

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Генератор низькочастотного шуму для тестування стійкості каналів

передачі даних

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РА-41

спеціальності 172 Електронні комунікації та

радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

	Бакан М.А. (підпис)	Бакан М.А. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Дедів І.Ю. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Хвостівська Л.В. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	Дунець В.Л. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«12» березня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Бакану Максиму Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Генератор низькочастотного шуму для тестування стійкості каналів передачі даних

Керівник роботи Дедів Ірина Юріївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 12 » 03 2025 року № 4/7-193

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Напруга живлення +12,6 В; Частотний діапазон шуму – 2 Гц - 28 кГц;
Нерівномірність спектральної характеристики у всьому діапазоні частот – не більше +4 дБ;
Вихідний опір генератора 600 Ом;

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

аналіз технічного завдання; аналіз схемних рішень виконання виробу;

розроблення схеми структурної виробу, схеми електричної принципової,

розрахунок номіналів елементів схеми електричної принципової; конструювання виробу,

а саме: обґрунтування вибору елементної бази, трасування друкованої плати,

розробка компоновки друкованого вузла.

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

1. Структурна схема;

2. Схема електрична принципова;

3. Друкована плата;

4. Друкований вузол;

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Бакан М.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дедів І.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Генератор низькочастотного шуму для тестування стійкості каналів передачі даних». Кваліфікаційна робота бакалавра // ТНТУ ім. І. Пулюя, ФПТ, РА-41. // Тернопіль, 2025р. // с.- 63, рис.- 20, бібліог.- 13, додат.- 3.

Ключові слова: ШУМ, ГЕНЕРАТОР ШУМУ, СПЕКТРАЛЬНА ГУСТИНА НАПРУГИ.

В роботі проводиться проєктування генератора низькочастотного шуму, який можна було б використовувати як складовий елемент вимірювальних систем для тестування стійкості каналів передачі даних. За основу використано ефект лавинного пробію в напівпровідникових діодах, а як основний елемент використано діод ND103L. На основі нього розроблено схему, що включає в себе вузли живлення цього діода, вхідний фільтр, підсилювач з компресією та автоматичним регулюванням підсилення, буферний підсилювач та масштабуючий підсилювач. Передбачено можливість подавання на генератор зовнішнього сигналу та змішування його із генерованим шумом.

Технічні вимоги до генератора: напруга живлення +12,6 В; частотний діапазон шуму – 2 Гц - 28 кГц; для генераторного елемента найбільша спектральна густина напруги має становити не менше 30 мкВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$; нерівномірність спектральної характеристики у всьому діапазоні частот – не більше +4 дБ; вихідний опір генератора 600 Ом; дискретні діапазони регулювання вихідної напруги: 0-1 мВ, 0-10 мВ, 0-100 мВ, 0-1 В.

ANNOTATION

Theme of qualification work: "Low-frequency noise generator for testing the stability of data transmission channels". Qualifying work of a bachelor // TNTU, FPT, RA-41. // Ternopil, 2025 //p.- 63, fig.- 20, bibliog.- 13, appendix- 3 .

Key words: NOISE, NOISE GENERATOR, VOLTAGE SPECTRAL DENSITY.

The work is designing a low-frequency noise generator that could be used as a component of measuring systems for testing the stability of data transmission channels. The avalanche breakdown effect in semiconductor diodes is used as the basis, and the ND103L diode is used as the main element. Based on it, a circuit has been developed that includes the power supply units of this diode, an input filter, an amplifier with compression and automatic gain control, a buffer amplifier and a scaling amplifier. It is possible to apply an external signal to the generator and mix it with the generated noise.

Technical requirements for the generator: supply voltage +12.6 V; noise frequency range - 2 Hz - 28 kHz; for the generator element, the highest voltage spectral density must be at least $30 \mu\text{V} / \sqrt{\text{Hz}}$; unevenness of the spectral characteristic in the entire frequency range - no more than +4 dB; generator output resistance 600 Ohm; discrete output voltage adjustment ranges: 0-1 mV, 0-10 mV, 0-100 mV, 0-1 V.

Зміст

Вступ.....	7
1. Основна частина.....	9
1.1 Аналіз технічного завдання.....	9
1.2 Аналіз принципів роботи генераторів шуму.....	9
1.3 Огляд аналогів та прототипів.....	17
1.4 Розробка структурної схеми.....	27
1.5 Розробка схеми електричної принципової.....	27
1.6 Параметричний синтез.....	34
1.7 Вибір елементів.....	35
1.8 Розробка плати та вузла генератора шуму.....	37
1.9 Висновки до розділу 1.....	49
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.....	51
2.1 Основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці.....	51
2.2 Надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик.....	55
2.3 Висновки до розділу.....	60
Висновки.....	61
Перелік використаної літератури.....	62
Додатки	

					БМА 2.893.001 ПЗ		
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата			
Розроб.	Бакан М.А.				Генератор низькочастотного шуму для тестування стійкості каналів передачі даних	Літ	Аркуш
Перевір.	Дедів І.Ю.					у	6
Н. контр.	Хвостівська Л.В.					ТНТУ, РА-41	
Зат. каф.	Дунець В.Л.						
Рецензент							
						61	

Вступ

Актуальність роботи. Шумовий сигнал – це сигнал, миттєве значення якого змінюється у часі за випадковим законом. Джерела шуму в радіоапаратурі можуть бути як зовнішніми, так і внутрішніми. До зовнішніх джерел можна віднести мережу електроживлення, радіостанції, вібрації тощо. До внутрішніх джерел можна віднести шум, що виникає в елементах пристроїв – активних елементах, ланках узгодження тощо. Шумовий сигнал одержують на виході генератора, який формує коливання з недетермінованою зміною часової реалізації цього сигналу. Такі генератори називають генераторами шумових сигналів або генераторами шуму (ГШ). Таким чином, ГШ є сукупністю компонентів і вузлів, що забезпечують отримання шумового сигналу (напруги, струму чи потужності) на навантаженні генератора.

Шумовий сигнал у ГШ може мати два механізми виникнення: тепловий та дробовий. Тепловий шум виникає в елементах кола і залежить від їхнього опору та температури. Дробовий шум виникає у напівпровідникових елементах і пов'язаний з випадковим рухом носіїв заряду. У основі генерації шумів лежать елементарні фізичні процеси (теплове збудження носіїв електричного заряду, його дискретність тощо) та їх комбінації.

ГШ мають велике практичне значення, оскільки дають можливість тестування радіоелектронних вузлів, пристроїв та власне каналів передачі даних, зокрема це і вимірювання АЧХ як окремих фільтрів так і каналів, а також КСХ антен, генерації випадкових чисел, контролю якості бездротових систем тощо. Також ГШ досить часто використовуються для формування сигналів із складними спектрами, які необхідні для достовірного аналізу стійкості каналів передачі даних. Тому актуальною практичною задачею є розроблення такого ГШ, який працював би зокрема в низькочастотному діапазоні.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		7

Практичне значення. Розроблений генератор шуму може бути практично реалізований як один із функціональних модулів системи тестування каналів передачі даних.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
						8
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

1. Основна частина

1.1 Аналіз технічного завдання

У межах даної роботи передбачається створення генератора низькочастотного шуму, призначеного для перевірки надійності функціонування каналів передавання даних. Джерелом шумового сигналу в запропонованій конструкції виступають фізичні процеси, пов'язані із шумами, що виникають у напівпровідникових елементах.

До генератора шуму висуваються такі технічні вимоги:

Номінальна напруга живлення – +12,6 В;

Робочий діапазон частот шумового сигналу – від 2 Гц до 28 кГц;

Спектральна густина (СГ) шумової напруги генераторного елемента має становити не менше ніж 30 мкВ/√Гц;

Допустиме відхилення спектральної характеристики в межах заданого частотного діапазону не повинно перевищувати ±4 дБ;

Вихідний опір пристрою – 600 Ом;

Вихідна напруга має регулюватися дискретно за такими діапазонами: 0–1 мВ, 0–10 мВ, 0–100 мВ, 0–1 В.

1.2 Огляд принципів функціонування генераторів шумових сигналів

Генератори шуму широко використовуються у складі вимірювального обладнання як еталонні джерела шумових сигналів, що моделюють реальні перешкодозахисні умови в електронних схемах і системах. Такі пристрої застосовуються, зокрема, для визначення шумових характеристик радіоприймачів, у контурних системах автоматичного регулювання, у каналах дистанційного управління, а також для оцінювання максимальної ефективної дальності дії радіолокаційних та навігаційних комплексів.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		9

Крім того, генератори шуму можуть виконувати функцію каліброваних джерел енергетичного сигналу, що дає змогу здійснювати точні вимірювання параметрів сторонніх шумів або регулярних електромагнітних впливів, зокрема атмосферного походження чи інших неконтрольованих завад.

У сфері радіозв'язку генератори шуму відіграють важливу роль при оцінюванні рівня завад, що впливають на якість сигналу. Особливо актуальне їх використання в багатоканальних телефонних системах, де сумарний вихідний сигнал модулятора за своїми характеристиками наближається до шумового сигналу, який охоплює ідентичний частотний діапазон. Для імітації навантаження кількох сотень мовних джерел, які беруть участь у роботі системи, застосовують одне генераторне джерело широкосмугового шуму. Під час тестування із сигналу виключаються частоти, що відповідають перевірковому каналу, після чого сформований шумовий сигнал подається на лінію зв'язку, а в контрольованому каналі здійснюється вимірювання напруги індуковуваних перешкод. Такі вимірювання є типовими як для провідного, так і для бездротового (радіорелейного) зв'язку, зокрема при вивченні перехресних впливів і визначенні гранично допустимих рівнів перешкод.

У галузі електроакустики застосування генераторів шуму також є надзвичайно різноплановим. Зокрема, в аудіометричних дослідженнях шумові сигнали використовують як фон для маскування, що дає змогу визначати розбірливість мовлення в умовах фонових звукових перешкод. Генератори шуму слугують засобом для отримання амплітудно-частотних характеристик мікрофонів, гучномовців та інших акустичних перетворювачів. Окрім цього, вони застосовуються у вимірюваннях часу реверберації в приміщеннях, дослідженні звукопоглинальних властивостей конструктивних елементів інтер'єру, таких як стіни, перегородки чи спеціалізовані акустичні матеріали. У сфері звукозапису генератори шуму використовуються для калібрування рівнів сигналу при записі та відтворенні в широкому діапазоні як частот, так і

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
						10
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

амплітуд.

На підприємствах радіоелектронної промисловості генератори шуму активно використовуються для дослідження характеристик смуги пропускання різноманітних фільтрів та радіоапаратури, а також для оцінювання рівня власного шуму підсилювальних пристроїв під час їх налаштування й серійного виготовлення. Оскільки величина коефіцієнта шуму прямо впливає на граничну чутливість пристрою, саме цей параметр є критично важливим у процесі контролю якості. Значення коефіцієнта шуму може суттєво змінюватися від одного екземпляра приладу до іншого, що зумовлює необхідність індивідуального тестування.

Окрім того, генератори шуму використовують як діагностичний інструмент під час вибраковування напівпровідникових компонентів, зокрема транзисторів. Це обумовлено тим, що шумові характеристики безпосередньо корелюють із довготривалою надійністю елементів у реальних експлуатаційних умовах. У тандемі з перебудовуваними вузькосмуговими підсилювачами генератор шуму може формувати майже синусоїдальні сигнали в широкому діапазоні частот, що робить його зручним джерелом для точкових частотних тестів.

Завдяки своїй універсальності, генератори шуму також інтегруються як автономні функціональні блоки в багатофункціональні вимірювальні комплекси, а також у пристрої для генерації імпульсних перешкод хаотичного типу. У прикладних галузях, зокрема в біофізиці, вони відіграють важливу роль у визначенні сенсорних порогів зорового та слухового сприйняття під час експериментальних досліджень.

Генератори шуму знаходять також широке застосування в сфері інформаційної безпеки, зокрема як активні засоби протидії несанкціонованому доступу до конфіденційної інформації, а також як інструменти для прихованого передавання даних. Одним із найбільш поширених напрямів використання є протидія пристроям перехоплення інформації, тобто захист

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		11

від прослуховування.

Залежно від поставленого завдання, генератор шуму може реалізовуватися в різних конструктивних і функціональних формах:

– як радіочастотний передавач, що генерує шумовий сигнал у тих частотних діапазонах, які використовуються засобами бездротового зв'язку, зокрема мобільними телефонами, Wi-Fi або іншими системами передачі даних;

– як акустичний пристрій, оснащений динаміком, який створює щільний фон шуму в звуковому діапазоні, ефективно маскуючи розмови та знижуючи ймовірність їхнього перехоплення в приміщенні.

Класифікація генераторів шуму базується на особливостях статистичних властивостей створюваних випадкових сигналів, що, своєю чергою, визначає їхнє призначення та сферу практичного застосування.

Розглянемо основні підходи до класифікації генераторів шуму, що ґрунтуються на різних характеристиках створюваного сигналу.

– За типом сигналу генератори шуму поділяються на дві фундаментальні категорії: пристрої, які формують неперервні (аналогові) випадкові сигнали, та генератори, що створюють дискретні (цифрові) послідовності випадкових величин.

– Враховуючи частотний діапазон генерації, виділяють кілька типів шумових генераторів: інфранізкочастотні (для сигналів субгерцового діапазону), низькочастотні, високочастотні та надвисокочастотні, залежно від призначення та специфіки застосування.

– За шириною смуги частот, яку охоплює генератор, розрізняють вузькосмугові (які генерують сигнал у вузькому частотному діапазоні) та широкосмугові генератори, здатні створювати шум у значно ширшій смузі частот.

Залежно від особливостей спектральної структури, шумові сигнали поділяють на два основні типи. Перший – широкосмуговий шум, який

характеризується суцільним спектром шириною понад одну октаву. Другий – тональний шум, для якого типовою є наявність чітко виражених частотних компонентів: у цьому випадку одна з третинооктавних смуг спектру домінує над іншими щонайменше на 10 дБ.

Широко смугові сигнали, які мають постійну спектральну густину в усьому частотному діапазоні, умовно класифікуються як «білий шум». Такий шумовий процес вважається стаціонарним, оскільки має рівномірну спектральну густину незалежно від частоти, а його дисперсія теоретично наближається до нескінченності.

Окрім цього, у практиці також застосовується класифікація шуму за типом спектральної густини потужності, відома як класифікація за «кольорами шуму». До таких типів шумів належать:

- білий — СГ є сталою в усьому частотному діапазоні;
- рожевий (миготливий) — потужність зменшується з ростом частоти пропорційно до $1/f$;
- червоний або броунівський — СГ знижується ще стрімкіше ($1/f^2$);
- синій (блакитний), фіолетовий, сірий, оранжевий, зелений і чорний шум — менш поширені класи, що відображають різні співвідношення енергетичної насиченості на окремих частотах.

Кожен із цих типів знаходить застосування в конкретних галузях — від телекомунікацій і акустичних систем до методів захисту інформації та математичного моделювання шумових процесів.

Рожевий шум є випадковим сигналом, СГ якого зменшується зі зростанням частоти, приблизно за законом $1/f$. Така характеристика притаманна багатьом природним явищам, зокрема вона спостерігається в ритмах серцевої діяльності людини.

Червоний шум, відомий також як броунівський, має ще стрімкіше зниження спектральної густини, що є обернено пропорційним квадрату частоти ($1/f^2$). Цей тип шуму відображає динаміку повільних, інерційних

процесів, характерних для багатьох біофізичних і екологічних систем.

Синій шум є протилежністю червоного — у ньому спектральна густина зростає з підвищенням частоти, приблизно на 3 дБ на октаву. Його спектральна характеристика фактично є дзеркальним відображенням рожевого шуму відносно частотної осі.

Фіолетовий шум демонструє ще виразніше зростання енергетичної насиченості з частотою — на рівні 6 дБ/октаву, що робить його надзвичайно концентрованим у високочастотній області.

Сірий шум має складнішу спектральну структуру — він характеризується підвищеними рівнями потужності на низьких і високих частотах при одночасному зниженні в середньочастотному діапазоні. Такий спектр формується як результат накладення спектральних характеристик фіолетового та броунівського шумів.

Принцип дії більшості ГШ ґрунтується на властивостях лавинного пробію переходу діода. У початковій стадії лавинного пробію процес ударної іонізації виявляється нестійким: ударна іонізація виникає, зривається, виникає знову у тих місцях переходу, де виявляється на даний момент достатня напруженість електричного поля. Результатом випадкової нерівномірності генерації нових носіїв заряду при ударній іонізації є шуми, характерні певного діапазону струмів. При роботі таких приладів, як наприклад стабілітрони, шуми є некорисним явищем. Саме тому діапазон струмів, що відповідає шумам, виключають із діапазону робочих струмів стабілітронів.

Таким чином, як джерела шуму можна використовувати зворотнозміщені діоди в діапазоні зворотних струмів від мінімального до максимального пробивного струму, де спостерігається найбільша інтенсивність електричних флуктуацій.

Параметри таких джерел багато в чому схожі на параметри стабілітронів. Найбільш специфічними є три характеристики, що описують

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		14

властивості шумового сигналу, що генерується приладами і його залежність від коливань температури приладу.

Спектральна густина шуму. З теорії сигналів відомо, що спектральна густина є однією з найважливіших характеристик будь-якого сигналу. Для вимірювальних цілей найчастіше необхідний так званий "білий шум", у такого сигналу спектральна густина при всіх частотах постійна. Напівпровідникові генератори шуму дозволяють отримати таку характеристику у певному діапазоні частот. Параметр спектральної густини шуму напівпровідникового приладу виражається як ефективне значення напруги шуму, поділене на смугу 1 Гц, при заданому струмі пробою та в певному діапазоні частот. У напівпровідникових генераторах шуму та найпоширеніших стабілітронах це значення лежать у межах 3...30.

Гранична частота рівномірності спектра. У реальних напівпровідникових генераторах шуму спектральна густина продукуваних шумів є постійною тільки в певному діапазоні частот. Зі збільшенням частоти її значення поступово знижується. Найбільша частота спектра, при якій негативне відхилення спектральної густини шумів вкладається у задане значення (при заданому струмі пробою), називається граничною частотою рівномірності спектра. У типових приладах це значення лежить у межах 1...4 МГц.

Середній температурний коефіцієнт спектральної густини шуму. Зворотний струм, що передує лавинному пробою, і пробивна напруга при лавинному пробої збільшуються зі зростанням температури. В результаті ділянка ВАХ, що відповідає найбільшій інтенсивності шумів, зміщується зі зміною температури в область великих струмів та напруг. Тобто, при стабільному струмовому режимі зі зміною температури буде змінюватися і спектральна густина продукуваних шумів. Така зміна характеризується спеціальним коефіцієнтом, який називається температурним коефіцієнтом спектральної густини шуму.

Сучасні способи генерації білого шуму здебільшого засновані на застосуванні цифрових методів формування псевдовипадкових послідовностей за допомогою регістрів зсуву, охоплених зворотним зв'язком. Цей метод, з одного боку, накладає підвищені вимоги на швидкодію цифрових ІМС, а з іншого, досить складний у виконанні.

Відомо, що у зворотно зміщених напівпровідникових приладах під час роботи поблизу області лавинного пробою спостерігається генерація шумів. Також відомо, що хорошим джерелом широкосмугового шуму є стабілітрон. Поширені також і джерела шуму, виконані на зворотно зміщеному переході база-емітер транзистора.

Також відомо, що стабілітрони з напругою пробою нижче 7 В створюють переважно дробовий шум, а з напругою вище 7 В - в основному лавинний. Як показує практика, лавинний режим роботи стабілітрона забезпечує більш потужний і рівномірний спектр шуму, саме тому в "правильних" джерелах інформації в основному використовуються 9...12-вольтові стабілітрони, хоча за відсутності можливості забезпечити високу напругу живлення цілком можна використовувати і прилади з напругою пробою 5,6...6,8 В.

Один із відомих фахівців у галузі аналогової та радіочастотної радіотехніки Іан Нікман писав наступне. Власні шуми стабілітрона лавинного пробою мають спектр, близький до спектру білого шуму. У стабілітронах з напругою 9 ... 12 В рівень шуму досить високий для того, щоб його можна було використовувати для цілеспрямованої генерації шуму. Частотний діапазон такого генератора визначається смугою пропускання підсилювача напруги і може сягати сотень МГц. Рівень шуму конкретного стабілітрона мало передбачуваний і може бути визначений лише досвідченим шляхом. Окремі ранні серії стабілітронів відрізнялися особливо високим рівнем шуму, але в міру вдосконалення технології їх витіснили малошумні прилади. Тому в серійних виробках більш виправданим є застосування не

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		16

стабілітронів, а високочастотних біполярних транзисторів у зворотному включенні, наприклад, розробленого ще в 1960-х роках транзистора 2N918 — спектр його шуму сягає 1 ГГц.

1.3 Огляд аналогів та прототипів

Проаналізуємо наступну просту схему.

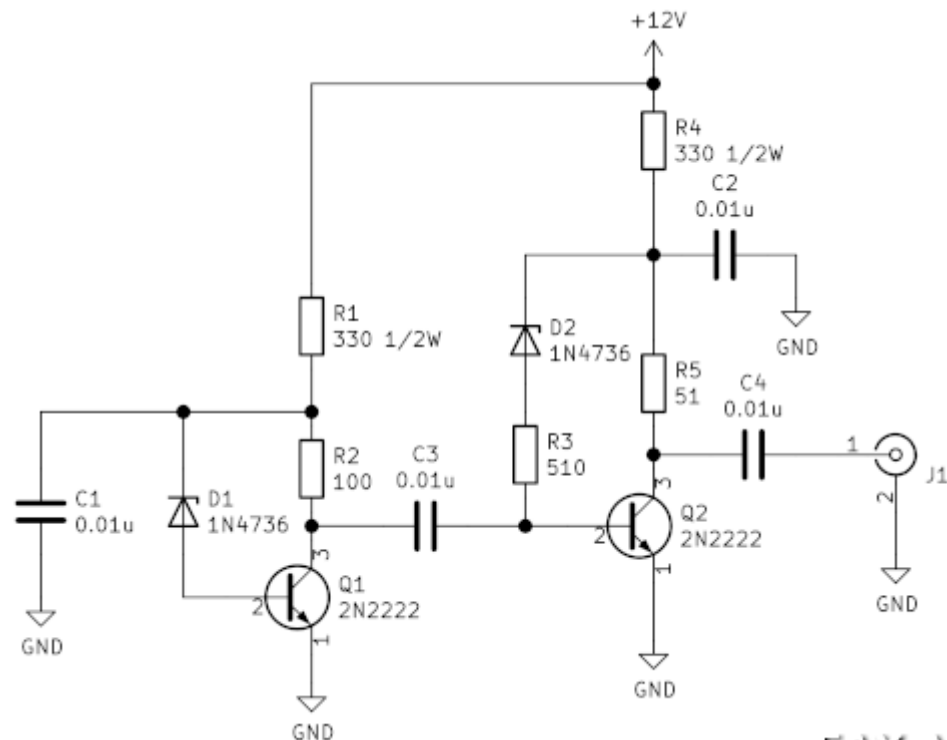


Рисунок 1.1 – Схема простого ГШ

Схема працює наступним чином. У початковий момент часу D1 має високий опір, і струм через нього майже не протікає. Це дозволяє конденсатору C1 зарядитись через R1 до досягнення напруги пробоя D1. У цей момент опір D1 різко знижується і через нього протікає струм. Але триває це недовго, оскільки C1 розряджається нижче напруги пробоя D1 і він знову закривається. Так повторюється нескінченно багато разів, за рахунок чого і генерується шум. Він пісилюється транзистором Q1.

Ліва частина схеми є базовим генератором шуму. Права частина схеми майже ідентична. Вона генерує власний шум, а також пісилює шум першого генератора. Це дозволяє збільшити амплітуду та розширити спектр шуму.

На рис. 1.2 наведено вигляд осцилограми сигналу.

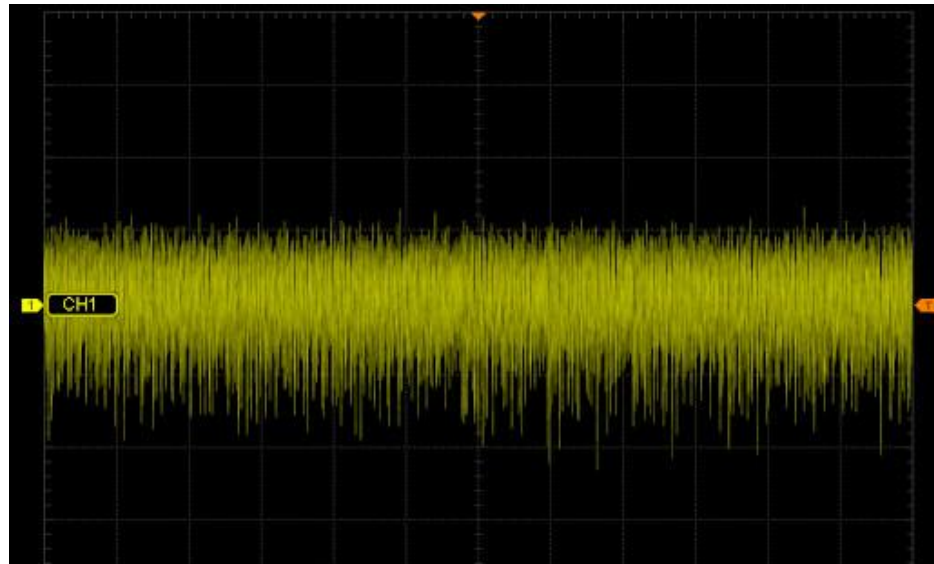


Рисунок 1.2 – Осцилограма сигналу на виході аналізованого ГШ

На рис. 1.3 наведено вигляд екрана аналізатора спектра.

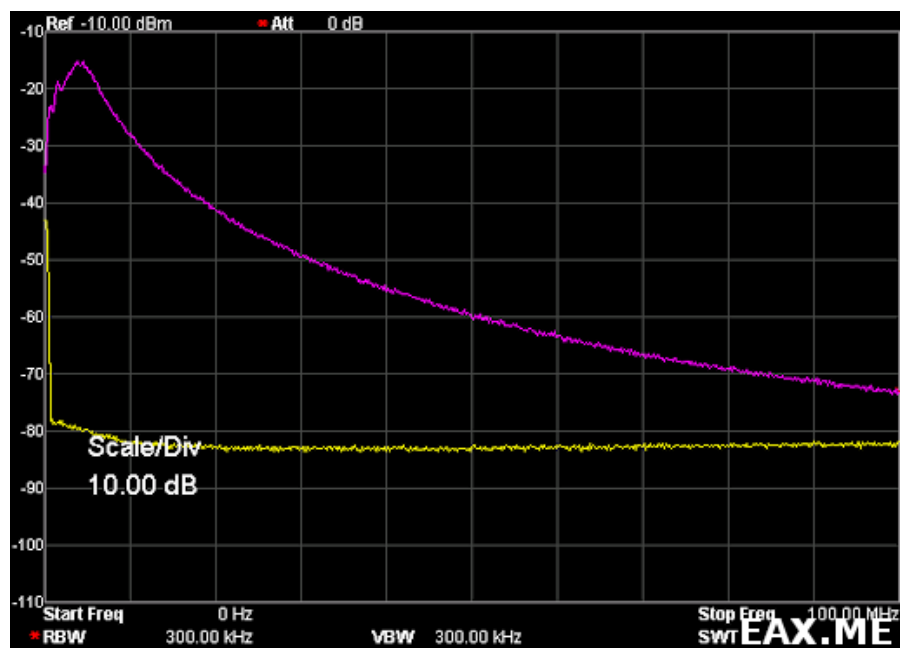


Рисунок 1.3 – Вигляд екрана аналізатора спектра

Тут присутні частоти від 0 до 100 МГц. Жовтий трейс відповідає фоновому шуму, а пурпуровий – це сигнал на виході аналізованого генератора. Для порівняння, простий генератор з одного ступеня при такій напрузі живлення видає -60 dBm на низьких частотах і його сигнал змішується з рівнем фоновому шуму вище 30 МГц.

Проаналізуємо іншу просту схему генератора білого шуму (Журнал "Silicon Chip", January, 2005).

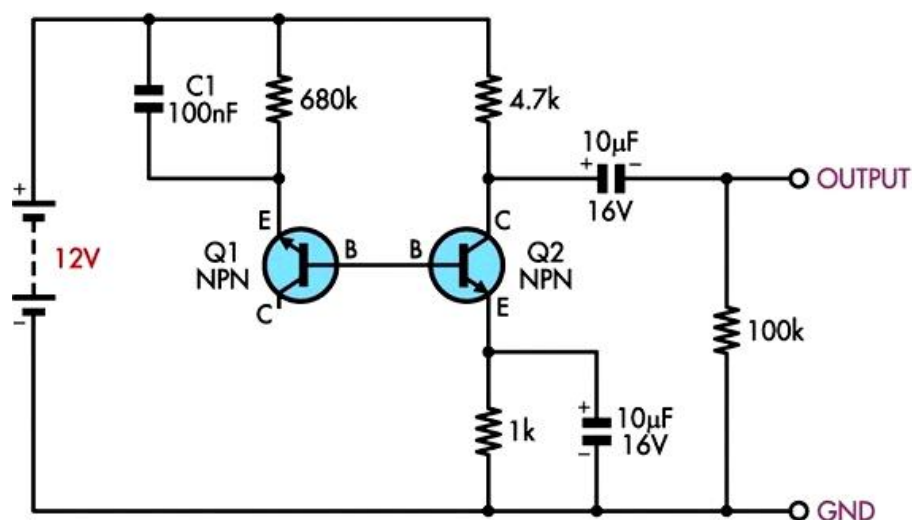


Рисунок 1.4 – Схема простого генератора білого шуму

Цей двотранзисторний генератор білого шуму має особливість – його генерований шум приблизно на 30 дБ більший, ніж у традиційніших моделей.

Транзистори Q1 і Q2 можуть бути будь-якими малосигнальними транзисторами з коефіцієнтом підсилення до 400. Зворотній перехід емітер-база Q1 являє собою джерело шумового сигналу, який подається на базу Q2. Збільшений вихідний рівень шумового сигналу пов'язаний з включенням конденсатора C1, який має дуже низький імпеданс для змінного сигналу, не впливаючи на зміщення транзистора Q1 по постійному струму.

Q2 – це простий підсилювач із коефіцієнтом підсилення 45 дБ. Введення зворотного зв'язку постійного струму робить цей каскад стійким до коливань напруги джерела живлення.

На жаль, схема (через C1) має дуже високу чутливість до пульсацій живлення. Чутливість до пульсацій джерела живлення можна значно скоротити, перекинувши верхній вихід C1 з живлення на землю.

Наведена вище схема не дуже вдала, оскільки струм через зворотнозмщений перехід Q1 дорівнює струму бази транзистора Q2 і може виявитися занадто низьким і, як наслідок, не цілком оптимальним з точки зору амплітуди та спектрального складу шумового сигналу.

Вказаного недоліку позбавлена наступна конструкція генератора білого шуму, наведена в одній із книг Ньютон С. Брага.

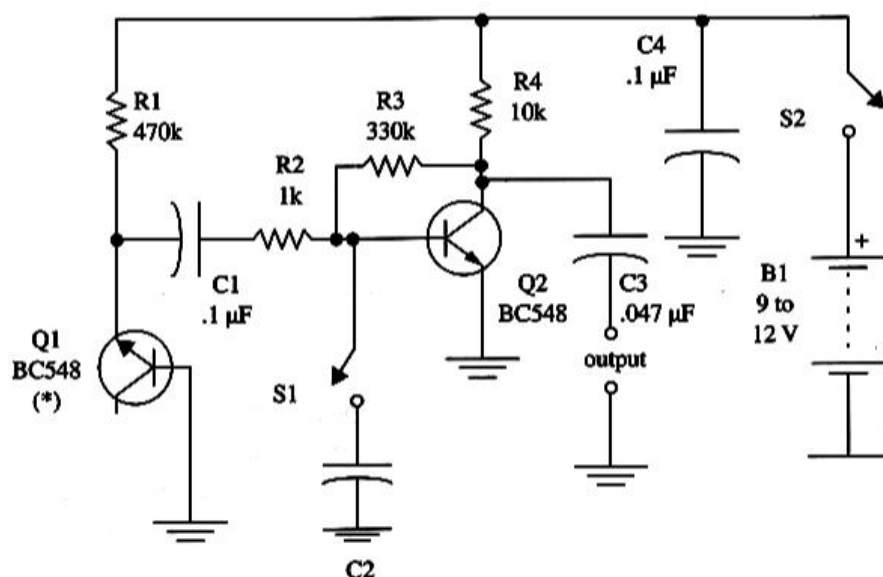


Рисунок 1.5 – Принципова схема генератора білого шуму

Тепловий шум у напівпровідниковому переході (Q1) підсилюється схемою і може використовуватися в експериментах як джерело несучого або фонових шуму.

Як джерело білого шуму можна використовувати будь-який кремнієвий діод, наприклад 1N4148 або 1N914, або перехід будь-якого кремнієвого NPN-транзистора загального призначення, наприклад 2N2222, BC547, BC548, 2N3904 і т.д.

Замиканням перемикача (S1) можна змінювати спектральний склад шуму, перетворюючи схему на генератор «рожевого шуму». Як згадувалося раніше, різниця між цими двома видами шуму в тому, що білий шум має постійну амплітуду вздовж усього частотного спектра, тоді як рожевий шум має амплітуду, що зменшується з частотою.

Транзистор Q2 використовується для збільшення амплітуди шуму, діючи як підсилювач. Коефіцієнт пісилення визначається резисторами R3 та R4.

Розглянуті вище транзисторні підсилювальні каскади із загальним емітером мають досить низький вхідний опір, який шунтує сигнал, що надходить зі зворотнорозміщеного напівпровідника, що знаходиться в допробійном режимі і, відповідно, має високий імпеданс. Якісно сформувати шумовий сигнал допоможе або польовий транзистор, або ОП з високим вхідним опором. Причому подавати сигнал зі стабілітрона треба не на інвертуючий вхід, як це відбувається в більшості конструкцій, а на неінвертуючий, оскільки саме він має високий і не залежний від підсилення вхідний опір.

Саме такою є наступна проаналізована схема.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		21

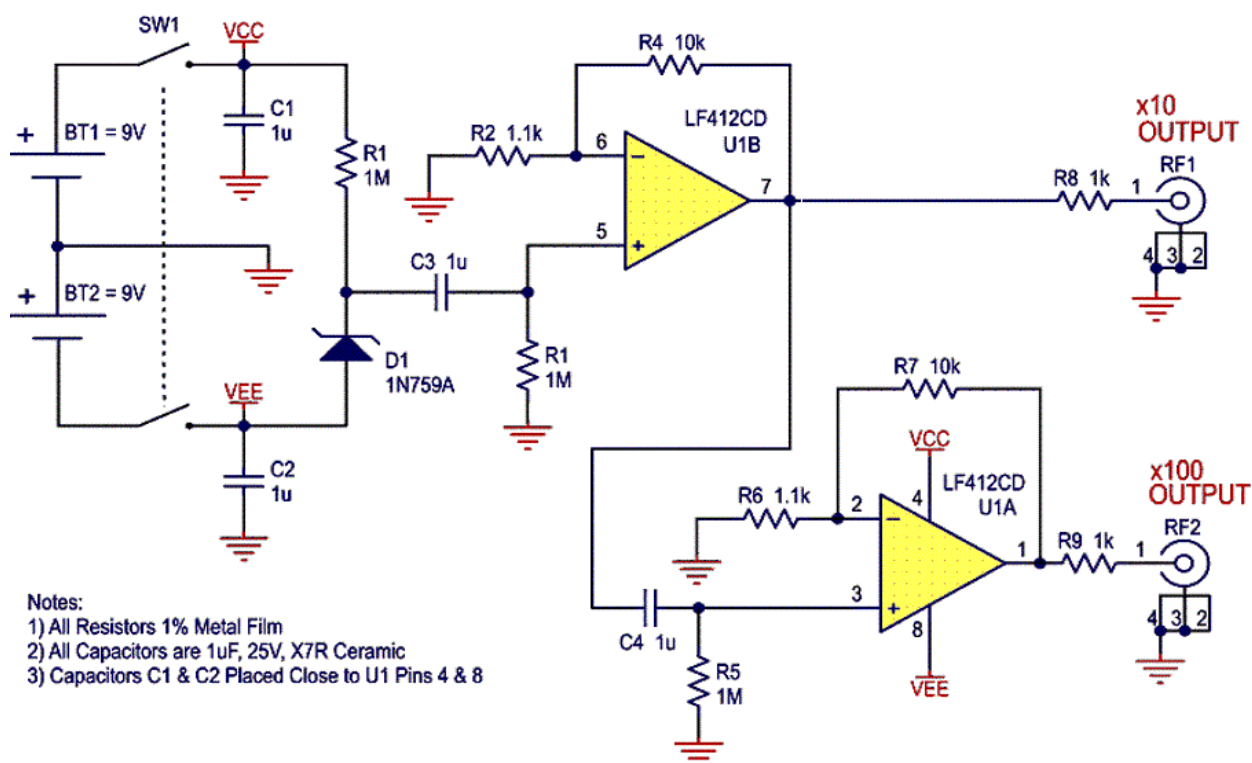


Рисунок 1.6 – Генератор білого шуму з рівномірним спектром
(1Гц...100кГц)

У цій конструкції як джерело шуму використано стабілітрон на 12 В. Ці діоди мають потужний та рівномірний спектр шуму і добре працюють при сильно розряджених акумуляторних батареях 9 В, які використані у схемі.

Власний шум обраного стабілітрона при живленні його напругою 18 В через резистор 1 МОм становить приблизно 20 мВ с.к.з. Пікове значення приблизно в п'ять разів більше і знаходиться в межах 100 мВ.

На стабілітрон через резистор 1 МОм подано зворотну напругу 18 В від двох послідовно включених 9-вольтових батарей. Мікросхема LF412 живиться напругою ± 9 , середня точка якої взята від точки з'єднання батарей. Невеликий вхідний струм і мала напруга зміщення дозволяють обійтися без розділових конденсаторів, тобто постійна складова напруги на виходах відрізняється від рівня «землі» на одиниці мілівольт.

Шум стабілітрона послідовно підсилюється за допомогою ОП U1A і U1B до пікових рівнів приблизно 1 і 10 В. Якщо цих величин буде занадто багато, то для створення дільника напруги можна використовувати резистори R8 і R9, щоб знизити рівень шуму до будь-якого бажаного значення.

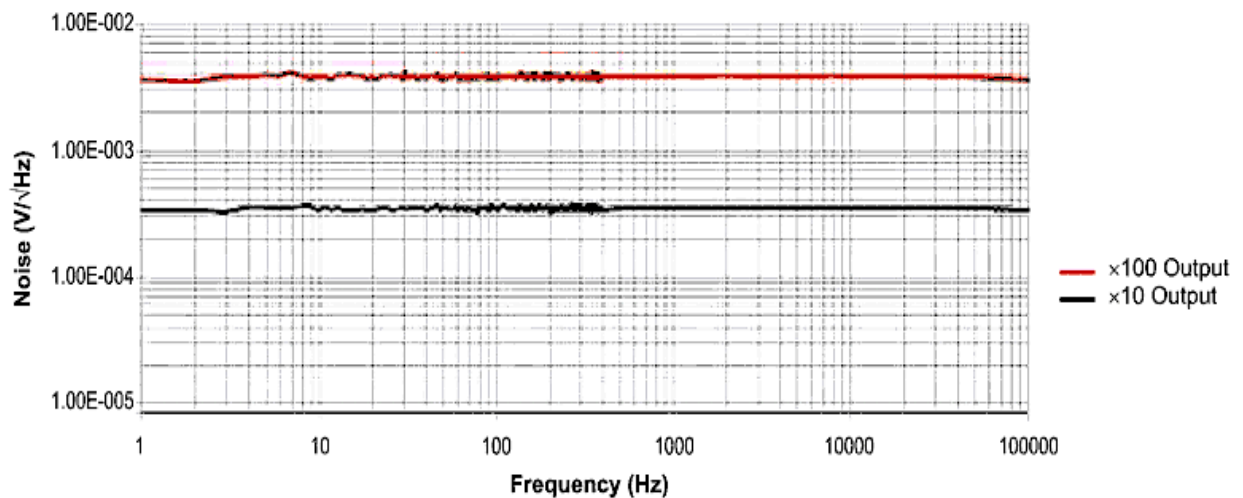


Рисунок 1.7 – Спектральна діаграма шуму в діапазоні від 1 Гц до 100 кГц

На рис. 1.7 показана результуюча шумова характеристика схеми, як можна побачити, практично рівномірна в смузі частот від 1 Гц до 100 кГц. Невеликий спад АЧХ на виході x100 в районі 100 кГц становить менше 0.5 дБ і, при необхідності, може бути компенсований відповідною частотно-залежною корекцією підсилення U1B.

Схема споживає всього 4 мА і надійно працює навіть із розрядженими до 7 В батареями.

Частотний діапазон генератора шуму визначається смугою пропускання підсилювача напруги і може сягати сотень МГц. Однак, високий диференціальний опір "непробитого" стабілітрона разом з вхідною ємністю підсилювача створює ФНЧ, що послаблює високі частоти. Тому, якщо потрібно отримати рівномірний спектр шумового сигналу до десятків-сотень мегагерц, то доводиться переходити в режим пробою. У цьому режимі

диференціальний опір стабілітрона (зворотнозміщеного переходу транзистора) падає до величини, що становить від одиниць до сотень Ом.

Інший варіант ГШ наведено на рисунку нижче.

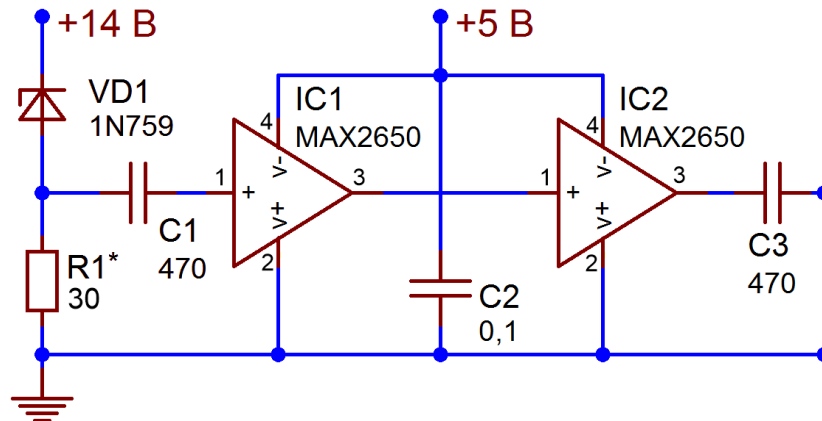


Рисунок 1.8 – Схема широкосмугового генератора білого шуму від 1 Гц до 100 МГц.

Два малOSHумливі підсилювачі в каскаді підсилюють шум, що створюється стабілітроном зі зворотним зміщенням, що працює в режимі пробую переходу, створюючи білий шум зі смугою пропускання в кілька сотень мегагерц.

Вихідна потужність шуму в основному визначається напругою пробую діода, що принаймні на 15-20 дБ вище, ніж потужність шуму, що створюється стабілітроном 5 В.

Навіть зі стабілітроном на 12 В коефіцієнт підсилення MAX2650 в 20 дБ недостатній для отримання потужності шуму вище -60 дБм.

Амплітуда шуму практично не залежить від струму стабілітрона.

Спектр частоти/потужності вихідного шуму не є ідеально рівним у широкому діапазоні частот.

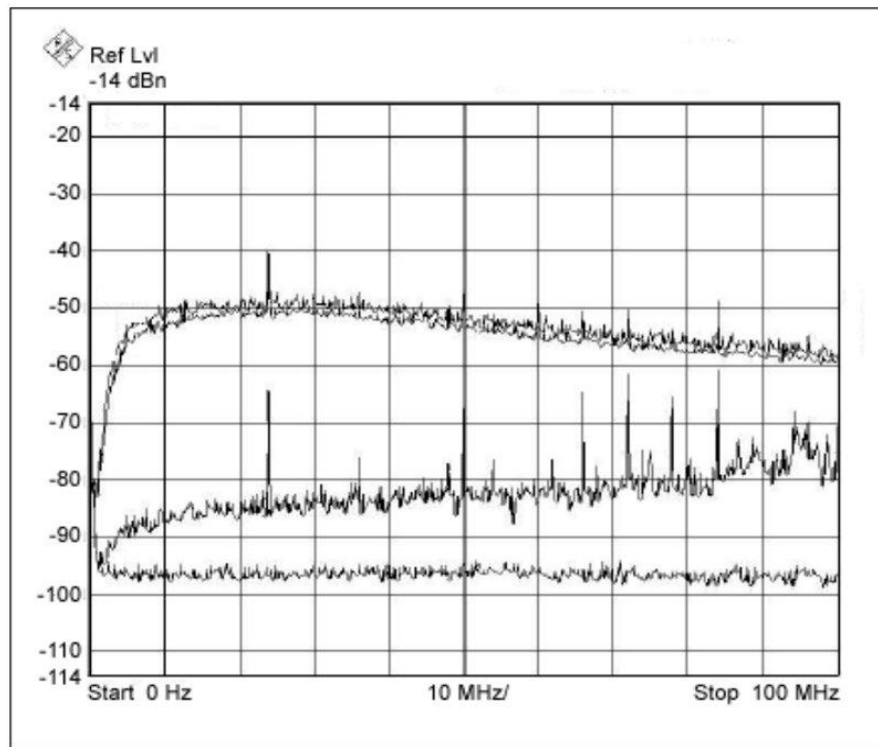


Рисунок 1.9 – Вихідний спектр широкосмугового генератора білого шуму

На рис. 1.9 нижня крива показує мінімальний рівень шуму приладу (виміряний, коли все вимкнено). Друга крива знизу – вихідний шум MAX2650 при вимкненому діоді. Дві верхні криві є спектром вихідного шуму при струмі стабілітрона 10 мА і 60 мА відповідно.

Проаналізуємо ще одну схему простого ГШ (рис. 1.10).

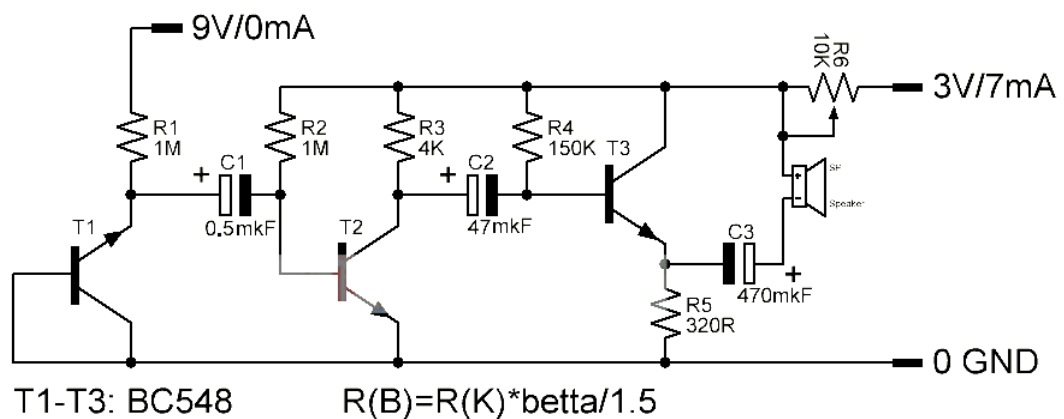


Рисунок 1.10 – Принципова схема простого генератора білого шуму на транзисторах.

Перший транзистор використовується в якості детектора (датчика) - при зворотному включенні діода лавиноподібно тунелюються електрони, долаючи потенційний бар'єр у випадковому порядку за принципом квантової механіки, за принципом невизначеності Гейзенберга.

Кванти також рухаються дискретно, тобто зникаючи в одному місці і з'являючись в іншому - перестрибуючи область наприклад діелектрика з ймовірністю в залежності від енергії електронів і товщини діелектрика - цей ефект називається тунелюванням.

Другий транзистор використовується як найпростіший підсилювач, резистори в базі та колекторі розраховуються за формулою: $R(b)=R(c)*\beta/1,5$, тобто номінал резистора на базі дорівнює резистору на колекторі, помноженому на бета транзистора і поділеному на 1,5.

Третій транзистор це емітерний повторювач, який вже не пісилює напругу, а пісилює тільки струм, тобто поставлений тільки для того, щоб без втрат передати сигнал на низькоомний динамік.

Опір у його базі не критично і приблизно рівний 150 кОм, а резистор в колі емітера підбирається спочатку на підстроювальному або на змінному резисторі, а потім ставиться постійний, але для транзистора BC548, підібраний опір 323 Ом.

Змінний резистор, що розриває коло додатнього живлення двох других транзисторів - це гучність, яка ще більше зменшує споживання схеми на тихому звуку.

Перший транзистор живиться через резистор 1 МОм, тому що величина струму для лавинного пробою та тунелювання там не потрібна. Але живиться перший транзистор від 9 вольт, тому що для лавинного пробою важлива величина напруги. Інші частини схеми можуть житися від 3 В.

1.4 Розробка структурної схеми

Враховуючи все вищесказане будуюмо схему структурну, що наведена на рис. 1.11.

В ній використані для побудови побудови одноканальних зворотньоходових перетворювачів і використано можливість роботи як від мережі електроживлення так і від акумуляторної батареї.

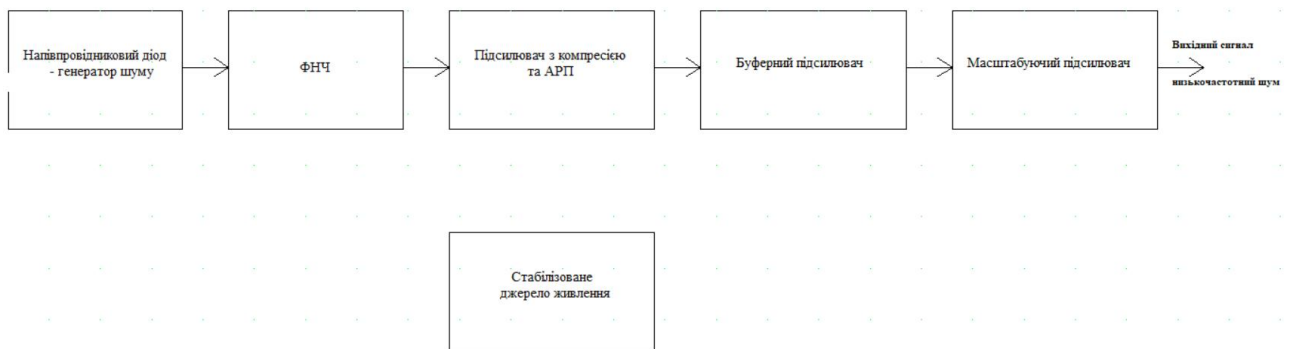


Рисунок 1.11 – Схема структурна генератора низькочастотного шуму

1.5 Розробка схеми електричної принципової

Схема електрична принципова, що лягла в основу розробленого генератора низькочастотного шуму, наведена на рис. 1.12.

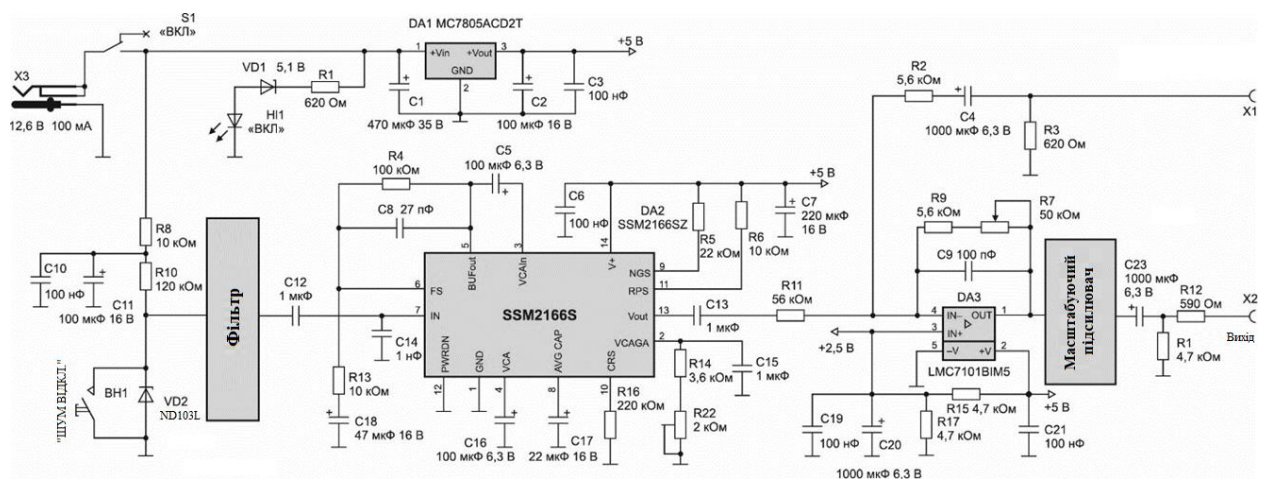


Рисунок 1.12 – Базова схема електрична принципова розробленого генератора низькочастотного шуму

В основі роботи генератора як первинне джерело шуму використано діод ND103L (VD2). Цей діод має спектральну густину напруги не менше 30 мкВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ в нормальних кліматичних умовах. Гранична частота генерації шуму – не менше 1 МГц, а гарантована нижня частота генерації шуму становить 2 Гц. Нерівномірність спектральної характеристики у всьому діапазоні частот – не більше +4 дБ. Оскільки прилад призначений для формування низькочастотних шумів у звуковому діапазоні, то в заданому діапазоні частот початкова нерівномірність спектральної характеристики є значно нижчою і є практично лінійною. Нормування спектральної характеристики генераторів шуму типу ND103L дає переваги у їх використанні порівняно з більш дешевими варіантами - стабілітронами, зворотнозміщеними р-п переходами транзисторів або вихідною напругою шумів компенсаційних стабілізаторів напруги.

Необхідний для функціонування VD2 струм 50 мкА заданий резисторами R8, R10. Включення діода в коло первинного джерела напруги пов'язане з необхідністю забезпечити його робочу напругу на рівні 6 В. Виділення необхідного спектру шумового сигналу (2 Гц - 28 кГц) здійснюється додатковим фільтром, який встановлюється безпосередньо між діодом VD2 і схемою нормування середньоквадратичного рівня вихідної напруги на ІМС DA2. Нормування вихідного шумового сигналу за середньоквадратичним рівнем необхідне з кількох причин. По-перше, різні екземпляри діодів ND103L мають різні значення спектральної густини напруги. Спектральна густина напруги залежить від варіації характеристик конкретного екземпляра діода, струму через діод, температури, опору та ємності навантаження, опору генератора струму, що формує робочий струм діода. Наприклад на рис. 1.13 представлена область зміни СГ напруги для діода ND103L тільки від величини постійного струму.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		28

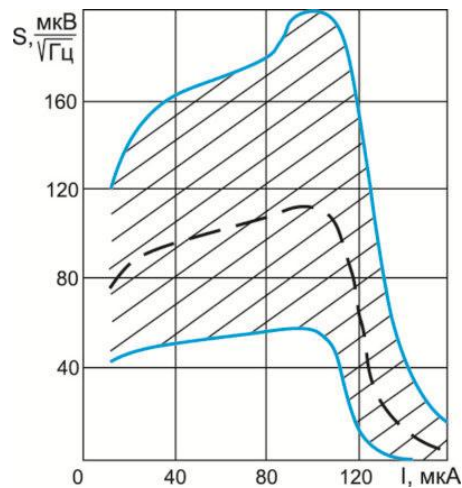


Рисунок 1.13 – Область зміни спектральної густини напруги діода ND103L залежно від постійного робочого струму

Як можна бачити з наведеної залежності, розкид досить суттєвий. При збільшенні зовнішньої температури до $+70^{\circ}\text{C}$ зменшення спектральної густини напруги може становити до двох разів. По-друге, використання фільтрів, що виділяють необхідну область спектру шуму, у свою чергу зменшуватиме середньоквадратичну напругу шумів на виході фільтра. Так, згідно з технічними умовами, при мінімальному значенні спектральної густини напруги $S=30 \text{ мВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ для смуги частот $2 \text{ Гц} - 28 \text{ кГц}$ середньоквадратична напруга шумів дорівнює:

$$S \times \sqrt{\Delta f} = 30 \times \sqrt{(28000-2)} = 5,02 \text{ мВ},$$

для смуги частот 2-1000 Гц дорівнює:

$$30 \times \sqrt{(1000-2)} = 0,95 \text{ мВ},$$

а для смуги частот 2-100 Гц дорівнює:

$$30 \times \sqrt{(100-2)} = 0,3 \text{ мВ}.$$

Таким чином, якщо не здійснити нормування вихідної напруги генератора шуму, то в ході вимірювань необхідне постійне калібрування приладу, що ускладнить його використання. Нормування вихідного сигналу за

середньоквадратичним рівнем здійснюється каскадом на ІМС SSM2166S (Analog Devices, Inc.). Дана ІМС є підсилювачем з компресією сигналу, яка задається зовнішнім резистором. Причому схема автоматичного регулювання підсилення працює саме за середньоквадратичним рівнем вхідного сигналу. Передавальна характеристика пристроїв на основі цієї ІМС представлена на рис. 1.14.



Рисунок 1.14 – Передавальні характеристики схем на ІМС SSM2166

Вхідний підсилювач мікросхеми може бути налаштований зовнішніми елементами для забезпечення підсилення від 0 до 20 дБ середньоквадратичного значення (AVG) Час усереднення (інтеграції) задається зовнішнім конденсатором (зазвичай використовується конденсатор ємністю від 2 до 47 мкф).

Коефіцієнт підсилення каскаду на ІМС SSM2166 приблизно рівний 40 дБ, глибина компресії (15:1), постійна інтегрування, шумовий затвор і точка повороту обрані оптимальними для вирішення поставленої задачі. Рівень вихідного сигналу на D2, що становить 0,775 В, встановлюється

підстроювальним резистором R22. Це забезпечує пік-фактор вихідного сигналу не менше 3, що достатньо для зазначеної області застосування.

На виході генератора встановлений буферний вихідний каскад на ІМС D3 з регулюванням підсилення, оскільки ІМС SSM2166 не має захисту від коротких замикань і має низьку навантажувальну здатність, а для ефективного використання генератора потрібним є регулювання рівня вихідного сигналу. У проектуваному генераторі вихідний каскад виконаний на ОП LMC7101BIM5, частота зрізу підсилювача вибрана рівною 28 кГц при максимальному підсиленні. Тип ОП для цієї схеми не критичний. Регулятор підсилення (R7) у практичній конструкції приладу - це змінний резистор з понижувальним редуктором. Вихідний опір генератора стандартний - 600 Ом.

Ще однією особливістю пропонованого генератора є передбачена його конструкцією можливість додавання в спектр шумового сигналу зовнішніх сигналів. Змішування сигналів здійснюється у буферному вихідному каскаді. Сигнал подається на зовнішній вхід. Вхідний опір цього входу стандартний - 600 Ом. Регулювання такого комплексного сигналу є загальним. У разі потреби шумовий сигнал можна відключати натисканням на кнопку «Шум ВІДКЛ». Якщо був поданий зовнішній сигнал, він надійде на тестований пристрій без шумової складової. Причому всі шуми, що є на вході каскаду на DA2, будуть подавлені не менше ніж на 60 дБ, оскільки спрацює шумовий затвор ІМС SSM2166.

Якщо необхідним є ступінчасте регулювання вихідного сигналу, пристрій може бути доповнений масштабуючим підсилювачем, схема такого підсилювача наведена на рис. 1.15.

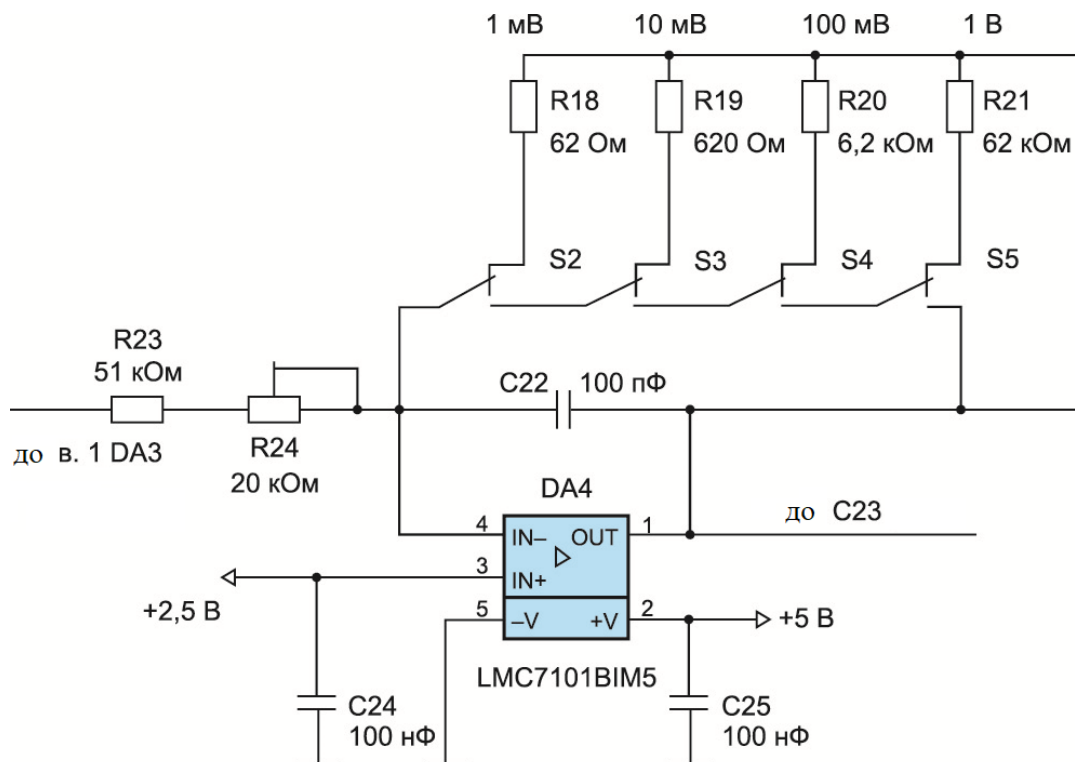


Рисунок 1.15 – Масштабуючий підсилювач

Масштабуючий підсилювач дозволяє вибрати один із чотирьох діапазонів встановлення вихідної напруги до 1 мВ, до 10 мВ, до 100 мВ, до 1 В. Пріоритет має перемикач найменшого діапазону.

В якості фільтрів, що виділяють необхідну область спектру шуму, рекомендується використовувати фільтр не нижче четвертого порядку. В схемі передбачений фільтр на спеціалізованій ІМС LTC1563-2CGN (рис. 1.16). Її застосування виправдане малим рівнем власних шумів, простотою реалізації на ній фільтрів високих порядків, відсутністю зовнішніх частотоздатних конденсаторів тощо.

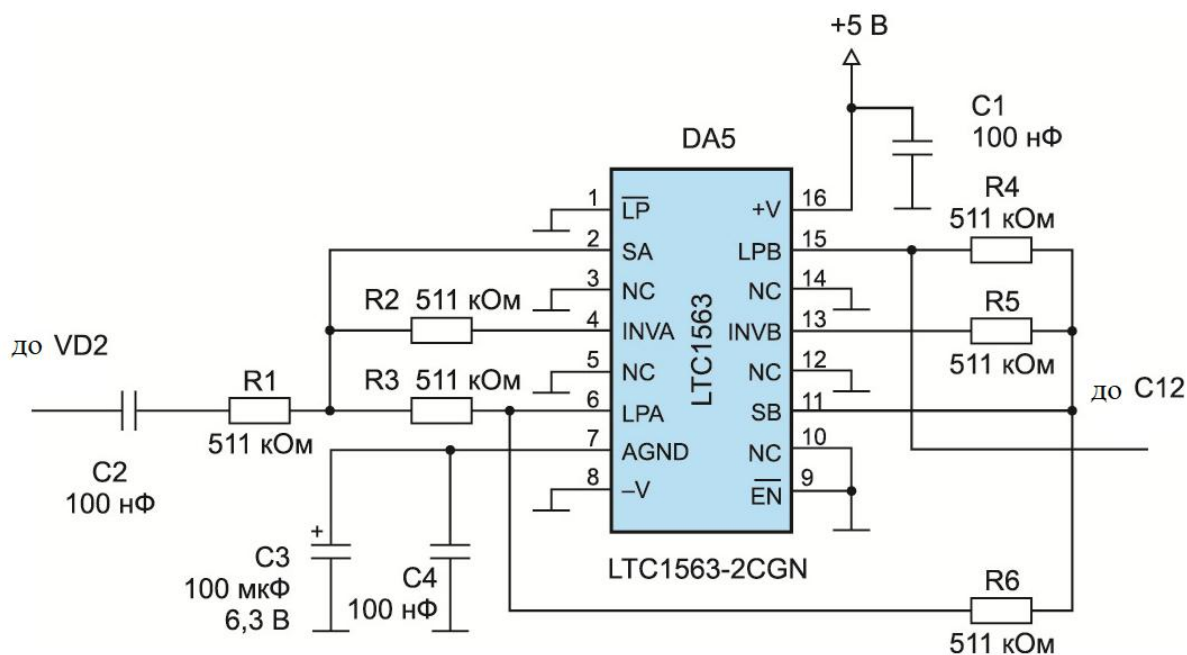


Рисунок 1.16 – Приклад реалізації фільтра низької частоти Батерворта 4-го порядку (частота зрізу 5 кГц) на ІМС LTC1563-2CGN

На основі вищесказаного було розроблено повну схему електричну принципову, що наведена на рис. 1.17 та в додатках.

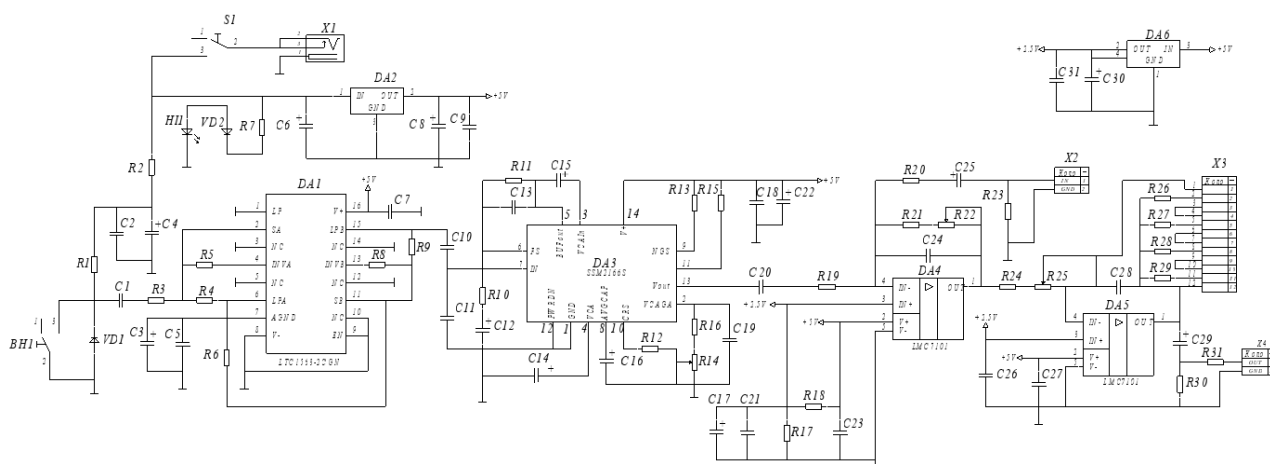


Рисунок 1.17 – Схема електрична проектного генератора

1.6 Параметричний синтез

Проведемо розрахунки деяких вузлів схеми.

Насамперед проведемо вибір опорів резисторів R1, R2. Вони задають струм через діод VD2. Він має становити 50 мкА. При цьому напруга на діодові має становити 6 В. Оскільки живиться діод від вхідної напруги живлення 12,6 В, то падіння напруги на цих резисторах має становити відповідно 6,6 В. Таким чином визначаємо опір цих резисторів:

$$R1+R2=6,6\text{В}/50\text{мкА}=132\text{ кОм}$$

Таким чином приймаємо R2=10кОм, а R1=120 кОм. Додатково введено фільтр на ємностях C2, C4 для унеможливлення попадання шумів в кола живлення та наступні кола схеми.

Опір R7, стабілітрон VD1 та світлодіод HL1 забезпечують індикацію включення та роботи генератора. Стабілітрон використовується для додаткового обмеження напруги живлення світлодіода на рівні 5,1 В, а резистор обмежує струм живлення світлодіода. Так, при струмові світлодіода на рівні 12 мА на резисторі R7 має падати (12,6-5,1)=7,5 В. Тоді опір цього резистора становитиме:

$$R7=7,5\text{В}/12\text{мА}=625\text{ Ом}.$$

Приймаємо R7=620 Ом.

Конденсатори C6, C8 та C9 вибираються типовими для мікросхеми стабілізатора живлення +5В MC7805 відповідно до паспортних даних – 470 мкФ, 100 мкФ та 0,1 мкФ.

Елементи обв'язки мікросхеми SSM2166S також вибираються відповідно до паспортних даних.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		34

На елементах R18, R17 виконано подільник напруги з коефіцієнтом ділення 2. Відповідно ці два опори мають бути однаковими. Приймаючи струм через подільник в 0,5 мА знаходимо опір цих резисторів:

$$(R18+R17)=5V/0,5\text{мкА}=10\text{ кОм}$$

З рядів стандартних значень приймаємо опори резисторів відповідно рівні 4,7 кОм. При цьому струм становитиме 0,53 мА, що є допустимим.

Подібним чином визначаються значення решти елементів схеми.

1.7 Вибір елементів

В пристрої застосовано такі елементи. Як джерело шуму використано діод ND103L. Резистори постійні використано типу RESC2012X60N, а підстроювальні – типу WH06-2, або є можливість заміни на TRIM_12T_2K_BOURNS_3266W. WH06-2 має відстань між виводами 5 мм, тип корпусу RM-065 (рис. 1.18).

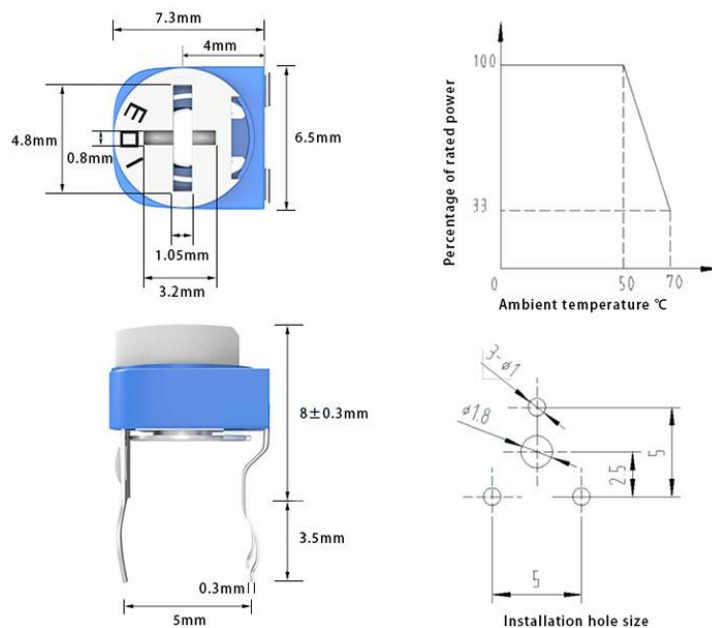


Рисунок 1.18 – Корпус та характеристики WH06-2

Конденсатори електролітичні CAPAE660X540N та неполярні CAPC2012X135N.

Стабілітрон використано типу BZX55C5V1 з напругою 5,1 В і в корпусі DO-35.

В якості мікросхеми фільтра використано LTC1563-2CGN.

В якості основного підсилювача використано мікросхему SSM2166S.

SSM2166 інтегрує комплексне та гнучке рішення для використання мікрофонних входів у комп'ютерних аудіосистемах. Він також чудово підходить для покращення чіткості голосу в системах зв'язку та громадського оповіщення. Низькошумний підсилювач з керуванням напругою (VCA) забезпечує коефіцієнт підсилення, який динамічно регулюється контуром керування для підтримки встановленої характеристики стиснення. Коефіцієнт стиснення встановлюється одним резистором і може змінюватися від 1:1 до понад 15:1 відносно визначеної користувачем точки обертання; сигнали вище точки обертання обмежуються, щоб запобігти перевантаженню. У налаштуванні стиснення 1:1 SSM2166 можна запрограмувати з фіксованим коефіцієнтом підсилення до 20 дБ; це підсилення додається до змінного підсилення в інших налаштуваннях стиснення. Вхідний буфер також можна налаштувати на коефіцієнт підсилення на вході від 0 дБ до 20 дБ. Низхідний розширювач (шумозахисний затвор) запобігає підсиленню шуму. Це призводить до оптимізованих рівнів сигналу перед оцифруванням, тим самим усуваючи необхідність додаткового підсилення або ослаблення в цифровій області. Коефіцієнт стиснення та постійні часу встановлюються зовнішніми елементами.

В якості масштабуючого підсилювача використано мікросхему lmc7101bim5. LMC7101 — це високопродуктивний операційний підсилювач на основі КМОН-технології, доступний у компактному 5-контактному корпусі SOT23 Tiny. LMC7101 є ідеальним рішенням для конструкцій, критично важливих до простору та ваги. Характеристики аналогічні до одиночного

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		36

підсилювача типу LMC6482/LMC6484, з вхідним та вихідним сигналом типу "rail-to-rail", високим коефіцієнтом підсилення в розімкнутому контурі, низьким спотворенням та низькими струмами живлення.

Технічні характеристики:

- Кількість підсилювачів: 1;
- Смуга частот: 1 МГц;
- Швидкість наростання: 1.1 В/мкс;
- Діапазон напруги живлення: 2.7 В ... 15.5 В;
- Тип корпусу: SOT-23;
- Кількість виводів: 5;
- Тип підсилювача: CMOS;
- Добротність: 1 МГц;
- Вхід / вихід: Rail-Rail I/O;
- Напруга зміщення входу максимальна: 9 мВ;
- Робочий діапазон температур: -40 ° С ... +85 ° С;
- Напруга живлення (+) номінальна: 5 В;
- Спосіб монтажу: SMD.

Також використано стабілізатор напруги MC7805ACD2T. Це регулятори напруги – монолітні інтегральні схеми, розроблені як регулятори фіксованої напруги для широкого спектру застосувань, включаючи локальне регулювання на платі.

1.8 Розробка плати та вузла генератора шуму

На цьому етапі проведено проєктування друкованої плати та вузла генератора шуму виходячи із вибраних компонентів.

Топологія друкованої плати (РСВ) – це креслення, яке є основним при виробництві друкованих плат, що є основою будь-якого електронного пристрою.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		37

Друковані плати служать основою електронних пристроїв і спосіб їх проектування та виготовлення суттєво впливає на продуктивність і надійність кінцевих виробів.

Топологія друкованої плати це складне узгоджене креслення, яке точно визначає розміщення основних електронних компонентів. Вона служить основою формування електричних з'єднань.

Проектування друкованих плат – це складний процес, який включає кілька етапів, від концептуалізації до остаточного виробництва. Він починається зі створення принципової схеми, яка є символічним представленням схеми. Ця схема включає всі компоненти, які будуть частиною схеми, та їх взаємозв'язки. Схема служить орієнтиром для компонування ДП, яка є фізичним представленням кола.

Роль дизайнера друкованих плат багатогранна. Він відповідає за перетворення схеми на функціональне компонування ДП. Це включає визначення розміщення компонентів, маршрутизацію з'єднань та забезпечення відповідності проекту галузевим стандартам та рекомендаціям. Дизайнер також повинен враховувати такі фактори, як електричні вимоги до схеми, фізичні обмеження ДП та виробничий процес.

ДП складається з кількох компонентів, кожен з яких виконує певну функцію. Основним компонентом є сама плата, яка зазвичай виготовлена з непровідного матеріалу, такого як скловолокно або пластик. Ця плата служить основою, на якій монтуються інші компоненти.

Резистори – це поширені компоненти, що знаходяться на друкованій платі. Вони регулюють потік електрики через коло, забезпечуючи опір. Значення резистора, виміряне в омах, визначає, наскільки він протидіє протіканню струму.

Конденсатори – це ще один тип компонентів. Вони накопичують та вивільняють електричну енергію, діючи приблизно як батарея. Конденсатори мають вирішальне значення для фільтрації шуму від джерела живлення,

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		38

блокування постійного струму, пропускаючи при цьому змінний струм, та для багатьох інших функцій.

Інтегральні схеми – це, по суті, мініатюрні схеми, які виконують певні функції. Вони можуть варіюватися від простих логічних вентилів до складних мікропроцесорів. ІС зазвичай є найскладнішими компонентами на друкованій платі та часто визначають загальну функціональність пристрою. Провідні доріжки та контактні площадки – це з'єднувачі всіх компонент. Ці доріжки, часто виготовлені з міді, витравлюються на платі в процесі проектування. Вони забезпечують шлях для протікання електричного струму між компонентами. Контактні площадки – це невеликі ділянки відкритого металу, де компоненти припаюються до плати. Кожен з цих компонентів відіграє вирішальну роль у загальній функції друкованої плати. Компонування та взаємозв'язок цих компонентів визначають, як працює схема та як працює електронний пристрій.

Друковані плати бувають різних типів, кожен з яких підходить для різних застосувань залежно від своїх фізичних та електричних властивостей.

Односторонні ДП є найпростішим типом. Вони містять компоненти, що розміщені з одного боку плати, та провідні мідні доріжки з іншого. Зазвичай вони використовуються в простій електроніці, де простір та складність не є суттєвими проблемами, наприклад, у блоках живлення та радіоприймачах.

Двосторонні ДП мають провідні мідні доріжки з обох боків плати. Це забезпечує більшу щільність компонентів та з'єднань, що робить їх придатними для складніших пристроїв. Дві сторони з'єднуються за допомогою технології наскрізних отворів, де отвори просвердлюються через плату та заповнюються провідним матеріалом електричних з'єднань.

Багатошарові ДП розвивають цю концепцію далі, включаючи кілька шарів провідних доріжок, розділених ізоляцією. Вони можуть коливатися від 4 до 12 шарів, або навіть більше у конструкціях з високою щільністю. Шари з'єднуються за допомогою перехідних отворів, подібно до двосторонніх

друкованих плат. Багатошарові ДП використовуються у дуже складних пристроях, таких як комп'ютери та медичне обладнання, де простір обмежений і потрібен високий рівень електричних характеристик.

Жорсткі ДП виготовляються з твердого матеріалу-підкладки, такого як скловолокно, яке зберігає свою форму. Вони міцні та можуть витримувати важкі компоненти, але не можуть згинатися чи прогинатися.

Гнучкі ДП, навпаки, виготовляються з таких матеріалів, як гнучкий пластик або каптон. Вони можуть згинатися та прогинатися, не пошкоджуючи схему. Це робить їх ідеальними для використання в таких пристроях, як камери та мобільні телефони, де друкована плата повинна поміщатися в компактний корпус неправильної форми.

Кожен тип друкованої плати забезпечує унікальні переваги та проблеми з точки зору проектування, виробництва та застосування. Вибір типу друкованої плати залежить від конкретних вимог до проектного електронного пристрою, включаючи його складність, фізичні обмеження та вимоги до продуктивності.

Після завершення формування схеми наступним кроком є перетворення її на макет друкованої плати. Це включає визначення розміщення компонентів, маршрутизацію з'єднань та забезпечення відповідності проекту галузевим стандартам та рекомендаціям.

Розміщення компонентів є ключовим етапом у процесі компонування друкованої плати, який вимагає ретельної уваги до деталей та дотримання правил і рекомендацій щодо проектування. Мета полягає у створенні компонування, яке оптимізує електричну ефективність, економить простір і відповідає правилам проектування, одночасно гармонізуючи інтеграцію компонентів поверхневого монтажу, програмного забезпечення для проектування та вимог схемотехніки.

Розміщення компонентів на друкованій платі визначається безліччю факторів, кожен з яких впливає на загальну продуктивність і надійність

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		40

кінцевого продукту. Перш за все, проектувальник повинен враховувати електричні вимоги схеми. Компоненти, що мають спільну функцію або сигнальний шлях, повинні бути ретельно згруповані, мінімізуючи довжину з'єднань. Це служить для зменшення спотворення сигналу та електромагнітних перешкод, сприяючи цілісності схеми.

Управління температурою займає центральне місце в цій справі. Компоненти, які генерують значне тепло, такі як силові транзистори та регулятори напруги, потребують стратегічного розміщення в зонах з достатнім потоком повітря або поблизу радіаторів.

Фізичні обмеження друкованої плати та самі компоненти також відіграють певну роль у розміщенні компонентів. Компоненти з великими розмірами або ті, що потребують спеціального монтажного обладнання, можуть потребувати розміщення в певних місцях на платі. Крім того, компоненти, які повинні бути доступними для обслуговування або налаштування, такі як роз'єми або потенціометри, бути легкодоступними.

Правила та рекомендації щодо проектування, часто визначаються галузевими стандартами або параметрами, специфічними для пристрою, та мають свій вплив. Ці правила охоплюють мінімальну відстань між компонентами, зазор від країв плати та вирівнювання з іншими компонентами. Суворе дотримання цих принципів гарантує технологічну конструкцію друкованої плати, яка відповідає галузевим стандартам.

Трасування – це процес з'єднання компонентів на друкованій платі за допомогою струмопровідних доріжок. Ці доріжки, часто виготовлені з міді, забезпечують шлях для протікання електричного струму між компонентами. Трасування є критичним аспектом проектування компонування друкованої плати, оскільки вона безпосередньо впливає на продуктивність та надійність схеми.

Під час трасування ДП необхідно враховувати кілька факторів. По-перше, проектувальник повинен переконатися, що трасування відповідає

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		41

правилам та рекомендаціям щодо проектування. Ці правила, які можуть включати мінімальну ширину доріжки, відстань між доріжками та зазор від країв плати, гарантують надійне та ефективне виготовлення друкованої плати.

Цілісність сигналу є ще одним найважливішим фактором на етапі трасування, відіграючи ключову роль у проектуванні високопродуктивних електронних схем. Проектувальники мають забезпечити цілісність сигналів під час їх проходження по друкованій платі, і в цьому прагненні сигнальні шари та сигнальні доріжки виступають життєво важливими компонентами. Проектувальник повинен мінімізувати довжину доріжок та уникати різких вигинів, оскільки вони можуть спричинити погіршення сигналу та збільшити ризик електромагнітних перешкод. Крім того, високошвидкісні сигнали та чутливі аналогові сигнали слід відводити подалі від шумних компонентів, таких як імпульсні джерела живлення, щоб мінімізувати ризик перехресних перешкод та інших проблем із цілісністю сигналу.

Розподіл живлення також є критичним аспектом трасування. Проектувальник повинен забезпечити, щоб доріжки живлення були достатньо широкими, щоб витримувати необхідний струм, і щоб вони були ефективно прокладені, щоб мінімізувати падіння напруги. Площини заземлення, які являють собою великі ділянки міді, з'єднані із землею, можуть бути використані для забезпечення зворотного шляху з низьким імпедансом для струмів та для покращення загальної продуктивності схеми.

Термічний режим – це ще один фактор, який слід враховувати під час трасування друкованої плати. Доріжки, якими проходять високі струми, можуть генерувати значну кількість тепла, що може призвести до перегріву та виходу з ладу пристрою. Щоб зменшити цей ризик, розробник може використовувати ширші доріжки, додавати теплові переходи для розсіювання тепла або трасувати доріжки таким чином, щоб максимізувати розсіювання тепла.

Правила проектування компонування друкованих плат

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		42

Правила проектування, що охоплюють ширину доріжок, відстань між ними, зазор, розміщення компонентів, шари плати, кількість шарів та ретельний покроковий підхід, є особливо важливими в процесі компонування друкованих плат. Ці рекомендації є фундаментальними для забезпечення технологічності та електричних характеристик друкованої плати. Дотримання цих правил є обов'язковим, оскільки будь-які порушення можуть призвести до дефектів або низької продуктивності. Часто засновані на галузевих стандартах, таких як IPC, ці правила можуть бути адаптовані до конкретних вимог пристрою, що проектується. Кількість шарів та їх точне укладання суттєво впливають на загальну функціональність та технологічність друкованої плати.

Зазор та шлях витoku – це два важливі правила проектування, пов'язані з відстанню між провідними елементами на друкованій платі. Обидва є критично важливими для забезпечення безпеки та надійності схеми.

Зазор – це найкоротша відстань між двома провідними елементами в повітрі. Важливо підтримувати достатній зазор, щоб запобігти електричній дугі, яка може пошкодити друковану плату або навіть призвести до пожежі. Необхідний зазор залежить від таких факторів, як рівень напруги кола, тип використовуваного ізоляційного матеріалу та умов навколишнього середовища, в яких працюватиме пристрій.

Шлях витoku – це найкоротша відстань між двома провідними елементами вздовж поверхні ізоляційного матеріалу. Шлях витoku важливий, оскільки він допомагає запобігти утворенню провідних шляхів через забруднення, вологу або інші фактори, які можуть спричинити коротке замикання або струм витoku. Як і зазор, необхідний шлях витoku залежить від рівня напруги, ізоляційного матеріалу та умов навколишнього середовища.

Щоб забезпечити безпеку та надійність друкованої плати, розробники повинні ретельно враховувати вимоги до зазору та шляху витoku під час створення макета. Це включає вибір відповідних ізоляційних матеріалів,

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		43

підтримку достатньої відстані між провідними елементами та врахування конкретних умов експлуатації пристрою. Дотримуючись правил проектування зазору та шляху витоку, розробники можуть мінімізувати ризик електричних збоїв та забезпечити довгострокову роботу ДП.

Перехідні отвори є важливими в макетуванні друкованих плат, забезпечуючи електричні з'єднання між шарами. Вони бувають різних типів, таких як наскрізні, глухі отвори тощо. Наскрізні переходи з'єднують верхній і нижній шари.

При проектуванні переходів важливо враховувати їх розмір та відстань між ними. Діаметр отвору та товщина покриття можуть впливати на електричні характеристики та механічну міцність з'єднання. Розробники також повинні забезпечити, щоб переходи були розташовані на достатній відстані один від одного, щоб уникнути коротких замикань та відповідати виробничим допускам процесу виготовлення ДП.

Температурний режим є ще одним важливим аспектом проектування переходів. Переходи можуть допомогти розсіювати тепло, що генерується компонентами, особливо в багатошарових друкованих платах. Розробники можуть використовувати теплові переходи, які стратегічно розміщені для покращення теплопередачі між шарами та до зовнішніх радіаторів або термопрокладок.

Ще однією важливою функцією є трасування доріжок. Програмне забезпечення може автоматично трасувати доріжки між компонентами на основі принципової схеми, дотримуючись правил проектування, таких як мінімальна ширина доріжок та зазорів. Програмне забезпечення також може виділяти області потенційних завад або порушень правил проектування, дозволяючи розробнику вносити необхідні корективи.

ПЗ також містить інструменти моделювання, які можуть прогнозувати продуктивність схеми. Ці інструменти можуть моделювати протікання

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		44

струму, поширення сигналів та виділення тепла. Це дозволяє розробнику виявляти та вирішувати потенційні проблеми до виготовлення ДП.

Нарешті, ПЗ генерує файли, які можна використовувати для виготовлення ДП. Ці файли включають файли Gerber, які визначають розташування доріжок та компонентів, та файли свердління, які визначають розташування отворів для компонентів наскрізних отворів та перехідних отворів.

Інструменти САПР для компоновання друкованих плат

Інструменти автоматизованого проектування (САПР) – це спеціалізоване програмне забезпечення для компоновання друкованих плат, яке пропонує розширені можливості для проектування та моделювання друкованих плат. Вони забезпечують точний контроль за розміщенням компонентів та доріжок, а також надійні функції моделювання для аналізу поведінки схем. Ключові функції інструментів САПР включають 3D-моделювання друкованих плат для покращеної візуалізації та виявлення проблем, а також підтримку механічного проектування.

Розширені симуляції допомагають оптимізувати продуктивність та надійність, оцінюючи поведінку схеми за різних умов, таких як температура, напруга та коливання частоти. Інструменти САПР також пропонують складні функції трасування, автоматизуючи складні шаблони трас та багатошарове трасування для підвищення цілісності та продуктивності сигналу.

Крім того, інструменти САПР генерують детальні виробничі файли, включаючи файли Gerber, файли свердління та складальні креслення, забезпечуючи точні інструкції для точного виробництва друкованих плат.

Інструменти моделювання відіграють вирішальну роль у процесі проектування ДП, дозволяючи розробникам прогнозувати продуктивність своїх схем та виявляти потенційні проблеми перед виробництвом. Ці інструменти можуть моделювати різні аспекти схеми, такі як цілісність сигналу, розподіл живлення та теплові характеристики.

Моделювання розподілу живлення зосереджене на аналізі розподілу напруги та струму по всій друкованій платі. Ці моделювання можуть виявити області з високою щільністю струму, падіння напруги та потенційні гарячі точки, які можуть призвести до теплових проблем або відмов компонентів. Оптимізуючи мережу розподілу живлення, розробники можуть підвищити загальну ефективність та надійність схеми.

Теплові моделювання є важливими для прогнозування розподілу температури по всій друкованій платі та виявлення потенційних гарячих точок, які можуть спричинити відмову компонентів або скоротити термін служби плати. Ці моделювання враховують такі фактори, як розсіювання потужності компонентами, механізми теплопередачі та умови температури навколишнього середовища. Визначивши області з високою температурою можна внести корективи в компоновання, такі як збільшення ширини трас, додавання теплових переходів або покращення розсіювання тепла за допомогою використання радіаторів або термопрокладок.

Інструменти моделювання часто інтегруються з програмним забезпеченням для компоновання друкованих плат, що дозволяє розробникам виконувати моделювання безпосередньо в середовищі проектування. Ця інтеграція дозволяє розробникам швидко виконувати ітерації у своїх проектах та вносити необхідні корективи на основі результатів моделювання. Деякі популярні інструменти моделювання включають SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), HyperLynx від Mentor Graphics та Ansys SIwave. Ці інструменти задовольняють потреби різної складності та вимог до проектування.

Труднощі в проектуванні компоновання друкованих плат

Проектування компоновання друкованих плат може бути складним процесом, з численними факторами, які слід враховувати. Деякі з ключових проблем, з якими стикаються розробники, включають:

1) Розміщення компонентів

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		46

Розташування компонентів на друкованій платі може суттєво впливати на продуктивність і надійність схеми. Розробники повинні враховувати такі фактори, як цілісність сигналу, управління температурою та електромагнітні перешкоди під час розміщення компонентів. Крім того, розробники повинні забезпечити розміщення компонентів таким чином, щоб забезпечити ефективне трасування доріжок і мінімізувати загальний розмір плати.

2. Цілісність сигналу

Високошвидкісні сигнали можуть зазнавати погіршення якості через такі фактори, як відбиття, перехресні перешкоди та згасання сигналу. Розробники повинні ретельно продумати трасування доріжок, використання стратегій завершення та вибір відповідних матеріалів для підтримки цілісності сигналу по всій друкованій платі.

3. Термічний режим

Розсіювання тепла є критичним аспектом проектування друкованих плат, оскільки надмірні температури можуть призвести до виходу з ладу компонентів та скорочення терміну служби плати. Розробники повинні враховувати розсіювання потужності компонентами, використання теплових перехідних отворів та включення радіаторів або термопрокладок для ефективного управління теплом.

4. Електромагнітні завади

Електромагнітні завади можуть спричиняти небажаний шум та погіршення сигналу на друкованій платі. Розробники повинні вжити заходів для мінімізації цих завад, ретельно трасуючи доріжки, використовуючи методи екранування та забезпечуючи належне заземлення.

5. Забезпечення технологічності

Успішний проект друкованої плати повинен бути технологічним, тобто виріб можна виготовляти ефективно та економічно. Розробники повинні враховувати такі фактори, як ширина доріжок, розміри перехідних отворів та допуски компонентів, щоб забезпечити безпроблемне виготовлення ДП

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		47

6. Перевірка правил проектування (DRC)

Забезпечення відповідності проекту ДП встановленим правилам проектування має вирішальне значення для уникнення виробничих проблем та забезпечення надійної роботи. Проектувальники повинні використовувати інструменти DRC для виявлення та виправлення будь-яких порушень правил проектування до виготовлення друкованої плати.

Таким чином, трасування друкованої плати – це фаза проектування, яка передуює виробництву друкованої плати. Проектування є складним і вимагає ретельного врахування різних факторів, включаючи розміщення компонентів, цілісність сигналу, управління температурою та електромагнітні перешкоди.

На основі наведених рекомендацій а також діючих стандартів в програмі Altium Designer було розроблено друковану плату. Її креслення показано на рис. 1.19.

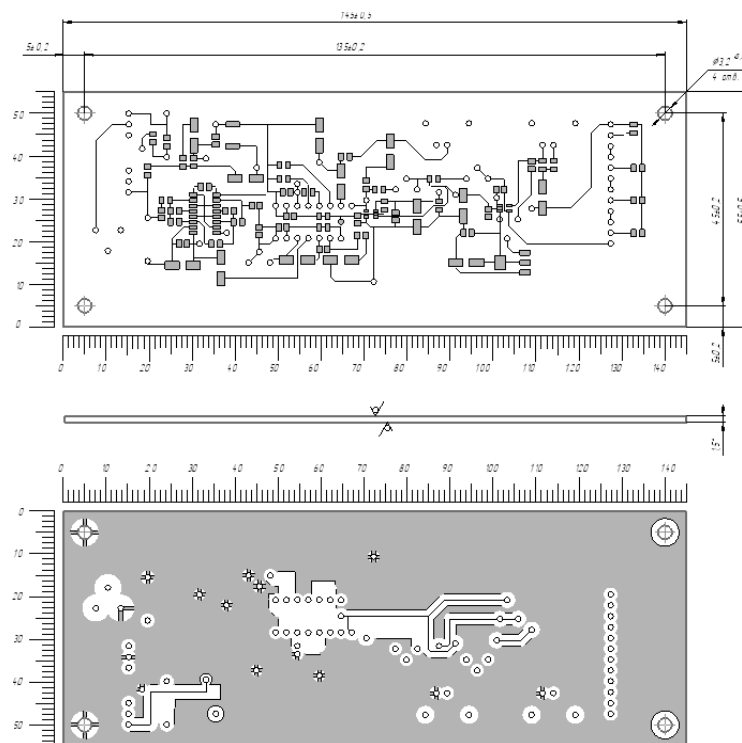


Рисунок 1.19 – Креслення друкованої плати

Враховуючи наявність компонентів поверхневого монтажу було використано третій клас точності і крок координатної сітки для встановлення

компонентів – 0,625мм. Також на кресленні вказані основні габаритні розміри та розміри для встановлення.

В цій же програмі Altium Designer виконано креслення друкованого вузла із компонуванням елементів (рис. 1.20).

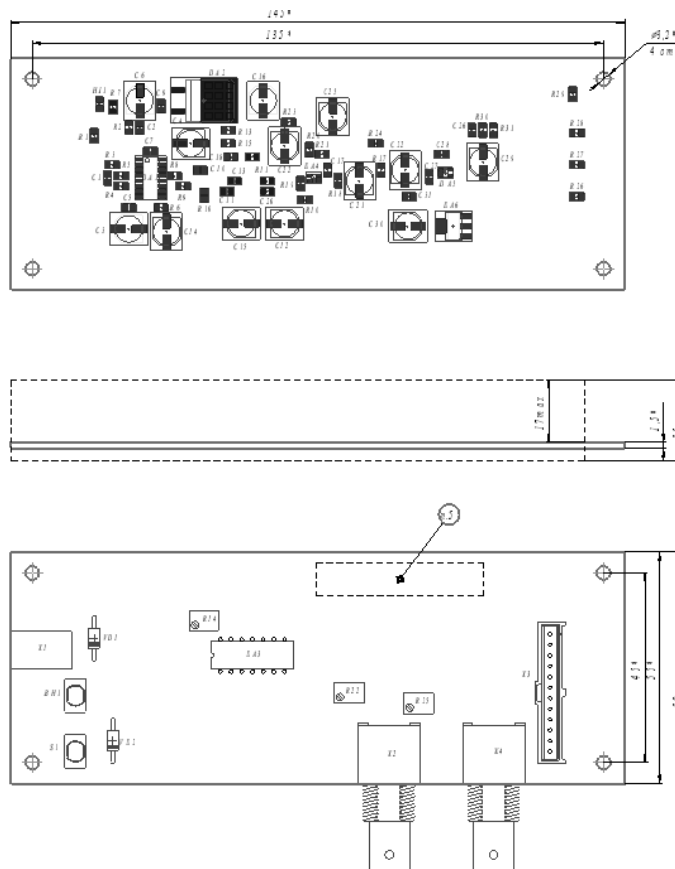


Рисунок 1.20 – Друкований вузол

1.9 Висновки до розділу 1

В розділі проведено аналіз технічного завдання, проведено способи отримання шумових сигналів для генераторів шуму та вібратору використання переходу напівпровідників до лавинного пробою. Проаналізовано аналоги схем генераторів шуму, які використовують цей принцип. Розроблено структурну генератора шуму та розроблено схему електричну. В її основі лежить використання спеціалізованих діодів ND103L, які використовуються

як основні елементи генераторів шуму та задовільняють вимогам завдання. Проведено аналіз розробленої схеми та розрахунки окремих її вузлів. Проведено вибір елементів а також систематизовано вимоги та особливості трасування друкованих плат і застосовано їх при розробленні друкованої плати та вузла проєктованого генератора шуму.

На основі наведених рекомендацій а також діючих стандартів в програмі Р-Cad-2006 було розроблено друковану плату та оформлено її креслення та креслення вузла генератора низькочастотного шуму.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
						50
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		

2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

2.1 Основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці

Забезпечення функціонування та побудова системи управління охороною праці (СУОП) в організації. Положення про СУОП, структура та зміст його розділів.

В Україні функціонує багаторівнева СУОП, функціональними ланками якої є відповідні структури державної законодавчої і виконавчої влади різних рівнів, управлінські структури підприємств і організацій, трудових колективів.

Залежно від спрямування вирішуваних завдань всі ланки СУОП можна розділити на дві групи:

- ланки, що забезпечують вирішення законодавчо-нормативних, науково-технічних, соціально-економічних та інших загальних питань охорони праці;
- ланки, до функціональних обов'язків яких входить забезпечення безпеки праці в умовах конкретних організацій, підприємств.

До першої групи належать органи державної законодавчої ініціативи та органи державного управління охороною праці:

- Верховна Рада України;
- Кабінет Міністрів України;
- Державна служба гірничого нагляду та промислової безпеки України (Держгірпромнагляд України);
- міністерства та інші центральні органи державної виконавчої влади;
- Фонд соціального страхування від нещасних випадків і профзахворювань;
- місцева державна адміністрація, органи місцевого самоврядування.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		51

Верховна Рада України зі своєї ініціативи у взаємодії з відповідними структурами державної виконавчої влади визначає державну політику в сфері охорони праці, вирішує питання щодо удосконалення і розвитку законодавчої бази охорони праці, соціальні питання, пов'язані зі станом умов і охорони праці.

Кабінет Міністрів України забезпечує реалізацію державної політики в сфері охорони праці, виходячи із стану охорони праці в державі, організує розробку загальнодержавних програм відповідно до поліпшення цього стану, затверджує ці програми і контролює їх виконання, визначає функції органів виконавчої влади щодо вирішення питань охорони праці і нагляду за охороною праці.

Для вирішення цих питань при Кабінеті Міністрів України функціонує Національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення, яку очолює віце-прем'єр-міністр України.

Держгірпромнагляд України здійснює комплексне управління охороною праці на державному рівні, реалізує державну політику в цій сфері, розробляє за участі відповідних органів державної програми в сфері охорони праці, координує роботу державних органів і об'єднань підприємств із питань безпеки праці, розробляє і переглядає разом з компетентними органами систему показників і обліку умов і безпеки праці, здійснює міжнародне співробітництво з питань охорони праці і нагляд за охороною праці в державі тощо.

Рішення Держгірпромнагляду України, що відноситься до її компетенції, обов'язкові для виконання всіма міністерствами, іншими центральними органами державної виконавчої влади, місцевими державними адміністраціями, місцевими радами народних депутатів і підприємствами.

Фонд соціального страхування від нещасних випадків здійснює профілактику нещасних випадків і профзахворювань, а також координацію всієї страхової діяльності, пов'язаної з охороною праці.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		52

Міністерство праці і соціальної політики України здійснює також державну експертизу умов праці, визначає порядок і здійснює контроль за якістю проведення атестації робочих місць згідно з їх відповідністю нормативним актам про охорону праці, бере участь у розробці нормативних документів про охорону праці.

Інші міністерства і центральні органи державної виконавчої влади як ланки системи управління охороною праці визначають науково-технічну політику галузі з питань охорони праці, розробляють і реалізують комплексні заходи щодо поліпшення безпеки праці, здійснюють методичне керівництво діяльністю підприємств галузі з охорони праці, співробітничать з галузевими профспілками щодо вирішення питань безпеки праці, організовують у встановленому порядку навчання і перевірку знань правил і норм охорони праці керівниками і фахівцями галузі, створюють, у разі необхідності, професійні воєнізовані аварійно-рятувальні формування, здійснюють внутрішній контроль за станом охорони праці.

Для забезпечення виконання перелічених функцій в апаратах міністерств і інших центральних органів державної виконавчої влади створюються служби охорони праці.

Місцеві державні адміністрації й органи місцевого самоврядування в межах підвідомчої їм території забезпечують реалізацію державної політики в сфері охорони праці, формують за участі профспілок місцеві програми заходів щодо поліпшення безпеки, гігієни праці і виробничого середовища, здійснюють контроль за дотриманням нормативних актів про охорону праці. Для забезпечення виконання названих функцій при місцевих органах державної виконавчої влади створюються відповідні структурні підрозділи.

Управлінські структури підприємств забезпечують в умовах конкретних виробництв реалізацію вимог законодавчих і нормативних актів про охорону праці з метою створення безпечних і нешкідливих умов праці, попередження виробничого травматизму і професійних захворювань, вирішують весь

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		53

комплекс питань з охорони праці, пов'язаних з даним виробництвом. У своїй діяльності стосовно охорони праці управлінські структури підприємств взаємодіють з комісією з питань охорони праці підприємства (за наявності такої), з профспілками підприємства та уповноваженими трудових колективів.

СУОП в умовах конкретної організації, на конкретному об'єкті завжди є багаторівневою системою управління, у якій верхнім рівнем є державне управління, а нижнім - управління охороною праці на конкретному об'єкті. Як проміжні рівні управління можуть виступати відомче, регіональне управління, а також управління в об'єднанні, тресті тощо.

Слід зазначити, що вихідні параметри СУОП визначаються, виходячи з вимог норм, правил, проектної документації, аналізу фактичного стану виробничої ситуації і ряду факторів виробничого середовища, тому СУОП варто віднести до категорії звичайних, багатоконтурних систем, які піддаються програмуванню. Багатоконтурність систем управління в даному випадку пояснюється складністю об'єкта управління, його великою інерційністю, складністю і інерційністю реалізації управлінських впливів.

Правовою основою СУОП є: Конституція України, Кодекс законів про працю України, Закони України «Про охорону праці» і «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві і професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», накази і розпорядження Президента України, розпорядження і постанови Кабінету Міністрів, Держгірпромнагляд, Міністерства охорони здоров'я, Міністерства праці і соціальної політики, а також інших директивних органів України з питань охорони праці (органи Державного управління охороною праці).

Позитивна дія впровадження систем управління охороною праці (СУОП) на рівні організації як на зниження небезпек і ризиків, так і на продуктивність, нині визнана урядами, роботодавцями і працівниками.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		54

2.2 Надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик

Особливу роль у житті людини відіграють надзвичайні ситуації, що виникають під час стихійних лих або техногенних катастроф. Разом із соціальними та економічними збитками надзвичайні ситуації завдають також екологічної шкоди, що відображається в руйнуванні й деградації природних систем, забрудненні повітря, водойм і ґрунтів. У результаті виникають надзвичайні екологічні ситуації. Надзвичайні екологічні ситуації — ті ситуації, що виникають унаслідок раптових природних лих або техногенних аварій і супроводжуються великими збитками. Характерними особливостями цих ситуацій є велика гострота прояву, значні відхилення показників навколишнього середовища від норми (перевищення граничнодопустимих концентрацій (ГДК) забруднювальних речовин у сотні, тисячі й навіть десятки тисяч разів); ураганні швидкості вітру; затоплення селітебних територій (населених пунктів); виникнення катастрофічних селевих потоків та ін.

Звичайно, такі відхилення тривають недовго — години, дні, десятки днів, іноді більше. Потім ступінь гостроти екологічного стану зменшується, хоча може залишатися досить високим. Отже, поняття надзвичайна екологічна ситуація та катастрофічна екологічна ситуація розрізняються тим, що перша триває порівняно недовго, але настає раптово та характеризується виключно високими відхиленнями стану навколишнього середовища від норми, а друга — досить тривала (як правило, роки), але має меншу гостроту прояву.

Надзвичайна ситуація за певних обставин може перетворитися на катастрофічну. Наприклад, ситуація у Чорнобильській зоні. Протягом майже місяця радіаційна обстановка в Чорнобилі була надзвичайною. Після спорудження саркофага викиди радіоактивних елементів різко зменшилися, але забруднення до того часу охопило великі території. Таке високе радіаційне забруднення продовжується вже понад два десятиріччя. За оцінкою спеціалістів, екологічна ситуація в Чорнобильській зоні є катастрофічною.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		55

Таким чином, надзвичайні екологічні ситуації відображаються у порушенні нормального функціонування природних і природно-антропогенних систем, пов'язаних із раптовими природними або техногенними впливами (стихійні лиха, катастрофи, аварії), що супроводжуються соціальними, економічними та екологічними збитками і потребують для ліквідації особливих управлінських рішень (рис. 1.2). Збитки виявляються у загибелі та пораненні людей, погіршенні їх здоров'я, руйнуванні матеріальних об'єктів, структури природних і природно-антропогенних систем, втраті їх природно-ресурсного і екологічного потенціалу. Довготривала надзвичайна ситуація зумовлює формування зони екологічної катастрофи або екологічного лиха.

Надзвичайні екологічні ситуації виникають унаслідок дії трьох основних груп факторів:

- свідомого руйнування природного середовища, походження техніки, погіршення становища економічних об'єктів під час війн і диверсійних актів;
- руйнівних катастроф, які виникають у зв'язку з некомпетентними та помилковими технічними рішеннями (наприклад, Чорнобильська аварія);
- природних стихійних явищ. Той факт, що різко збільшилися їх частота та інтенсивність в останні десятиріччя, спеціалісти пов'язують з антропогенною стимуляцією, що спричинює посилення відхилень природних процесів від нормального рівня коливань.

Економічні збитки, завдані у зв'язку з несприятливими і небезпечними природними процесами та явищами, значно збільшилися. За деякими оцінками, вони зростають швидше, ніж показники світового валового продукту, тобто може бути досягнута межа просторового і технологічного розвитку виробництва за його здатністю компенсувати збитки, які збільшуються, від несприятливих і небезпечних явищ. Первинні процеси, що виникають у природному середовищі внаслідок цих факторів, посилюватимуться або послаблюватимуться залежно від природної

обстановки (стійкість ландшафтів, погодні умови, фаза коливань екосистеми тощо) і соціально-економічних умов (психологічна готовність і неготовність населення до ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, технічна оснащеність спеціальних служб, економічні можливості та ін.). Таким чином, надзвичайні екологічні ситуації в більшості випадків мають комплексну природу.

Заходи щодо запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям або подолання їх наслідків можна згрупувати у три класи:

- організаційні, серед яких розрізняють планувальні та оперативні;
- інженерно-технічні;
- технологічні.

Отже, заходи, спрямовані на запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям та подолання їх, можна поділити на два типи: заходи, спрямовані на зниження піддатливості об'єктів небезпечним впливам, і заходи, спрямовані на зниження чутливості об'єктів до небезпечних впливів. У першому випадку здійснюють заходи з метою зовнішнього захисту об'єктів, виключення тих чи інших територій з використання у виробничих цілях тощо. Зниження чутливості об'єктів до небезпечних впливів досягається, насамперед, за рахунок досконаліших технологій, шляхом регулювання технологічних режимів у зв'язку з природними циклами, створення системи дублювання об'єктів, інформаційних систем і систем швидкого реагування.

Основні функції щодо запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям та подолання їх на державному рівні виконують міністерства з надзвичайних ситуацій.

Ризик — це об'єктивне поняття, він пов'язаний практично з будь-якою діяльністю людини. Уміння усвідомлювати ступінь ризику дає змогу людині оцінити власні можливості й вибрати напрями поведінки при цьому. Під сутністю терміна ризик розуміють імовірність, по-перше, будь-якої небезпечної події; по-друге, негативних наслідків від неї та обсягу очікуваних збитків. Одні ризики конкретні, інші — не мають такого визначення. Існують

професійні ризики (наприклад, небезпека професійних захворювань) і такі, яких зазнає все населення (екологічний, економічний, геологічний, політичний ризики).

Предметом нашого дослідження є екологічний ризик, чіткого визначення якого досі немає. М.Ф. Реймерс вважає, що це ймовірність наслідків будь-яких (специфічних або випадкових, поступових або катастрофічних) антропогенних змін природних об'єктів і факторів^{*22}. З екологічним ризиком пов'язані поняття екологічної безпеки і небезпеки. Ці альтернативні категорії стосуються населення як реципієнта дії навколишнього середовища за його відповідно несприятливого чи сприятливого статусу.

Екологічний ризик пов'язаний із такими групами факторів: 1) техногенними; 2) природними; 3) військовими; 4) соціально-економічними; 5) політичними; 6) тероризмом.

Техногенний екологічний ризик виникає у зв'язку з аваріями на ЛЕС, аваріями танкерів, на небезпечних хімічних виробництвах, під час руйнування гребель водосховищ тощо. Причинами аварій є інтенсивність технологічних процесів та зв'язків, висока концентрація виробництва, ресурсомісткість і багатовідходність технологій, погана оснащеність очисними й утилізаційними пристроями.

Природний екологічний ризик пов'язаний із ймовірністю вияву багатьох несприятливих природних явищ, таких як землетруси, вулканізм, селі, повені, цунамі та ін. Потрібно враховувати особливості геологічної будови (властивості гірських порід, наявність або відсутність розламів тощо), рельєфу (наприклад, посилення ризику забруднення в улоговинах), ландшафтів (ступінь їх стійкості до техногенних навантажень). Варто також зважати на сусідство цінних та унікальних природних об'єктів, територій особливого режиму охорони. Екологічний ризик збільшується за високої густоти населення, а також залежить від характеру сприйняття населенням подій, що

відбуваються. Відомо, що катастрофічні наслідки аварій і стихійних природних явищ різко зростають у результаті психологічної неготовності населення до таких подій.

Особливу групу факторів виникнення екологічного ризику становлять воєнні дії, які зумовлюють різноманітні зміни навколишнього середовища та безпосередньо впливають на людину й інші суб'єкти. Екологічний ризик пов'язаний також із соціально-економічними факторами. Йдеться про ймовірність виникнення несприятливих екологічних ситуацій у разі прийняття рішень про будівництво тих чи інших небезпечних об'єктів у зв'язку з соціальною й економічною потребами такого будівництва. До цієї категорії належить будівництво багатьох АЕС, створення небезпечних хімічних виробництв, транспортних систем. У деяких випадках аналогічні рішення пов'язані з політичними факторами.

Нині є та розробляється велика кількість науково обґрунтованих постанов, нормативів, правил, державних стандартів, за якими регламентується господарська діяльність, встановлюються граничнодопустимі концентрації шкідливих і токсичних компонентів у ґрунтах, підземних і поверхневих водах тощо. На основі цих документів та екологічного законодавства в Україні розроблено систему заходів на державному, відомчих та об'єктних рівнях, що регламентують ведення екологічно безпечної господарської діяльності, будівництво різних споруд, межі забруднення природного середовища в рамках не лише окремих локальних систем, а й великих регіонів, держави в цілому. Такі заходи можна об'єднати у три основні групи — соціально-організаційні, оцінювально-прогнозні та технічні. Усі види заходів взаємопов'язані і є основою для організації безпечної життєдіяльності. Якщо їх правильно дотримуватися, можна не тільки зберегти стан навколишнього середовища, а й поліпшити його, уникнути екологічно небезпечних явищ і катастроф, зумовлених антропогенно-техногенною діяльністю.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		59

2.3 Висновки до розділу

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано основні вимоги до побудови і функціонування системи управління охороною праці, а також надзвичайні екологічні ситуації та екологічний ризик.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		60

Висновки

В кваліфікаційній роботі проведено проектування генератора низькочастотного шуму для тестування стійкості каналів передачі даних.

Насамперед проведено аналіз технічного завдання та відповідно до визначених в ньому параметрів і характеристик проведено пошук способів виконання відповідного генератора низькочастотного шуму. Для цього розглянуто способи отримання шумових сигналів для генераторів шуму та вибрано використання переходу напівпровідників до режиму лавинного пробігу. Проаналізовано аналоги схем генераторів шуму, які використовують цей принцип. Також виходячи із вимог технічного завдання і проведеного аналізу було розроблено схему структурну генератора низькочастотного шуму та розроблено його схему електричну. В її основі використано властивості спеціалізованих діодів ND103L, які використовуються як основні елементи генераторів шуму та задовільняють вимогам завдання. Проведено опис розробленої схеми та розрахунки окремих її вузлів. Проведено вибір елементів а також систематизовано вимоги та особливості трасування друкованих плат і застосовано їх при розробленні друкованої плати та вузла проєктованого генератора шуму.

На основі наведених рекомендацій а також діючих стандартів в програмі P-Cad-2006 було розроблено друковану плату та оформлено її креслення та креслення вузла генератора низькочастотного шуму.

Проведено аналіз охорони праці та безпеки життєдіяльності.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		61

Список використаних джерел

1. Malmstadt, Enke and Crouch, Electronics and Instrumentation for Scientists, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1981, ISBN 0-8053-6917-1, Chapter 3.
2. Allen, Phillip E.; Holberg, Douglas R. (2002). CMOS Analog Circuit Design. ISBN 978-0-19-511644-1.
3. Universal power adapter and charger solution for mobile terminals and other hand-held ICT devices. International Telecommunication Union. 2011-06-13.
4. The Shocking Truth About Transformerless Power Supplies. Hackaday. April 4, 2017. Archived from the original on April 16, 2022.
5. Дедів Л.Є., Сверстюк А.С., Дедів І.Ю., Хвостівський М.О., Дозорський В.Г., Яворська Є.Б. Математичне та комп'ютерне моделювання електрокардіосигналів у системах голтерівського моніторингу: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 120 с. ISBN 978-617-574-218-1.
6. Дедів І.Ю., Сверстюк А.С., Дедів Л.Є., Дозорський В.Г., Хвостівський М.О. Математичне моделювання, методи та програмне забезпечення опрацювання дихальних шумів у комп'ютерних аускультативних діагностичних системах: наукова монографія. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. 126 с. ISBN 978-617-574-219-8.
7. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. (2023) Matematychnе, alhorytmichne ta prohramne zabezpechennia synfaznoho vyivlennia radiosyhnaliv v elektronnykh komunikatsiinykh merezhakh iz zavadamy [Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises]. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 111, no 3, pp. 48-57 [in Ukrainian].
8. Dozorskyi V., Dediv I., Sverstiuk S., Nykytyuk V., Karnaukhov A. The Method of Commands Identification to Voice Control of the Electric Wheelchair.

Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.233-240. ISSN 1613-0073.CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine.

9. Дозорський В.Г., Дозорська О.Ф., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Паньків І. М., Яворська Є.Б. Структура системи відбору біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини. Вісник Хмельницького національного університету: технічні науки. – Хмельницький: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету". – 2019. - №2(271) – с. 183-186.

10. Ткачук Р. А. Основи технології радіоелектронних апаратів: навчальний посібник / Р.А. Ткачук, В.Г. Дозорський, Л.Є. Дедів, І.Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с.

11. Дозорська О.Ф., Яворська Є.Б., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є. і Дедів І.Ю. Метод виявлення ознак основного тону в структурі електроміографічних сигналів для задачі компенсації порушеної комунікативної функції людини», Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, (81), с. 56-64. doi: 10.20535/RADAP.2020.81.56-64.

12. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни «Матеріали та основи технології електронних апаратів» : для студентів напряму підготовки 6.050902 "Радіоелектронні апарати" / укл. : В. Г. Дозорський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 47 с.

13. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

					БМА 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		63

ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри РТ
_____ к.т.н. Дунець В.Л.
“12” березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

На тему: «Генератор низькочастотного шуму для тестування стійкості каналів
передачі даних»

Узгоджено:

Керівник кваліфікаційної роботи

Дедів І.Ю. _____

“ ____ ” _____ 2025 р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РА-41

Бакан М.А. _____

“ ____ ” _____ 2025 р.

Тернопіль 2025

1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Генератор низькочастотного шуму для тестування стійкості каналів передачі даних”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету на затвердження дипломного проекту № 4/7-193 від 12.03.2025 р.).

2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Бакан М.А. групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою роботи є розробка генератора низькочастотного шуму для тестування стійкості каналів передачі даних, що включає в себе:

- вибір апаратного забезпечення для даного пристрою;
- вибір елементної бази розроблювального пристрою;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи пристрою;
- розробку друкованої плати та друкованого вузла.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Пристрій повинен забезпечувати ряд характеристик, а саме:

Номінальна напруга живлення – +12,6 В;

Робочий діапазон частот шумового сигналу – від 2 Гц до 28 кГц;

Спектральна густина (СГ) шумової напруги генераторного елемента має становити не менше ніж 30 мкВ/√Гц;

Допустиме відхилення спектральної характеристики в межах заданого частотного діапазону не повинно перевищувати ±4 дБ;

Вихідний опір пристрою – 600 Ом;

Вихідна напруга має регулюватися дискретно за такими діапазонами: 0–1 мВ, 0–10 мВ, 0–100 мВ, 0–1 В.

5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- Пояснювальна записка;
- Структурна схема пристрою;
- Принципова схема пристрою;
- Друкована плата;
- Друкований вузол.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 - Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи

№ етапу	Назва етапу виконання	Термін виконання
1	Отримання завдання на виконання роботи	12.03.2025
2	Аналіз отриманого завдання	27.03.2025
3	Виконання розділу 1	24.04.2025
4	Виконання розділу 2	02.05.2025
5	Оформлення пояснювальної записки	02.06.2025
6	Оформлення презентаційного матеріалу	04.06.2025
7	Перевірка кваліфікаційної роботи на антиплагіат	06.06.2025
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.2025
9	Захист кваліфікаційної роботи	23.06.2025

ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатори		
C1, C2, C5, C7, C9, C18, C23,			
C26, C27, C31	CC0805_100nF_50V_5%_X7R	10	
C3, C8, C14, C15, C30	CAE660-540_100uF_16V_20%	5	
C4	CAE660-540_100uF_16V_20%	1	
C6	CAE660-540_470uF_16V_20%	1	
C10, C19	CC0805_1uF_50V_5%_X7R	5	
C11	CC0805_1nF_50V_5%_X7R	1	
C12, C17	CAE660-540_47uF_16V_20%	2	
C13	CC0805_27pF_50V_5%_X7R	1	
C16	CAE660-540_22uF_16V_20%	1	
C20	CC0805_1uF_50V_5%_X7R	1	
C21	CC0805_100nF_50V_5%_X7R	1	
C22	CAE660-540_220uF_16V_20%	1	
C24, C28	CC0805_100pF_50V_5%_X7R	2	
C25, C29	CAE660-540_100uF_16V_20%	2	
	Мікросхеми		
DA1	LTC1563-2CGN	1	
DA2	MC7805ABD2TG	1	
DA3	SSM2166S	1	
DA4, DA5	LMC7101	2	
DA6	LT1117IST-5#PBF	1	

[illegible]

[illegible]

			Позначення	Назва	Кіл.	Примітка	
				Документація			
A2			БМА 2.893.001 СК	Складальне креслення	1		
A1			БМА 2.893.001 ЕЗ	Схема електрична	1		
A4			БМА 2.893.001 ПЕЗ	Перелік елементів	1		
				Деталі			
A2		1	БМА 7.103.001	Плата друкована	1		
				Стандартні вироби			
				Інші вироби			
				Конденсатори			
		2		CC0805_100nF_50V_5%_X7R	10	C1, C2, C5, C7, C9, C18, C23, C26, C27, C31	
		3		CAE660-540_100uF_16V_20%	5	C3, C8, C14, C15, C30	
		4		CAE660-540_100uF_16V_20%	1	C4	
		5		CAE660-540_470uF_16V_20%	1	C6	
		6		CC0805_1uF_50V_5%_X7R	2	C10, C19	
		7		CC0805_1nF_50V_5%_X7R	1	C11	
		8		CAE660-540_47uF_16V_20%	2	C12, C17	
		9		CC0805_27pF_50V_5%_X7R	1	C13	
		10		CAE660-540_22uF_16V_20%	1	C16	
		11		CC0805_1uF_50V_5%_X7R	1	C20	
		12		CC0805_100nF_50V_5%_X7R	1	C21	
		13		CAE660-540_220uF_16V_20%	1	C22	
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	БМА 2.893.001		
Розроб.		Бакан М.А.			Генератор низькочастотного шуму для тестування стійкості каналів передачі даних		
Перевір.		Дедів І.Ю.					
Н. Контр.		Хвостівська Л.В					
Затверд.		Дунець В.Л.					
Рецензент							
					Літ.	Арк.	Аркушів
						1	6
					ТНТУ, гр.РА-41		

			Позначення	Назва	Кіл.	Примітка	
		14		CC0805_100pF_50V_5%_X7R	2	C24, C28	
		15		CAE660-540_100uF_16V_20%	2	C25, C29	
				Мікросхеми		C17	
		16		LTC1563-2CGN	1	DA1	
		17		MC7805ABD2TG	1	DA2	
		18		SSM2166S	1	DA3	
		19		LMC7101	2	DA4, DA5	
		20		LT1117IST-5#PBF	2	DA6	
				Резистори			
		21		R0805_69R8_120kOm	1	R1	
		22		R0805_69R8_10 kOm	1	R2	
		23		R0805_69R8_511kOm	6	R3, R4, R5, R6, R8, R9	
		24		R0805_69R8_620 Om	1	R7	
		25		R0805_69R8_10kOm	2	R10, R15	
		26		R0805_69R8_100kOm	1	R11	
		27		R0805_69R8_220kOm	1	R12	
		28		R0805_69R8_22kOm	1	R13	
		29		TRIM_12T_2kOm	1	R14	
		30		R0805_69R8_3.6kOm	1	R16	
		31		R0805_69R8_4.7kOm	3	R17, R18, R30	
		32		R0805_69R8_56kOm	1	R19	
		33		TRIM_12T_50kOm	1	R22	
		34		R0805_69R8_620Om	2	R23, R27	
		35		R0805_69R8_51kOm	1	R24	
		36		TRIM_12T_20kOm	1	R25	
				БМА 2.893.001			Арк.
							2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис				

[illegible]