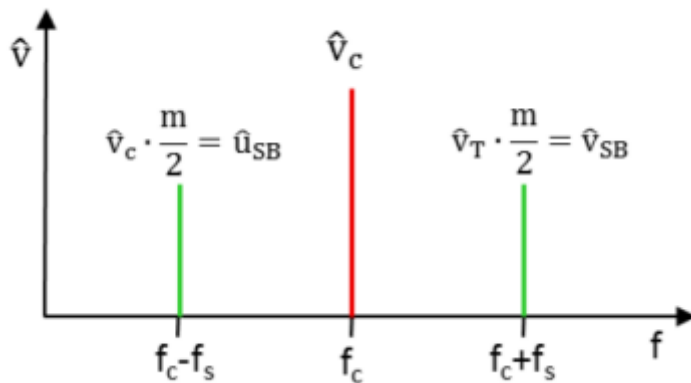


Рисунок 5.3 - Частотний спектр амплітудно-модульованого сигналу

Як видно з рисунку 5.3, коливання нижньої та верхньої бічних смуг розташовані симетрично щодо несучої частоти. Оскільки на практиці корисний сигнал (наприклад, музика або мова) містить смугу частот (від  $f_s \min$  до  $f_s \max$ ), а не одну частоту, у несучого сигналу є верхня бічна смуга (БПІ або USB) та нижня

бічна смуга (НБП або LSB), розташовані симетрично по обидва боки від нього. Смуга частот, необхідна передачі АМ-сигналу, визначається як:

$$B_{AM} = 2 * f_s \max$$

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат



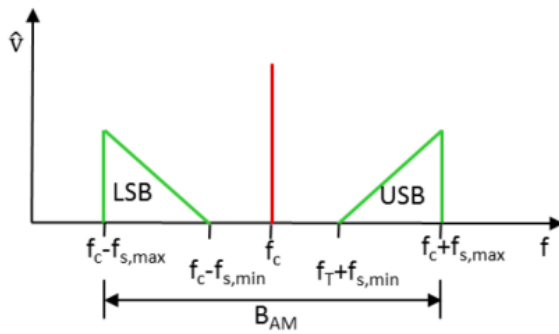


Рисунок 5.4 - Бічні смуги амплітудно-модульованого сигналу

На практиці коефіцієнт модуляції може бути визначений за часовою характеристикою або за частотним спектром. У першому випадку використовується осцилограф для визначення максимального та мінімального значень огинаючої у часовій області (рисунок 5.5), за цими значеннями коефіцієнт модуляції

розраховується так:

$$m = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}}$$

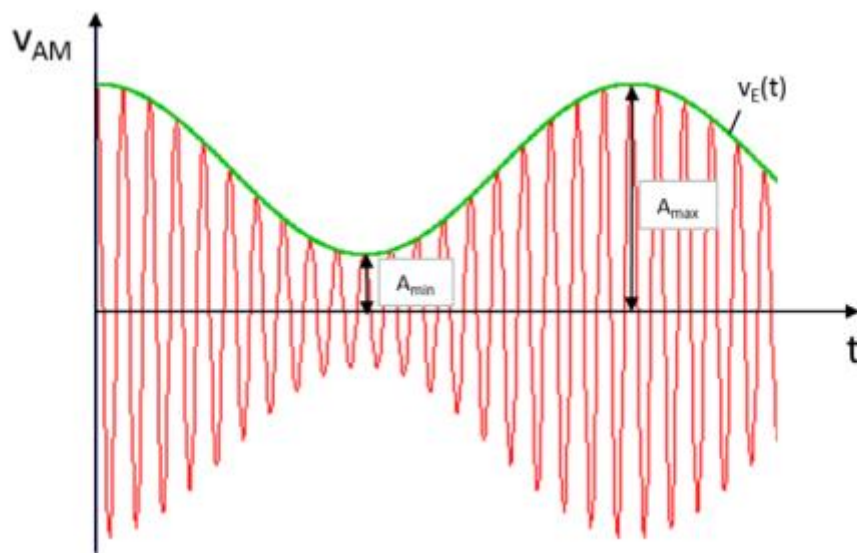


Рисунок 5.5 - Максимальне та мінімальне значення для амплітудно-модульованого сигналу

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат

У частотній ділянці коефіцієнт модуляції може бути розрахований таким чином:

$$m = 2 * \frac{\Delta \hat{V}_{SB}}{\hat{V}_c}$$

Зазвичай аналізатор спектру відображає амплітуди сигналу в логарифмічному масштабі. Коефіцієнт модуляції можна розрахувати за різницею  $\Delta L$  між рівнем несучої  $L_c$  та рівнем бічної смуги  $L_{SB}$  без переходу до лінійних значень.

$$m = 10 \left( \frac{6dB - \Delta L}{20dB} \right)$$

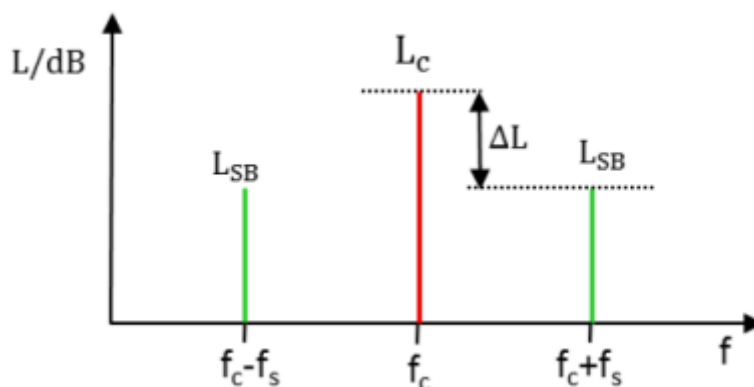
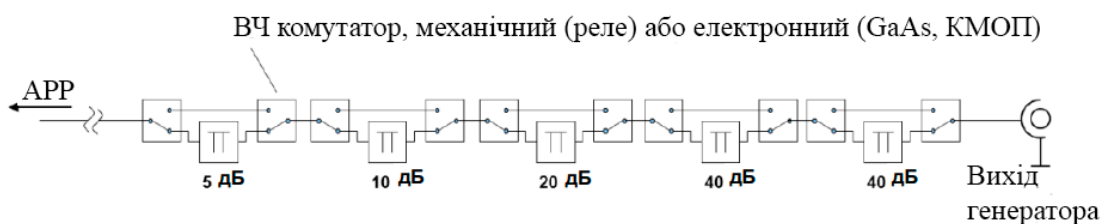


Рисунок 5.6 - Логарифмічний частотний спектр амплітудно-модульованого сигналу

### 5.3 Послаблення рівня за допомогою атенуюаторів

Оскільки ослаблення рівня, отримане за допомогою системи АРР, часто виявляється недостатнім для багатьох додатків, між системою АРР та виходом генератора сигналів міститься ступінчастий атенюатор. Декілька високоточних атенюаторів об'єднуються за допомогою ВЧ-комутаторів. Ступінчастий атенюатор конструюється таким чином, що він, в ідеалі, не повинен надавати будь-якого впливу сигнал, крім послаблення.



Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Рисунок 5.7 – Ступінчастий атенюатор з максимальним послабленням 115 дБ

У генераторах сигналів використовуються як механічні, і електронні ступінчасті атенюатори. У механічних атенюаторах роль ВЧ комутаторів грають реле. Їх перевагою є малі втрати, що вносяться, низький температурний дрейф і дуже хороший коефіцієнт стоячої хвилі напруги (КСХН). Крім того, тільки механічні ступінчасті атенюатори можуть використовуватись на частотах порядку декількох десятків ГГц. Недоліками таких атенюаторів є великий час перемикання та обмежена кількість комутацій (до кількох мільйонів). Тому вони мають обмежене застосування з виробництва.

Електронні ступінчасті атенюатори використовують напівпровідникові комутатори на основі GaAs або КМОП технології. Вони мають значно більш коротким часом перемикання і не схильні до механічного зносу. Їх Недоліком є значний температурний дрейф. механічними ступінчастими атенюаторами Електронні ступінчасті аттенюатори володіють також набагато більшими втратами, що вносяться, ніж

механічні. Для їх компенсації перед виходом генератора сигналів підсилювач потужності, що дозволяє отримати вищі вихідні рівні. Це негативно впливає на спектральну чистоту вихідного сигналу Так як втрати, що вносяться, завжди збільшуються зі зростанням частоти,

на практиці електронні ступінчасті атенюатори використовуються тільки з частотами до близько 6 ГГц для GaAs технології та близько 12 ГГц для КМОП.

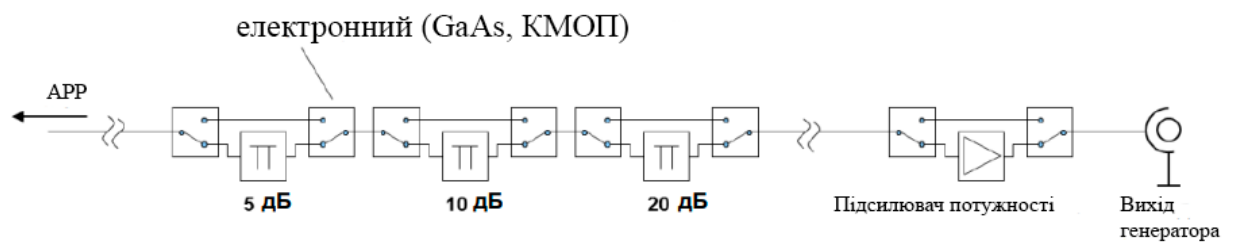


Рисунок 5.7 – Електронний ступінчастий атенюатор з наступним підсилювачем потужності

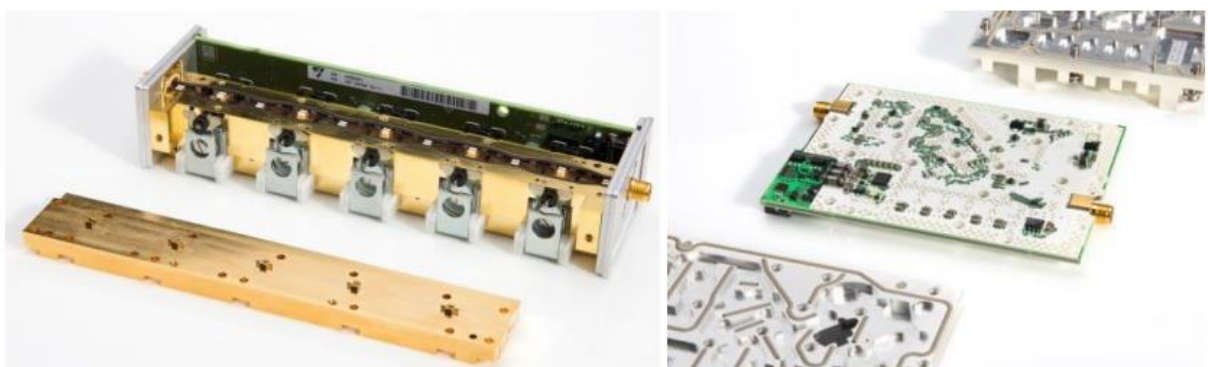


Рисунок 5.8 – Механічний ступінчастий атенюатор (ліворуч), електронний ступінчастий атенюатор (праворуч)

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат

відхилення рівня вихідного сигналу генератора сигналів для чотирьох різних частот

Порівняння механічного та Електронний атенюатор показує, що в середньому повне відхилення від заданого опорного рівня вище електронного ступінчастого атенюатора.

Тим не менш, у певному діапазоні рівнів точність установки рівня електронного ступінчастого атенюатора повністю відповідає механічному ступінчастому атенюатору. Криві для електронного ступінчастого атенюатора в нижній частині рисунки 5.9 демонструють постійний рівень у часі у всьому динамічному діапазон, що полегшує завдання компенсації відхилення.

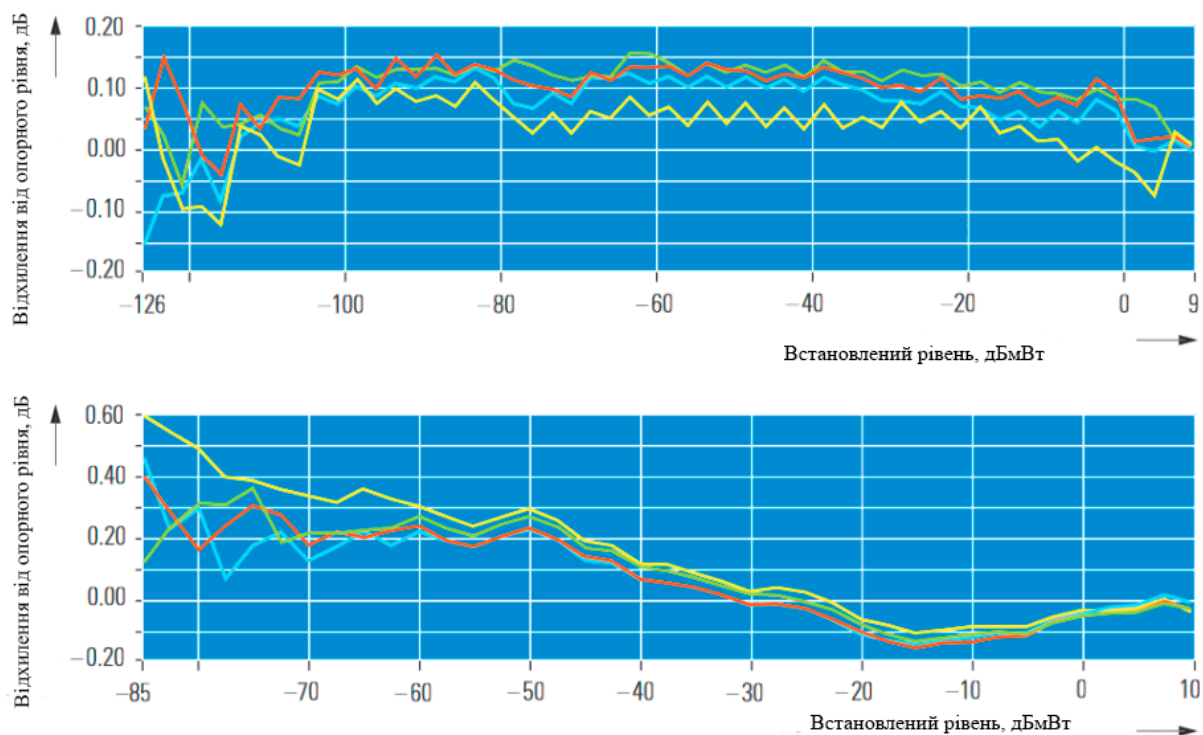


Рисунок 5.9 Виміряне відносне відхилення рівня вихідного сигналу від заданого рівня для механічного східчастого атенюатора (зверху) та електронного східчастого атенюатора (знизу). Синя крива: 89 МГц; червона крива: 900 МГц; зелена крива: 1,9 ГГц; жовта крива: 3,3 ГГц

Здебільшого генератори сигналів розроблені для 50-омних систем.

Для того щоб максимальна частина потужності, що генерується, передавалася в підключену навантаження , вихід генератора сигналів та вхідний імпеданс навантаження повинні бути максимально близькими до 50 Ом.

Гарне узгодження імпедансів забезпечується, лише за відсутності відбитих сигналів та мінімальної похибки узгодження.

$$E = \pm 20 \lg (1+r_G+r_L) \text{ dB}$$

де

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$r_G$  - коефіцієнт відображення генератора,

$r_L$  – коефіцієнт відбиття навантаження.

Будь-який вид передачі ВЧ-потужності відбувається між джерелом та навантаженням. Джерело та навантаження з'єднуються за допомогою стандартної лінії передачі, наприклад,

за допомогою коаксіального кабелю з хвильовим опором  $Z_0$

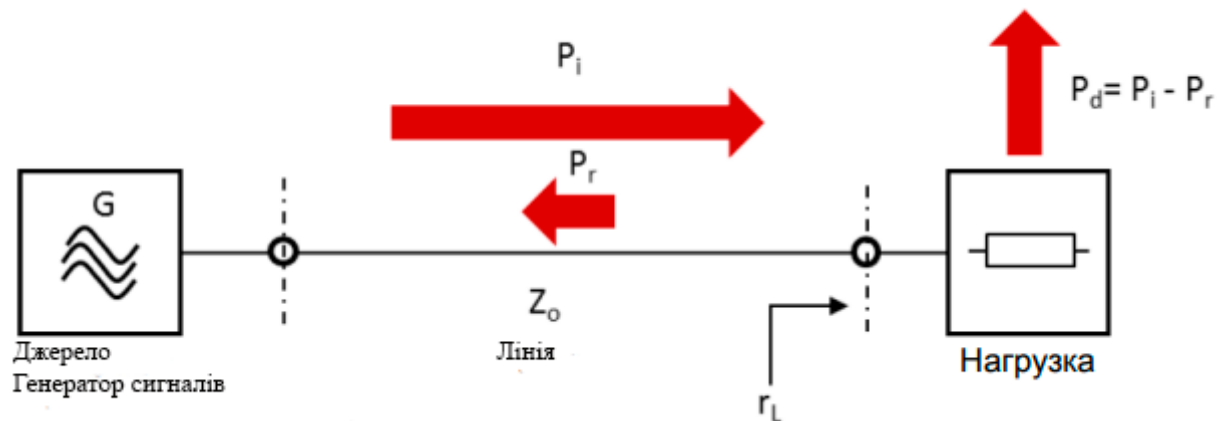


Рисунок 5.10 Потік потужності між джерелом та навантаженням

Джерело видає синусоїдальний сигнал із постійною амплітудою. Втратями в лінії передачі нехтуємо. Після завершення всіх перехідних процесів, залишаються лише дві плоскі хвилі. Одна поширюється від джерела у навантаження

(прямий напрям), а друга поширюється у протилежному напрямку (Зворотний напрям). Ці дві хвилі переносять падаючу потужність  $P_i$  і, як правило, меншу відбиту потужність  $P_r$ . Відношення  $P_r/P_i$  залежить тільки від якості узгодження навантаження та лінії.

Характеристика якості узгодження навантаження є коефіцієнт відображення  $r_L$ :

$$r_L = \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}$$

При ідеальному узгодженні імпедансів потужність від навантаження не відбивається ( $P_r = 0$ ). Отже,  $r_L = 0$ . Якщо відбивається вся потужність ( $P_r = P_i$ ), тоді  $r_L = 1$ . словами, значення коефіцієнта відображення завжди перебуває у діапазоні від 0 до 1. Найчастіше досить знати лише амплітуду коефіцієнта відбиття. Іноді необхідно також вказати фазовий кут  $\Phi_L$ . Амплітуду  $r_L$  і фазу  $\Phi_L$  потім можна використовувати для отримання комплексного коефіцієнта відображення  $\Gamma_L$

$$a_r = 20 \lg \frac{1}{r_L} dB$$

Як можна бачити на малюнку 1.65, у навантаження потрапляє лише різниця падаючої та відбитої міццю. Тому її також називають корисною

потужністю або поглиненою потужністю  $P_d$ :

$$P_d = P_i + P_r$$

У характеристиках виходу генератора сигналів часто вказують узгодження імпедансу, а чи не коефіцієнт відображення. Ще однією типовою характеристикою якості узгодження імпедансів є коефіцієнт стоячої хвилі за напругою (КСХН)

Визначення КСХН:

Інтерференційна картина, що виникає в результаті накладання падаючої та відбитої хвиль, називається стоячою хвилею. Її період дорівнює половині довжини

хвилі. У місцях, у яких напруга та струм обох хвиль знаходяться у фазі або у протифазі, формуються максимальні та мінімальні значення. Ставлення максимальних та мінімальних значень визначається амплітудою коефіцієнта відображення з боку навантаження. Пульсації  $s$  та екстремуми можна легко виміряти в лінії передачі. Замість терміну "пульсації" частіше використовують термін коефіцієнт стоячої хвилі за напругою (КСХН), або просто КСХ. На відміну від коефіцієнта

Відображення, КСХН обчислюється не як відношення потужностей, а як відношення максимального та мінімального значення напруги стоячої хвилі. Пульсації  $s$ , або КСХН обчислюються за такою формулою:

$$S = \text{КСХН} = \text{КСХ} = \frac{1+r_L}{1-r_L}$$

При узгодженні імпедансів, коли  $r_L = 0$ ,  $\text{КСХН} = 1$ . При повному відображенні, коли  $r_L = 1$ ,  $\text{КСХН} = \infty$ . Таким чином, діапазон значень для КСХН становить від 1 до  $\infty$

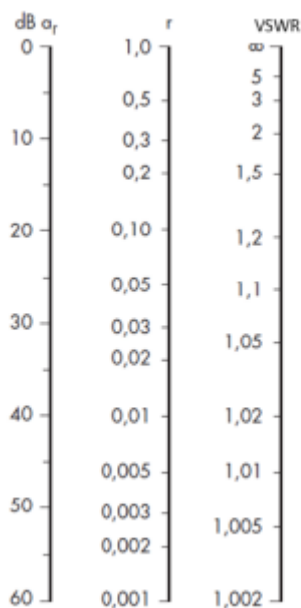


Рисунок 5.11 Таблиця перетворення для коефіцієнта відображення r, втрат на відображення αr коефіцієнта стоячої хвилі КСХН

Так як тип ступінчастого атенюатора, який використовується в генераторі сигналів, може впливати на узгодження генератора, значення КСХН зазвичай вказується для кількох конфігурацій пристрою. На рисунку 5.12 наведено приклад з технічних характеристик генератора

VSWR		
Output impedance VSWR in 50 Ω system, ALC state on		
С электронным ступенчатым аттенюатором → R&S®SMB-B101/-B102/-B103/ -B106/-B112	f > 200 kHz	< 1.6
Без ступенчатого → R&S®SMB-B112L/-B30	f > 200 kHz	< 2.0
С механическим ступенчатым аттенюатором → R&S®SMB-B120/-B140	1 MHz < f < 20 GHz	< 1.6 (meas.)
	20 GHz < f ≤ 40 GHz	< 1.8 (meas.)

Рисунок 5.12 Витяг з технічних характеристик генератора сигналів R&S®SMB100A У наступному прикладі обчислюється похибка узгодження генератора сигналів та підключеного навантаження .

Узгодження імпедансу для генератора:  $КСХН_G = 1,6$  (R&S

®SMB100A до 20 ГГц) Узгодження імпедансу для навантаження:  $КСХН_L = 1,7$

А отже маємо

$$r_G = \frac{КСХН_G - 1}{КСХН_G + 1} = \frac{1,6 - 1}{1,6 + 1} = 0,23$$

$$r_G = \frac{КСХН_L - 1}{КСХН_L + 1} = \frac{1,7 - 1}{1,7 + 1} = 0,26$$

Похибка узгодження обчислюється так:

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

$$\varepsilon = \pm 20 \lg (1 + r_G * r_L) dB = \pm 20 \lg (1 + 0,23 * 0,26) dB = \pm 0,5 dB$$

Наприклад, якщо потужність генератора +10 дБмВт (10 мВт), потужність на навантаженні через похибку узгодження перебуватиме в діапазоні від 9,5 дБмВт (8,91 мВт) до 10,5 дБмВт (11,22 мВт). Якщо похибка погодження для певного програми занадто велика, її можна зменшити за допомогою атенюатора (див. рисунок 5.13). Такий підхід, зрозуміло, застосовний, тільки якщо підсумкова потужність відповідає вимогам навантаження.

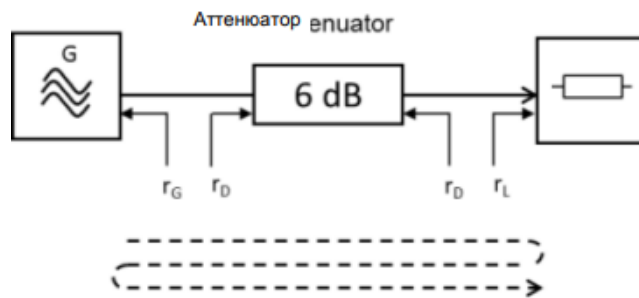


Рисунок 5.13 Поліпшення узгодження генератора за допомогою атенюатора

У наведеному вище прикладі зменшення похибки узгодження використовується атенюатор на 6 дБ:

$$\varepsilon = 20 \lg (1 + r_G * r_L * r_D^2) dB = 20 \lg (1 + 0,23 * 0,26 * 0,5^2) dB = 0,13 dB$$

$$\text{де } r_D = 10 \frac{a_D}{20 dB} = 10 \frac{-6 dB}{20 dB} = 0,5$$

Потужність на навантаженні через похибку узгодження перебуватиме в діапазоні

від 9,87 дБмВт (9,71 мВт) до 10,13 дБмВт (10,30 мВт).

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат
----	------	----------	-------	-----



## ВИСНОВОК

Генератори сигналів відіграють важливу роль при проведенні електро вимірювань та випробувань. Вони служать джерелами тестових сигналів, що подаються на такі випробувані компоненти, як фільтри, підсилювачі або навіть готові модулі з метою перевірити їхню роботу та вивчити їхню поведінку та характеристики. Крім формування однотональних сигналів, ключовою функцією генераторів сигналів є створення сигналів з аналоговою та цифровою модуляцією.

Генератор сигналів формує електричні сигнали із заданими часовими характеристиками. Залежно від типу генератора сигналів формується сигнал може змінюватися від простого синусоїдального, пилкоподібного та прямокутного до сигналу з аналоговою модуляцією

Генератор сигналів є дуже гнучким та одночас не дуже дорогим приладом для тестування приладів телекомунікації, особливість його полягає в тому що він може тестувати величезною кількістю сигналів , різної форми, тривалості та частоти. Більшості схем потрібен вхідний сигнал з амплітудою, що змінюється в часі. Такий сигнал може бути істинним біполярним сигналом змінного струму. Генератор сигналів може створювати ідеальні сигнали або додавати до сигналу відомі помилки або спотворення потрібної нам величини або типу .

Ця можливість є одним з головних переваг генератора сигналів, оскільки часто неможливо створити передбачувані спотворення в потрібному місці та в потрібний час за допомогою самої досліджуваної схеми.

Реакція досліджуваного пристрою на ці спотворення демонструє його здатність працювати в несприятливих умовах, що виходять межі нормального режиму. Тож використання генератора є потрібним та актуальним.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 [https://www.cmc.ca/wp-content/uploads/2019/07/RS\\_SMB100A\\_EducationalNote.pdf](https://www.cmc.ca/wp-content/uploads/2019/07/RS_SMB100A_EducationalNote.pdf)(Модуляція та генерація сигналів R&S®)
- 2 <https://www.alldatasheet.com>
- 3 [https://studme.org/131992/tehnika/sistema\\_fazovoy\\_avtopodstroyki\\_chastoty\\_fapch](https://studme.org/131992/tehnika/sistema_fazovoy_avtopodstroyki_chastoty_fapch)
- 4 <https://studfile.net/preview/9889278/page:14/>
- 5 <https://www.youtube.com/watch?v=MnS3XC2R1cY>
- 6 Артим А.Д Базова амплітудна модуляція генераторів у ключовому режимі
- 7 Tektronix Генератори сигналів від А до Я
- 8 Analog Devices. 1999. A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis (Технічний посібник із синтезу цифрових сигналів). 1999.
- 9 Texas Instruments. 1999. Fractional/Integer-N PLL Basics (Основи ФАНЧ). 1999. Technical Brief SWRA029.
- 10 Нижегородцев І.В., Протасова Т.О. Вплив шумів на завадостійкість телекомунікаційних систем передачі даних Фізика, електроніка, електротехніка (ФЕЕ-2021). Матеріали та програма міжнародної науково-технічної конференції студентів та молодих вчених, 19-23 квітня 2021 р. Суми, СумДУ, 2021. – С. 119-120
- 11 Нижегородцев І.В., Протасова Т.О. Генератор випадкових чисел для тестування пристроїв Фізика,Електроніка,Електротехніка ФЕЕ :: 2022 Матеріали програма міжнародної науково-технічної конференції студентів та молодих вчених, 18–22 квітня 2022 р. Суми, СумДУ, 2022. – С. 75

## ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Назва елементу	функція	кількість
KP1564ЛП5	Фазовий детектор	1
KP193IE6	Кварцовий резонатор	1
KT315	Транзистор	2
KT368	Транзистор	1
KT3109	Транзистор	1
BC817	Транзистор	1
TLO74CD	Підсилювач	3
PMBFJ175	Польовий транзистор	1
BAS32	Діод загального використання	1
Резистори(1к-1М)(10В-450В)	Резистори	32
Конденсатори(1 мкF-1mF)	Конденсатори	22
АТ-6S 6 dB	Аттенюатор	1

Ли	Змн.	№ докум.	Підп.	Дат

6.172.00.02.442 ПЕ

Лист

41