

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОНИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра мікроелектронних інформаційних систем

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка пристрою для
формування сигналів із цифровою модуляцією
у НВЧ діапазоні

Виконав: студент II курсу, групи МН-18-1-мд
спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Мікроелектронні інформаційні
системи

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Кузнецов Д. А.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, к.ф.-м.н. Скитанько М. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент нач. ВСПП ТОВ „Елімені-Перетворення, Салко М. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ**

Факультет енергетики електроніки та інформаційних технологій
Кафедра мікроелектронних інформаційних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 153 «Мікро- та наносистемна техніка»
(код і назва)
Освітня програма Мікроелектронні інформаційні системи
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри М.В. Світланко

“ 26 ” грудня 2019 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Кужмишова Денису Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Дослідження та розробка пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні

керівник роботи Світланко Микола Вікторович, к.ф.-м.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “10” березня 2019 року № 1536-с

2 Строк подання студентом роботи 26 грудня 2019 року

3 Вихідні дані до роботи $f = 1 \text{ Гц} - 2 \text{ МГц}$, $U = 9 - 12 \text{ В}$, модульований сигнал, генератор трикутних імпульсів, мічмольнік імпульсів









4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Генератор та модулятор НВЧ випромінювання 2. Дослідження та розробка пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні 3. Техніко-економічне обґрунтування 4. Оцінка праці та техногенна безпека при розробці електричної схеми пристрою

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

1. Вид модуляції хвилі НВЧ діапазону 2. Вибір режиму модуляції

3. Структурна схема пристрою 4. Моделі реверсивного імпульсів
 імпульсів 5. Генератор трикутних імпульсів 6. Електрична
 схема пристрою 7. Моделювання генератора імпульсів
 в редакторі Proteus 8. Моделювання імпульсів
 в редакторі Proteus.


6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Світанько М. В., доцент	 02.09.19	 02.09.2019
II	Світанько М. В., доцент	 02.09.19	 02.09.2019
III	Світанько М. В., доцент	 02.09.19	 02.09.2019
IV	Світанько М. В., доцент	 02.09.19	 02.09.2019


7 Дата видачі завдання 02.09.2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	08.11.19	
2	Розрахункова частинка	02.12.2019	
3	Техніко-економічне обґрунтування роботи	02.12.2019	
4	Розробка заходів із охорони праці згідно технічної документації	09.12.2019	
5	Розробка графічної частини роботи	23.12.2019	
6	Оформлення пояснювальної записки	23.12.2019	
7	Формоконтроль	26.12.2019	
8	Попередній захист роботи	26.12.2019	

Студент  (підпис)

Кузнецов І.А.
 (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)  (підпис)

Світанько М.В.
 (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис)

Верховкін А.А.
 (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 78 сторінок, 36 рисунків, 14 таблиць, 26 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – бездротові системи передачі інформації у НВЧ діапазоні.

Мета роботи – дослідження та розробка пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні.

Задачі роботи – дослідити та розробити схеми пристрою, призначеного для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмного забезпечення Proteus.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено та досліджено структурну схему сигма-дельта модулятора, проведено дослідження по вдосконаленню модулятора та моделювання роботи пристрою.

Результати впровадженнь – модель електронного приладу пройшла випробовування на кафедрі МЕІС.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для проведення лабораторних досліджень та практичних занять

СИГМА-ДЕЛЬТА МОДУЛЯТОР, НВЧ ДІАПАЗОН, БЕЗДРОВОТА ПЕРЕДАЧА ІНФОРМАЦІЇ, РЕДАКТОР PROTEUS.

Дипломну роботу виконано на кафедрі мікроелектронних інформаційних систем Інженерного інституту ЗНУ, з 02.09.2019 р. по 26.12.2019 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	6
1. Генерація та модуляція НВЧ випромінювання	8
1.1 Генератори НВЧ – випромінювання	8
1.1.1 Магнетрон.....	8
1.1.2 Клістрон	10
1.1.3 Лампа хвилі, що біжить (ЛБХ).....	12
1.1.4 Плоскі вакуумні пентод-тріоди.....	12
1.1.5 Генератор на діоді Ганна.....	13
1.2 Схемні компоненти передачі хвиль НВЧ - діапазону	13
1.2.1 Коаксіальні кабелі і хвилеводи.....	13
1.2.2 Твердотілі компоненти.....	15
1.2.3 Антени.....	17
1.3 Модуляція хвиль НВЧ – діапазону	18
2. Дослідження та розробка пристрою для формування сигналів із цифрою модуляцією у НВЧ діапазоні	22
2.1 Вибір режиму модуляції.....	22
2.2 Структурна схема пристрою ДСМ	23
2.2.1 Інтегратор сигма-дельта модулятора.....	25
2.2.2 Компаратор сигма-дельта модулятора.....	28
2.2.3 Генератор імпульсів сигма-дельта модулятора.....	30
2.2.4 RS - тригер сигма-дельта модулятора.....	33
2.2.5 Логічні елементи "І" сигма-дельта модулятора.....	36
2.2.6 Реверсивний лічильник імпульсів сигма-дельта модулятора.....	38
2.3 Електрична схема пристрою для формування сигналів із цифрою модуляцією у НВЧ діапазоні	47
2.4 Моделювання роботи основних структурних блоків схеми пристрою	

для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні	48
2.4.1 Моделювання роботи інтегратора сигма-дельта модулятора.....	48
2.4.2 Моделювання роботи компаратора сигма-дельта модулятора.....	50
2.4.3 Моделювання роботи генератора імпульсів сигма-дельта модуля- тора.....	51
2.4.4 Моделювання роботи RS - тригера сигма-дельта модулятора.....	53
2.4.5 Моделювання роботи реверсивного лічильника імпульсів сигма- дельта модулятора.....	55
3 Техніко - економічне обґрунтування розробки пристрою для форму- вання сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні.....	57
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електричних схем пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні.....	57
3.2 Розрахунок витрат на виробництво схем пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні	62
4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці пристрою для фо- рмування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні.....	63
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	63
4.2 Заходи з поліпшення умов праці	64
4.3 Виробнича санітарія.....	66
4.4 Електробезпека.....	69
4.5 Пожежна та техногенна безпека.....	71
Висновки та рекомендації.....	74
Перелік посилань.....	75

Вступ

Відповідно до рекомендацій Міжнародного консультативного комітету з радіо до діапазону надвисоких частот (НВЧ) належать сантиметрові хвилі – від 10 до 1 см (від 3 до 30 ГГц). Проте на практиці прийнято поширювати НВЧ-діапазон на більш широку ділянку електромагнітного спектра, що містить метрові й міліметрові хвилі (від 0,3 до 300 ГГц). Оскільки по довжині хвилі випромінювання НВЧ-діапазона є проміжним між світловим випромінюванням і звичайними радіохвилями, воно володіє деякими властивостями і світла, і радіохвиль. В той же час НВЧ - випромінювання схоже з радіовипромінюванням мовних діапазонів в тому відношенні, що воно генерується аналогічними методами [1-3].

Основними напрямками застосування техніки НВЧ є радіозв'язок, радіо- і телемовлення, радіолокація, радіоуправління, радіонавігація, радіоастрономія, космонавтика, безконтактні методи дослідження матеріалів, дистанційне зондування віддалених поверхонь і об'єктів тощо [1,3].

Сучасний розвиток мікроелектроніки характеризується розробкою інтегральних схем (ІС), які дозволяють реалізувати більшість апаратурних функцій. Основними задачами під час розробки ІС НВЧ є зменшення габаритів і маси, підвищення надійності, зменшення економічних витрат, поліпшення за можливості більшості електричних характеристик НВЧ-вузлів. Мікромініатюризація НВЧ-схем стала можливою за рахунок використання під час їхнього створення технологічних процесів і схемотехнічних рішень відпрацьованих на радіоелектронних системах низькочастотного діапазону [3].

Завдяки широкому застосуванню в супутникових, корабельних, авіаційних приймально-передавальних системах, а також у системах мобільного зв'язку загального користування мікроелектронних пристроїв НЧ і НВЧ було забезпечене вирішення складних задач: автоматизація процесу

прийому й передачі інформації, електронне керування діаграмою спрямованості антен, створення багатопроменевих антенних решіток і малогабаритної апаратури з виведенням інформації на дисплей приймального індикатора [2].

Подальший розвиток мікроелектроніки НВЧ за декількома основними напрямами [1-3]:

- розробка й удосконалювання технології стрічкових (СЛ) і мікροстрічкових (МСЛ) ліній передачі та пристроїв на їхній основі.

- мікромініатюризація конструктивних і функціональних вузлів пристроїв НВЧ.

- розробка активних напівпровідникових приладів, що забезпечують виконання функцій генерування, детектування, посилення, множення, керування сигналами НВЧ тощо.

- розробка й удосконалення технології гібридних і напівпровідникових ІС НВЧ.

- розробка методів створення об'ємних інтегральних схем (ОІС) НВЧ.

Окремо слід виділити напрям захисту інформації, яка передається за бездротовими технологіями. Одним із методів захисту є використання цифрового модульованого НВЧ – сигналу. Тому актуальним є питання дослідження та розробки електронної апаратури для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні.

1. Генерація та модуляція НВЧ випромінювання

1.1 Генератори НВЧ – випромінювання

Швидкий прогрес в області НВЧ-техники значною мірою пов'язаний з винаходом спеціальних електровакуумних приладів – магнетрона і клістрона, здатних генерувати великі кількості НВЧ-енергії. Генератор на звичайному вакуумному тріод-пентоді, використовуваний на низьких частотах, в НВЧ-діапазоні опиняється вельми неефективним.

Двома головними недоліками тріод-пентода як НВЧ-генератора є кінцевий час прольоту електрона і міжелектродна ємність. Перший пов'язаний з тим, що електрону вимагається деякий час, аби пролетіти між електродами вакуумної лампи. За цей час НВЧ-поле встигає змінити свій напрям на зворотне, так що і електрон вимушений повернути назад, не долетівши до іншого електроду. В результаті електрони без всякої користі вагаються усередині лампи, не віддаючи свою енергію в коливальний контур зовнішнього ланцюга [4,5].

1.1.1 Магнетрон

У магнетроні, винайденому у Великобританії перед Другою світовою війною, ці недоліки відсутні, оскільки за основу узятий абсолютно інший підхід до генерації НВЧ-випромінювання – принцип об'ємного резонатора. Подібно до того як в органній трубі даного розміру є власні акустичні резонансні частоти, так і в об'ємного резонатора є власні електромагнітні резонанси. Стінки резонатора діють як індуктивність, а простір між ними – як ємність деякого резонансного ланцюга. Таким чином, об'ємний резонатор подібний до паралельного резонансного контура низькочастотного генератора з окремим конденсатором і котушкою індуктивності. Розміри

об'ємного резонатора вибираються, звичайно, так, щоб даному поєднанню ємкості і індуктивності відповідала потрібна резонансна надвисока частота.

У магнетроні (рисунок 1.1) передбачено декілька об'ємних резонаторів, симетрично розташованих довкола катода, що знаходиться в центрі. Прилад поміщають між полюсами сильного магніта. При цьому електрони, що випускаються катодом, під дією магнітного поля вимушені рухатися по кругових траєкторіях. Їх швидкість така, що вони в строго певний час пересікають на периферії відкриті пази резонаторів. При цьому вони віддають свою кінетичну енергію, збуджуючи коливання в резонаторах. Потім електрони повертаються на катод, і процес повторюється. Завдяки такому пристрою час прольоту і міжелектродні ємкості не заважають генерації НВЧ-енергії [6].

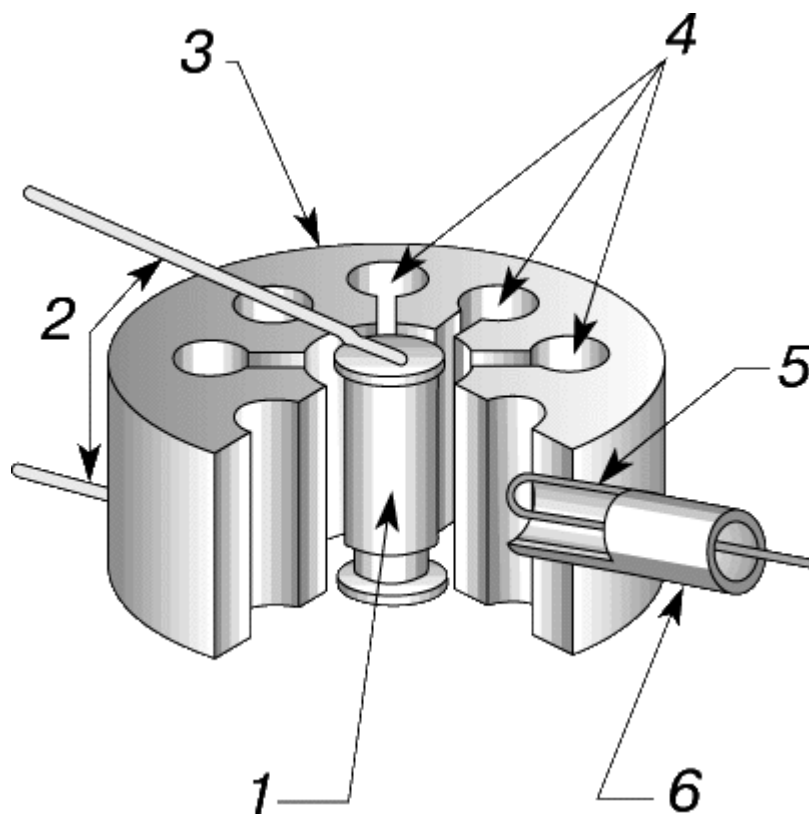


Рисунок 1.1 – Магнетрон: 1 – катод; 2 – струмовідводи нагрівача; 3 – анодний блок; 4 – об'ємні резонатори; 5 – вихідна петля зв'язку; 6 – коаксіальний кабель.

Магнетрони можуть бути отримані великого розміру, і тоді вони дають потужні імпульси НВЧ-енергії. Але в магнетрона є свої недоліки. Наприклад, резонатори для дуже високих частот стають настільки малими, що їх важко виготовляти, а сам такий магнетрон із-за своїх малих розмірів не може бути достатньо потужним. Крім того, для магнетрона потрібний важкий магніт, причому необхідна маса магніта зростає із збільшенням потужності приладу. Тому для літакових бортових установок потужні магнетрони не вигідні [7].

1.1.2 Клістрон

Для цього електровакуумного приладу, заснованого на декілька іншому принципі, не потрібне зовнішнє магнітне поле. У клістріні (рисунок 1.2) електрони рухаються по прямій від катода до відбивної пластини, а потім назад. При цьому вони пересікають відкритий зазор об'ємного резонатора у формі бублика. Сітка, що управляє, і сітки резонатора групують електрони в окремі «згустки», так що електрони пересікають зазор резонатора лише в певні моменти часу. Проміжки між згустками погоджені з резонансною частотою резонатора таким чином, що кінетична енергія електронів передається резонатору, унаслідок чого в нім встановлюються потужні електромагнітні коливання. Цей процес можна порівняти з ритмічним розгойдуванням спочатку нерухомих гойдалок.

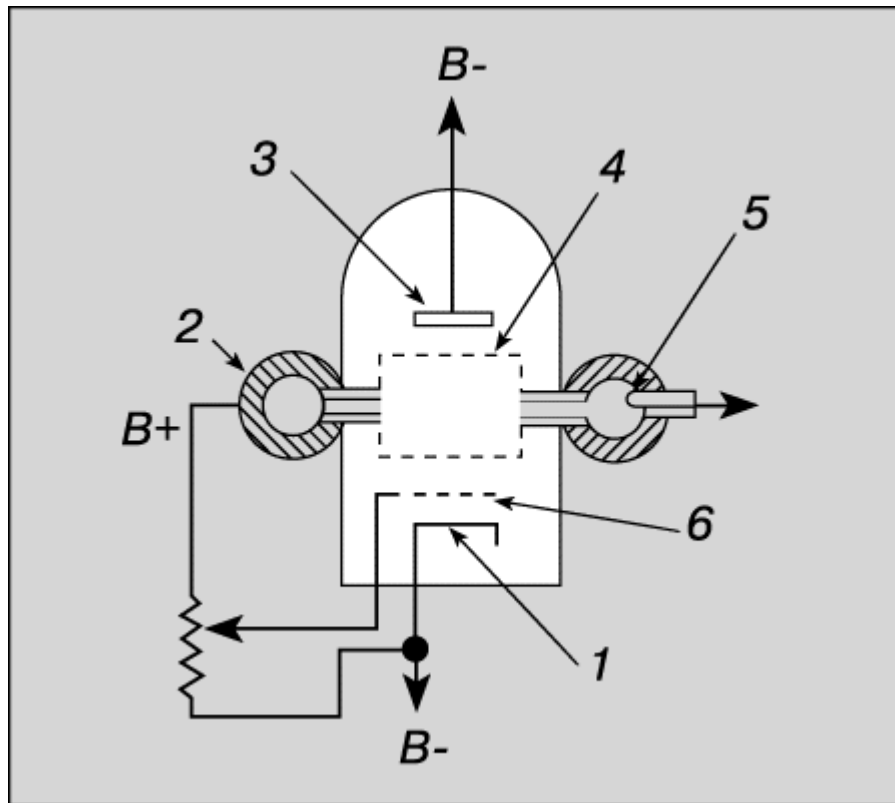


Рисунок 1.2 – Клістрон: 1 – катод; 2 – резонатор; 3 – відбиваюча пластина; 4 – резонаторні сітки; 5 – вихідна петля зв'язку; 6 – сітка керування

Перші клістроны були досить малопотужними приладами, але пізніше вони побили всі рекорди магнетронів як НВЧ-генераторів великої потужності. Були створені клістроны, що видавали до 10 млн. ватів потужності в імпульсі і до 100 тис. ватів в безперервному режимі. Система клістронов дослідницького лінійного прискорювача часток видає 50 млн. ватів НВЧ-потужності в імпульсі [8].

Клістроны можуть працювати на частотах до 120 млрд. герц; проте при цьому їх вихідна потужність, як правило, не перевищує одного вата. Розробляються варіанти конструкції клістрона, розрахованого на великі вихідні потужності в міліметровому діапазоні.

Клістроны можуть також служити підсилювачами НВЧ-сигналів. Для цього потрібно вхідний сигнал подавати на сітки об'ємного резонатора, і тоді щільність електронних згустків змінюватиметься відповідно до цього сигналу.

1.1.3 Лампа хвилі, що біжить (ЛБХ)

Ще один електровакуумний прилад для генерації і посилення електромагнітних хвиль НВЧ-діапазона – лампа хвилі, що біжить. Вона є тонкою відкачаною трубкою, що вставляється у фокусуєчу магнітну котушку. Усередині трубки є уповільнююча дротяна спіраль. Уздовж осі спіралі проходить електронний промінь, а по самій спіралі біжить хвиля підсилюваного сигналу. Діаметр, довжина і крок спіралі, а також швидкість електронів підібрані таким чином, що електрони віддають частину своєї кінетичної енергії хвилі, що біжить [8,9].

Радіохвилі поширюються із швидкістю світла, тоді як швидкість електронів в промені значно менша. Проте, оскільки НВЧ-сигнал вимушений йти по спіралі, швидкість його просування уздовж осі трубки близька до швидкості електронного променя. Хвиля, що тому біжить, достатньо довго взаємодіє з електронами і посилюється, поглинаючи їх енергію.

Якщо на лампу не подається зовнішній сигнал, то посилюється випадковий електричний шум на деякій резонансній частоті і ЛБХ хвилі, що біжить, працює як НВЧ-генератор, а не підсилювач.

Вихідна потужність ЛБХ значно менша, ніж в магнетронів і клістронів на тій же частоті. Проте ЛБХ допускають налаштування в незвичайно широкому частотному діапазоні і можуть служити дуже чутливими малошумливими підсилювачами. Таке поєднання властивостей робить ЛБХ дуже корисним приладом НВЧ-техніки.

1.1.4 Плоскі вакуумні пентод-тріоди

Хоча клістриони і магнетрони переважніші як НВЧ-генератори, завдяки удосконаленням в якійсь мірі відновлена важлива роль вакуумних тріод-пентодів, особливо як підсилювачі на частотах до 3 млрд. герц.

Труднощі, зв'язані з часом прольоту, усунені завдяки дуже малим відстаням між електродами. Небажані міжелектродні ємкості зведені до мінімуму, оскільки електроди зроблені сітчастими, а всі зовнішні з'єднання виконуються на великих кільцях, що знаходяться поза лампою. Як і прийнято в НВЧ-техніці, застосований об'ємний резонатор. Резонатор щільно охоплює лампу, і кільцеві з'єднувачі забезпечують контакт по всьому колу резонатора [10].

1.1.5 Генератор на діоді Ганна

Такий напівпровідниковий НВЧ-генератор був запропонований в 1963 Дж.Ганном, співробітником Уотсоновського науково-дослідного центру корпорації ІВМ. В даний час подібні прилади дають потужності лише порядку міліват на частотах не більше 24 млрд. герц. Але в цих межах він має безперечні переваги перед малопотужними клістронами.

Оскільки діод Ганна є монокристалом арсеніду галію, він в принципі стабільніший і довговічніший, ніж клістрон, в якому має бути катод, що нагрівається, для створення потоку електронів і необхідний високий вакуум. Крім того, діод Ганна працює при порівняно низькій напрузі живлення, тоді як для живлення клістрона потрібні громіздкі і дорогі джерела живлення з напругою від 1000 до 5000 В [8,9].

1.2 Схемні компоненти передачі хвиль НВЧ - діапазону

1.2.1 Коаксіальні кабелі і хвилеводи

Для передачі електромагнітних хвиль НВЧ-діапазону не через ефір, а по металевих провідниках потрібні спеціальні методи і провідники особливої форми. Звичайні дроти, по яких передається електрика, придатні для передачі низькочастотних радіосигналів, неефективні на надвисоких частотах.

Будь-який відрізок дроту має ємкість і індуктивність. Поєднання ємкості провідника з його власною індуктивністю на надвисоких частотах грає роль резонансного контура, майже повністю блокуючого передачу. Оскільки в дротяних лініях передачі неможливо усунути вплив розподілених параметрів, доводиться звертатися до інших принципів передачі НВЧ-хвиль. Ці принципи втілені в коаксіальних кабелях і хвилеводах.

Коаксіальні кабелі добре передають НВЧ-сигнали частотою до декількох мільярдів герц, але на вищих частотах їх ефективність знижується, і вони непридатні для передачі великих потужностей.

Звичайні канали для передачі хвиль НВЧ-діапазона мають форму хвилеводів. Поширення хвилі по хвилеводу є поширенням коливань електричного і магнітного полів хвилі, як і у вільному просторі. Таке поширення в хвилеводі можливо лише за умови, що його розміри знаходяться в певному співвідношенні з частотою передаваного сигналу. Тому хвилевід точно розраховується, так само точно обробляється і призначається лише для вузького інтервалу частот. Інші частоти він передає погано або взагалі не передає. Типовий розподіл електричного і магнітного полів усередині хвилеводу показано на рисунку 1.3[5-11]

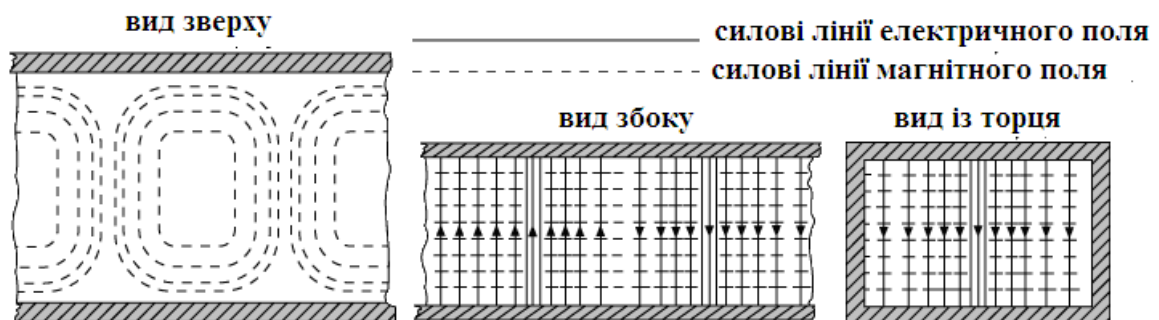


Рисунок 1.3 - Розподіл електричного і магнітного полів усередині хвилеводу

Чим вище частота хвилі, тим менше розміри відповідного їй прямокутного хвилеводу; врешті-решт ці розміри виявляються настільки малі, що надмірно ускладнюється його виготовлення і знижується передавана їм гранична потужність. Тому були початі розробки кругових хвилеводів (кругового поперечного перетину), які можуть мати чималі розміри навіть на високих частотах НВЧ-діапазона. Використання кругового хвилеводу стримується деякими труднощами. Наприклад, такий хвилевід має бути прямим, інакше його ефективність знижується. Прямокутні ж хвилеводи легко згинати, їм можна надавати потрібну криволінійну форму, і це ніяк не позначається на поширенні сигналу. Радіолокації і інші НВЧ-установки зазвичай виглядають як заплутані лабіринти з хвилеводних трактів, що сполучають різні компоненти і передавальних сигнал від одного приладу іншому в межах системи.

1.2.2 Твердотілі компоненти

Твердотілі компоненти, наприклад напівпровідникові і феритові, грають важливу роль в НВЧ-техніці. Так, для детектування, перемикання, випрямлення, частотного перетворення і посилення НВЧ-сигналів застосовуються германієві і кремнієві діоди [10,11].

Для посилення застосовуються також спеціальні діоди – варікапи (з керованою ємністю) – параметричний підсилювач. Підсилювачі такого роду служать для посилення у край малих сигналів, оскільки вони майже не вносять власні шуми і спотворення.

Твердотілим НВЧ-підсилювачем з низьким рівнем шуму є і рубіновий мазер. Такий мазер, дія якого заснована на квантовомеханічних принципах, підсилює НВЧ-сигнал за рахунок переходів між рівнями внутрішньої енергії атомів в кристалі рубіна. Рубін (або інший відповідний матеріал мазера) занурюється в рідкий гелій, так що підсилювач працює при надзвичайно низьких температурах (лише на декілька градусів тих, що перевищують

температуру абсолютного нуля). Тому рівень теплових шумів в схемі дуже низький, завдяки чому мазер придатний для радіоастрономічних, надчутливих радіолокацій і інших вимірів, в яких потрібно виявляти і підсилювати у край слабі НВЧ-сигнали.

Для виготовлення НВЧ-перемикачів, фільтрів і циркуляторів широко застосовуються феритові матеріали, такі, як оксид магнію-заліза і ітрієвий залізний гранат. Феритові перемикачі мають перевагу перед механічними у тому, що в них немає рухомих частин, схильних до зносу, а перемикання здійснюється досить швидко. Циркулятори і інші феритові перемикальні пристрої застосовуються при підключенні декількох компонентів НВЧ-системи до однієї і тієї ж антени. На рисунку 1.4 циркулятор не пропускає передаваний сигнал на приймач, а сигнал, що приймається, – на передавач [7,8].

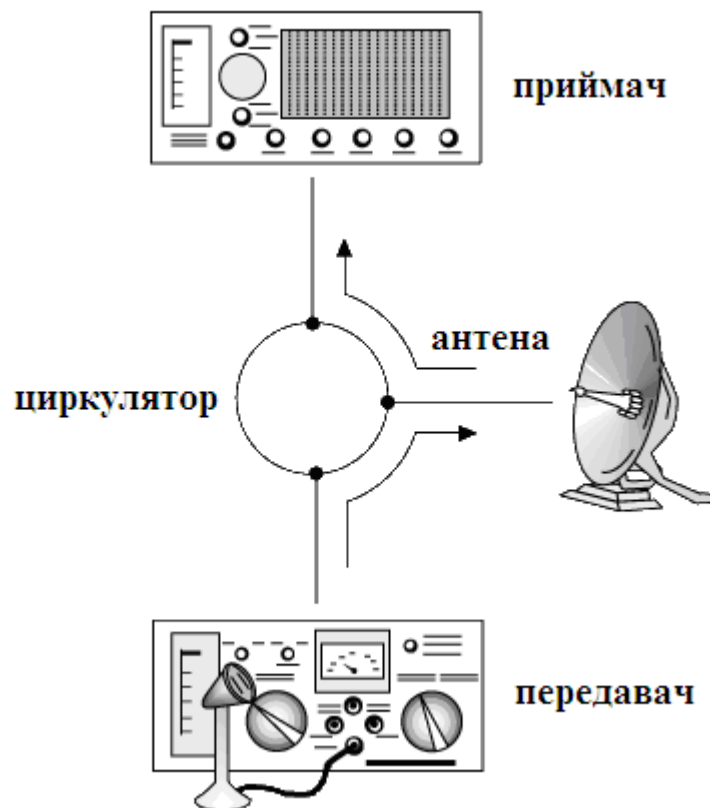


Рисунок 1.4 – НВЧ - циркулятор

У НВЧ-техніці знаходить використання і тунельний діод – порівняно новий напівпровідниковий прилад, що працює на частотах до 10 млрд. герц. Він використовується в генераторах, підсилювачах, частотних перетворювачах і перемикачах.

1.2.3 Антени

НВЧ-антени відрізняються великою різноманітністю незвичайних форм. Розмір антени приблизно пропорційний довжині хвилі сигналу [6-8].

У конструкціях багатьох антен враховуються ті властивості НВЧ-випромінювання, які зближують його зі світлом. Типовими прикладами можуть служити рупорні антени, параболічні відбивачі, металеві і діелектричні лінзи. Застосовуються також гвинтові і спіральні антени, що часто виготовляються у вигляді друкарських схем.

НВЧ-антени зазвичай проектують так, щоб вони були гранично направленими, оскільки в багатьох НВЧ-системах дуже важливо, аби енергія передавалася і приймалася в точно заданому напрямі. Спрямованість антени зростає із збільшенням її діаметру. Але можна зменшити антену, зберігши її спрямованість, якщо перейти на вищі робочі частоти.

Багато «дзеркальних» антен з параболічним або сферичним металевим відбивачем спроектовано спеціально для прийому украй слабких сигналів. Нове в області антен – антена з електронним управлінням спрямованістю; таку антену не потрібно механічно повертати. Вона складається з багаточисельних елементів – вібраторів, які можна електронними засобами по-різному сполучати між собою і тим самим забезпечувати чутливість «антенних ґрат» в будь-якому потрібному напрямі [6-8].

1.3 Модуляція хвиль НВЧ – діапазону

Модуляція (лат. *modulatio* - розміреність, ритмічність) - процес зміни одного або декількох параметрів високочастотного несучого коливання за законом низькочастотного інформаційного сигналу (повідомлення). Інформація, передається, закладена в керуючому (модулюючому) сигналі, а роль носія інформації виконує високочастотне коливання, що має назву несучого. Модуляція, таким чином, являє собою процес «насадки» інформаційного коливання на заздалегідь відому несучу. В результаті модуляції спектр низькочастотного керуючого сигналу переноситься в область високих частот. Це дозволяє при організації мовлення налаштувати функціонування всіх приймально-передавальних пристроїв на різних частотах для того, щоб вони «не заважали» один одному. У ролі несучого коливання можуть бути використані коливання різної форми (гармонійні, прямокутні, трикутні і т. д.), однак найчастіше застосовуються гармонійні коливання. В залежності від того, який з параметрів несучого коливання змінюється, розрізняють види модуляції, а саме амплітудна, частотна, фазова та ін. Модуляція дискретним сигналом називається цифровою модуляцією або маніпуляцією [7-10].

Розрізняють наступні види модуляції (рисунок 1.5).

1. Аналогова модуляція
2. Цифрова модуляція (маніпуляція)
3. Імпульсна модуляція

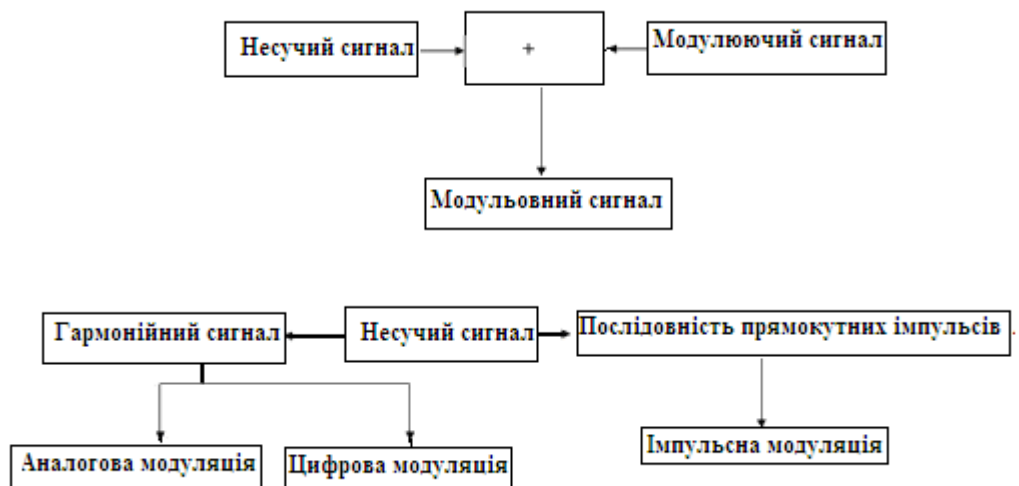


Рисунок 1.5 – Види модуляції хвиль НВЧ діапазону

Окремо слід відмітити особливі види цифрової модуляції - дельта- (ДМ) та сигма-дельта (" Δ - Σ ") модуляція [10].

Дельта-модуляція (ДМ) - спосіб перетворення аналогового сигналу в цифрову форму. Метод дельта-модуляції був винайдений в 1946 р.

У кожен момент відліку часу сигнал порівнюється з пилкоподібною напругою на кожному кроці дискретизації. Якщо відлік сигналу перевищує по амплітуді пилкоподібну напругу, то останній наростає до наступної точки дискретизації, в іншому випадку він змінює зростання на спад. У простій системі нахил пилкоподібної напруги зберігається незмінним на всьому протязі процесу. Отриманий бінарний сигнал можна розглядати як похідну від пилкоподібної напруги. Вибираючи досить малим значення кроку Δ , можна отримати будь-яку задану точність представлення сигналу [11].

Фактично, дельта-модуляція являє собою різновид іншого, більш відомого, способу перетворення - імпульсно-кодової модуляції (ІКМ), в якій число рівнів квантування дорівнює двом. При ДМ по каналу зв'язку передається не абсолютне значення сигналу, а різниця між вихідним аналоговим сигналом і апроксимуючою напругою (сигнал помилки). У порівнянні зі своїми вічними конкурентами, ІКМ і АДІКМ, дельта-модуляція

характеризується меншою складністю технічної реалізації, більш високими перешкодозахищеністю і гнучкістю зміни швидкості передачі. Перевага дельта-модуляції в порівнянні, наприклад, з ІКМ, яка також генерує бінарний сигнал, полягає не стільки в реалізованій точності при заданій частоті дискретизації, скільки в простоті реалізації.

Основний недолік ДМ полягає в тому, що дельта-кодер не встигає відстежувати швидкі зміни рівня сигналу, внаслідок чого виникає перевантаження по крутизні. Існує велика кількість різновидів ДМ, в яких задіюються різні механізми усунення цього виду спотворень [10].

Сігма-дельта модуляція здійснюється всього одним розрядом, але з частотою, що в десятки і сотні разів перевищує частоту Найквіста (FH). У процесі такого перетворення аналізується не амплітуда сигналу, а напрямок її зміни. Якщо амплітуда зростає, то результатом перетворення буде 1, а якщо зменшується - то 0. Нульовий рівень кодується чергуючими нулями і одиницями. Основна ідея цього методу полягає в тому, що спектр шуму квантування, що виникає в процесі дискретизації з низькою роздільністю, перетвориться таким чином, що в смузі низьких частот його рівень знижується, а в області високих частот (за межами основної смуги) підвищується. Потім отриманий цифровий потік проріджують фільтром низьких частот з отриманням послідовності відліків необхідної розрядності, що слідує з обраною частотою дискретизації.

" Δ - Σ "-модуляція відрізняється від простої Δ -модуляції тим, що передається інтеграл різниці дельта модуляції. Така модуляція має високу завадостійкість [11].

Отже, як видно із розглянутих питань генерації та модуляції хвиль НВЧ-діапазону, основними проблемами є: 1) мікромініатюризація конструктивних і функціональних вузлів пристроїв НВЧ; 2) розробка активних напівпровідникових приладів, що забезпечують виконання функцій генерування, детектування, посилення, множення, керування сигналами

НВЧ; 3) захист інформаційних каналів бездротового зв'язку шляхом використання різних механізмів модуляції сигналу.

Тому, метою роботи є дослідження та розробка пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1) провести аналіз методів цифрової модуляції сигналів випромінювання у НВЧ-діапазоні та обрати для вдосконалення найбільш оптимальний;

2) розробити структурну схему пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні;

3) розробити електричні схеми основних апаратних блоків пристрою;

4) провести моделювання роботи електричних схем пристрою за допомогою сучасних САПР;

5) виконати розрахунки по техніко-економічному обґрунтуванні розробки пристрою та розробити заходи по умовам дотримання техніки безпеки та охорони праці робіт, що планується здійснити.

2. Дослідження та розробка пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні

2.1 Вибір режиму модуляції

Аналіз методів цифрової модуляції, проведений у розділі 1 показав, що найбільш оптимальним для розробки буде метод $\Delta-\Sigma$ – модуляції (ДСМ). Вибір цього методу базується на тому, що він є найбільш завадостійким, порівняно із іншими. Це є дуже важливо для захисту бездротового каналу передачі інформації.

Дельта-сигма модуляція (ДСМ) володіє всіма перевагами дельта-модуляції і в той же час позбавлена багатьох її недоліків. Як відомо, дельта-модулятор придатний для роботи лише з добре корельованими сигналами, тому для підвищення корельованості вхідного сигналу його можна пропустити через інтегратор, а на приймальній стороні вихідний перетворений сигнал пропустити, відповідно, через диференціатор (рисунок 2.1) [12].

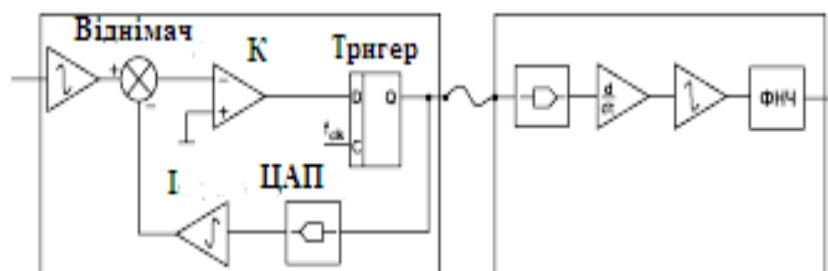


Рисунок 2.1 – Перехід від дельта модулятора до дельта-сигма модулятора: К – компаратор, І - інтегратор

Оскільки різниця інтегралів дорівнює інтегралу різниці, то два інтегратори на входах віднімача можна замінити одним на його виході. Що

стосується диференціатора на приймальній стороні, то він разом з приймальним інтегратором може бути виключений. Таким чином, схема ДСМ, представлена на рисунку 2.2, відрізняється від дельта-модулятора положенням інтегратора на передавальній стороні і його відсутністю на приймальній. Така незначна зміна в схемі значно поліпшила її характеристики і, зокрема, дозволила досягти відношення сигнал/шум -120 дБ [12,13].

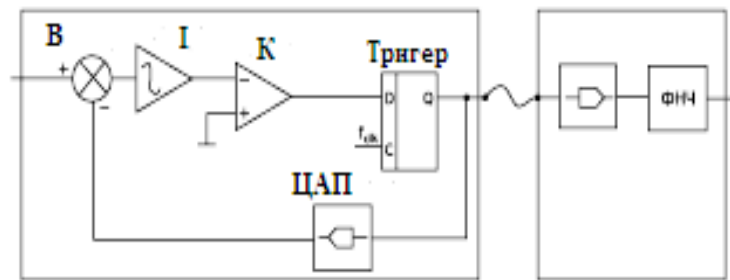


Рисунок 2.2 – Схема дельта-сигма модулятора: К – компаратор, І – інтегратор, В – віднімач

2.2 Структурна схема пристрою ДСМ

Структурна схема модулятора за методом сигма-дельта ($\Delta-\Sigma$) модуляції, яка пропонується в розробці, представлена на рисунку 2.3. Склад: двовходовий інтегратор, компаратор (дискримінатор нуля), генератор імпульсів (ГІ), логічні елементи "І", реверсивний лічильник імпульсів (ЛІ), RS – тригер. При входній напрузі $U_x=0$ схему можна розглядати як симетричний мультивібратор, або як підсилювач низької частоти (ПНЧ) з початковою частотою $\neq 0$. Кількість імпульсів, що надходить до сумуючого і від'ємного входів буде рівною і результат перетворення дорівнює нулю. При $U_x \neq 0$ симетрія порушується і кількість імпульсів, що приходять від ГІ на ЛІ за час T_1 і T_2 будуть різними. Таким чином відбувається перетворення U_x у відносну щільність імпульсів і кодування цієї щільності. Схема може реагувати на будь-яку полярність вхідного сигналу.

Основні співвідношення:

$$\frac{1}{RC} \int_0^{T_1} (U_x + U_0) dt = \frac{1}{RC} \int_0^{T_2} (U_0 - U_x) dt, \quad (2.1)$$

$$R_1 = R_2 = R$$

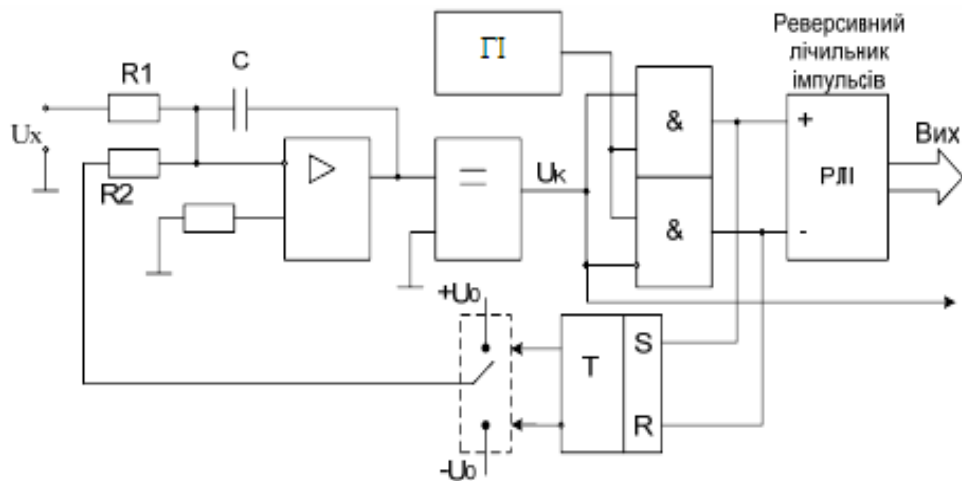


Рисунок 2.3 – Структурна схема сигма-дельта модулятора

Часові діаграми роботи сигма-дельта модулятора представлені на
рисунку 2.4

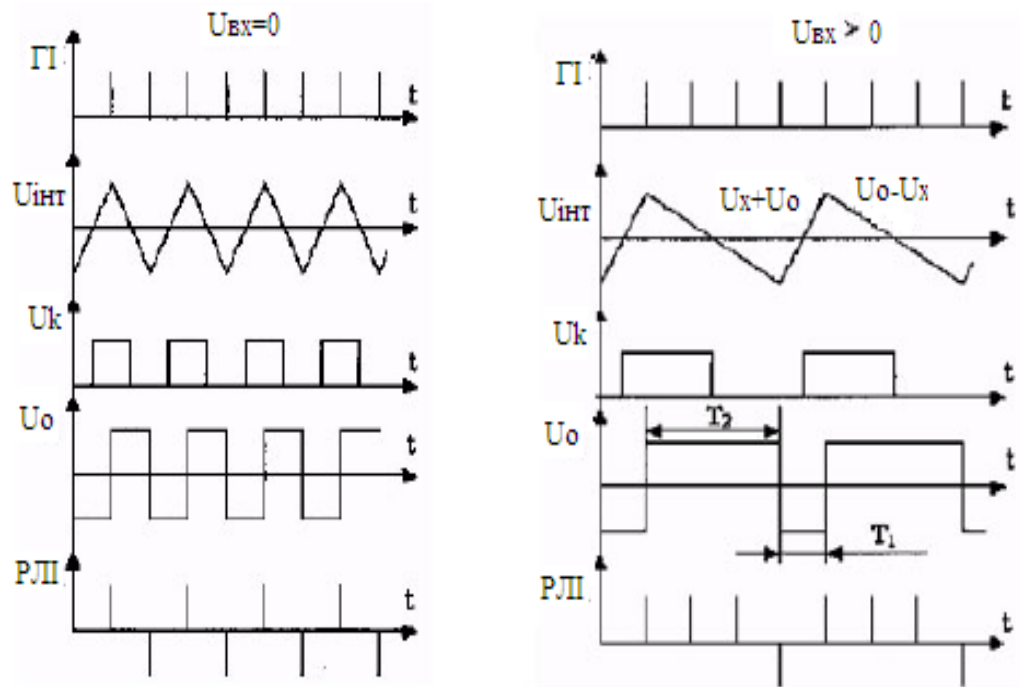


Рисунок 2.4 - Часові діаграми роботи сигма-дельта модулятора

Якщо забезпечити $N_1 + N_2 = \text{const}$, то $N_1 - N_2$ пропорційно U_x , і додатково на виході РЛІ отримаємо двійковий паралельний код, пропорційний вхідній напрузі, тобто АЦП. Модульований сигнал U_k формується на виході компаратора.

2.2.1 Інтегратор сигма-дельта модулятора

В роботі запропоновано інтегратор побудувати на основі операційного підсилювача (ОП). На рисунку 2.5 показана проста схема, що виконує цю функцію [14].

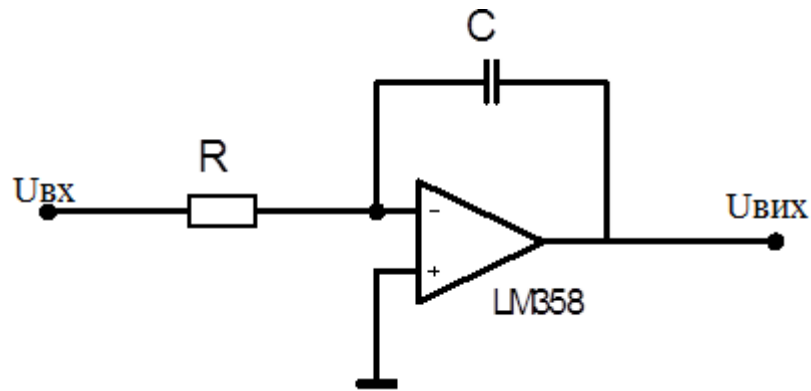


Рисунок 2.5 – Схема електрична принципова ідеального інтегратора на ОП

Її вихідна напруга ($U_{вих}$) пов'язана з вхідною напругою ($U_{вх}$) наступними співвідношеннями [14]:

$$\frac{U_{вих}}{R} = -C \frac{dU_{вих}}{dt} \quad (2.2)$$

$$U_{вих} = -\frac{1}{RC} \int U_{вх} \cdot dt + const \quad (2.3)$$

де: R – опір резистора інтегратора; C – ємність конденсатора інтегратора

Недоліком цієї схеми є дрейф вихідної напруги, обумовлений напругою зсуву і вхідними струмами ОП. Це небажане явище можна ослабити, якщо до конденсатора C підключити резистор R_2 з великим опором, який забезпечує стабілізацію робочої точки за рахунок зворотного зв'язку по постійному струму як показано на рисунку 2.6[14].

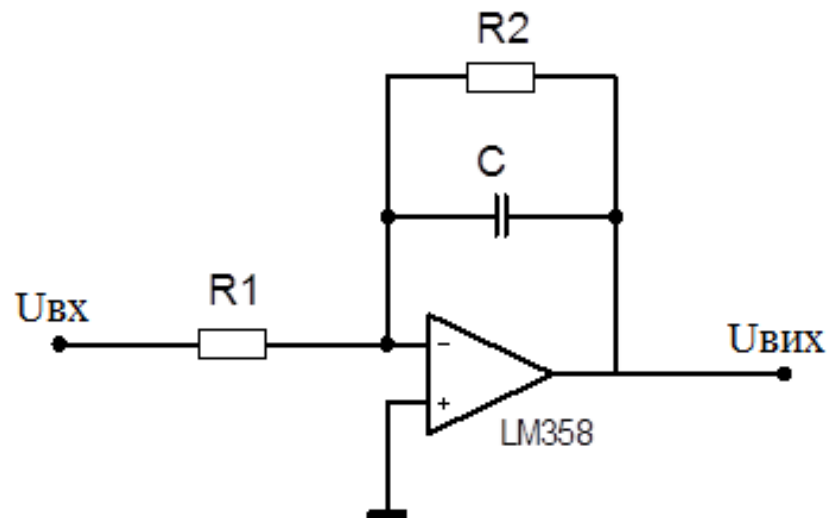


Рисунок 2.6 – Схема електрична принципова реального інтегратора на ОП

Резистор зворотного зв'язку R2 запобігає також насиченню ОП після заряду конденсатора, коли струм через конденсатор стане рівним нулю. Вихідна напруга цієї схеми при подачі на неї стрибка входної напруги амплітудою $U_{вх}$ змінюється відповідно до виразу[14]:

$$U_{вих} = -U_{вх} \frac{R2}{R1} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{R2 \cdot C}\right) \right] \quad (2.4)$$

На початковому інтервалі перехідного процесу при $t \ll R1 \cdot C$, зміна вихідної напруги $U_{вих}$ буде достатньо близька до лінійного і швидкість його зміни може бути обчислена з виразу [14]:

$$\frac{U_{вих}}{\Delta t} = \frac{-U_{вх}}{R1 \cdot C} \quad (2.5)$$

Застосування ІМС ОП зменшує похибку інтегрування в K_U раз ОП у порівнянні з пасивним інтегруючим колом.

Перехідна характеристика реального інтегратора, на відміну від ідеального, не є абсолютно лінійною, хоча і наближається до неї на більшій частині перехідного процесу. Відхилення реальної перехідної характеристики від ідеальної проявляється особливо помітно в початковий момент інтегрування (через кінцеву швидкодію ОП) і в області великих значень часу

через кінцеве значення коефіцієнта підсилення K_u . Найбільша точність інтегрування досягається, коли час інтегрування $t_i \ll K_u RC$, а амплітуда сигналу на виході інтегратора $U_{вих} \ll U_{вх} K_u$.

Отже, у якості двухвходового інтегратора обираємо схему LM358.

2.2.2 Компаратор сигма-дельта модулятора

Компаратори займають проміжне положення між аналоговими й цифровими інтегральними схемами і є найпростішими аналого–цифровими перетворювачами. Напряга на їхньому виході встановлюється рівним напрузі логічної „0” або логічної „1” залежно від того, перевищує чи ні вхідна напруга опорну.

Як навантаження компаратора можуть використовуватися різні індикатори (стрілочні, світлодіодні тощо) або електронні схеми. При цьому виникає завдання: узгодження компаратора з конкретним навантаженням.

Найбільшого застосування отримали компаратори з позитивним зворотним зв'язком (ПЗЗ), що підвищує надійність спрацьовування.

Більш стійкими до дій перешкод є компаратори з позитивним зворотним зв'язком, які також мають назву тригер Шмітта.

Вихідна напруга ОП охопленого ПЗЗ одно або $+U_{НАС}$, або $-U_{НАС}$. Нехай після включення живлення вихідна напруга ОП через наявність внутрішнього розбалансу ($U_{ВХ-СДВ} > 0$) дорівнює $+U_{НАС}$, (рисунок 2.7 а). Тоді опорна напруга, прикладена до входу (+)[14]:

$$U_{ОП} = U_{ПВ} = +U_{НАС} \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (2.6)$$

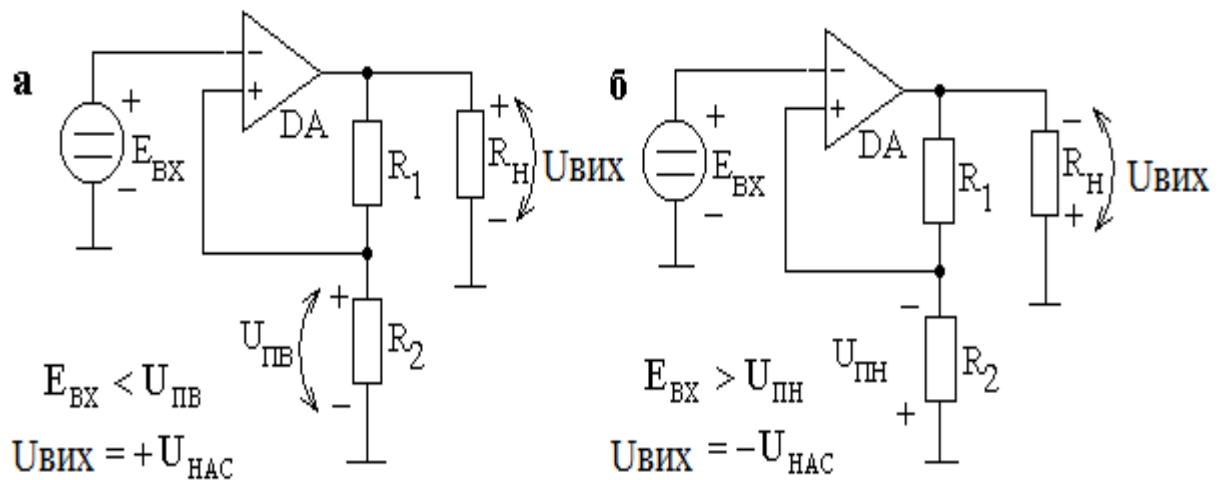


Рисунок 2.7 – Компаратор з позитивним зворотним зв'язком: а – вихідна напруга дорівнює $+U_{НАС}$; б – вихідна напруга дорівнює $-U_{НАС}$

Тому вхідна напруга $E_{ВХ}$ порівнюється з $U_{ПВ}$. Якщо $E_{ВХ} < U_{ПВ}$, різниця напруг між входами ОП позитивна, $E_d > 0$ і $U_{ВИХ}$ продовжує залишатися рівною $+U_{НАС}$. У разі якщо $E_{ВХ}$ перевищить $U_{ПВ}$, полярність E_d зміниться і $U_{ВИХ}$ почне змінюватися від $+U_{НАС}$ к $-U_{НАС}$. При цьому $U_{ПВ}$ зменшується, абсолютне значення E_d збільшується і вихідна напруга змінюється зі зростаючою швидкістю.

Після досягнення вихідним напругою величини $-U_{НАС}$ схема переходить в новий стійкий стан (рисунок 2.7,б). $U_{ПН}$ має негативну полярність відносно землі. Це означає, що $U_{ВИХ}$ буде залишатися рівним $-U_{НАС}$ до тих пір, поки $E_{ВХ} > U_{ПН}$. Переключення компаратора в $+U_{НАС}$ відбудеться, якщо $E_{ВХ}$ стане нижче $U_{ПН}$.

Після досягнення вихідною напругою величини $-U_{НАС}$ схема переходить в новий стійкий стан. Напруга $U_{ПН}$ має негативну полярність відносно землі. Це означає, що $U_{ВИХ}$ буде залишатися рівним $-U_{НАС}$ до тих пір, поки $E_{ВХ} > U_{ПН}$. Переключення компаратора в $+U_{НАС}$ відбудеться, якщо $E_{ВХ}$ стане нижче $U_{ПН}$.

Вибираючи необхідні значення порогових напруг $U_{ПН}$ і $U_{ПВ}$ можна змінювати «зону нечутливості» компаратора в залежності від рівня перешкод.

Недоліками компараторів, побудованих на основі типових ОП, є:

1. Мала швидкодія при перемиканні від одного рівня насичення до іншого.
2. Труднощі узгодження з конкретною навантаженням.

Типове значення напруги насичення ОП складає приблизно 10 ... 13 В, тому підключення компаратора до схеми, зібраною, наприклад, на ТТЛ-мікросхемах (працюють з сигналами 0 ... 5 В), потребує додаткових схемних рішень (узгоджувачів рівня).

Для усунення зазначених недоліків:

1. Використовують швидкодіючі ОП з великою швидкістю зміни вихідної напруги (інтегральні компаратори).
2. Вводять обмеження меж зміни вихідного напруги для конкретного навантаження або застосовують ОП спеціально призначені для використання як компараторів з можливістю зміни вихідного напруги.

Одним з таких ОП є LM710. Вихідна напруга $U_{\text{вих}} = +3,2$ В або $-0,5$ В при несиметричному живленні $-6 - +12$ В, що дозволяє використовувати як навантаження компаратора цифрові мікросхеми ТТЛ-логіки (максимальна вхідна напруга для ТТЛ-мікросхем не повинна перевищувати 5 В). Час спрацьовування компаратора близько 40 нс проти 4000 - 8000 нс у ОП загального застосування. Струми зсуву LM710 великі (близько 16 мкА). При таких струмах зсуву опір джерела сигналу не повинен бути великим (не більше 1 кОм) [14].

2.2.3 Генератор імпульсів сигма-дельта модулятора

Згідно обраної системи модуляції у розробці в якості генератора імпульсів використовувався генератор трикутних імпульсів.

Найбільш простий спосіб отримання трикутних імпульсів є схема, яка містить тригер Шмітта і інтегратор, причому вихід тригера сполучений з входом інтегратора, а вихід інтегратора з входом тригера Шмітта. Не дивлячись на свою простоту, схема дозволяє отримати хороші трикутні імпульси (рисунок 2.8) [14].

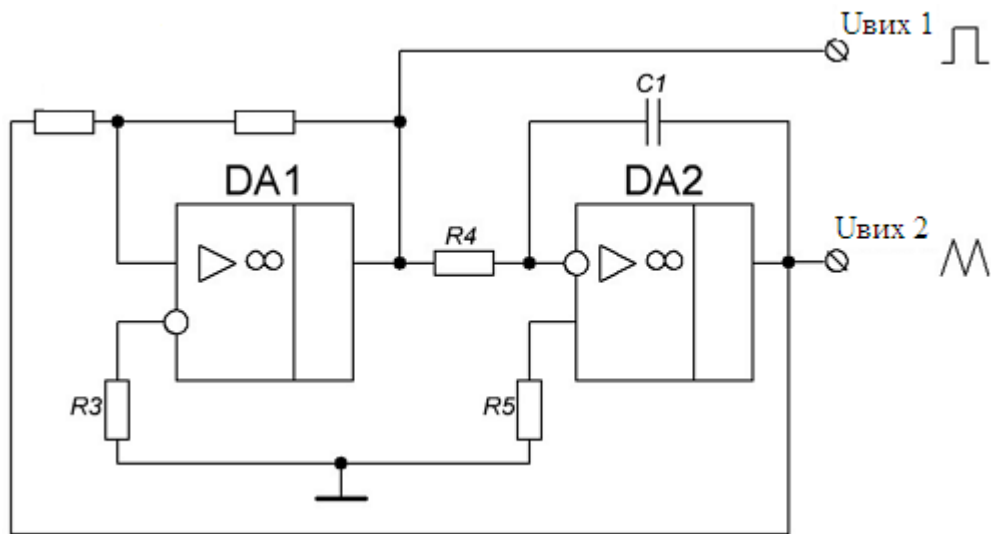


Рисунок 2.8 – Ідеальна схема генератора трикутних імпульсів

Даний генератор трикутної напруги складається з тригера Шмітта на ОП DA1 і резисторах R1, R2 і R3, а також інтегратора на ОП DA2, резисторах R4, R5 і конденсатора C1. Трикутні імпульси знімають з вивіду «Uвих 2», крім того з вивіду «Uвих 1» можна знімати прямокутні імпульси. Резистори R3 і R5 служать для компенсації напруги зсуву ОУ і у разі, коли немає необхідності в сильній симетрії імпульсів їх можна замінити перемичками.

За основу було запропоновано генератор, робота якого заснована на використанні мікросхеми XR2206 [15,16]. Запропонований генератор здатний генерувати синусоїдальний, прямокутний та трикутний сигнали з високою точністю і стабільністю. Вихідний сигнал регулюється як по частоті, так і по амплітуді. Для зручності використання і налаштування діапазон сигналів, що генеруються розділений на декілька піддіапазонів які вибираються перемичкою. На рисунку 2.9 представлено принципову схему генератора [15,16].

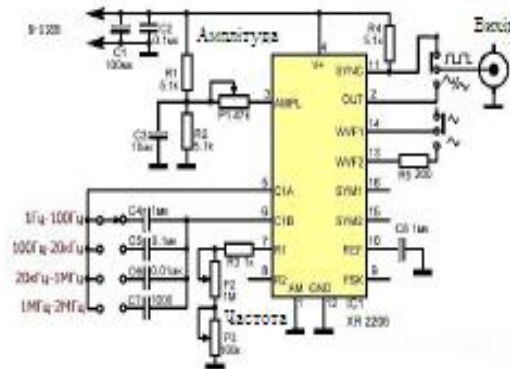


Рисунок 2.9 – Принципова схема генератора трикутних імпульсів

Параметри генератора наступні [15,16]:

Діапазон частот роздільний на чотири піддіапазони:

1. 1 Гц-100 Гц
2. 100Гц-20кГц
3. 20 кГц-1 МГц
4. 150kHz-2 МГц.

Синусоїдальний сигнал:

Амплітуда: 0 - 3В при напрузі живлення 9В

Спотворення: менше 1% (1 кГц)

Нерівномірність: +0,05 дБ 1 Гц - 100 кГц

Прямокутний сигнал:

Амплітуда: 8В (без навантаження) при напрузі живлення 9В

Час наростання: менше 50 нс (при 1 кГц)

Час спаду: менш 30 нс (на 1 кГц)

Рассиметрія: менше 5% (1 кГц)

Трикутний сигнал:

Амплітуда: 0 - 3В при напрузі живлення 9В

Нелінійність: менше 1% (до 100 кГц)

Структура та призначення виводів мікросхеми XR2206 представлені на рисунку 2.10 [15,16].

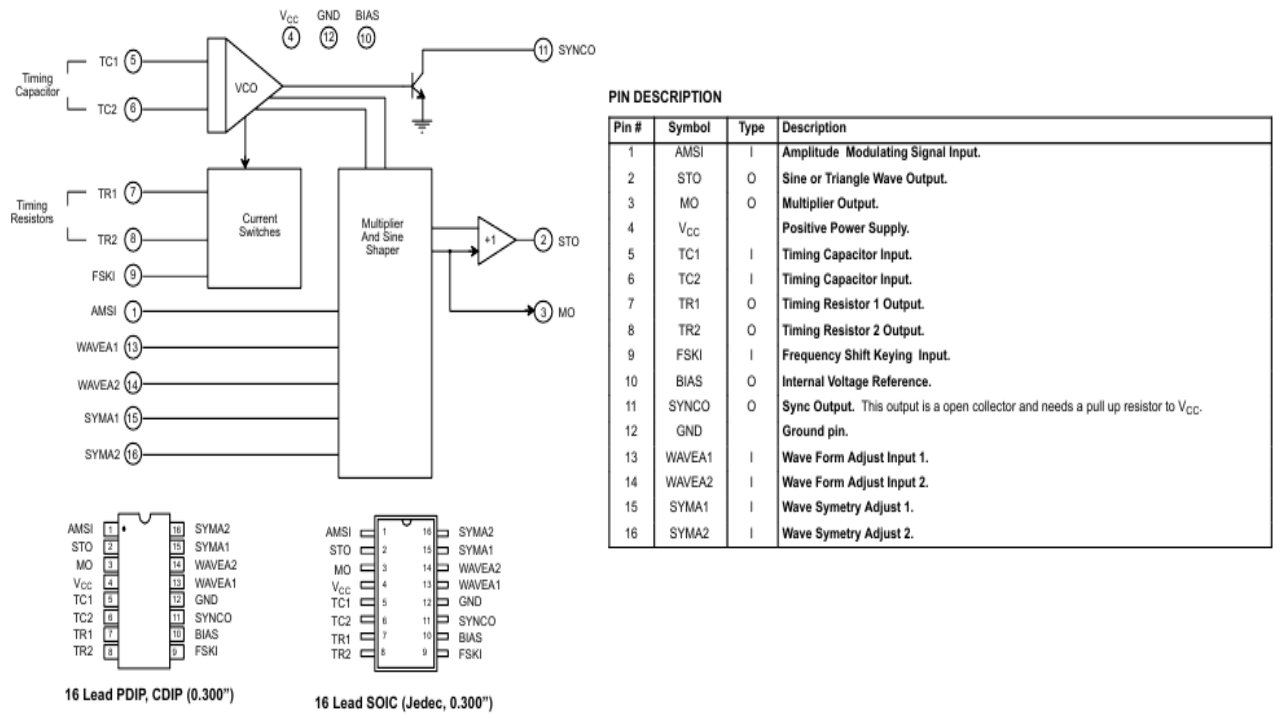


Рисунок 2.10 - Структура та призначення виводів мікросхеми XR2206

2.2.4 RS - тригер сигма-дельта модулятора

Найбільшого використання знаходять тригери з роздільним запуском, які називаються RS – тригерами. Їх умовне графічне позначення приведене на рисунку 2.11 [17].

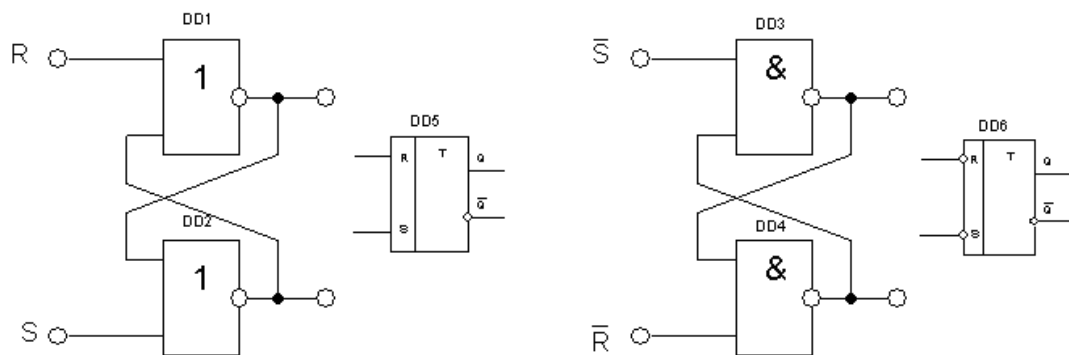


Рисунок 2.11 – RS – тригери та їх умовне графічне позначення (УГП)

У простому RS – тригері інформаційні сигнали подаються безпосередньо на входи S і R елементу пам'яті. Входи, на які подаються імпульси запуску, називаються установочними. Літерою S (Set – установка) позначають вхід, на який подається сигнал, що встановлює тригер в одиничний стан ($Q = 1, \bar{Q} = 0$). Літерою R (Reset – скидання) позначають вхід, на який подається сигнал скидання, що переводить тригер в стан «0» ($Q = 0, \bar{Q} = 1$). Літерою Q позначається прямий вихід, а \bar{Q} – інверсний.

RS – тригери застосовуються як самостійно, так і у складі інших складніших тригерів, а також входять до складу регістрів і лічильників.

Функціонування логічних пристроїв послідовнісного типу описується таблицями переходів, які відрізняються від таблиць істинності тим, що в них враховуються лише результативні переходи, коли зміна комбінації сигналів на вході призводить до зміни вихідного стану. Проте, таблиця переходів може бути зведена до таблиці істинності, якщо стан внутрішніх елементів пам'яті вважати вхідними сигналами.

Повна таблиця функціонування (таблиця істинності) приведена на рисунку 2.12 а. У таблиці (рисунок 2.12 а) попередній стан тригера Q^n до подачі вхідних сигналів є одним з вхідних сигналів. Вихідний стан тригера після подачі вхідних сигналів позначений символом Q^{n+1} . Таблиця переходів тригера приведена на рисунку 2.12 б.

Таблиця істинності дозволяє застосувати методику синтезу логічних пристроїв комбінаційного типу для синтезу пристроїв послідовнісного типу, у тому числі і RS – тригерів.

Відповідно до таблиці істинності [17]:

$$Q^{n+1} = S\bar{R}\bar{Q}^n + \bar{S}\bar{R}Q^n + S\bar{R}Q^n \quad (2.7)$$

Для мінімізації структурної формули RS – тригера заповнимо карту Карно. Відповідно до теорії мінімізації невизначених логічних функцій, для визначення прямого значення функції Q^{n+1} невизначені значення карти Карно «×» (рисунок 2.13 а) замінимо на «1» (рисунок 2.13 б), а для визначення

інверсного значення \bar{Q}^{n+1} – замінимо на «0» (рисунок 2.13 в). Для отримання функції \bar{Q}^{n+1} мінімізація виконується по нулях [17].

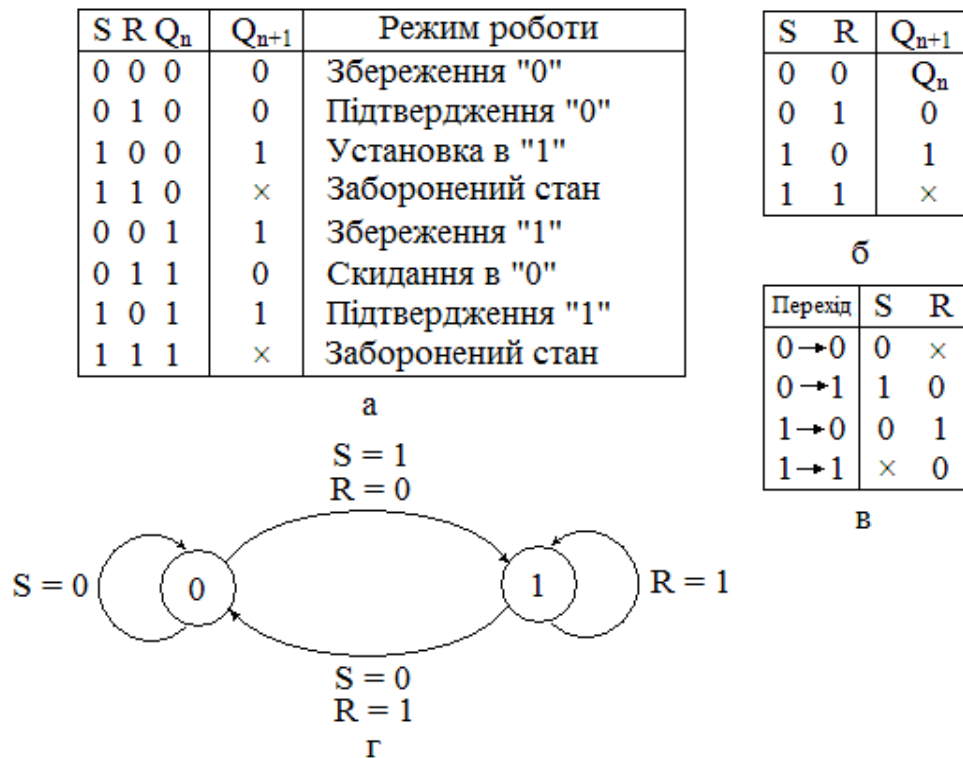


Рисунок 2.12 – Таблиця істинності (а), таблиця перемикань (б), словник переходів (в), діаграма станів (г) RS – тригера

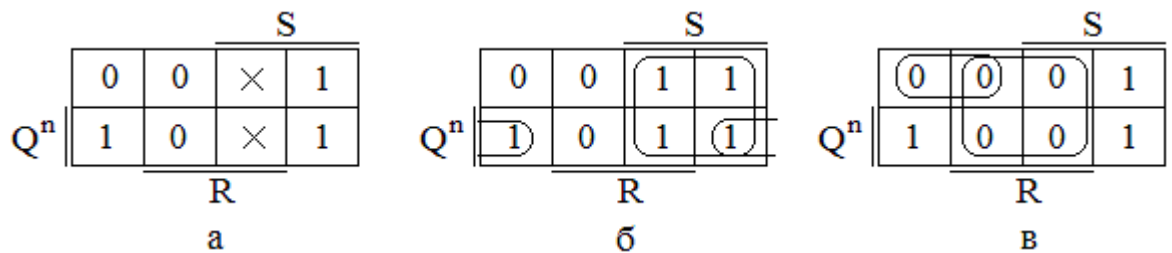


Рисунок 2.13 – Мінімізація структурної формули RS – тригера

Мінімізовані значення функцій Q^{n+1} і \bar{Q}^{n+1} на елементах основного базису мають вигляд: $Q^{n+1} = S + \bar{R}Q^n$; $\bar{Q}^{n+1} = R + \bar{S}\bar{Q}^n$.

При розробці цифрових схем, в які входять RS – тригери, необхідно враховувати наявність забороненого стану вхідних сигналів для RS – тригерів на елементах АБО-НІ $S = R = 1$, а для RS – тригерів на елементах І-НЕ $\bar{S} = \bar{R} = 0$. Умову нормального функціонування для обох схем RS – тригерів можна записати в наступному вигляді: $SR \neq 1$. Якщо в схемі, що

розробляється, таке поєднання вхідних сигналів в принципі можливо, то цю ситуацію необхідно виключити шляхом включення у вхідне коло додаткових логічних елементів, або використовувати інші типи тригерів, що не мають забороненого стану.

Розглянуті RS – тригери є асинхронними, оскільки сигнали управління впливають на тригер безпосередньо з початком своєї появи на їх входах [17].

Для розробки було обрано RS – тригер на мікросхемі 155ЛА3, яка є більш простою для експлуатації та привабливою за вартістю [17].

2.2.5 Логічні елементи "І" сигма-дельта модулятора

Згідно структурної схеми пристрою, логічні елементи «2І» під'єднано паралельно до лічильника імпульсів.

Функція І (інші назви: кон'юнкція, логічне множення, AND) – це функція двох або більшого числа аргументів.

Рівняння функції:

$$F = AB ; F = A \cdot B ; F = A \& B ; F = A \wedge B .$$

Читається «F є A і B». Функція І дорівнює 1 тоді і лише тоді, коли всі її аргументи дорівнюють 1.

Схему, яка забезпечує виконання такої функції, називають кон'юнктором або схемою І. Таблиця істинності кон'юнктора [17]:

AB	F = A · B
00	0
01	0
10	0
11	1

Елемент І часто використовують для управління потоком інформації. При цьому на один його вхід поступають логічні сигнали, що несуть деяку інформацію, а на іншій – сигнал керування: пропускати – 1, не пропускати – 0. Елемент І, який використовується таким чином, називають вентиль (gate).

Таблиця істинності переконливо показує тотожність операцій звичайного і логічного множень. Тому, як знак логічного множення, можливе використання знаку звичайного множення у вигляді крапки.

Функцію І можна побудувати для будь-якого числа аргументів. На рисунку 2.14 показані умовні зображення двох- і чотирьохвходового кон'юнкторів.

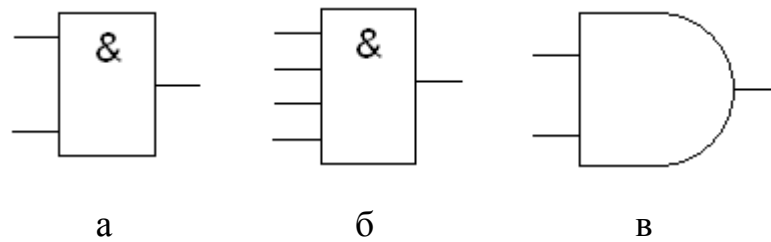


Рисунок 2.14 – Кон'юнктор: а) умовне зображення двохвходового кон'юнктора 2І (AND2); б) умовне зображення чотирьохвходового кон'юнктора 4І (AND4); в) умовне зображення двохвходового кон'юнктора в американській символіці

Струм в колі тече, коли обидва контакти замкнуті, тобто знаходяться в одиничному стані.

Елементарна схемна реалізація елемента «2І» представлена на расинку 2.15.

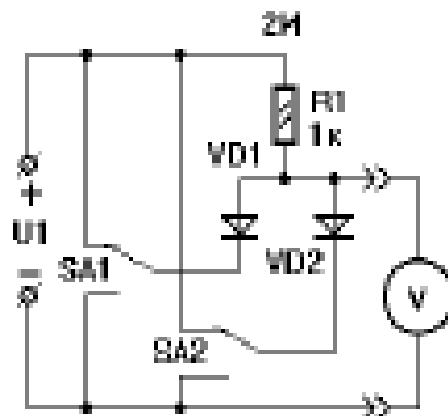


Рисунок 2.15 - Елементарна схемна реалізація елемента «2І»

У якості логічних елементів в розробці пропонується використати мікросхему К155ЛА3, як найбільш простій для експлуатації та привабливою за вартістю.

2.2.6 Реверсивний лічильник імпульсів сигма-дельта модулятора

Лічильником називається пристрій послідовнісного типу, призначений для підрахунку числа імпульсів, що поступають на його вхід, і фіксації цього числа у вигляді коду, що зберігається в тригерах [17].

Лічильники - це цифрові автомати, внутрішні стани яких визначаються лише кількістю сигналів "1", що прийшли на вхід. Сигнали "0" не змінюють їх внутрішні стани.

Тригер Т-типу є простим лічильником, який рахує до двох. Лічильник, утворений колом з m тригерів, зможе підраховувати в двійковому коді 2^m вхідних імпульсів. Кожен з тригерів в цьому колі називають розрядом лічильника. Для установки початкового стану лічильника (скидання в нуль) зазвичай передбачається вхід скидання.

Основна характеристика лічильника – модуль рахунку, або ємність лічильника $K_{\text{рах.}}$. Це кількість вхідних сигналів, які повертають лічильник у вихідний стан. Лічильник, що не має додаткових зв'язків, має модуль рахунку $K_{\text{рах.}} = 2^n$. Лічильники, що мають модуль рахунку 2^n , називаються двійковими. Якщо $K_{\text{рах.}} \neq 2^n$, то лічильник називається недвійковим. Лічильники відрізняються один від одного кодом, в якому вони працюють. Код завжди буває двійковим, але може мати різні ваги розрядів, наприклад вага $8 - 4 - 2 - 1$ або $5 - 2 - 1 - 1$ і тому подібне. Одним з недвійкових є двійково-десятковий лічильник, в якому значення кожного розряду десятичного числа кодується двійковим кодом.

За призначенням лічильники можуть бути підсумовуючими, віднімаючими і реверсивними. Підсумовуючі лічильники виконують складання числа імпульсів, що поступають на вхід, з тим числом, яке зберігалось в ньому. Віднімаючі лічильники виконують віднімання числа імпульсу, що поступає, з початкового числа, записаного в ньому заздалегідь. Реверсивні лічильники можуть виконувати як додавання, так і віднімання

імпульсів, що поступають на вхід, залежно від управляючих сигналів, що змінюють режим роботи лічильника.

За способом організації внутрішніх зв'язків лічильники можуть бути: з послідовним перенесенням, з паралельним перенесенням, з комбінованим перенесенням, кільцеві.

Лічильники бувають синхронними, тобто, коли рахункові імпульси подаються на рахункові входи всіх тригерів, і асинхронними - коли сигнал на рахунковий вхід якого-небудь тригера подається з виходу одного з тригерів молодших розрядів.

Розглянемо роботу двійкового підсумовуючого лічильника з порядком рахунку $K_{\text{рах.}} = 8$. Для його побудови необхідно $m = \log_2 8 = 3$ тригера, що відповідає трьом розрядам двійкового числа (коду 421). У таблиці станів такого лічильника (таблиця 2.1) вхідний сигнал x^n позначимо через 1, Q^{n3} – старший розряд, Q^{n1} – молодший розряд [17].

Таблиця 2.1 – Таблиця станів лічильника

x^n	$Q3^n$	$Q2^n$	$Q1^n$	$Q3^{n+1}$	$Q2^{n+1}$	$Q1^{n+1}$
1	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0
1	0	1	0	0	1	1
1	0	1	1	1	0	0
1	1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	1	1	0
1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	0	0	0

З аналізу таблиці видно:

- тригер молодшого розряду $Q1$ перемикається від кожного вхідного сигналу;
- другий розряд $Q2$ перемикається через два вхідні сигнали;
- третій розряд $Q3$ перемикається через чотири вхідні сигнали.

Таким чином, частота перемикання кожного наступного тригера зменшується вдвічі. Отже, лічильник можна побудувати як коло послідовно включених рахункових тригерів. Побудуємо такий лічильник на JK-тригерах,

що працюють в рахунковому режимі (рисунок 2.16). У схемі JK – тригери перетворені в T – тригери шляхом подачі «1» на вхід J і K [17].

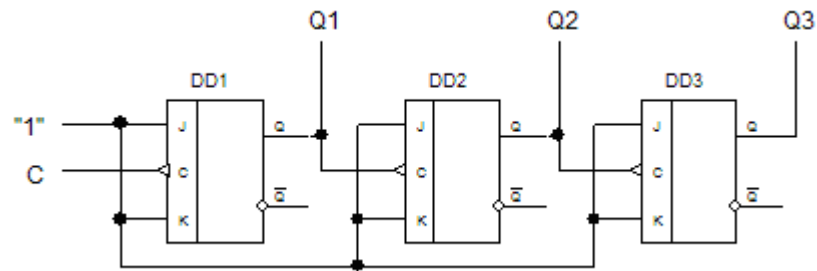


Рисунок 2.16 – Схема двійкового підсумовуючого лічильника з послідовним перенесенням

Оскільки тригери мають інверсний динамічний вхід, то кожен подальший тригер перемикатиметься при скиданні в «0» попереднього тригера (рисунок 2.17).

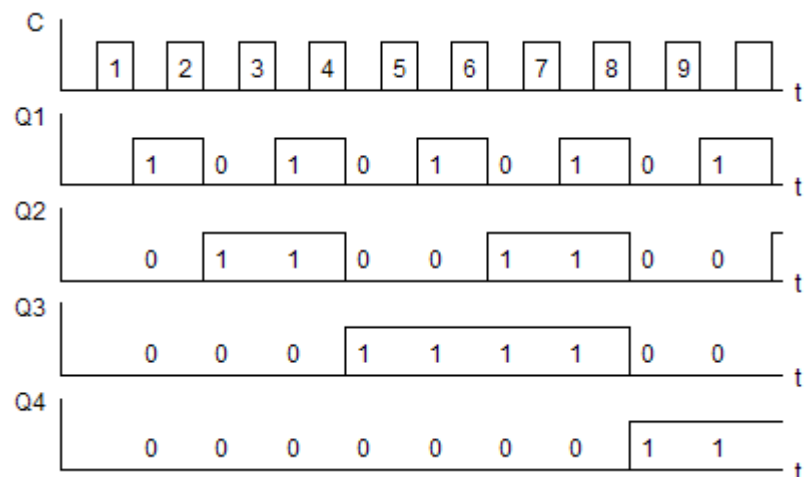


Рисунок 2.17 – Діаграма функціонування двійкового підсумовуючого лічильника з послідовним перенесенням

Окрім основної функції – рахунку імпульсів, лічильник забезпечує ділення частоти дотримання імпульсів. Якщо частоту дотримання імпульсів, що поступають на вхід тригера DD1 позначити f , то на виході тригера DD1 сигнал змінюється з частотою $f/2$, на виході тригера DD2 з частотою $f/4$ і так далі.

Двійковий лічильник з послідовним перенесенням може працювати як віднімаючий. Для цього необхідно сигнали на входи подальших розрядів подавати з інверсних виходів тригерів попередніх розрядів.

Важливим параметром лічильника є його максимальний час встановлення коду, тобто час, необхідний для встановлення коду після подачі рахункового імпульсу. Оскільки отриманий лічильник – асинхронний, то кожен його тригер спрацьовує із затримкою відносно вхідного сигналу. Тому, у міру просування сигналу від молодшого розряду до старшого, ця затримка підсумовується і може статися спотворення інформації у вигляді невідповідності числа імпульсів, що вже поступили в лічильник, і коду на його виходах. У схемах лічильників з послідовним перенесенням максимальний час встановлення $t_{вст.}$ визначається сумою часу затримки перемикання всіх тригерів. Час встановлення $t_{вст.}$ визначає швидкодію лічильника. У загальному випадку сумарна затримка пропорційна числу тригерів, що знижує швидкодію лічильника.

Для підвищення швидкодії лічильники виконуються синхронними з паралельним перенесенням (або паралельні). Їх особливість полягає в тому, що виходи всіх попередніх розрядів з'єднуються з входами тригера подальшого розряду, тому тривалість перехідного процесу визначається лише тривалістю перехідного процесу одного розряду і не залежить від кількості тригерів. Звідси випливає, що паралельні лічильники – синхронні.

Структура паралельного лічильника не настільки очевидна, як структура послідовного лічильника. Для її виявлення необхідна певна процедура синтезу.

Реверсивний лічильник. Такий лічильник повинен, залежно від сигналів управління, забезпечувати або режим підсумовування, або режим віднімання вхідних сигналів. З порівняння функцій входів підсумовуючого і віднімаючого паралельних лічильників випливає, що самі функції мають один і той же вигляд. Лише в разі віднімаючого лічильника беруться інверсні значення змінних. Отже, реверсивний лічильник повинен містити схему

управління, що забезпечує підключення або прямих, або інверсних виходів до входів подальших розрядів, залежно від сигналів управління напрямом рахунку М.

Функція входів для реверсивного лічильника на Т – тригерах (рисунок 2.18) матиме вигляд [17]:

$$T1 = 1; \quad T2 = M \cdot Q1 + \bar{M} \cdot \bar{Q1}; \quad T3 = (M \cdot Q1 \cdot Q2) + (\bar{M} \cdot \bar{Q2} \cdot \bar{Q1});$$

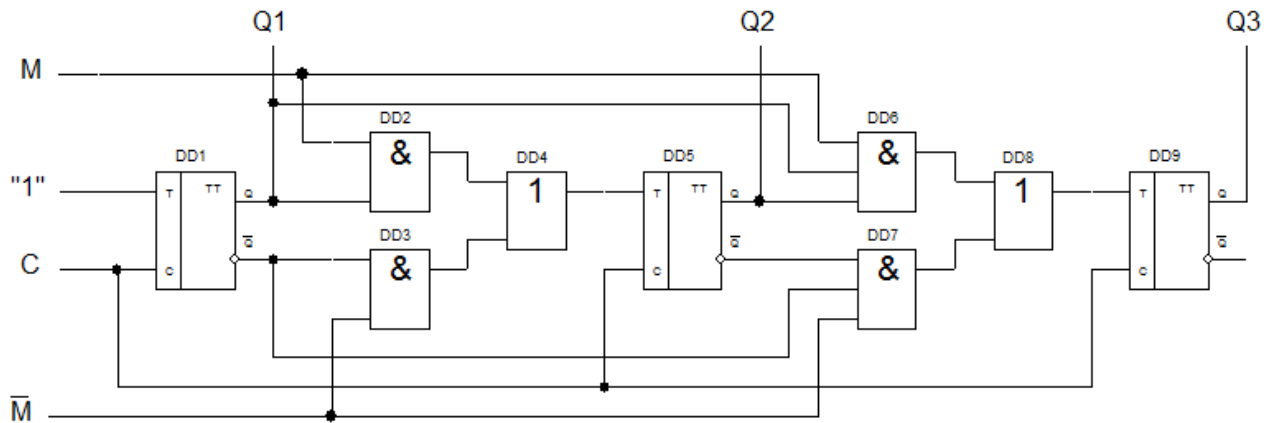


Рисунок 2.18 – Реверсивний паралельний двійковий лічильник з $K_{\text{рах.}}=8$

Окремо розрахуємо режим підсумовування та режим віднімання. Як приклад, синтезуємо двійковий паралельний лічильник з $K_{\text{рах.}} = 16$.

Підсумовуючий лічильник. Процедура синтезу включає наступні операції [17].

1) визначається необхідна кількість розрядів m . В даному випадку:

$$m = \log_2 16 = 4.$$

2) будується таблиця станів лічильника (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Таблиця функціонування двійкового підсумовуючого лічильника з паралельним перенесенням

C	$Q4^n$	$Q3^n$	$Q2^n$	$Q1^n$	$Q4^{n+1}$	$Q3^{n+1}$	$Q2^{n+1}$	$Q1^{n+1}$
1	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	1	1
1	0	0	1	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	0	0	1	1	1
1	0	1	1	1	1	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	1
1	1	0	0	1	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	0
1	1	1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	0	0

3) складаються карти Карно для функцій переходів тригерів кожного розряду. Карта переходів будується по таблиці станів і відображає перехід тригера $Q_i^n \rightarrow Q_i^{n+1}$ у кожному такті, залежно від стану останніх тригерів в такті n (рисунок 2.19).

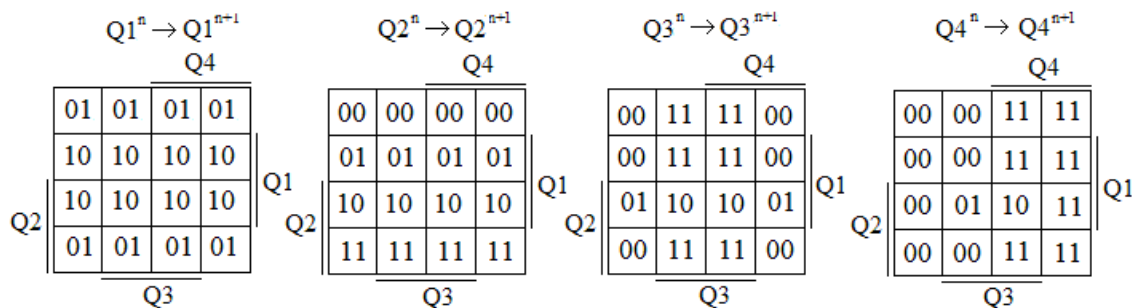


Рисунок 2.19 – Карти Карно для функцій переходів тригерів кожного розряду

Наприклад, першому рядку таблиці 2.2 $Q4 = Q3 = Q2 = Q1 = 0$ відповідає ліва верхня клітинка карт переходів. Оскільки під час вступу першої одиниці в лічильник $Q1$ він повинен перейти з нульового стану в одиничний, а $Q2$, $Q3$ і $Q4$ повинні зберегти стан нуля, у вказану клітинку

карти переходів для Q1 слід поставити «01», а в картах для Q2, Q3 і Q4 поставити «00» і так далі.

4) вибирається тип тригера, наприклад, JK – тригер, для побудови лічильника. Використовуючи словник переходів JK – тригера, для кожного входу тригера складаються карти Карно, в клітинках яких проставляються сигнали, необхідні для забезпечення переходів тригерів, вказаних в однойменних клітинках карт функцій переходів (рисунок 2.20).

Наприклад, для переходів «01» JK – тригера, згідно його словнику переходів, необхідно подати сигнал $J = 1$, а сигнал на вході K може бути будь-яким «×», тому у верхню ліву клітинку карти Карно для J1 проставляють одиницю, а для K1 – «×» і так далі.

5) проводиться мінімізація логічних функцій входів в картах Карно з метою здобуття їх аналітичних виразів, що показують зв'язки між входами і виходами всіх тригерів, що складають лічильник. В процесі мінімізації виробляється довизначення функцій там, де це доцільно, одиницями в клітинках «×».

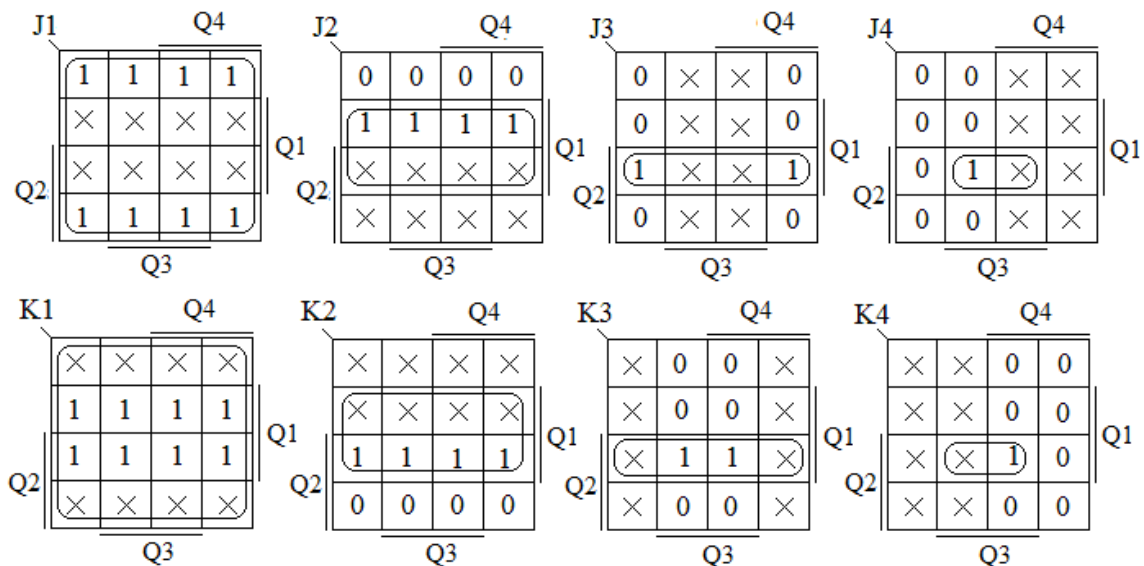


Рисунок 2.20 – Карти Карно для входів тригерів

У результаті, отримано наступні функції входів тригерів лічильника:

$$J1 = 1; K1 = 1; J2 = Q1; K2 = Q1; J3 = Q2 \cdot Q1; K3 = Q2 \cdot Q1;$$

$$J4 = Q3 \cdot Q2 \cdot Q1; K4 = Q3 \cdot Q2 \cdot Q1;$$

б) будується електрична схема лічильника, відповідно до реалізації функцій входів (рисунок 2.21).

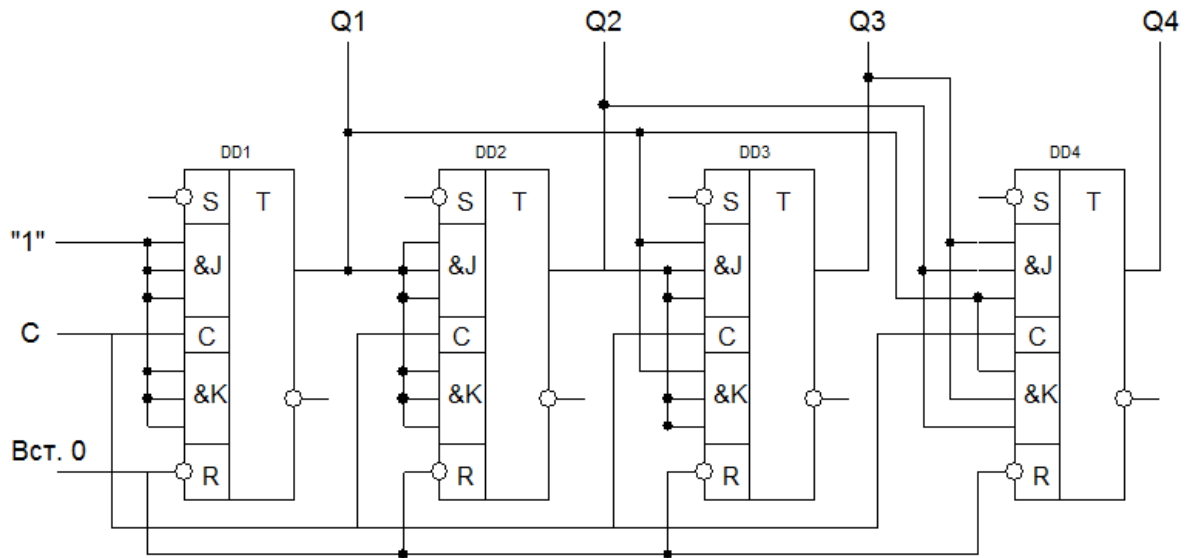


Рисунок 2.21 – Підсумовуючий двійковий лічильник з паралельним перенесенням

Віднімаючий лічильник. Як приклад синтезуємо двійковий паралельний лічильник з $K_{\text{рах.}} = 8$. Визначимо необхідну кількість розрядів m . В даному випадку: $m = \log_2 8 = 3$. Лічильник працює відповідно до таблиці переходів (таблиця 2.3), зворотній таблиці 2.1 [17].

Таблиця 2.3 – Таблиця станів віднімаючого лічильника

x^n	$Q3^n$	$Q2^n$	$Q1^n$	$Q3^{n+1}$	$Q2^{n+1}$	$Q1^{n+1}$
1	0	0	0	1	1	1
1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	1
1	0	1	1	0	1	0
1	1	0	0	0	1	1
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	0	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0

Складемо карти Карно для функцій переходів тригерів кожного розряду (рисунок 2.22).

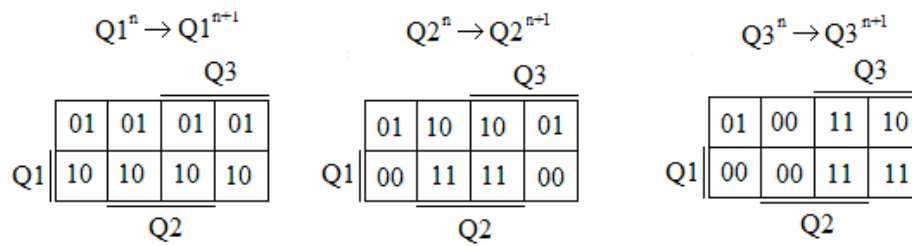


Рисунок 2.22 – Карты функцій переходів тригерів лічильника

Побудуємо схему на Т – тригерах. Використовуючи словник переходів Т – тригера, для кожного входу тригера складемо карти Карно (рисунок 2.23).

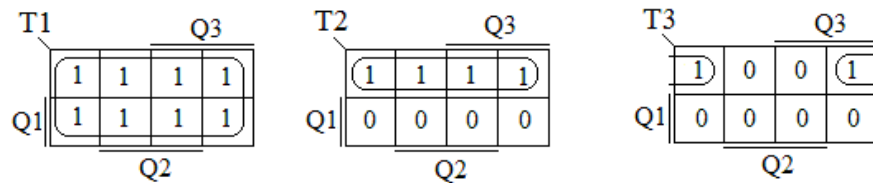
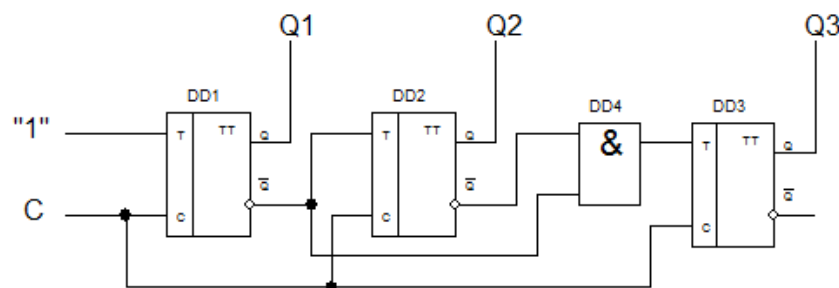


Рисунок 2.23 – Карты Карно функцій входів тригерів лічильників

Проведемо мінімізацію логічних функцій входів в картах Карно з метою отримання їх аналітичного представлення. У результаті, отримано наступні функції входів тригерів лічильника:

$$T1 = 1; \quad T2 = \overline{Q1}; \quad T3 = \overline{Q2} \cdot \overline{Q1};$$

Таким чином, віднімаючий лічильник відрізняється від підсумовуючого тим, що сигнали на входи Т подальших тригерів необхідно подавати з інверсних виходів тригерів попередніх розрядів (рисунок 2.24) [17].

Рисунок 2.24 – Паралельний віднімаючий двійковий лічильник з $K_{\text{рах.}}=8$

Отже, для схемотехнічної реалізації лічильника в розробці пропонується використати мікросхему К561ІЕ8. Мікросхема К561ІЕ8 має

переваги перед іншими тим, що до її складу одночасно входять і лічильник, і дешифратор імпульсів [18].

2.3 Електрична схема пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні

На основі аналізу функціонування та розрахунків, проведених у попередніх пунктах, складаємо електричну схему пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні (рисунок 2.25).

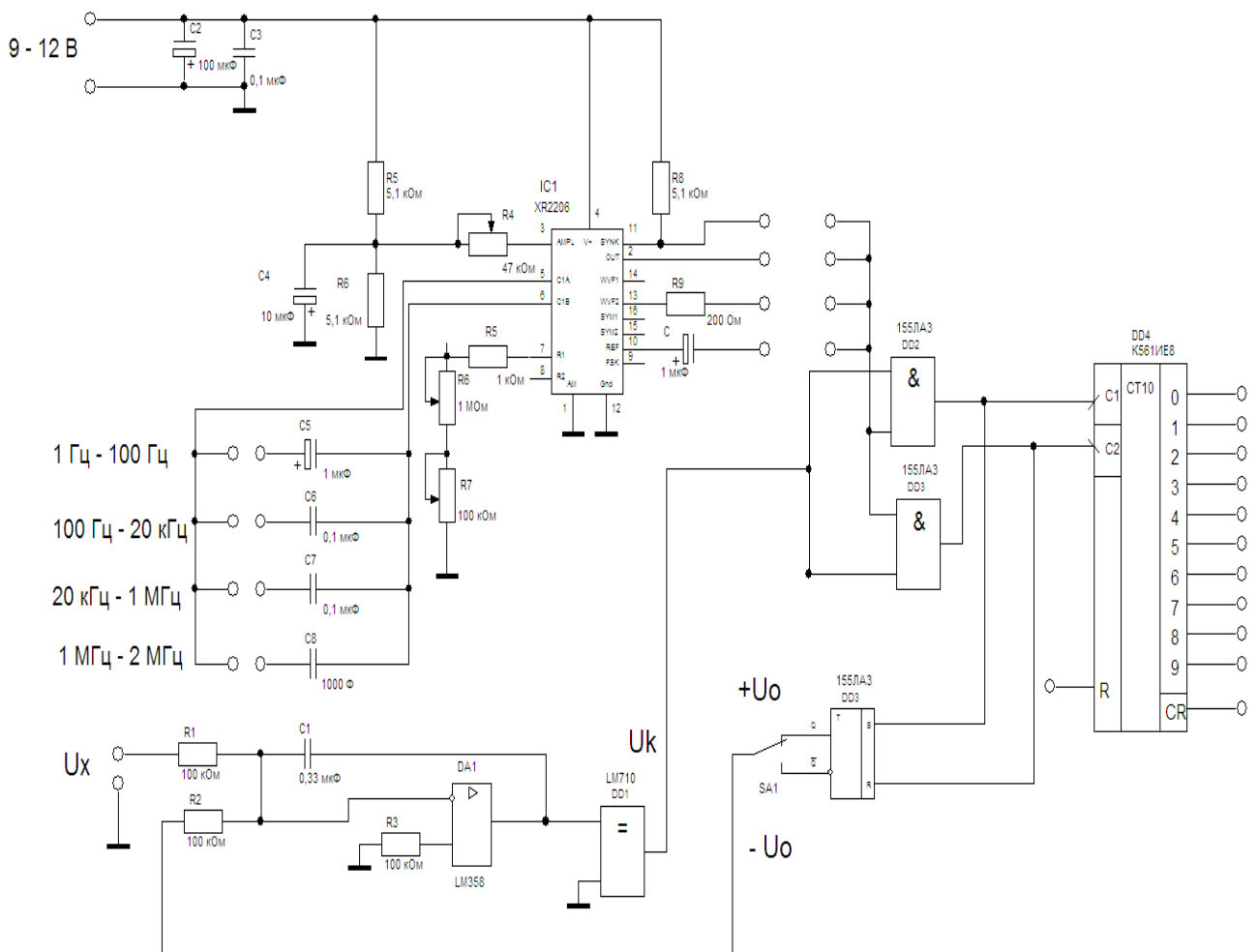


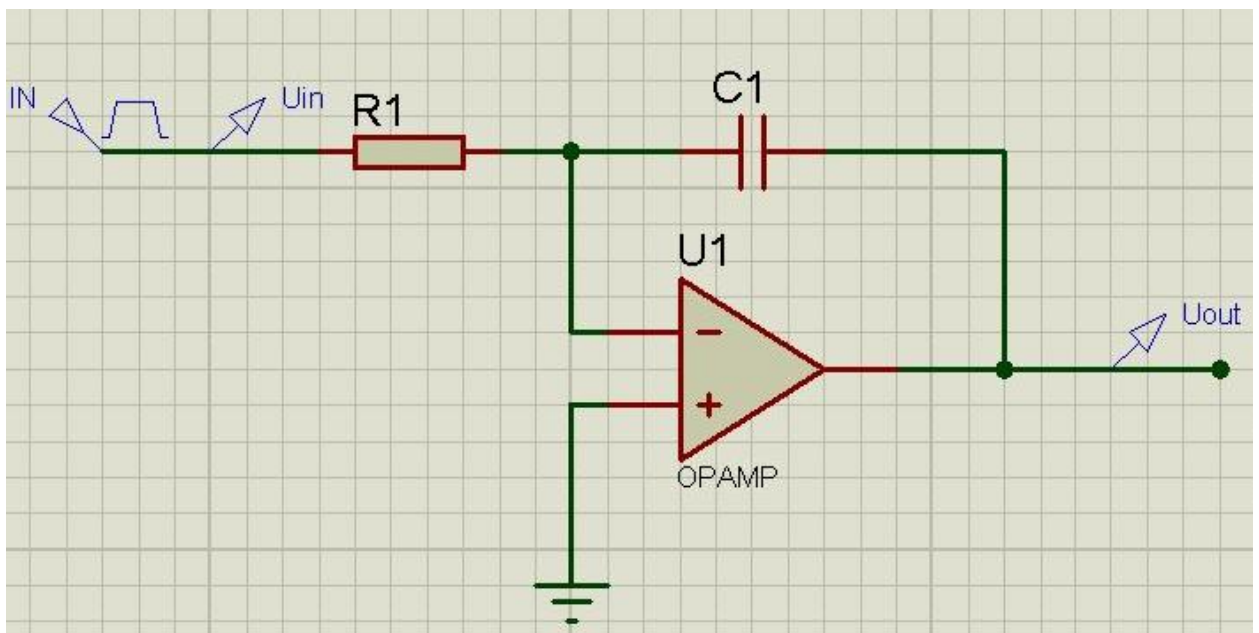
Рисунок 2.25 - Електрична схему пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні

2.4 Моделювання роботи основних структурних блоків схеми пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні

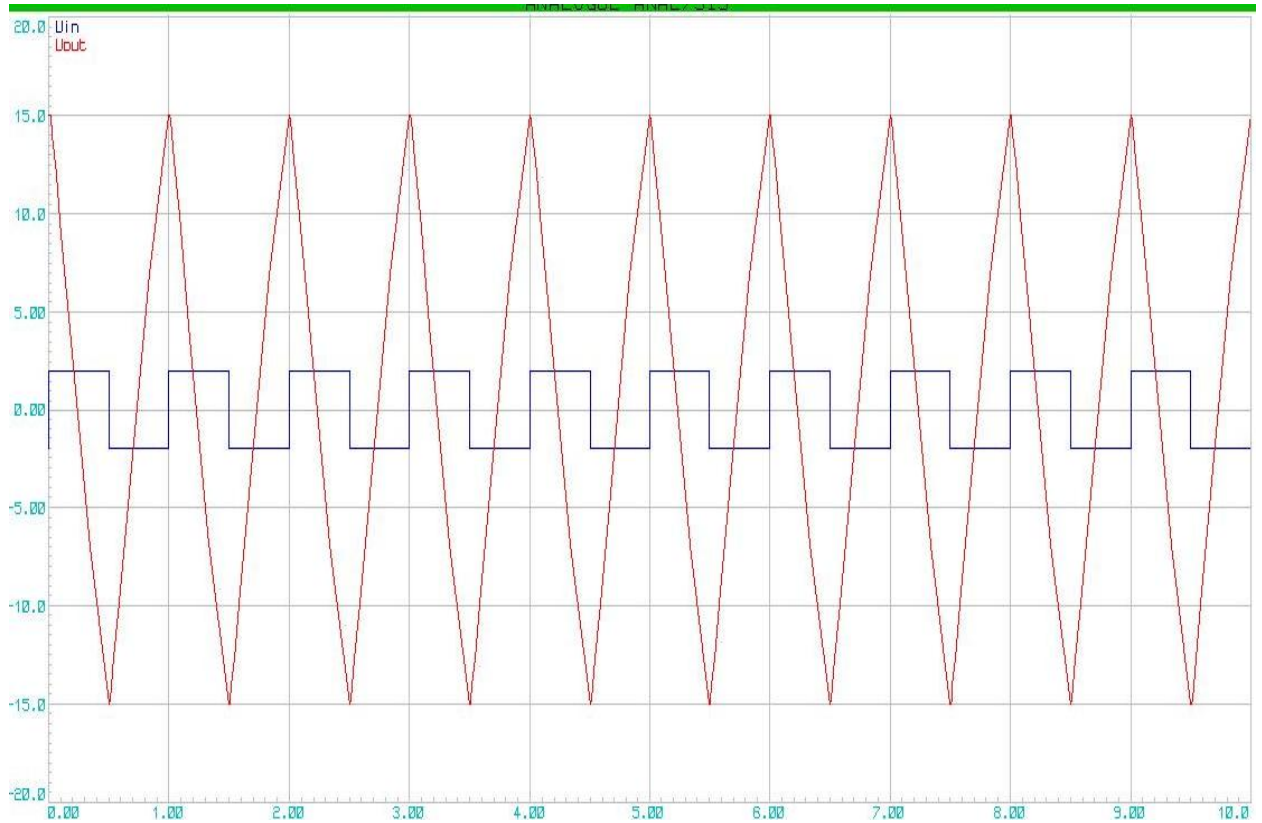
Для моделювання основних функціональних блоків пристрою використовуємо редактор Proteus, як найбільш універсальний для виконання поставлених в роботі завдань [19,20].

2.4.1 Моделювання роботи інтегратора сигма-дельта модулятора

На рисунку 2.26 представлено результати моделювання інтегратора.



a)



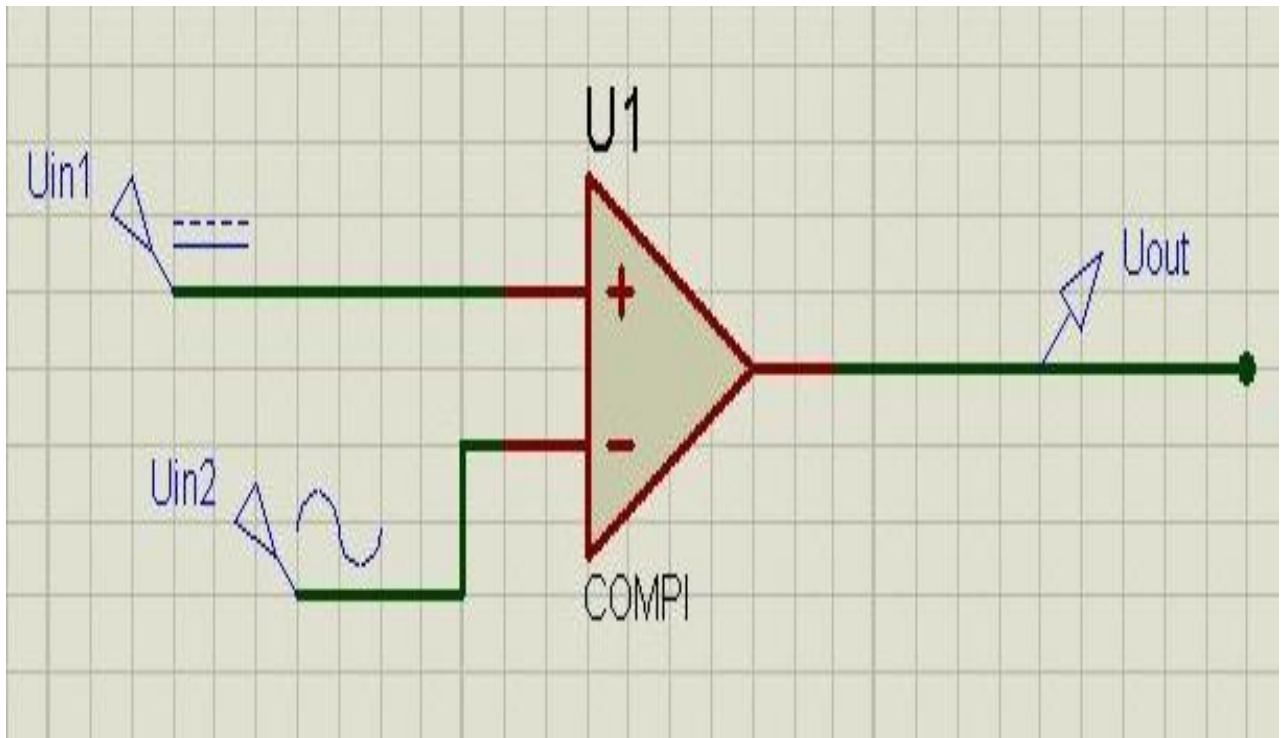
б)

Рисунок 2.26 – Результати моделювання інтегратора: а) схема, зібрана в редакторі Proteus; б) осцилограма результуючого сигналу

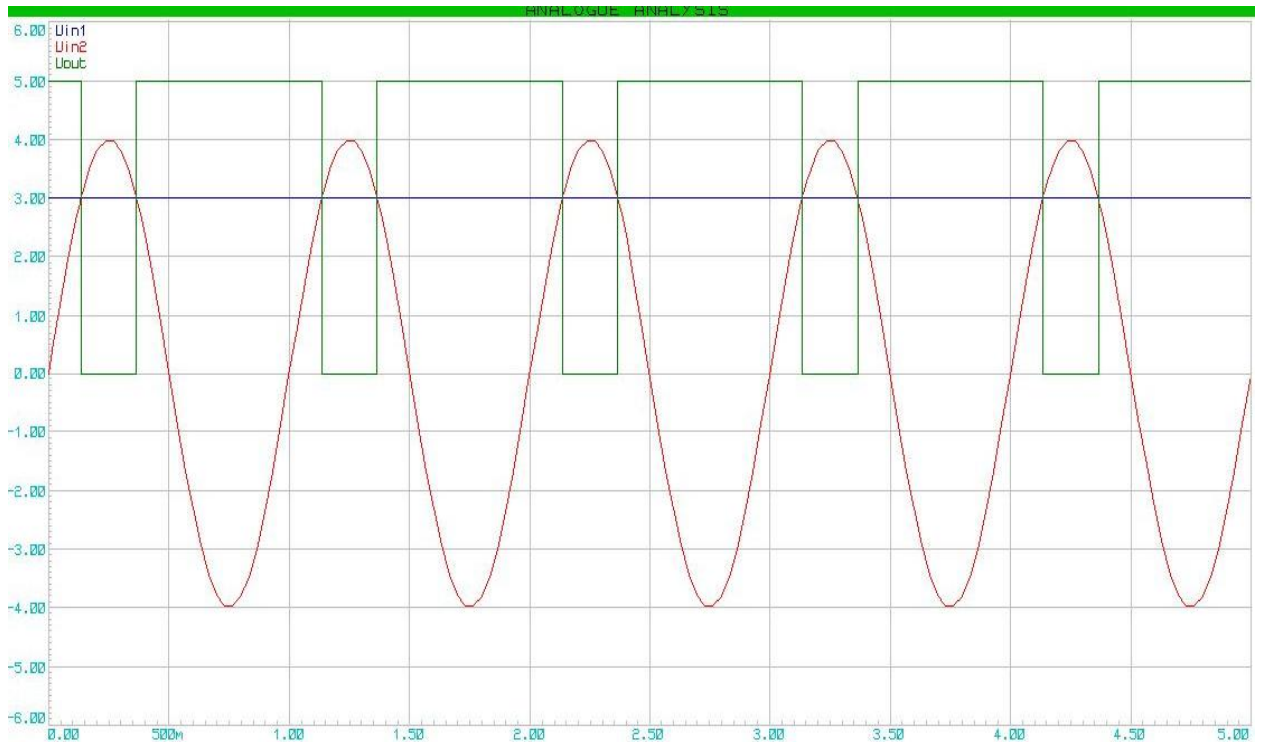
Як видно із осцилограми сигналу, після подання на вхід компаратора прямокутних імпульсів на виході отримуємо імпульси трикутної форми, що підтверджує нормальне функціонування блоку інтегратора.

2.4.2 Моделювання роботи компаратора сигма-дельта модулятора

На рисунку 2.27 представлено результати моделювання компаратора.



a)



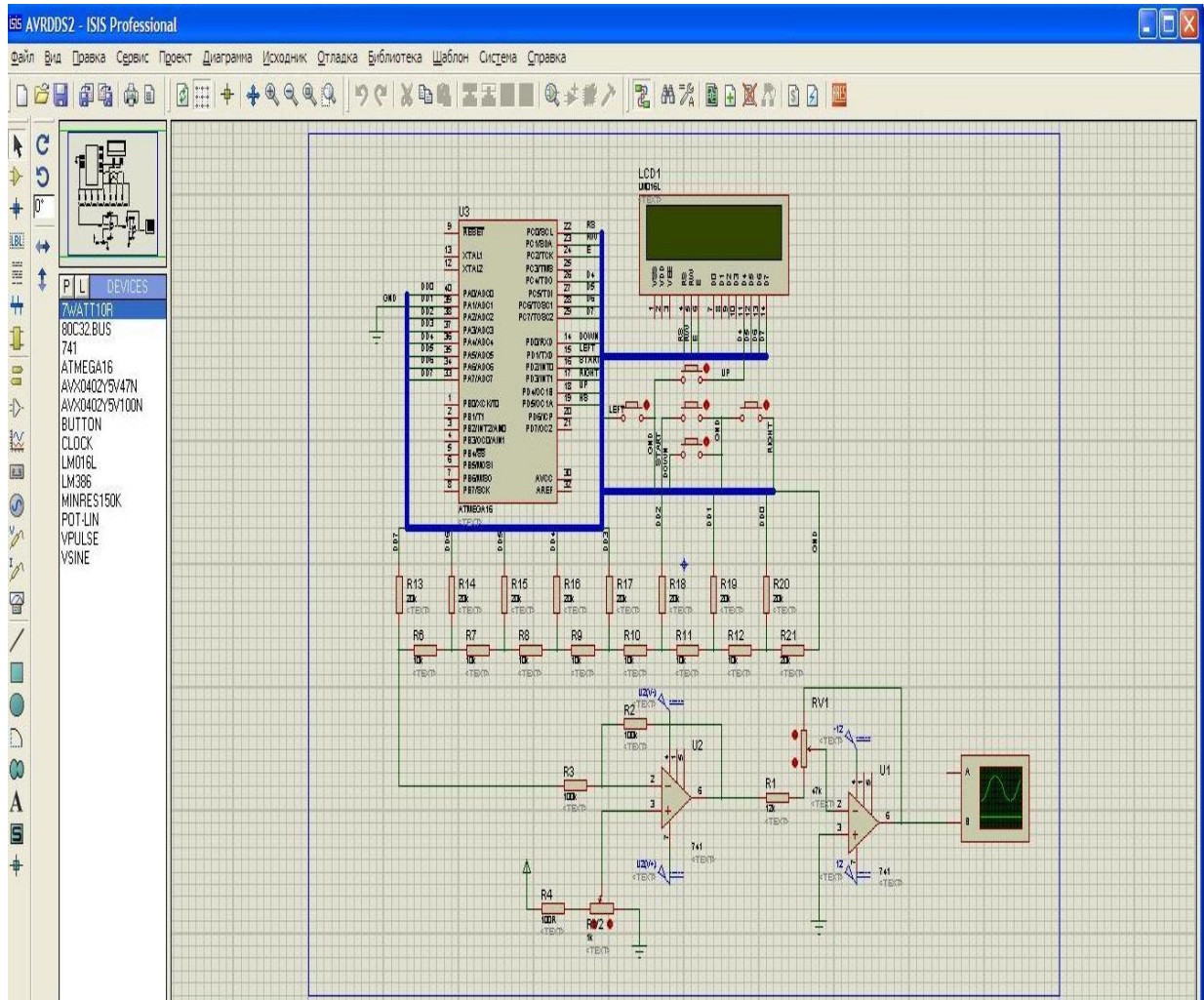
б)

Рисунок 2.27 – Результати моделювання компаратора: а) схема, зібрана в редакторі Proteus; б) осцилограма результуючого сигналу

Після подання на вхідні контакти сигналів різної форми (постійний сигнал на + вхід, синусоїдальний на «-» вхід), на виході отримуємо сигнал прямокутної форми, що свідчить про те, що пристрій працює відповідно до очікуваних режимів.

2.4.3 Моделювання роботи генератора імпульсів сигма-дельта модулятора

Роботу генератора імпульсів було промодельовано із використанням додаткових допоміжних модулів, які дають якісну оцінку роботи пристрою: LCD монітор, набір додаткових опорів, що моделюють вхідні та вихідні опори інших функціональних блоків, передбачених у структурній та електричній схемах. Результати моделювання представлено на рисунку 2.28.



a)

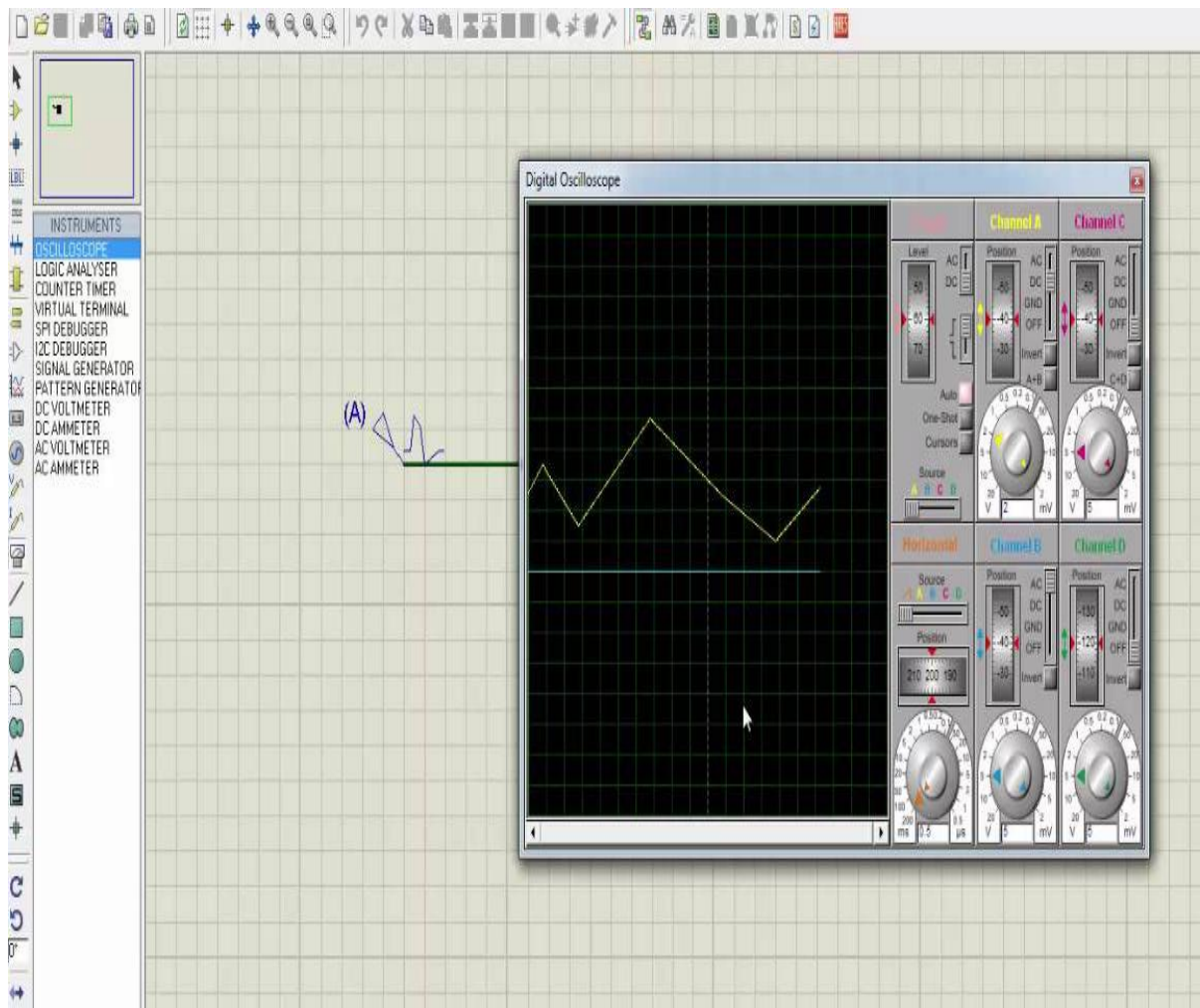


Рисунок 2.28 – Результати моделювання генератора: а) схема, зібрана в редакторі Proteus; б) осцилограма результуючого сигналу

Як видно із осцилограми, на виході генератора маємо досить задовільний сигнал трикутних імпульсів.

2.4.4 Моделювання роботи RS - тригера сигма-дельта модулятора

Для моделювання роботи тригера було використано принцип ТТЛ логіки. Результати моделювання представлені на рисунку 2.29.

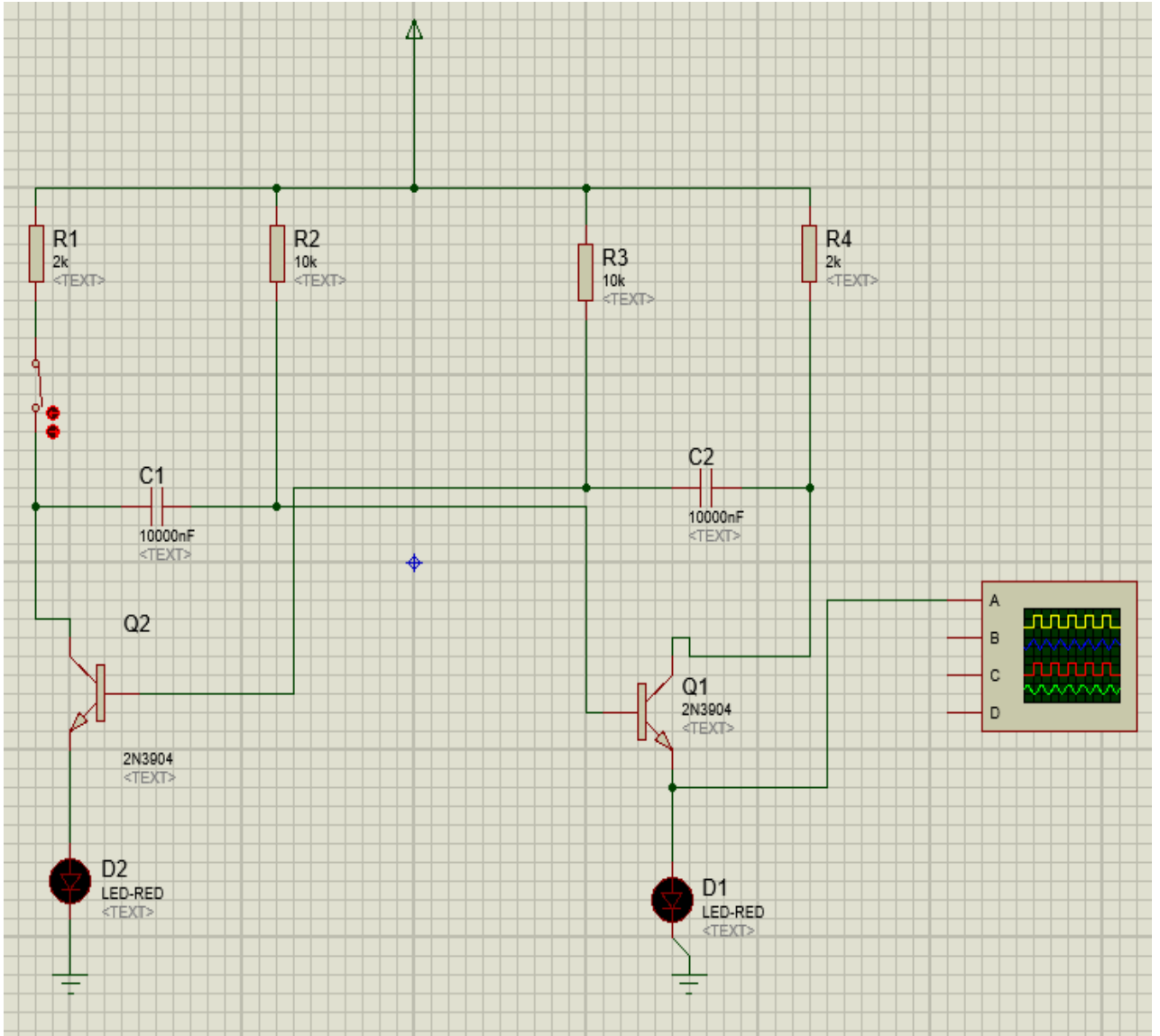


Рисунок 2.29 - Результати моделювання тригера

2.4.5 Моделювання роботи реверсивного лічильника імпульсів сигма-дельта модулятора

Результати моделювання лічильника імпульсів представлені на рисунку 2.30.

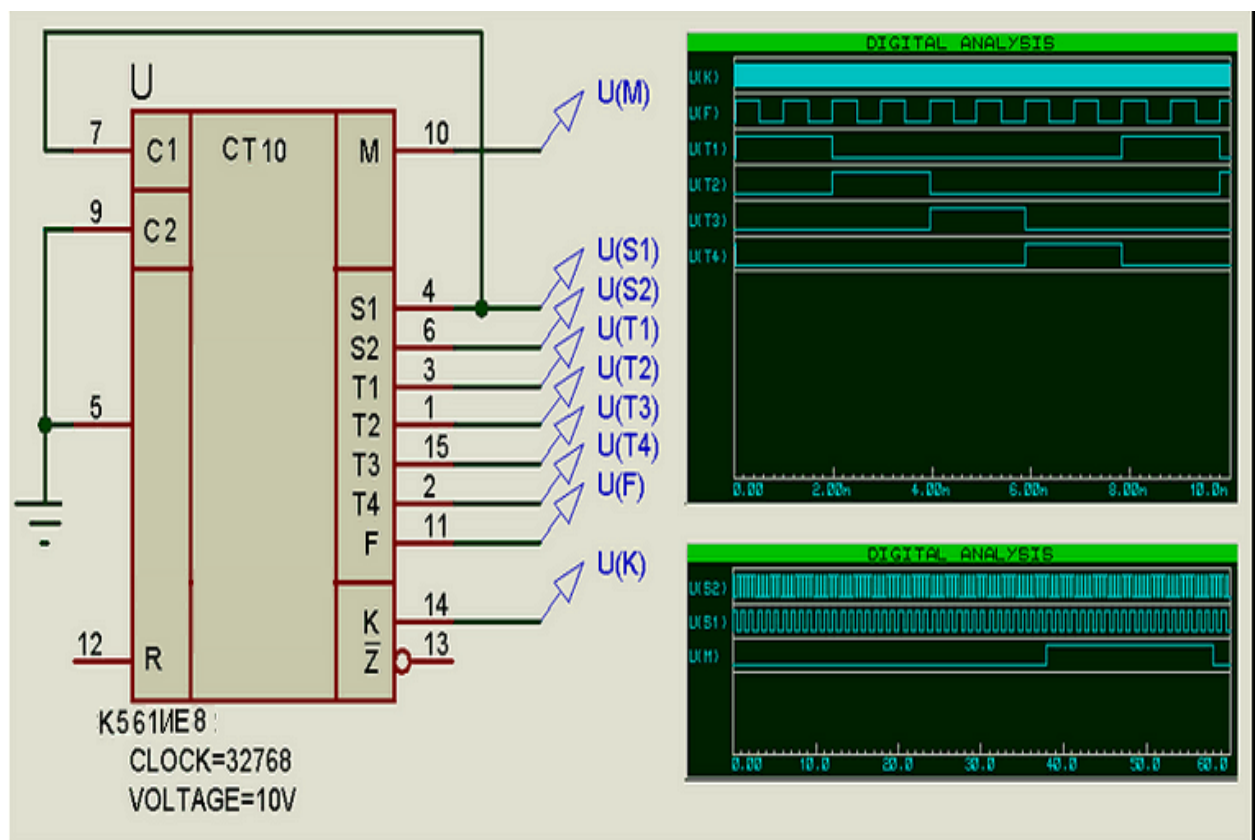


Рисунок 2.30 - Результати моделювання лічильника імпульсів

Як видно із рисунка 2.30, характер сигналу на виході лічильника має досить чітку форму та відповідає заданому частотному діапазону (до 2 МГц).

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) аналіз методів цифрової модуляції показав, що найбільш оптимальним для розробки буде метод Δ - Σ – модуляції (ДСМ). Вибір цього методу базується на тому, що він є найбільш завадостійким, порівняно із

іншими, що є дуже важливо для захисту бездротового каналу передачі інформації.

2) структурна схема модулятора за методом сигма-дельта ($\Delta-\Sigma$) дозволяє реагувати на будь-яку полярність вхідного сигналу;

3) використання у якості двухвходового інтегратора мікросхеми LM358 дозволить зменшити вплив дрейфу напруги;

4) використання у якості компаратора мікросхеми LM710 із вихідною напругою $U_{вих}=+3,2$ В або $-0,5$ В, при несиметричному живленні $-6 - +12$ В, дозволяє встановити час спрацьовування компаратора близько 40 нс проти 4000 - 8000 нс у операційних підсилювачах загального застосування;

5) в роботі запропоновано генератор, робота якого заснована на використанні мікросхеми XR2206, що дає можливість генерувати синусоїдальний, прямокутний та трикутний сигнали з високою точністю і стабільністю;

6) у якості тригера та логічних елементів запропоновано використати мікросхему 155ЛА3, як найбільш просту для експлуатації та привабливою за вартістю;

7) для схемотехнічної реалізації лічильника в розробці пропонується використати мікросхему K561ИЕ8. Мікросхема K561ИЕ8 має переваги перед іншими тим, що до її складу одночасно входять і лічильник, і дешифратор імпульсів;

8) у результаті моделювання роботи функціональних блоків в редакторі Proteus було показано, що параметри пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні задовольняють вимоги, поставлені у завданні.

3 Техніко-економічне обґрунтування розробки пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електричних схем пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні

Топологічний аналіз показує, що пристрій може бути реалізований у вигляді модуля і виконаний за сучасною маловитратною технологією тонкоплівкових гібридних мікрозборок, або за технологією печатних плат на фольгованому текстоліті. Обидві технології передбачають, що всі елементи будуть навісними, а напиленням на підкладці, або травленням поверхні виконується лише струмопровідний шар.

Для вибору технології виготовлення електричних схем пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [21].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Технологія печатних плат на фольгованому текстоліті	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано травленням фольгованого текстоліту.
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді тонких плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [21].

У матриці прийняті наступні позначення: i – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3) $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$; X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага i -го критерію в глобальному критерії:

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	X_i
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
Σ							9,033	1,00

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 - 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію, то $i = 1, 2, 3, 4$.

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}{\sum_{i=1}^4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}},$$

де \sum - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$.

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	3	1/5	1	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
	Σ				6,07	1,00

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
	Σ				5,37	1,00

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
	Σ				6,41	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
	Σ				4,73	1,00

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
	Σ				5,88	1,00

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
	Σ				5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [21].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації схем пристрою для формування

сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні з використанням технології печатних плат на фольгованому текстоліті.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Печатних плат на фольгованому текстоліті	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Тонкоплівкових гібридних мікрозборок	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведене порівняння чотирьох типів технологій реалізації схем пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) заводостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології печатних плат на фольгованому текстоліті. Проте найбільший глобальний пріоритет мають технологія тонкоплівкових гібридних мікрозборок та печатних плат на фольгованому текстоліті. Саме технологія печатних плат на фольгованому текстоліті й буде використовуватися для виготовлення схем пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні.

3.2 Розрахунок витрат на виробництво схем пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні

Витрати на матеріали і напівфабрикати вказані в таблиці 3.11. Витрати на матеріали і напівфабрикати склали 712,90 грн.

Таблиця 3.11 - Розрахунок вартості основних покупних виробів

Матеріали і напівфабрикати	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість матеріалів і напівфабрикатів, грн.
Фольгований склотекстоліт	м ²	0,2	10	2
Хлорне залізо	кг	0,5	10	5
Конденсатор	шт.	5	20	100
П'єзокерамічний конденсатор	шт.	4	20,5	82
Роз'єми комутації	шт	10	5	50
Резистор	шт.	11	2,1	23,1
Перемикач	шт	1	3,7	3,7
Мікросхема XR2206	шт.	1	120,6	120,6
Мікросхема К561ІЕ8	шт.	1	81,5	81,5
Мікросхема LM358	шт.	1	40,2	40,2
Мікросхема LM710	шт.	1	40,3	40,3
Мікросхема К155ЛА3	шт.	3	8,5	25,5
Папір писальний	уп.	1	89	89
Транспортно-заготівельні витрати				50
Разом				712,90

4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці пристрою для формування сигналів із цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні

4.1 Характеристика потенційних шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Роботи по розробці системи проводяться в лабораторії комп'ютерної техніки кафедри МЕІС ЗДІА (далі – лабораторія).

Під час роботи на виробництві на людину можуть впливати один, або низка небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Безпека того чи іншого технологічного процесу може бути визначена за їх кількістю і за ступенем небезпеки кожного з них зокрема. Безпека праці на виробництві визначається ступенем безпеки окремих технологічних процесів.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори стандартом ГОСТ 12.0.003-74 поділяються на фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні. Останні за характером впливу на людину підрозділяються на фізичні й нервово-психічні перевантаження, а інші - на конкретні небезпечні й шкідливі виробничі фактори. До небезпечних виробничих факторів відносяться фактори, вплив яких призводить до травм, до шкідливих – фактори, які спричиняють захворювання [22].

Розглянемо більш детально небезпечні та шкідливі фактори, які характерні для підприємств, що спеціалізуються на виготовленні приладів мікро- та наноелектроніки.

Небезпечні фактори:

1. Балони з киснем. Обладнання, яке працює під тиском, повинне мати запобіжні пристрої, які не допускають підвищення тиску в обладнанні вище дозволеного.
2. Печі. Всі гарячі частини обладнання, трубопроводів, посудин, дотик до яких може викликати опіки, повинні мати теплову ізоляцію.

3. Електричне виробниче обладнання. Рухомі частини виробничого обладнання, до яких можливий доступ працюючих, повинні мати механічні захисні огорожі. Огородження, дверцята і кришки повинні бути забезпечені пристроями для надійного утримання їх в закритому (робочому) положенні і в разі необхідності заблоковані для їх відключення при знятті огороження. Всі електродвигуни, щити, оболонки кабелів повинні мати надійні заземлення, приєднані до стаціонарного корпусу заземлення. При виконанні ремонтних робіт на обертових механізмах кабелі живлення повинні бути від'єднані і на них має бути накладене переносне заземлення [23].

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Задля безпечної роботи на виробництві співробітники повинні мати заглушки (для цехів із підвищеним рівнем шуму), шапочку (для підтримання достатньої чистоти виробництва), респіратори та протигази (для уникнення впливу шкідливих парів на організм), халати та фартухи, резинові рукавиці (для електроізоляції) та кислотостійкі рукавиці.

На роботах із шкідливими та небезпечними умовами праці згідно зі ст.8 Закону України «Про охорону праці» робітникам видається безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також мийні та знешкоджуючі засоби:

- халат бавовняний (білий або світлих тонів), ГОСТ 12.4.103-83; ковпак (шапочка, косинка) бавовняний (білий або світлих тонів), ГОСТ 12.4.011-89;
- взуття шкіряне (тапочки), ГОСТ 12.4.137-2001;
- рукавички хірургічні гумові, ГОСТ 3-88;
- рукавички гумові, ГОСТ 12.4.103-83;
- нарукавники поліетиленові;
- протигаз фільтруючий, ГОСТ 12.4.121-83;
- коробки фільтруючі марки „Г”, ГОСТ 12.4.122-83;

- мило туалетне, ГОСТ 28546-90;
- рушники (серветки) з паперу (одноразового використання);
- рушник із бавовняної тканини [24].

Обсяг приміщення на одного працюючого за санітарними нормами має становити не менше 20 м^3 , а площа приміщення – не менше 6 м^2 . Ширина основних проходів у приміщенні повинна становити не менше 1,5 м. Ширина виходів з приміщення повинна бути не менше 1 м, висота – не менше 2,2 м. Дане приміщення має обсяг $V=188,06 \text{ м}^3$, а площу $S=50,15 \text{ м}^2$. Таким чином наше приміщення не відповідає нормам з ергономічної точки зору.

Для зменшення впливу психофізіологічних факторів складено правильний графік трудового дня, встановлено необхідний час перерв, темп та ритм роботи, які необхідні для зменшення дії на організм людини фізичних зусиль, що в свою чергу дозволяють захистити людину від перевтомлення та втрати здоров'я [25, 26].

З метою підвищення безпеки роботи на виробництві проводиться ретельний контроль працездатності та справності вентиляцій, печей та іншого робочого обладнання, яке знаходиться в експлуатації. Проте на будь-якому виробництві можливі надзвичайні випадки. Вимагається припинити роботу в наступних випадках:

1. Виявлення несправності устаткування і інструмента;
2. Припинення подачі електроенергії;
3. Відключення загального чи місцевого освітлення;
4. Відключення систем загальнообмінної чи місцевої витяжної вентиляції;
5. Пошкодження засобів індивідуального захисту;
6. Погіршення самопочуття;
7. Одержання травми [24].

4.3 Виробнича санітарія

Згідно ГОСТ 12.1.005-88, роботи на виробництві належать до категорій:

- Іб(легка) – робота виконується сидячи, стоячи або в русі з незначними фізичними навантаженнями – 140-174 Вт.

- Па (середньої тяжкості) – робота виконується в русі при переміщенні вантажів до 1кг або сидячи чи стоячи з фізичними навантаженнями – 175-232 Вт.

Важливим показником, який впливає на здоров'я людей, що працюють на підприємстві, є мікроклімат. Мікроклімат підприємства не відповідає усім діючим нормам. Показниками, які характеризують мікроклімат, є:

- температура повітря (контролюється за допомогою гігроскопічного психрометра). У теплу пору року температура перевищує допустиму через непрацездатність ряду вентиляційних пристроїв. Зростання температури вище допустимих значень негативно впливає на продуктивність праці людини. У холодну пору року температура повітря робочої зони знаходиться у межах оптимальних значень (18-23°C).

- швидкість руху повітря знаходиться у межах норми (0,1-0,2м/с).

- відносна вологість повітря у виробничих приміщеннях нижче оптимального значення влітку та дещо перевищує допустиме значення відносної вологості у холодну пору року (75-77%).

- інтенсивність теплового випромінювання працюючого від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, освітлювальних приладів, інсоляції на постійних і тимчасових робочих місцях не повинна перевищувати 35 Вт/м при опроміненні 50% поверхні тіла та більше, 70 Вт/м при опроміненні 25-50% поверхні тіла та 70 Вт/м при розмірах опромінюваної поверхні не більше 25% поверхні тіла. Джерелом теплового випромінювання є печі.

Інтенсивність теплового випромінювання на виробництві перевищує норми через відсутність якісної теплоізоляції [23, 24].

Мета обладнання приміщення системою вентиляції залежить від конкретних умов. У різних цехах для різних етапів виробництва приладів використовуються системи вентиляції для різних цілей:

- виведення надлишків тепла, тобто підтримання припустимої температури повітря.
- виведення шкідливих речовин, тобто підтримання гранично припустимих концентрацій цих речовин у повітрі робочої зони.
- виведення залишків вологи, тобто підтримання припустимої відносної вологості повітря.

У теплу пору року на виробництві гостро постає питання кондиціонування повітря. Через нестачу кондиціонерів місцевого призначення температура робочих зон перевищує допустиму норму, а відносна вологість нижче бажаного рівня, що може впливати як на працездатність, так і на здоров'я персоналу.

Зорові роботи у приміщенні об'єкту належать до класу найвищої точності (найменший розмір об'єкта менше 0,15мм). Природне освітлення робочих місць здійснюється через віконні прорізи, що відповідає боковому освітленню. Норма бокового освітлення для даного класу робіт – 3,5%. Фактичні значення бокового освітлення відповідають нормі (4%).

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 норма освітленості робочих місць при комбінованому штучному освітленні для зорових робіт найвищої точності становить 2000 лк. Фактичне значення освітленості робочих місць при штучному освітленні відповідає нормі.

В основу точкового методу розрахунку розрахунку освітленості покладене рівняння, яке пов'язує освітленість та силу світла:

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{k \cdot r_p^2} \quad (4.1)$$

Площа приміщення – 100 м^2 , висота – 5 м освітлюється 4 світильниками типу РСП113-400 з лампами ДРЛ потужністю 400 Вт . Світильники розміщені по кутам квадрата зі стороною 5 м . Висота підвісу світильників над робочою поверхнею $h_p=4,5 \text{ м}$. Нормована освітленість в контрольній точці А рівна 250 лк .

1. Знаходимо $\text{tg}\alpha=d/h$, $\alpha=\text{arctg } d/h$ $\cos^3\alpha$: $\alpha=37^\circ$, $\cos^3\alpha=0,49$

2. Визначаємо I_α за кривою сили світла світильників РСП13 (ДРЛ) при умовній лампі зі світловим потоком $\Phi_{\text{л}} = 1000 \text{ лм}$. Знаходимо силу світла I_α при $\alpha = 37^\circ$ (інтерполюючи між значеннями сили світла для кута): $\alpha = 35^\circ$ та 45° , $I_{\alpha 1000} = 214 \text{ кд}$.

Світловий потік установленої у світильнику лампи ДРЛ потужністю 400 Вт рівний 19000 лм . Тому:

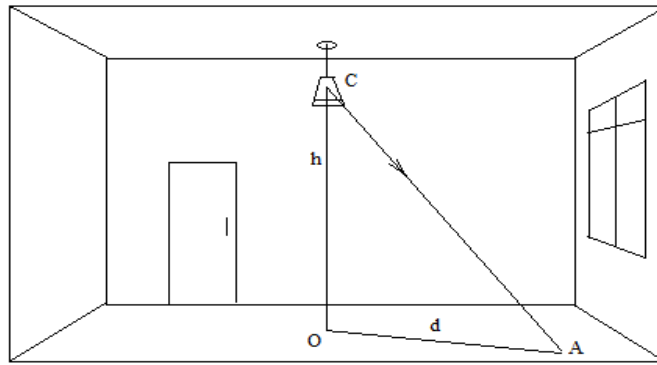
$$I_\alpha = 214 \frac{19000}{1000} = 214 \cdot 19 = 4066 \text{ [кд]} \quad (4.2)$$

3. Розраховуємо освітленість від одного світильника в горизонтальній площині в контрольній точці А (рис.4.1). Приймаючи коефіцієнт запасу $k = 1,5$ для одного світильника і $\mu=1,05$ отримаємо:

$$E_A = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha \times \mu}{k \times h_p^2} = \frac{4066 \times 0,49 \times 1,05}{1,5 \times 4,5^2} = 68,8 \text{ [лк]} \quad (4.3)$$

Оскільки в розрахунковій точці кожен із 4 світильників створює однакову освітленість, то сумарна горизонтальна освітленість в точці А складатиме:

$$\sum E_A = 4 \cdot 68,8 = 275,2 \text{ [лк]} \quad (4.4)$$



С - світильник, О - проекція світильника на розрахункову площину,
А – контрольна точка

Рисунок 4.1 – Розрахунок освітлення точковим методом

Фактична освітленість перевищує нормовану приблизно на 10%, що знаходиться в допустимих межах.

4.4 Електробезпека

В організації, що експлуатує будь-які види електротехніки має бути забезпечено їх утримання у справному стані. Відповідальність за це несе інженер з охорони праці або фахівець, що виконує функції по забезпеченню охорони праці.

Експлуатація такого устаткування повинна проводитися відповідно до інструкцій, правил і норм безпеки, вимог охорони праці та ін. Електричне обладнання повинне своєчасно проходити технічне планове обслуговування, ремонт, профілактичні випробування та інші види обслуговування, що забезпечують його справну роботу.

До роботи на електричному обладнанні допускаються особи, які мають необхідну групу електробезпеки, пройшли медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я, що пройшли інструктаж з правил експлуатації і техніки безпеки. У компанії обов'язково повинні проводитися інструктажі з охорони праці та техніки безпеки для всього електротехнічного і неелектротехнічного персоналу, крім того, для всіх працівників повинні бути розроблені відповідні інструкції. Персонал, що працює з електричним

обладнанням, повинен бути забезпечений засобами електрозахисту і спецодягом, а самі електричні установки - укомплектовані засобами захисту і всім необхідним для пожежогасіння.

Перевірку дотримання даних вимог підприємствами проводять органи енергонагляду, державної інспекції праці та ін.

Заходи попередження ураження людей електрострумом включають огорожу і ізоляцію будь-яких частин електричного обладнання та установок, що знаходяться під напругою. Також на підприємствах повинно бути організовано, де це можливо і де необхідно відповідно до правил і норм, застосування малої напруги. обов'язковою мірою є заземлення або занулення всіх металевих конструкцій і кабелів, а також використання засобів індивідуального та колективного електрозахисту. Також до організаційних заходів відносяться заходи по допуску до роботи з електрикою і нагляду під час роботи фахівців на електроустановках.

Заземленню або зануленню підлягають такі конструкції і елементи:

- металеві корпуси технічних засобів і обладнання;
- електроприводи;
- вторинні обмотки трансформаторів;
- каркаси щитів управління, шаф та ін.;
- пересувні електричні установки та обладнання;
- інші кабельні та металеві конструкції.

Заземлення та занулення повинні проходити інструментальну перевірку відразу після монтажу, при експлуатації - не рідше 1 разу на рік, а також після проведеного ремонту.

Забезпечення заходів електробезпеки на підприємстві регламентується Міжгалузевими правилами охорони праці, Правилами улаштування електроустановок та іншими нормативними актами, затвердженими державними органами [22, 24].

4.5 Пожежна та техногенна безпека

Співробітники, відповідальні за забезпечення пожежної безпеки приміщень призначаються замовленням директора установи.

Особи, призначені за заявою, є відповідальними за забезпечення пожежної безпеки приміщень або ділянок території.

Відповідальні за пожежну безпеку зобов'язані в кінці робочого дня проводити щоденний огляд закріплених за ними об'єктів.

При огляді слід контролювати прибирання приміщень:

- корзини для збору відходів повинні бути пустими;
- електроприлади, що знаходяться в приміщенні знеструмлені, штепсельні вилки витягнуті з електричних розеток;
- вікна закриті і зафіксовані;
- проходи та виходи із приміщень вільні та обладнані знаками охоронної безпеки та планами евакуації;
- електричне освітлення, за виключенням чергового освітлення відключене;
- вхідні двері закриті;
- автоматична сигналізація включена і функціонує;
- первинні засоби пожежогасіння повинні знаходитися в спеціально відведених місцях і доступ до них повинний залишатися вільним.

Якщо при огляді виявлено порушення дійсних правил, слід негайно повідомляти про порушення, що пред'являються відповідальним за запобіжну безпеку або керівнику установи.

Для запобігання виникненню пожеж від електричного струму, висвітлення, нагріву струмоведучих частин, дугового розряду та ін. необхідно дотримуватися "Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів", інструкції по експлуатації електричних приладів. Всі приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами

пожежогасіння відповідно до норм і правил пожежної безпеки. Засоби пожежотушіння повинні розміщатися в пожежних шафах і обов'язково позначені відповідним знаком пожежної безпеки. Всі наявні первинні засоби пожежогасіння повинні постійно утримуватися в справному стані і регулярно, відповідно до технічних умов експлуатації, випробовуватися на придатність до використання [25].

Співробітники установи зобов'язані виконувати правила пожежної безпеки.

Для запобігання пожежі в приміщеннях будівлі забороняється:

- використовувати нагрівальні електроприбори для опалення приміщень;
- приготування та розігрівання їжі поза спеціально відведеними місцями, узгоджених з Державною протиповітряною службою;
- використовувати електричні прилади, споживана потужність яких перевищує допустиму потужність електромережі;
- залишати без нагляду будь-які прилади та пристрої, що знаходяться під напругою;
- підключати електроприбори без стандартних штепсельних роз'ємів;
- використовувати несправні електричні вимикачі, розетки, штепсельні роз'єми з розбитими корпусами, обгорілі і контактами;
- з'єднання, які нагріваються в місцях контакту;
- світильники без колпаків;
- здійснювати монтаж мереж без дотримання вимог "Правил пристроїв електроустановок";
- використовувати для захисту електромережі некалібровані плавкі вставки або автоматичні вимикачі, струм спрацьовування яких перевищує максимально допустиме значення для електромережі.

Всі перемикання та ремонтні роботи в електромережах повинні виконуватися спеціалістами, що мають допуск до роботи та групу електричної безпеки не нижче третьої.

Підключати до електричних мереж несправні електроприлади заборонено.

Забороняється:

- виконувати нагрів труб опалення, водопостачання та каналізації паяльними лампами або іншим способом із застосуванням відкритого вогню. Нагрівання слід виконувати - гарячою водою, паром, розігрітим піском або іншими пожежобезпечними способами;

- зберігати ємності з горючими, легкозаймистими рідинами, балони з горючими газами, горючі предмети та матеріали на шляхах евакуації, а саме в коридорах, на сходових клітках, у вестибюлі, в тамбурах евакуаційних виходів, а також в підвалах, на горищах, в технічних приміщеннях електрощитових, в вентиляційних камерах;

- зберігати на місцях проведення ремонтних і реконструкційних робіт пиломатеріали в кількості, що перевищує добову потребу, по залишати закінчення робочого дня легкозаймисті відходи;

- захарашувати шляхи евакуації меблями, матеріалами, обладнанням коридорів, сходові клітки, вестибюлі, тамбури евакуаційних виходів з будинку, доступ до первинного засобів пожежогасіння, електророзподільні щити і пристрої, що вимикають;

- закривати на важко відкривані засуви двері евакуаційних виходів в період перебування в будівлі людей;

- проводити перепланування і перепрофілювання приміщень, зводити на території різного роду споруди та прибудови без дотримання протипожежних вимог і без узгодження з органами державного пожежного нагляду;

- використовувати наявні засоби пожежогасіння не за прямим призначенням [24-26].

Висновки та рекомендації

Отже, за результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1) аналіз методів цифрової модуляції показав, що найбільш оптимальним для розробки буде метод $\Delta-\Sigma$ – модуляції (ДСМ). Вибір цього методу базується на тому, що він є найбільш завадостійким, порівняно із іншими, що є дуже важливо для захисту бездротового каналу передачі інформації.

2) структурна схема модулятора за методом сигма-дельта ($\Delta-\Sigma$) дозволяє реагувати на будь-яку полярність вхідного сигналу;

3) використання у якості двухвходового інтегратора мікросхеми LM358 дозволить зменшити вплив дрейфу напруги;

4) використання у якості компаратора мікросхеми LM710 із вихідною напругою $U_{вих} = +3,2$ В або $-0,5$ В, при несиметричному живленні $-6 - +12$ В, дозволяє встановити час спрацьовування компаратора близько 40 нс проти 4000 - 8000 нс у операційних підсилювачах загального застосування;

5) в роботі запропоновано генератор, робота якого заснована на використанні мікросхеми XR2206, що дає можливість генерувати синусоїдальний, прямокутний та трикутний сигнали з високою точністю і стабільністю;

6) у якості тригера та логічних елементів запропоновано використати мікросхему 155ЛА3, як найбільш просту для експлуатації та привабливою за вартістю;

7) для схемотехнічної реалізації лічильника в розробці пропонується використати мікросхему K561ИЕ8. Мікросхема K561ИЕ8 має переваги перед іншими тим, що до її складу одночасно входять і лічильник, і дешифратор імпульсів;

8) у результаті моделювання роботи функціональних блоків в редакторі Proteus було показано, що параметри пристрою для формування сигналів із

цифровою модуляцією у НВЧ діапазоні задовольняють вимоги, поставлені у завданні.

9) розрахунки за техніко-економічними показниками визначили можливість макетної реалізації пристрою з меншими витратами, порівняно із зарубіжними аналогами;

10) розроблено заходи за умовами дотримання техніки безпеки та охорони праці робіт, що планується здійснити.

У якості рекомендацій можна зазначити наступне:

1) пристрій може бути використаним для систем захисту бездротових каналів передачі інформації;

2) розробка може бути використана у лабораторному практикумі кафедри МЕІС з цифрової та аналогової схемотехніки.

Перелік посилань

1. Ковнерістий Ю. К., Лазарева І. Ю., Раваєв А. А. Матеріали, що поглинають НВЧ-випромінювання. М.: Наука. - 1982. - 165 с.
2. Техника и полупроводниковая электроника СВЧ: учебное. пособие / Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара; О. О. Дробахин, С. В. Плаксин, В. Д. Рябчий, Д. Ю. Салтыков. – Севастополь: Вебер, 2013. – 320 с.
3. Полупроводниковые устройства диапазона миллиметровых волн / Л.В. Касаткин, В.Е. Чайка. – Севастополь: Вебер, 2006. – 319 с.
4. Xiao H. A Ka-Band Quadruple-Push Oscillator/T. Tanaka, M. Aikawa // IEEE MTT-S Int. Microwave Sym.Digest . - 2003. - P.889-892.
5. Mingos M.P., Baghurst D. R.: Applications of Microwave Dielectric Heating Effects to Synthetic Problems in Chemistry. - Chem. Soc. Rev. 20. -1991.- P. 1-47.
6. Bykov Yu.V., Rybakov K.I., Semenov V.E. High-temperature microwave processing of materials // J. Phys. D: Appl. Phys. -V. 34. - 2001. - P. R55-R75.
7. Stewart W. Mobile phones and health - Chilton: Independent Expert Group on Mobile Phones. - 2000. 1- 68 p.
8. Ford J.D., Pei. J. Microwave Power Elektromagnetic Energy, 2. (2). - 61. - 1967.
9. Dawson T. W., Stuchly M. A., Caputa K., Sastre A., Shepard R. B., Kavet R. Pacemaker interference and low-frequency electric induction in humans by external fields and electrodes // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. № 47, V. 9. - 2000. Pp. 1211-1218.
10. Dawson T. W., Caputa K., Stuchly M. A., Shepard R. B., Kavet R., Sastre A. Pacemaker interference by magnetic fields at power line frequencies //

IEEE 107 Transactions on Biomedical Engineering. № 49, V. 3. - 2002. Pp. 254-262.

11. Pozar D.M. Microwave engineering — Hoboken: John Wiley & Sons, 2005. - 17 p.

12. Погрибной В. А. // Дельта-модуляция в цифровой обработке сигналов. М.: Радио и связь, 1990.

13. Zrilich D. G. // Circuits and Systems Based on Delta Modulation: Linear, Nonlinear and Mixed Mode Processing (Signals and Communication Technology). Springer, 2005.

14. Аналогова схемотехніка. Методичні вказівки до виконання лабораторного практикуму для студентів ЗДІА за спеціальністю «Мікро- та наноелектроніка», денної та заочної форм навчання / Укл.: М. В. Світанько, Л. Л. Верьовкін, С. Л. Хрипко, О. Ю. Небеснюк, А. О. Ніконова – Запоріжжя, 2018. – 118 с.

15. DSG02-2206_Генератор імпульсов [Електронний ресурс] – Режим доступу: imrad.com.ua/ru/dsg02-2206-generator-impulsov (дата звернення: 07.10.2019).

16. XR2206 Datasheet (PDF) - Exar Corporation [Електронний ресурс] – Режим доступу: pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/80496/EXAR/XR2206.html (дата звернення: 07.10.2019).

17. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В. Кісельов Є. М. Мікропроцесорна техніка // Методичні вказівки до самостійної роботи та виконання контрольної роботи. – Запоріжжя : ЗДІА. – 2014. – С.15-29.

18. car-led.org/p73759984-k561ie8-desyatichnyj-schetchik.html [Електронний ресурс]– Режим доступу: pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/80496/EXAR/XR2206.html (дата звернення: 07.10.2019).

19. 34. Antognetti, P.; Massobrio, G.: Semiconductor device Modeling with SPICE. New York: McGrawwHill, 1988.

20. Mazidi M.A., McKinlay R. 8051 Microcontroller and Embedded Systems. NJ: Prentice Hall, 2005. 640 p.

21. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень / Белуха М.Т. - К: Вища шк., 1997. - 271с.
22. ДСТУ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – К., 1989.
23. ДСТУ12.1.003-83. Шум. Требования безопасности. – К., 1984.
24. Основи охорони праці: навч. посібник для ВНЗ / Р.М. Івах, Я.І. Бедрій, Б.О. Білінський, М.М. Козяр. – К.: Кодар, 2010.- 462с.
25. Гігієна праці та промислової санітарія. Методичні вказівки для курсового та дипломного проектування, практичних занять / Укл. С.П. Панасейко – Запоріжжя, 2002. – 36 с.
26. Рижков В.Г. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до практичних занять та контрольні завдання для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / В.Г. Рижков. – Запоріжжя: ЗДІА, 2005. – 24 с.