

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ФАКУЛЬТЕТ РАДІОФІЗИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Кафедра радіотехніки та радіоелектронних систем

До захисту допущено:

«На правах рукопису»

Завідувач кафедри _____ Ігор АНІСІМОВ

« __ » червня 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему:

«ГЕНЕРАТОР ШУМУ НА БАЗІ БІПОЛЯРНОГО NPN ТРАНЗИСТОРА BC547»

Виконав:

студент 4-го курсу

денної форми навчання

спеціальності 172 - Телекомунікації та радіотехніка

ОП «Інформаційна безпека телекомунікаційних систем і мереж»

Гончаренко Артем Віталійович _____

Науковий керівник:

к.т.н., с.н.с. Гахович Сергій Вікторович _____

Рецензент:

к.т.н., с.н.с. Охрамович Михайло Миколайович _____

Засвідчую, що у цій бакалаврській роботі

немає заповичень з праць інших авторів без

відповідних посилань

Студент _____

Робота допущена до захисту в ЕК рішенням кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем від «23» червня 2023 р., протокол № 22.

Завідувач кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем,

доктор фіз.-мат. наук, професор

Анісімов Ігор Олексійович _____

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
Актуальність теми.....	3
Мета і завдання дослідження.....	4
Об'єкт і предмет дослідження.....	5
Методи дослідження.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГЕНЕРАТОРІВ ШУМУ.....	6
1.1 Поняття шуму.....	6
1.2 Визначення та класифікація генераторів шуму.....	6
1.2 Принцип роботи генератора шуму.....	9
1.3 Характеристики генераторів шуму.....	10
1.4 Приклади застосування генераторів шуму.....	10
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ШУМУ НА ПРИКЛАДІ ГЕНЕРАТОРА ШУМОВИХ СИГНАЛІВ «МАРС-ТЗО-4-2».....	12
2.1 Опис генератора шумових сигналів «МАРС-ТЗО-4-2».....	12
2.2 Технічні характеристики генератора Генератор Шумових Сигналів «МАРС- ТЗО-4-2».....	13
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ СХЕМИ СХЕМИ ГЕНЕРАТОРА БІЛОГО ШУМУ.....	15
3.1 Вибір та обґрунтування компонентів.....	15
3.2 Аналіз схеми транзисторного генератора білого шуму.....	17
3.3 Релізація схеми у середовищі Multisim.....	19
3.4 Розробка друкованої плати у середовищі Altium Design.....	27
ВИСНОВОК.....	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

ВСТУП

В сучасному технологічному світі, прогрес електронних систем стає все більш значущим в різних сферах нашого життя. Від промисловості до особистого використання, електронні системи надають нам можливості, які раніше були недосяжними. Одним із ключових елементів цих систем є генератори шуму.

Генератори шуму використовуються в різних сферах: від радіотехніки до музичної індустрії, від наукових досліджень до медицини. Вони мають широке застосування, але їх використання часто обмежене технічними характеристиками.

У цьому контексті, актуальність генератора шуму є безперечною. Покращення їх технічних характеристик може відкрити нові можливості для їх використання і зробити їх більш ефективними в їх поточних областях застосування.

Актуальність теми

Генератори шуму є ключовими компонентами в багатьох сучасних технологічних системах, включаючи радіофізику, телекомунікаційні системи, акустику, електроніку, біомедичні дослідження та інше. Шум, створюваний такими генераторами, може бути використаний для різних цілей, включаючи тестування та налагодження обладнання, маскування сигналів, покращення передачі сигналу і в більш широкому контексті – в криптографії для генерації випадкових чисел.

Сучасний світ швидко розвивається в напрямку все більшого використання цифрових технологій, що призводить до зростання потреби в надійних генераторах шуму. Вони є невід'ємною частиною розробки та вдосконалення багатьох систем, зокрема в області комунікацій, де вони допомагають в оцінці стійкості систем до шуму та визначенні їхнього оптимального рівня роботи.

Також важливістю розробки генераторів шуму можна пояснити актуальність в біомедицинській сфері, де вони можуть використовуватися для симуляції різних

біологічних процесів та біомедицинських сигналів, що включають шум, для дослідження явищ, які пов'язані з шумом, таких як стохастична резонанс.

Окрім того, важливість генераторів шуму в криптографії також не можна недооцінювати, оскільки вони використовуються для генерації випадкових чисел, що є основою для створення безпечних криптографічних ключів.

Отже, актуальність теми "Реалізації генератора шуму" визначається широким спектром їх застосування, великим потенціалом для подальших наукових та технічних досліджень, а також важливістю вдосконалення та оптимізації цих пристроїв для різних сфер застосування.

Мета і завдання дослідження

Метою цієї дипломної роботи є розробка та реалізація функціонального генератора шуму, здатного генерувати білий шум з рівномірним спектром. Це включає розробку та аналіз схеми генератора, вибір та обґрунтування компонентів, реалізацію схеми у віртуальному середовищі, а також розробку друкованої плати.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

1. Провести дослідження та аналіз теоретичних аспектів генераторів шуму, включаючи визначення поняття шуму, класифікацію генераторів шуму, принципи генерації шуму, основні параметри генераторів шуму та їх застосування.

2. Провести аналіз сучасних генераторів шуму, зокрема генератора шумових сигналів "МАРС-ТЗО-4-2", щоб отримати детальну інформацію про їх характеристики та принципи роботи.

3. Розробити та проаналізувати схему транзисторного генератора білого шуму, вибрати і обґрунтувати компоненти для його реалізації.

4. Реалізувати схему генератора у віртуальному середовищі, такому як Multisim, для перевірки її роботи та визначення можливих проблем.

5. Розробити друковану плату для фізичної реалізації генератора за допомогою інструментів, таких як Altium Design.

6. Підготувати висновки на основі отриманих результатів, а також рекомендації щодо можливих шляхів подальшого вдосконалення та оптимізації розробленого генератора шуму.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження в цій дипломній роботі є генератори шуму – пристрої, що використовуються в широкому спектрі технічних застосувань, включаючи радіофізику, телекомунікаційні системи, акустику, електроніку, біомедицину і криптографію. Генератори шуму генерують випадковий сигнал, який має специфічні характеристики і який може бути використаний для різних цілей, від тестування обладнання до маскування сигналів та генерації випадкових чисел.

Предметом дослідження є процеси генерації шуму в генераторах шуму, а також методи та засоби для розробки та реалізації цих генераторів. Це включає в себе розуміння теоретичних основ генерації шуму, аналіз різних видів генераторів шуму та їх характеристик, розробку схеми генератора шуму, вибір та обґрунтування компонентів, реалізацію схеми в віртуальному середовищі, розробку друкованої плати, а також аналіз результатів та формулювання висновків та рекомендацій.

Методи дослідження

У даній дипломній роботі використовуються різноманітні методи дослідження для досягнення мети та виконання завдань, серед яких:

1. Теоретичний аналіз: цей метод включає вивчення наукової літератури, статей, технічних документів та інших ресурсів, що стосуються генераторів шуму, їх видів, принципів роботи, основних параметрів та застосувань. Це дозволить отримати глибоке розуміння теми.

2. Комп'ютерне моделювання: за допомогою програмного забезпечення для схемотехніки, такого як Multisim, буде створена та аналізована віртуальна схема

транзисторного генератора білого шуму. Це дозволить перевірити роботу генератора перед його фізичною реалізацією.

3. Проектування та виготовлення: засобами Altium Design буде розроблено друковану плату.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГЕНЕРАТОРІВ ШУМУ

1.1 Поняття шуму

Шум в контексті генераторів шуму - це термін, який використовується для опису випадкового, непередбачуваного сигналу, який не має виразної періодичності або явної структури. Шум часто визначається як небажана складова в сигналах, але він також може мати корисне застосування в різних областях [1].

Шум може бути аналоговим або цифровим. Аналоговий шум є неперервним в часі, тоді як цифровий шум представлений в дискретній формі. Ці види шуму можуть виникати в різних частинах електронної системи і впливати на її функціональність та ефективність.

За способом поширення шум поділяється на внутрішній та зовнішній. Внутрішній шум зазвичай генерується всередині електронних компонентів, наприклад, через тепловий шум або шум флуктуації. Зовнішній шум може виникнути внаслідок електромагнітного випромінювання або інтерференції.

Таким чином, поняття шуму в широкому сенсі включає в себе будь-який випадковий, непередбачуваний сигнал, який може виникнути в системі або бути спеціально сгенерованим для конкретних застосувань[2].

1.2 Визначення та класифікація генераторів шуму

Генератори шуму є електронними пристроями, які створюють випадкові електричні сигнали, що нагадують шум. Вони широко застосовуються в різних

галузях, включаючи електроніку, телекомунікації, радіосв'язок, медичну діагностику, наукові дослідження та інші.

В залежності від принципу роботи та способу генерації шуму, виділяють різні типи генераторів шуму[3]. Основні види генераторів шуму включають:

1. Термічні генератори шуму: Цей тип генераторів шуму базується на явищі теплового руху електронів у провідниках та елементах. Такий шум, відомий як термічний шум або шум Джонсона-Найквіста, має спектр, що описується розподілом Релея. Термічні генератори шуму використовують резистори або напівпровідникові пристрої, такі як діоди, як шумові джерела.

2. Інжекційні генератори шуму: Ці генератори шуму генерують шумові сигнали на основі інжекційного шуму, який виникає при проходженні струму через напівпровідникові з'єднання, такі як р-n-перехід або транзистори. Інжекційний шум є результатом випадкових флуктуацій струму або напруги в цих з'єднаннях. Генератори шуму на основі інжекційного шуму зазвичай використовуються в високочастотних пристроях і системах зв'язку.

3. Шум, зумовлений випроміненням: Цей тип шуму виникає внаслідок електромагнітного випромінювання провідників або елементів пристроїв. Рух електронів у провідниках та їх взаємодія з оточуючим середовищем можуть призводити до випромінювання шумових сигналів. Випромінювання шуму може бути нежаданим ефектом у радіочастотних пристроях, але його також можна використовувати для генерації шумових сигналів.

4. Шум, зумовлений кінцевістю: Цей тип шуму виникає через обмежену точність елементів пристрою або невидимі фізичні процеси. Наприклад, ампліфікатори, операційні підсилювачі та інші компоненти можуть мати відхилення від ідеальної характеристики, що призводить до шуму, зумовленого кінцевістю. Цей тип шуму може бути особливо помітним при низьких рівнях вхідного сигналу.

Використання різних типів генераторів шуму залежить від конкретного застосування та вимог щодо спектральних характеристик, рівня шуму, діапазону частот тощо. Комбінація цих різних типів генераторів шуму може бути використана

для отримання необхідного рівня шуму та спектральної характеристики для конкретних додатків.

Генератор шуму, як вже було зазначено, є пристроєм, що виробляє сигнал, який містить велику кількість частот, розподілених випадковим або псевдовипадковим чином. Вони класифікуються за різними параметрами, які включають тип шуму, спосіб генерації шуму, діапазон частот, спектральну щільність потужності шуму, і так далі.

За типом шуму, генератори можуть виробляти білий, рожевий, коричневий (або червоний) та чорний шум. Кожен з цих типів характеризується власною спектральною щільністю потужності [4].

Білий шум має рівну спектральну щільність на всьому діапазоні частот, що означає, що всі частоти присутні в однаковій мірі. Це робить білий шум ідеальним для широкого спектра застосувань, включаючи вимірювання та тестування систем.

Рожевий шум, відомий також як шум $1/f$, має спектральну щільність, що зменшується зі збільшенням частоти. Це робить рожевий шум корисним для акустичних вимірювань, де переважають низькі частоти.

Коричневий (або червоний) шум названий на честь Роберта Брауна, вченого, який вперше описав цей феномен. Шум має спектральну щільність, яка обернено пропорційна квадрату частоти, тобто щільність потужності зменшується зі збільшенням частоти. Цей тип шуму часто зустрічається в природі і має властивість "запам'ятовувати" свої попередні стани.

Чорний шум, також відомий як шум Броунівського руху, має спектральну щільність, яка обернено пропорційна кубу частоти. Цей тип шуму є дуже низькочастотним і рідко використовується в практичних застосуваннях.

Найпоширеніші версії - білий і рожевий. Білий шум складається з випадкового розподілу всіх чутних частот рівної амплітуди між будь-якими рівними смугами частот. Білий шум має тенденцію звучати як шипіння або статика. Рожевий шум складається з випадкового розподілу всіх чутних частот рівної амплітуди між будь-якими октавами (Рис. 1). Рожевий шум більше схожий на легкий подих вітру.

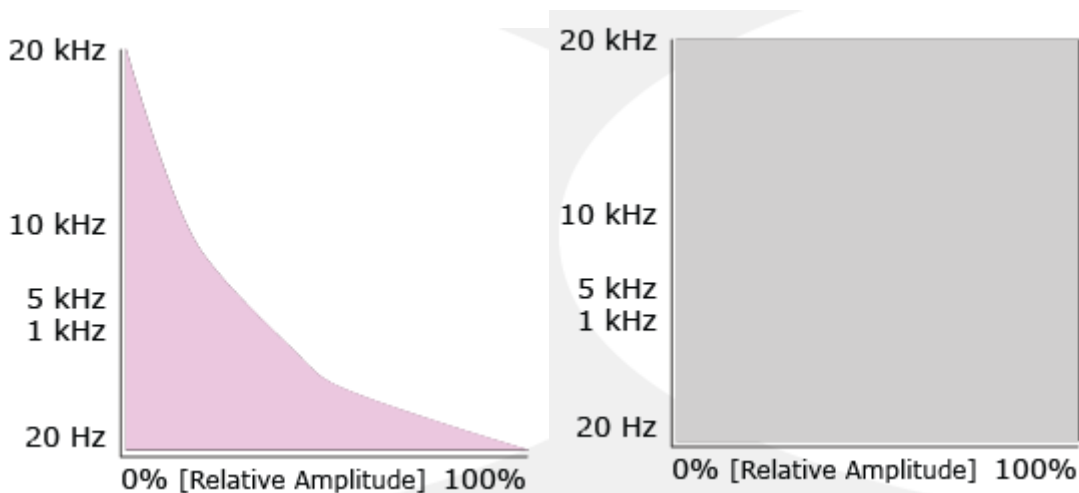


Рис.1. Рожевий та білий шум

1.2 Принцип роботи генератора шуму

Принцип роботи генератора шуму залежить від його типу. Для активних генераторів шуму основою є електронні компоненти, такі як транзистори, які використовуються для створення шумового сигналу. Це може бути досягнуто через різні механізми, такі як шум базового струму в транзисторах, шум напруги в резисторах, і так далі.

Наприклад, в транзисторах, шум базового струму виникає внаслідок випадкових флуктуацій в кількості носіїв заряду, що перетинають базу. Ці флуктуації переносяться на вихідний сигнал, створюючи шум

Шум напруги в резисторах виникає внаслідок теплового шуму. Коли напруга прикладається до резистора, вільні електрони в матеріалі резистора починають випадково рухатися, створюючи шумовий сигнал.

У пасивних генераторах шуму, таких як термічний шумовий діод або шум дроту, шумовий сигнал генерується через випадкові флуктуації фізичних величин. Наприклад, в термічному шумовому діоді, шум виникає внаслідок випадкових флуктуацій в кількості носіїв заряду, що перетинають p-n перехід. У шумі дроту, шум виникає внаслідок випадкових флуктуацій в кількості вільних електронів в дроті.

1.3 Характеристики генераторів шуму

Генератори шуму характеризуються рядом параметрів, включаючи спектральну щільність потужності шуму, діапазон частот, якість шуму (якість шуму вимірюється відношенням сигнал/шум) та стабільністю шуму.

Спектральна щільність потужності шуму вимірює потужність шуму на одиницю частоти. Вона визначає, наскільки шумовий сигнал "розмитий" по спектру частот. Чим вища спектральна щільність потужності, тим ширший діапазон частот покриває сигнал.

Діапазон частот вказує на діапазон частот, в якому генерується шум. Для більшості застосувань важливо, щоб шум був рівномірно розподілений по всьому діапазону частот, хоча деякі застосування можуть вимагати шуму з певними спектральними характеристиками.

Якість шуму вимірюється відношенням сигнал/шум. Чим вище це відношення, тим краще якість шуму. Важливо відзначити, що в контексті генераторів шуму, "висока якість" означає, що шумовий сигнал має мало або жодних спектральних "дірок" або піків, що робить його ідеально підходящим для вимірювань та тестувань систем.

Стабільність шуму визначає, наскільки стабільно генерується шумовий сигнал. Це важливо для деяких застосувань, таких як тестування систем, де невеликі зміни в шумовому сигналі можуть значно вплинути на результати.

1.4 Приклади застосування генераторів шуму

Генератори шуму мають широкий спектр застосувань у різних галузях. Вони використовуються для тестування та вимірювання різних електронних пристроїв, таких як підсилювачі, фільтри, аналогові та цифрові пристрої, радіоапаратура тощо. Генератори шуму дозволяють оцінити чутливість, шумові характеристики, динамічний діапазон та інші параметри пристроїв.

Також вони використовуються для створення контрольованого шуму для шумопідавлення в системах звукового зв'язку, аудіозапису та акустичних

вимірюваннях. Генератори шуму можуть додавати шум до сигналу для поліпшення якості звуку та зниження ефектів спотворень та інтерференції.

Крім того, генератори шуму застосовуються в комунікаційних системах для симуляції реальних шумових умов передачі сигналів. Вони дозволяють тестувати та налаштовувати системи передачі сигналів, оцінювати ефективність системи в умовах шуму та забезпечувати надійну передачу даних.

Вони знаходять застосування в медичній діагностиці, де вони використовуються для оцінки чутливості та ефективності медичних пристроїв, таких як електрокардіографи, енцефалографи, спірометри та інші. Вони дозволяють створювати контрольований шумовий сигнал для тестування та калібрування пристроїв.

Також генератори шуму широко використовуються в наукових дослідженнях, включаючи фізику, електроніку, астрономію, біологію та інші галузі. Вони дозволяють генерувати шумові сигнали, які використовуються для дослідження властивостей різних систем, аналізу спектральних характеристик та моделювання природних процесів.

Їх застосовують в криптографії для генерації випадкових чисел та ключів шифрування, забезпечуючи високий рівень випадковості та непередбачуваності, що є важливим для забезпечення безпеки та конфіденційності інформації.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ШУМУ НА ПРИКЛАДІ ГЕНЕРАТОРА ШУМОВИХ СИГНАЛІВ «МАРС-ТЗО-4-2»

2.1 Опис генератора шумових сигналів «МАРС-ТЗО-4-2»

Генератор шумових сигналів "МАРС-ТЗО-4-2" є пристроєм, який призначений для створення шумових сигналів у діапазоні частот від 180 Гц до 5600 Гц (Рис. 2). Цей генератор шуму використовується в системах активного захисту інформації для запобігання витоку даних з об'єктів через акустичні та віброакустичні канали. Генератор має два незалежні канали, які формують окремі шумові сигнали [5].



Рис. 2. МАРС-ТЗО-4-2

Генератор забезпечує наступні можливості [5]:

- Передачу заданого рівня віброприскорення в усьому діапазоні частот шумового сигналу від підключених вібровипромінювачів до будівельних конструкцій захищеного об'єкту.
- Створення заданого рівня шумового акустичного поля від підключених акустичних колонок.
- Регулювання загального рівня шумових сигналів на виходах генератора.
- Регулювання рівня шумових сигналів на верхніх і нижніх частотах.

- Індикацію рівня вихідного сигналу кожного каналу за допомогою десятисегментного індикатора.

- Вимірювання та індикацію рівня зашумленості за допомогою десятисегментного індикатора.

2.2 Технічні характеристики генератора Генератор Шумових Сигналів «МАРС-ТЗО-4-2»

Технічні характеристики [5]:

- Діапазон частот шумового сигналу - від 180 Гц до 5600 Гц.
- Ефективне значення вихідної напруги кожного каналу на опорі навантаження 4 Ом - не менше 3,5 В.
- Віброприскорення, що передається від вібровипромінювача ВИ4 ізольованій масі 10 кг в усій смузі
 - шумового сигналу, - не менше 50 дБ.
 - Звуковий тиск, що створюється колонками акустичними захищеними «МАРС-АКЗ» у вільному полі на відстані 1 м в діапазоні робочих частот, - не менше 80 дБ.
- Глибина регулювання рівнів шумових сигналів на виходах - не менше 20 дБ.
- Режим роботи - безперервний.
- Середнє напрацювання на відмову - 10000 ч.
- Споживана потужність - не більше 40 ВА;
- Напруга живлення генератора - від 100 В до 240 В частотою 50, 60 Гц;
- Габаритні розміри - не більше 225 мм x 142 мм x 48 мм;
- Маса - не більше 1,5 кг.

Умови експлуатації: Діапазон робочих температур - від 5 °С до 40 °С, діапазон зберігання - від мінус 10 °С до плюс 50 °С.

Додаткові відомості: Генератор має додаткове джерело живлення + 5 В, вихід якого виведений на задню панель, для формування провідної системи контролю зони, що охороняється. У генераторі передбачено пломбування зовнішніх елементів регулювання параметрів шумового сигналу. Генератор випускається серійно за технічними умовами ТУ У 31.6-14309379-006-2004, які погоджені з Державною службою спеціального зв'язку та захисту інформації (ДССЗІ) України і зареєстровані в Укрметртестстандарті. Генератор має сертифікат відповідності, виданий органом з сертифікації УКРСЕРТКОМП'ЮТЕР м. Києва і зареєстрований в реєстрі за UA1.017.00966464-1. [5]

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ СХЕМИ СХЕМИ ГЕНЕРАТОРА БІЛОГО ШУМУ

3.1 Вибір та обґрунтування компонентів

В цій дипломній роботі ми опишемо просту схему генератора білого шуму. Ця схема може використовувати частоту до 100 кГц.

Проста схема генератора білого шуму розроблена навколо біполярного транзистора NPN загального призначення BC547 [6]. Його три контакти розташовані як колектор, база та емітер (Рис. 3)

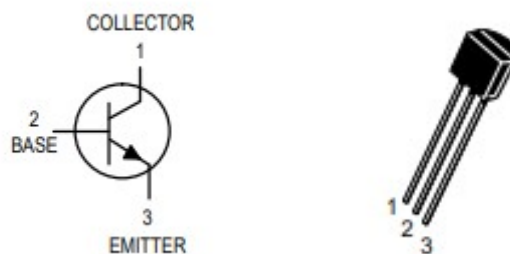


Рис. 3. Спрощена схема транзистора BC547

Основною причиною вибору BC547 є:

- 1) Високе посилення постійного струму (800 макс.).
- 2) Дешевизна і легкодоступність
- 3) Низький базовий струм (макс. 5 мА).
- 4) База-емітер становить близько 6 В, а напруга колектор-емітер становить близько 65 В.

Для створення шуму тут використовується діод Зенера (Рис. 4) [4].

Стабілітрони (діоди Зенера) - це напівпровідникові прилади, які пропускають струм в обох напрямках, але спеціалізуються на проходженні струму в зворотному напрямку. Також відомі як пробивні діоди, стабілітрони є найпоширенішими електронними компонентами, що використовуються як джерела стабільної напруги для електронних схем.

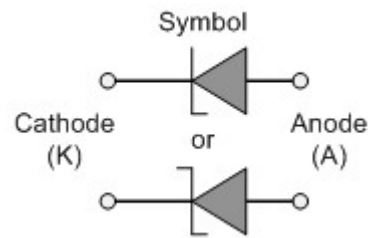


Рис. 4. Діод Зенера

Вибираючи стабілітрон, слід враховувати кілька міркувань:

- Напруга пробою стабілітрона має бути менше напруги джерела живлення.
- Якщо напруга джерела живлення становить від 12 В до 15 В, напруга пробою стабілітрона становитиме 6,8 В.
- Якщо напруга джерела живлення становить від 9 В до 12 В, то напруга пробою стабілітрона буде менше 6 В.

Компоненти, необхідні для простої схеми генератора білого шуму:

Резистори:

$$R1, R15, R17 = 2k\Omega$$

$$R2 = 330\Omega$$

$$R3 = 6.8k\Omega$$

$$R4 = 100k\Omega$$

$$R5, R14, R16 = 200k\Omega$$

$$R6 = 470k\Omega$$

$$R7 = 330\Omega$$

$$R8 = 100\Omega$$

$$R9, R12 = 1M\Omega$$

$$R10 = 20\Omega$$

$$R11 = 200\Omega$$

$$R13 = 1k\Omega$$

$$VR1 = 10K \text{ Потенціометр}$$

Конденсатори:

$C1 = 1000\mu\text{F}, 25\text{V}$

$C2, C5, C8, C10, C12 = 100\text{nF}$

$C3 = 1\text{nF}$

$C4, C6 = 470\mu\text{F}, 25\text{V}$

$C7, C9, C11 = 100\mu\text{F}, 25\text{V}$

Напівпровідники:

$Q1 - Q3 = \text{BC547}$

$ZD1 = 6.8\text{V}$ Діод Зенера

$LED1 = 5\text{mm color LED}$

Інше:

$SW1 - SW4 = \text{ON/OFF}$ Перемикач або 4-канальний DIP-перемикач

Роз'єм для входу та виходу

3.2 Аналіз схеми транзисторного генератора білого шуму

Аналізуючи принципову схему генератору білого шуму (Рис. 5) ми бачимо, що струм через стабілітрон відповідає за генерацію шуму. Тут для керування струмом через стабілітрон використовуються чотири перемикачі для вибору необхідного струму та отримання бажаної потужності шуму.

Вихід шуму стабілітрона подається на базу транзистора Q1. Оскільки вхід загального колектора повинен мати високий вхідний опір, а вихід повинен мати низький опір. При дуже низькому струмі стабілітрон створює дуже високий опір на вхідній стороні транзистора Q1. На виході немає зовнішнього опору, тому опір дуже низький. Коефіцієнт підсилення підсилювача із загальним колектором дорівнює одиниці. Тому вихід транзистора Q1 такий же, як і вхідний підсилювач шуму. Таким чином, можна також сказати, що вихід транзистора Q1 є буфером вхідного шуму.

Якщо нам потрібно посилити білий шум, ми повинні додати додатковий підсилювальний каскад.

У другій схемі ми додатково додаємо підсилювач, побудований навколо транзисторів Q2 і Q3, як показано на рисунку нижче. Змінний резистор VR1 тут використовується для регулювання амплітуди посилюваного шуму.

Транзистор Q2 налаштований як підсилювач напруги або, можна сказати, підсилювач загального емітера. Коефіцієнт посилення напруги підсилювача із загальним емітером

Резистор, підключений до колектора, і резистор, підключений до емітера, відповідають за посилення напруги. При наведеній вище конфігурації вихідна напруга, тобто напруга на колекторі, становить приблизно половину напруги живлення. Вихід транзистора Q2 з'єднаний з базою транзистора Q3 через резистор R11.

Транзистор Q3 також налаштований як підсилювач із загальним колектором.

Напруга живлення становитиме 15 В, але ця схема добре працюватиме і з 12 В. Якщо напруга живлення змінюється на 9 В, то напруга пробою стабілітрона буде менше 6 В.

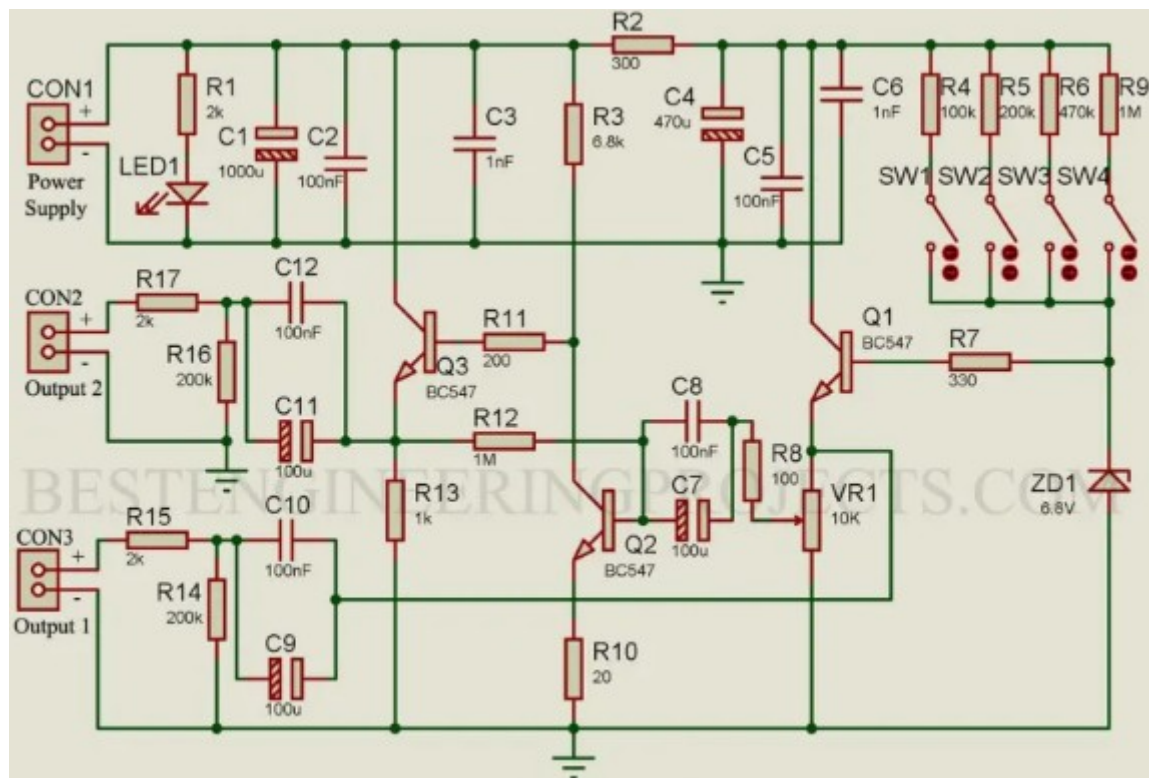


Рис. 5. Принципова схема генератора білого шуму

3.3 Релізація схеми у середовищі Multisim

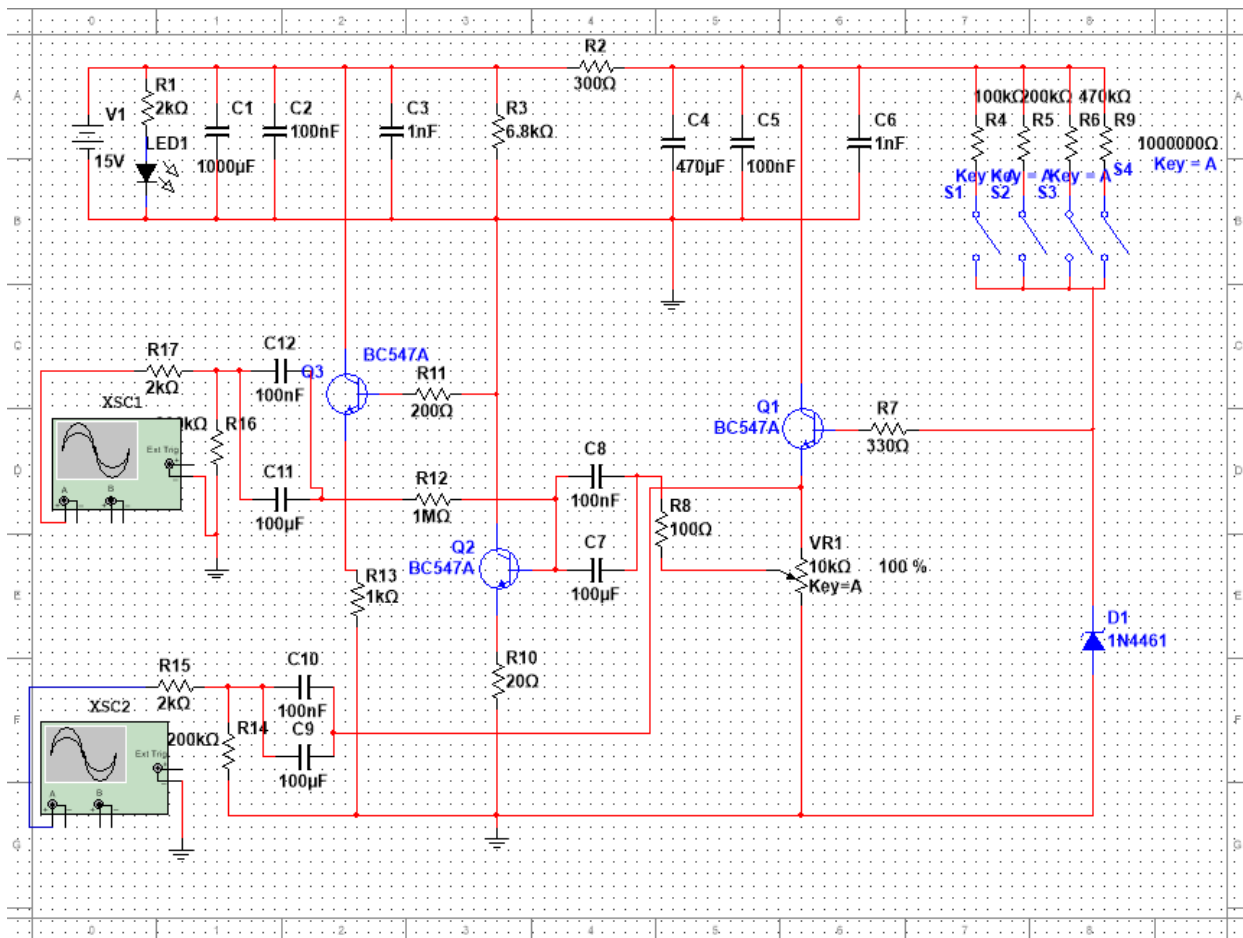


Рис 6. Схема генератора білого шуму

Було зібрано схему генератора білого шуму у середовищі Multisim та для аналізу роботи схеми на виходи кон 2 та кон 3 під'єднано осцилографи (Рис.6).

На (Рис. 7) ми бачимо білий шум на осцилографі.

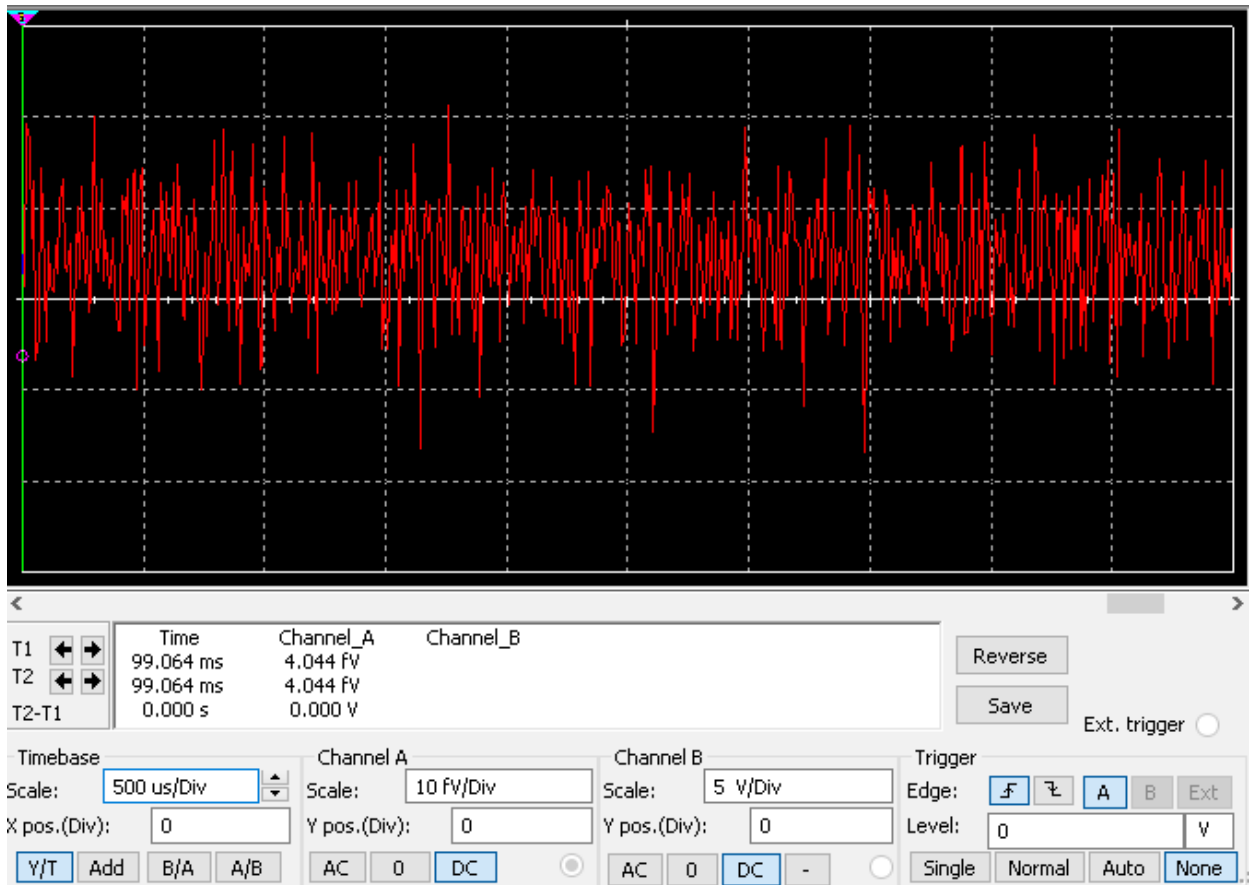


Рис. 7. Показання осцилографа на виході

Після запуску симуляція на виході ми бачимо підсилену версію білого шуму. За допомогою регулюючого резистору VR1 регулюємо амплітуду посилюваного шуму.

Спочатку ми встановили потенціометр VR1 на 0% та бачимо на осцилографі відсутній білий шум (Рис.8).

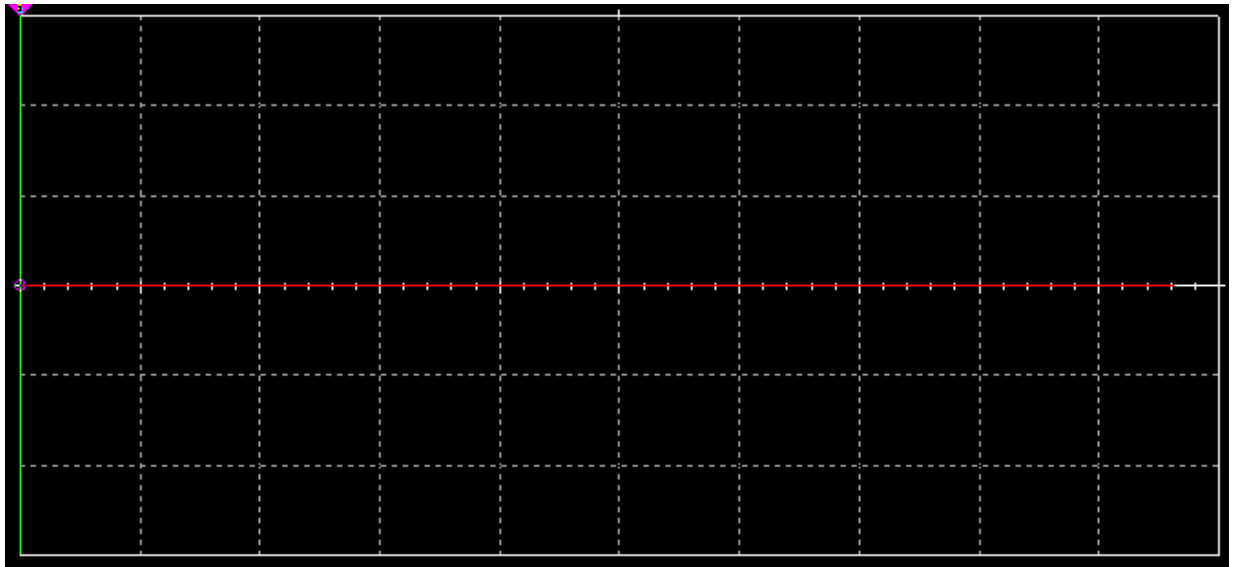


Рис. 8. Показання осцилографа при VR1 0%

Піднявши значення потенціометра до 20% бачимо на осцилографі білий шум з невеликою амплітудою (Рис. 9).

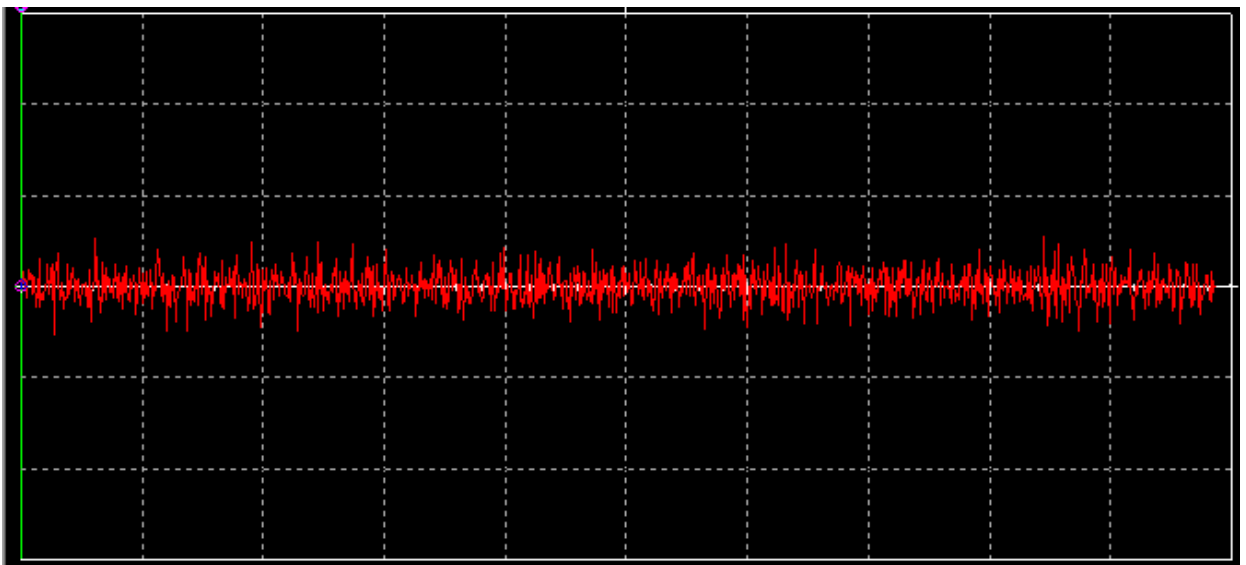


Рис. 9. Показання осцилографа при VR1 20%

Для збільшення амплітуди встановлюємо значення потенціометра VR1 50% та отримуємо білий шум зі збільшеною амплітудою (Рис. 10).

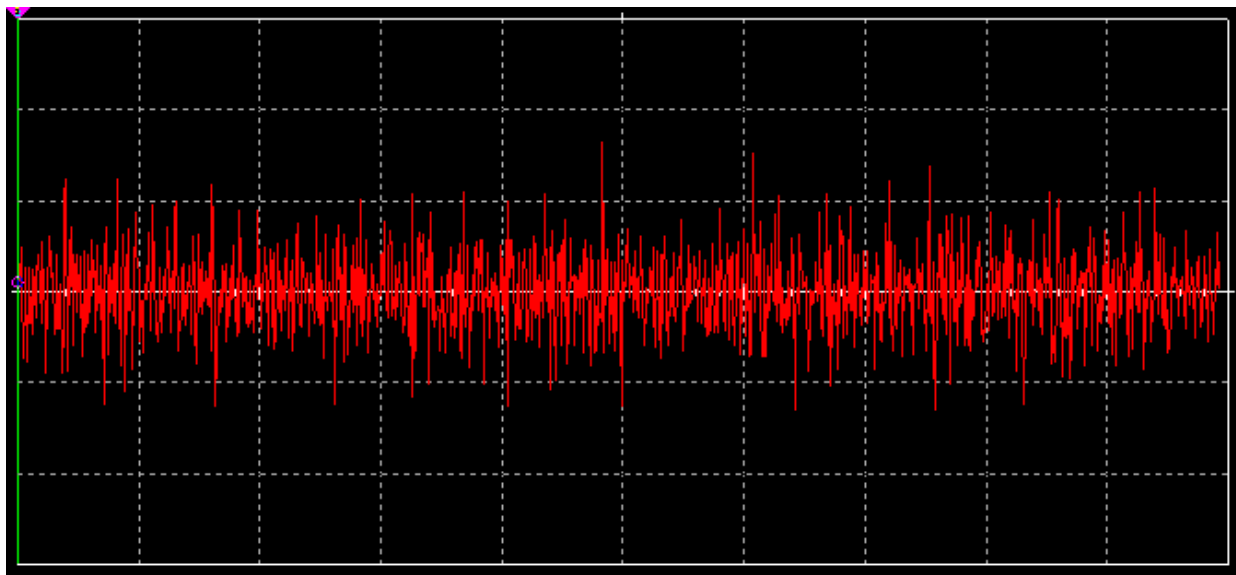


Рис. 10. Показання осцилографа при VR1 50%

Якщо встановити потенціометр VR1 на 100% ми отримуємо білий шум з максимальною амплітудою (Рис. 11).

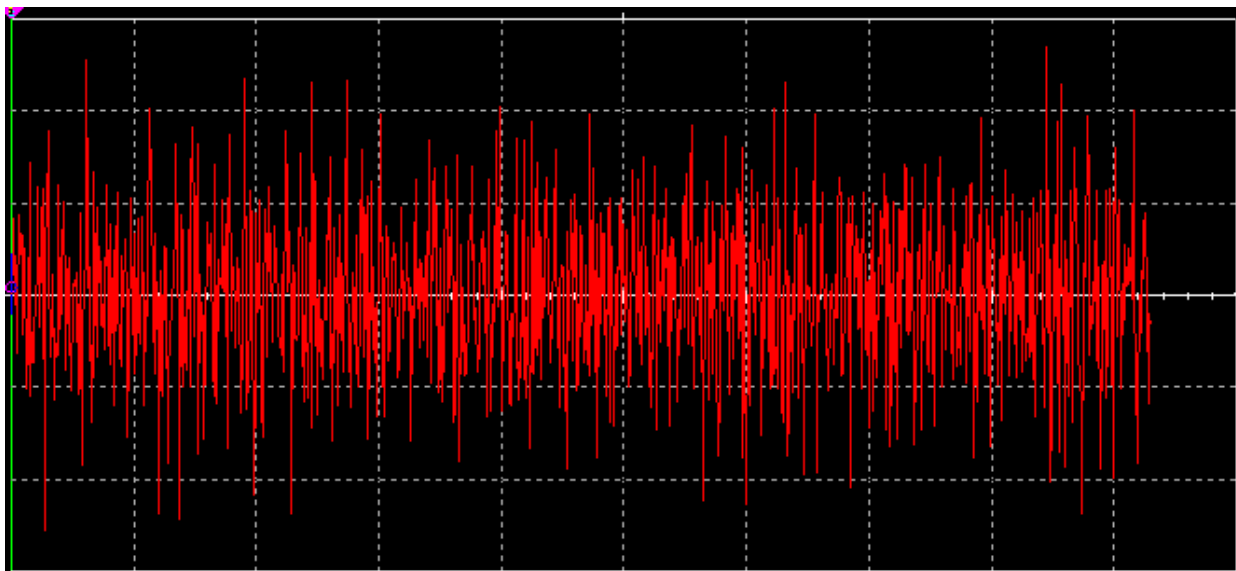


Рис. 11. Показання осцилографа при VR1 100%

Для регулювання струму, що проходить через стабілітрон, застосовуються чотири перемикачі (Рис. 12), які використовуються для вибору потрібного рівня струму та отримання бажаної потужності шуму.

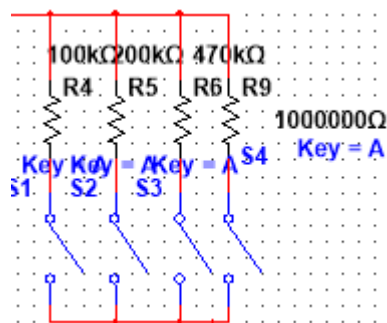


Рис. 12. Перемикачі для регулювання рівня струму

Закривши перший перемикач для регулювання рівня струму ми отримали шум малої потужності як ми бачимо на Рис. 13.

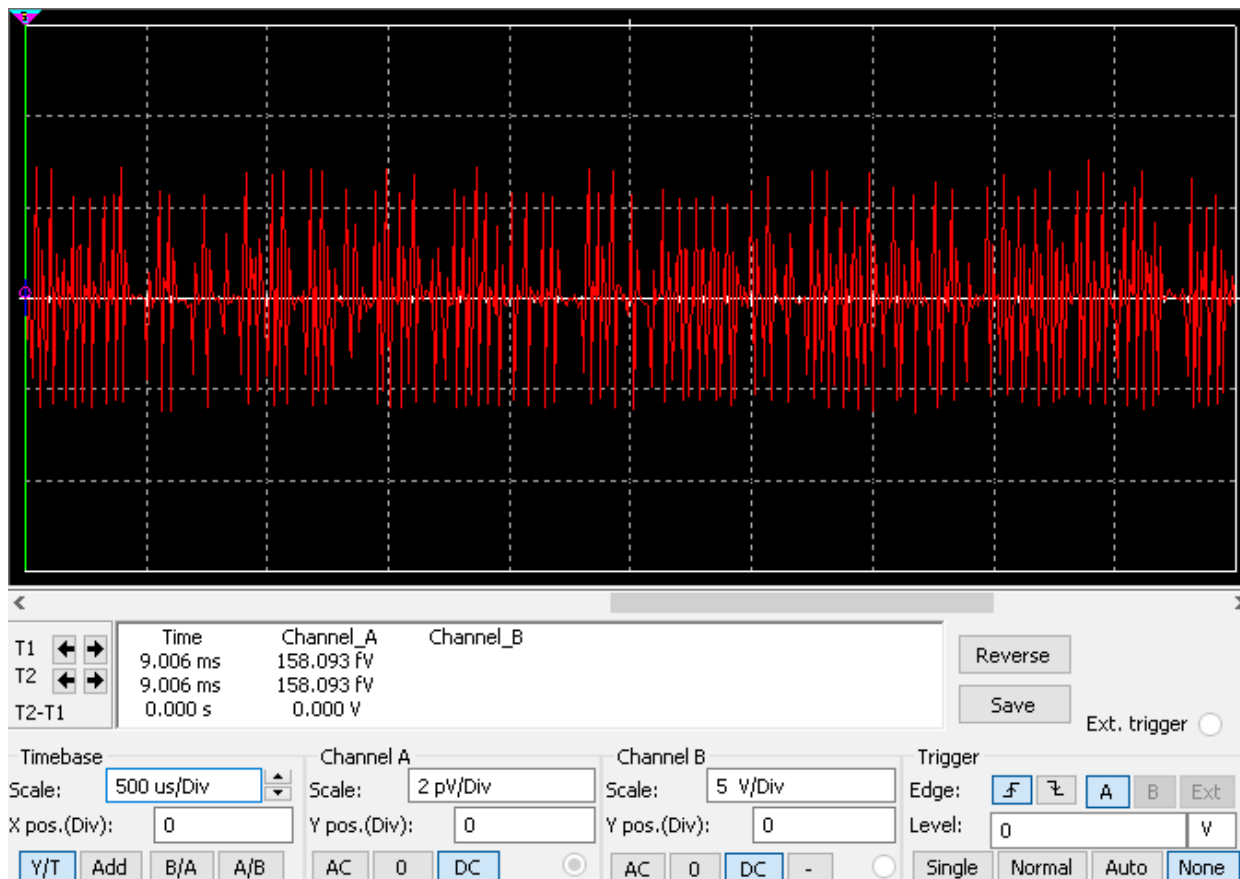


Рис. 13. Показання осцилографа зі замкнутим першим перемикачем

Якщо закритий другий перемикач ми отримуємо шум трохи більшої потужності (Рис. 14).

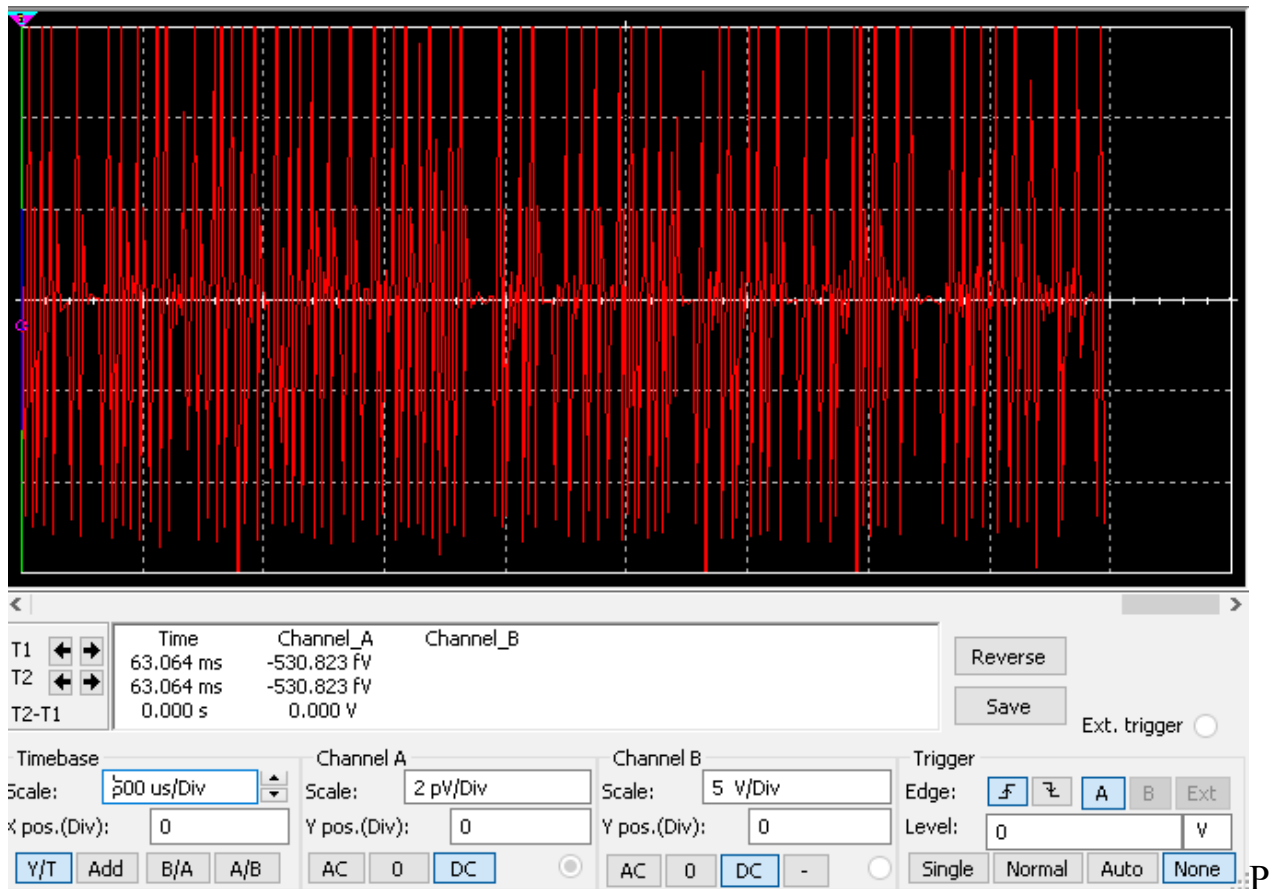


рис. 14. Показання осцилографа зі замкнутим другим перемикачем

При закритому третьому перемикачі ми бачимо білий шум великої потужності для коректного відображення довелося збільшити шкалу вимірювання (Рис. 15).

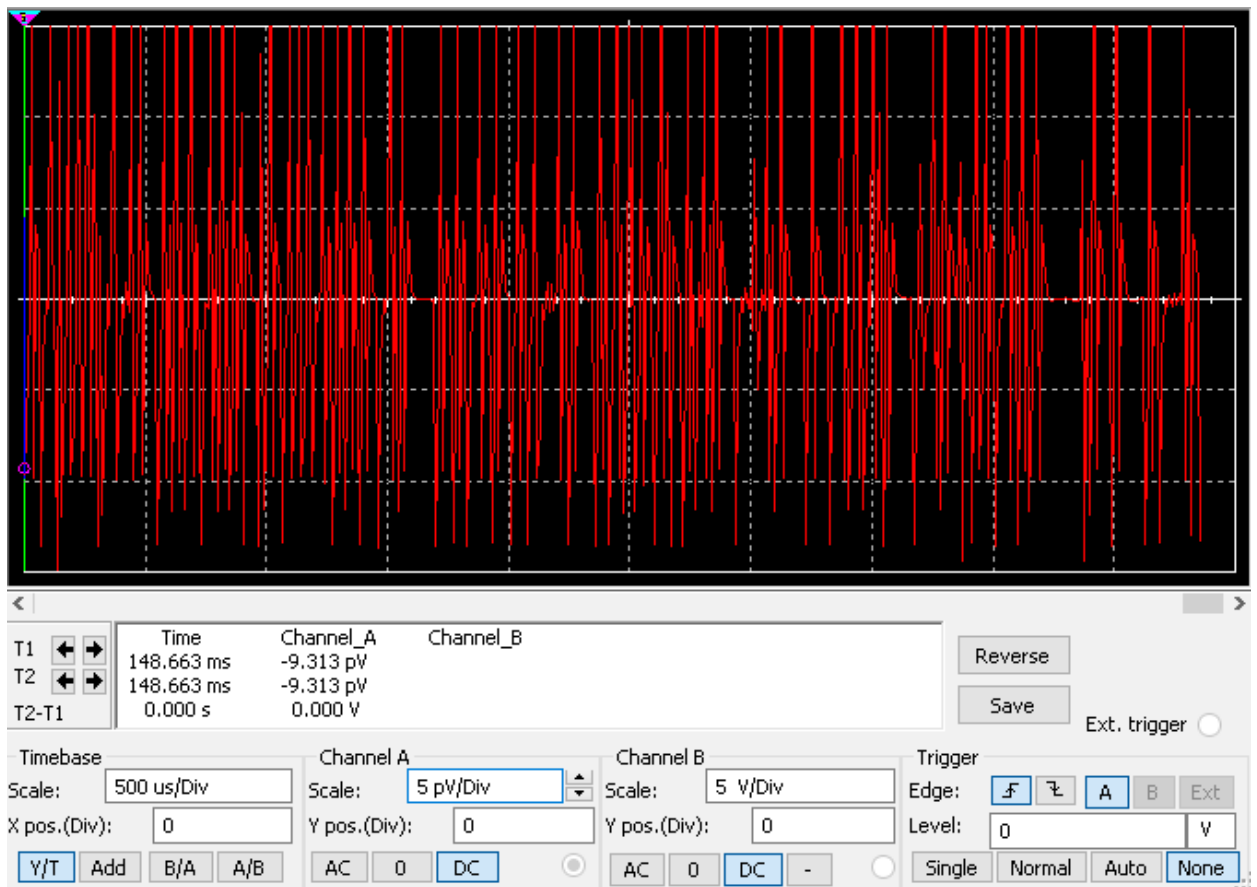


Рис. 15. Показання осцилографа зі замкнутим третім перемикачем

Замкнувши четвертий перемикач ми отримали білий шум максимальної потужності та знову збільшили шкалу вимірювання для нормального відображення (Рис. 16).

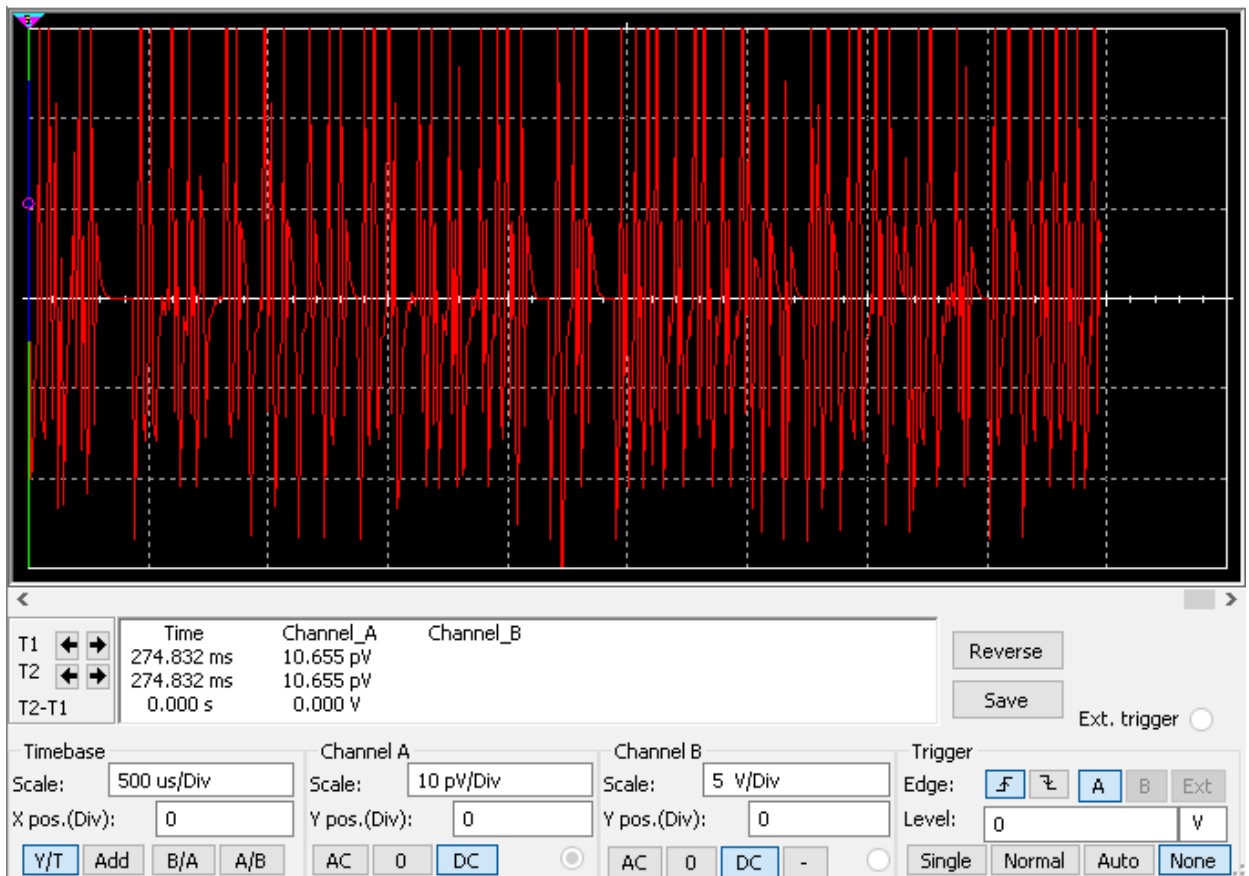


Рис. 16. Показання осцилографа зі замкнутим четвертим перемикачем

3.4 Розробка друкованої плати усередовищі Altium Design

Схема друкованої плати розроблена за допомогою Altium Design. Діаграма друкованої плати з боку пайки та схема друкованої плати з боку компонента показані на рисунках 17 і 18 відповідно, а 3D-проект показано на рисунку 19.

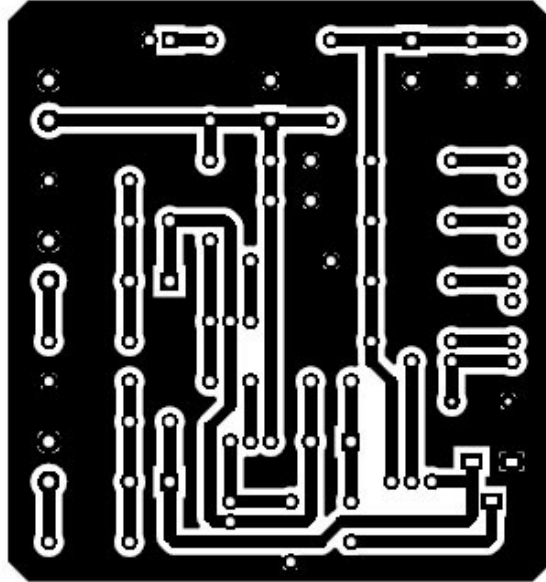


Рис. 17. Схема друкованої плати сторони пайки

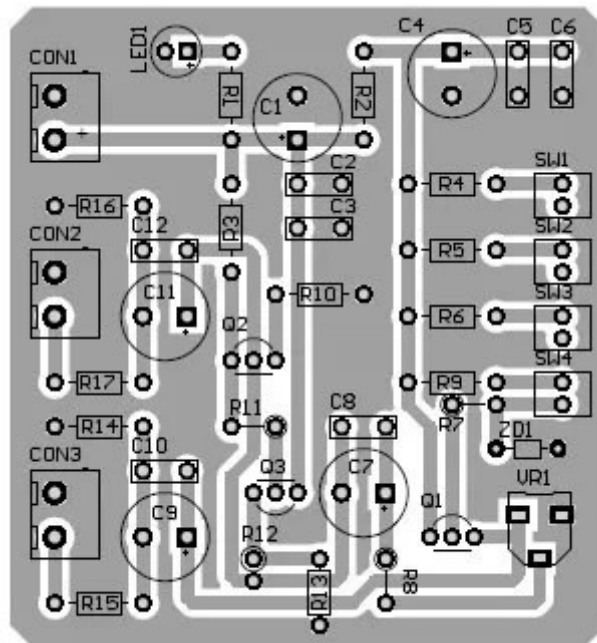


Рис. 18. Схема друкованої плати сторони компонентів

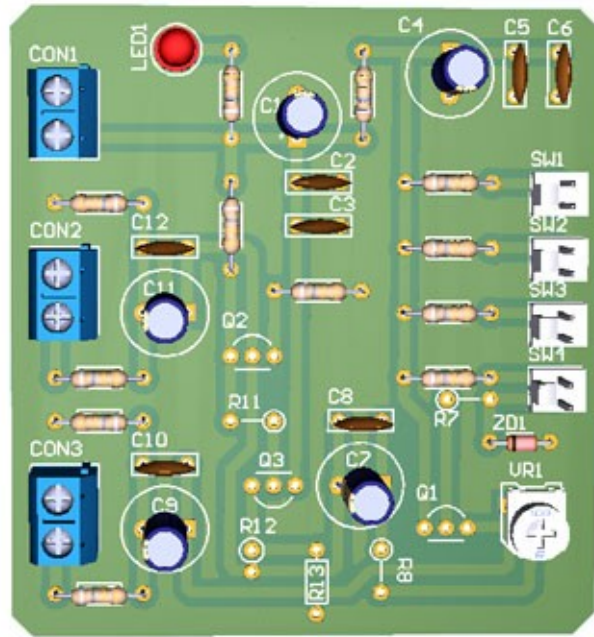


Рис. 19. Тривимірне зображення схеми генератора білого шуму

ВИСНОВОК

У даній дипломній роботі було проведено комплексне дослідження теоретичних аспектів генераторів шуму, а також практичну реалізацію схеми генератора білого шуму.

У першому розділі було обґрунтовано актуальність теми, визначено мету і завдання дослідження, а також об'єкт і предмет дослідження. Були представлені методи дослідження, які використовувалися протягом роботи.

У другому розділі роботи були досліджені теоретичні основи генераторів шуму, визначено поняття шуму, описано принципи роботи генераторів шуму, їх характеристики, класифікація та приклади застосування.

В третьому розділі було здійснено аналіз сучасного генератора шуму на прикладі генератора шумових сигналів «МАРС-ТЗО-4-2», описано його технічні характеристики та принцип роботи.

Четвертий розділ роботи був присвячений практичній реалізації схеми генератора білого шуму. Було проведено вибір та обґрунтування компонентів схеми, здійснено аналіз схеми транзисторного генератора білого шуму та реалізовано схему у середовищі Multisim. Також було розроблено друковану плату у середовищі Altium Design.

В результаті роботи я провів детальний аналіз принципів роботи та конструкції генератора шуму. Вивчив особливості його роботи, дослідив схему і набув практичні навички в роботі з системою автоматизованого проектування і розрахунку, я успішно змодельював роботу генератора шуму. Моя робота була зосереджена на вивченні впливу зміни параметрів на вихідний сигнал генератора шуму. Цей аналіз надав мені цінний досвід, що дозволить мені стати більш досвідченим у даній галузі. Отримані навички та знання, отримані в ході дослідження, знайдуть своє застосування в моїй подальшій інженерній діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Electrical noise: fundamentals and physical mechanism by Bell, D. A. (David Arthur)
2. Understanding Noise Terms In Electronic Circuits, Don Tuite - <https://www.electronicdesign.com/technologies/analog/article/21794903/understanding-noise-terms-in-electronic-circuits>
3. DESIGN AND IMPLEMENTATION OF NOISE GENERATOR Pahalson C. A. D. and Dung Bature. World Journal of Engineering Research and Technology
4. Statistical properties of White Noise (Electronics & Signal Processing) Umer Hassan and Muhammad Sabieh Anwar
5. ГЕНЕРАТОР ШУМОВИХ СИГНАЛІВ «МАРС-ТЗО-4-2» <http://www.mapc.com.ua/img/files/3GenN.pdf>
6. DATA SHEET BC546; BC547 NPN general purpose transistors Product specification. Supersedes data of 1997 Mar 04. Philips Semiconductors
7. What is a Zener Diode. <https://www.tti.com/content/ttiinc/en/resources/blog/what-is-a-zener-diode.html>