

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вишого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ГЕНЕРАТОР ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ КОНВЕРТОРА ІМПЕДАНСУ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-22м
спеціальності 172 – Телекомунікації
та радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

В.С. Усатюк В.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС

А.С. Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

«14» 12 2023 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. ІКСТ

М. Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

«15» 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. О. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«18» 12 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС
д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Усатюку В'ячеславу Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу»

керівник роботи д.т.н., проф., проф. кафедри ІРТС Семенов А.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» 09.2023 р. №247.



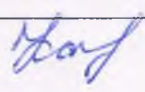
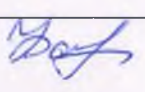


2. Строк подання студентом роботи 15.12.2023р.

3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення $\pm 15\text{В}$, струм споживання 50 мА, частота вихідного сигналу 43 кГц – 15 МГц, форма вихідного сигналу: прямокутні імпульси, синусоїда; діапазон напруги керування: 0 – 20В.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Схемотехнічні рішення побудови генераторів на узагальнених перетворювачів імітансу. Розробка та дослідження схеми генератора синусоїдальних коливань на основі конвертора імпедансу. Розробка та дослідження електрично-керованого генератора електричних сигналів на С-негатроні. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Класифікація генераторів. Схема автогенератора з трансформаторним зв'язком. Схема кварцового генератора де резонатор ввімкнений в коло зворотного зв'язку. Двоконтурна схема кварцового генератора (схема Батлера). Узагальнена класифікація негатронів. Високочастотні схеми напівпровідникових аналогів індуктивності на базі комбінованих транзисторних негатронів. Автогенератор на біполярному транзисторі. Принципова електрична схема RC автогенератора з мостом Віна. Графік параметрів зміни ємності. Схема генератора побудована на двох операційних підсилювачах. Графік часової діаграми вихідного сигналу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС Семенов А.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 17.09.2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

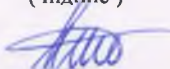
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2023-07.09.2023	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2023-17.09.2023	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	18.09.2023-27.09.2023	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	28.09.2023-10.10.2023	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	11.10.2023-04.11.2023	
6.	Розробка графічної частини МКР.	05.11.2022-13.11.2022	
7.	Економічна частина.	14.11.2023-20.11.2023	
8.	Охорона праці (ОП).	21.11.2022-25.11.2022	
9.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	26.11.2023-01.12.2023	
10.	Нормоконтроль.	02.12.2023-09.12.2023	
11.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	10.12.2023-18.12.2023	
12.	Захист МКР ЕК.	19.12.2023-21.12.2023	

Студент


(підпис)

Усатюк В.Р.

Керівник роботи


(підпис)

Семенов А.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.397

Усатюк В.Р. Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – телекомунікації та радіотехніка, освітня програма - радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 105 с. На українській мові. Бібліогр.: 39 назв; Табл.: 19; Рис. 32.

У магістерській кваліфікаційній роботі здійснено розроблення та дослідження радіоелектронного генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу. Виконано аналіз існуючого рівня техніки в даній області, проаналізовано сучасний стан розробки генераторів на приладах із від'ємним диференціальним опором і конверторах імпедансу. Розроблено та досліджено схему генератора синусоїдальних коливань на С-негатроні на основі конвертора імпедансу. Також розроблено та досліджено схему генератора прямокутних сигналів на С-негатроні на основі конвертора імпедансу. Запропонований генератор на С-негатроні на основі конвертора імпедансу є електрично-керований. Виконано комп'ютерне схемотехнічне моделювання часових і частотних параметрів і характеристик генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу в програмі Micro-Cap 9.0. Розроблено дослідний зразок Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу. Отримано результати експериментальних досліджень, які підтвердили правильність електричних розрахунків і комп'ютерного схемотехнічного моделювання.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі здійснено в економічній частині виконані розрахунки витрат на здійснення науково-дослідної роботи, оцінена її важливість і наукової значимість. В розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях розроблені технічні рішення з безпечного виконання робіт і досліджено безпеку роботи генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу в умовах дії загрозливих факторів надзвичайної ситуації.

Ключові слова: генератор, електричний сигнал, від'ємний опір, конвертор імпедансу, С-негатрон.

ABSTRACT

Usatiuk V.R. Generator of electrical signals based on an impedance converter. Master's qualification work in the specialty 172 - Telecommunications and Radio Engineering, educational program - Radio Engineering: VNTU, 2023. 105 p. In Ukrainian. Bibliography: 39 titles; Table: 19; Fig. 32.

In the master's qualification work, the development and research of an electronic generator of electrical signals based on an impedance converter was carried out. An analysis of the existing state of the art in this area was performed, the current state of development of generators based on devices with negative differential resistance and impedance converters was analyzed. A scheme of a sinusoidal oscillator on a C-negatron based on an impedance converter is developed and studied. A circuit of a rectangular signal generator on a C-negatron based on an impedance converter has also been developed and studied. The proposed C-negatron generator based on an impedance converter is electrically controlled. The computer circuit modeling of time and frequency parameters and characteristics of the electrical signal generator based on an impedance converter was performed in the Micro-Cap 9.0 program. A prototype of an electrical signal generator based on an impedance converter was developed. The results of experimental studies were obtained, which confirmed the correctness of electrical calculations and computer circuit modeling.

Also in the master's qualification work, in the economic part, the calculations of the costs of research work were carried out, its importance and scientific significance were assessed. In the section of labor protection and safety in emergency situations, technical solutions for the safe performance of work were developed and the safety of the electrical signal generator based on an impedance converter was investigated under the conditions of threatening factors of an emergency.

Keywords: generator, electrical signal, negative resistance, impedance converter, C-negatron.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 СХЕМОТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПОБУДОВИ ГЕНЕРАТОРІВ НА УЗАГАЛЬНЕНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ІМІТАНСУ	7
1.1 Класифікація генераторів	7
1.2 Класифікація негатронів	12
1.3 Варіантний підхід до розв'язку основної задачі роботи	16
1.4 Висновки до розділу	30
2 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ ГЕНЕРАТОРА СИНУСОЇДАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ НА ОСНОВІ КОНВЕРТОРА ІМПЕДАНСУ	32
2.1 Аналіз побудови RC-генераторів на операційних підсилювачах	32
2.2 Розробка математичної моделі генератора на основі конвертора імпедансу	35
2.3 Комп'ютерне моделювання	36
2.4 Експериментальні дослідження	39
2.5 Критеріальне оцінювання ефективності генератора гармонічних коливань на операційному підсилювачі	43
3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНО-КЕРОВАНОГО ГЕНЕРАТОРА ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ НА С-НЕГАТРОНІ	47
3.1 Розробка електрично-принципової схеми електрично-керованого генератора електричних сигналів на С-негатроні	47
3.2 Розробка математичної моделі електрично-керованого генератора на С-негатроні	50
3.3 Комп'ютерне моделювання	52
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	54
4.1 Оцінювання наукового ефекту	54
4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи	58
4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи	72

4.4 Висновок до розділу	73
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	75
5.1 Технічні рішення з безпечного виконання роботи	76
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	79
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи РЕС генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу в умовах дії загрозливих факторів НС	87
5.4 Висновок до розділу	89
ВИСНОВКИ.....	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	91
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративна частина.....	96
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи	104

ВСТУП

Від'ємний диференціальний опір (NDR) властивий багатьом електронним приладам, у яких у певному діапазоні напруг струм зменшується зі збільшенням напруги. Напівпровідникові структури з NDR мають кілька унікальних властивостей, які стимулюють пошук технологічних і схемотехнічних рішень при розробці нових напівпровідникових пристроїв і схем, що мають властивості NDR.

Актуальність теми.

У вимірювальній, телекомунікаційній, радіолокаційній техніці, радіопередавальній і приймальній техніці часто виникає необхідність генерувати не тільки гармонійні коливання зі строго заданими параметрами, а й більш складні форми коливань, включаючи стохастичні некорельовані і корельовані процеси, змішування сигналів. Просте гармонійне коливання можна легко сформувати за допомогою прямого цифрового синтезу. Генератори, які реалізують цей метод, можуть використовувати цифрові коди для зміни частоти коливань з високою точністю у великому діапазоні. У них насправді немає перехідного процесу, який встановлює амплітуду, частоту або фазу. Стабільність частоти визначається стабільністю кварцевого генератора.

Доповнення генератора додатковими вузлами дозволяє отримати обладнання для процесів формування більш складних форм без втрати позитивних якостей. Ця тема є дуже актуальним напрямом і корисним в наш час.

Дослідження в цьому напрямку базуються на використанні властивостей негатронів, а саме від'ємних значень основних диференціальних параметрів – від'ємного активного опору, від'ємної ємності. В зв'язку з цим відкриваються нові можливості проектування та реалізації високоефективних інформаційних пристроїв телекомунікацій, придатних для загального виробництва, що забезпечить їх широке застосування в різних системах.

Аналіз літературних джерел. Електронні пристрої з NDR широко використовуються в електронних і радіотехнічних системах найширшого застосування, а не тільки як основні елементи підсилювальної [1], коливальної [2, 3], мультиплексної [4], статичної оперативної пам'яті. (SRAM) [5], і схеми перемикачів [6]. Останнім часом дуже перспективним є використання NDR-пристроїв у радіолокаційних [7], комунікаційних [8] та інфокомунікаційних [9] схемах, аналого-цифрових перетворювачах [10], нейронних мережах [11] завдяки значним спрощенням багатьох схемотехнічних рішень. Інші можливі застосування пристроїв NDR можна знайти в повному огляді за посиланням [12].

Загалом можна розділити пристрої NDR на пристрої з вольт-амперними характеристиками N і Λ і пристрої з характеристиками S типу. Оскільки основним напрямом дослідження є NDR-пристрої N -типу, ми проаналізуємо раніше опубліковані дослідження електронних структур з характеристиками N - та Λ -типу.

Однією з основних характеристик будь-якої схеми NDR є відношення амплітудного струму (PVCR), яке є відношенням пікового до впадинного струму. У багатьох практичних завданнях необхідно вміти керувати ПВК. Наприклад, в осциляторах PVCR визначає нахил вольт-амперної характеристики в області NDR, отже, значення диференціального опору в робочій точці. У свою чергу, самозбудження осцилятора залежить від величини диференціального опору.

Метою роботи є покращення технічних параметрів та частотних характеристик генератора електричних сигналів за рахунок використання конвертора імпедансу на дискретних транзисторах.

Об'єкт дослідження: процес перетворення електричних сигналів в синусоїдальні коливання та процес перетворення електричних сигналів у прямокутні імпульси.

Предмет дослідження: частотні та часові параметри і характеристики електричних сигналів генератора на основі конвертора імпедансу.

Для досягнення поставленої мети треба виконати **задачі**:

1. Дослідити схемотехнічні рішення побудови генераторів на основі конвертора імпедансу.
2. Розробити та дослідити схему генератора синусоїдальних коливань на основі конвертора імпедансу.
3. Розробити та дослідити схему генератора прямокутних імпульсів на основі конвертора імпедансу.
4. Розробити та дослідити електрично-керований генератор на основі конвертора імпедансу.
5. Зробити комп'ютерне моделювання.
6. Провести експериментальні дослідження.
7. Зробити аналіз комерційного потенціалу розробки.

Новизна результатів роботи: нова електрична схема та нові результати досліджень розроблений генераторе електричних сигналів на основі конвертора імпедансу, який генерує синусоїдальні коливання і прямокутні імпульси.

Апробація результатів. За результати роботи зроблена доповідь на міжнародній конференції та опублікована теза [13].

1 СХЕМОТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПОБУДОВИ ГЕНЕРАТОРІВ НА УЗАГАЛЬНЕНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ІМІТАНСУ

1.1 Класифікація генераторів

Генератори гармонійних коливань призначені для перетворення енергії джерела постійного струму в енергію незатухаючих синусоїдальних коливань [14]. Вони мають активний елемент, охоплений позитивним частотно-залежним зворотним зв'язком [15]. Цей генератор побудований на основі петлевої схеми, що працює з позитивним зворотним зв'язком [16]. В якості активних компонентів використовуються транзистори, операційні підсилювачі, діоди з негативною частиною диференціального опору [17].

Завдяки частотній залежності використовуються резонансні LC контури, кварцові резонатори, RC, RL контури.

За типом частотних зв'язків генератори діляться на генератори LC, RC і RL. Класифікація генераторів представлено на рис.1.1 (та представлена в додатку А рис.1).

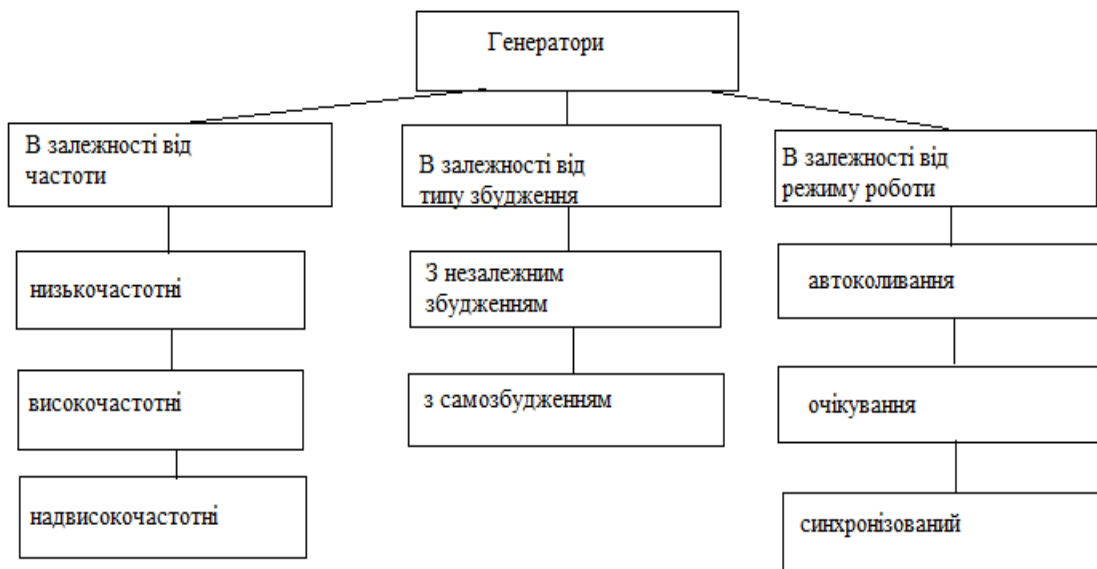


Рисунок 1.1- Класифікація генераторів

Залежно від генерованих частот генератори поділяють на :

- 1.Надвисокочастотні 300 МГц – 300 ГГц.
- 2.Високочастотні генератори 300 кГц – 300 МГц.
- 3.Низькочастотні генератори 20 кГц – 300 Гц.
- 4.Інфранизькочастотні генератори – 20 Гц і нижче.

За вихідної потужності генератора ділять:

- 1)на малопотужні (менше 1 Вт);
- 2)середньої потужності (нижче 100 Вт);
- 3) потужні (понад 100 Вт).

По використанню активних елементів генератори ділять на:

- лампові;
- транзисторні;
- операційних підсилювачах;
- тунельних діодах.

Через структурні причини LC генератори в основному використовуються для високих частот. На низьких частотах RC генератор. На інфранизьких частотах більш ефективні RL –генератори.

За наявністю або відсутністю згладжуючих елементів регулювання частоти генератори поділяються на генератори діапазону та генератори фіксованої частоти.

Генератори фіксованої частоти в основному використовуються для генерації низькочастотних коливань. Вони мають частотно-залежні зв'язки на елементах R і C і мають інвертуючий або неінвертуючий підсилювач залежно від фазового зсуву, який вони створюють на квазірезонансній частоті. Частота, створювана RC-генератором, називається квазірезонансною, оскільки RC-елементи не мають резонансних властивостей, як, наприклад, LC-ланцюги.

Внутрішні класифікаційні характеристики генераторної установки – це принципи, що регулюють її роботу. За цією ознакою розрізняють генератори з незалежним збудженням (з зовнішнім керуванням) (режим роботи яких

регулюється зовнішнім джерелом змінної напруги) і генератори з самозбудженням (з внутрішнім керуванням).

За формою вихідного коливання поділяється на генератор гармонійних (синусоїдальних) коливань і генератор несинусоїдальних (прямокутних, пилоподібних тощо) коливань, які називаються релаксаційними (імпульсними). Останні роботи мають специфічні характеристики, тому їм присвячено окремий розділ [18].

Гармонічні коливання в генераторах підтримуються резонансними контурами або іншими резонансними елементами (кварцовими резонаторами, корпусними резонаторами та ін.) або фазованими RC-ланцюгами, що містяться в ланцюгах зворотного зв'язку підсилювача. Перший називається LC-генератором, а другий — RC-генератором гармонійних коливань.

Генератори гармонік LC малої потужності застосовуються у вимірювальній і регулюючій апаратурі, а також як еталонні генератори в радіопередавачах. LC-генератори середньої та великої потужності широко використовуються для живлення технічного обладнання, такого як ультразвукова обробка матеріалів і діелектриків, електронна мікроскопія тощо.

RC генератори гармонійних генераторів використовуються як задаючі пристрої в системах перетворення постійного струму в змінний, а також у різноманітному вимірювальному обладнанні та системах.

При розгляді генераторів з незалежними збудженнями передбачається, що вони управляються електричними коливаннями від попередньої ланки ланцюга. Однак має існувати зв'язок, який створює електричні коливання без будь-якої зовнішньої керуючої дії. Такі схеми працюють в автоколивальному режимі і називаються автогенераторами. При цьому основною характеристикою автоматичного генератора є частота вироблених коливань, тобто частота, з якою напруга джерела живлення кола перетворюється в коливання змінної напруги.

Підсилювач, охоплений позитивним зворотним зв'язком, може мати самозбудження, оскільки посилення на відповідній частоті досягає нескінченного значення. Це призводить до наявності вихідної напруги за відсутності вхідної напруги. Цей принцип використовується в автогенераторі гармонійних коливань, який є ланцюгом підсилення, коефіцієнт підсилення \dot{K} якого покривається позитивним зворотним зв'язком з коефіцієнтом передачі напруги $\dot{\beta}$.

Повна схема автоматичного генератора з резонансним LC контуром у колекторному контурі $L_k C_k$, який є навантаженням однокаскадного підсилювача, а індуктивний зв'язок між виходом і входом підсилювача забезпечується окремою базовою обмоткою, як показано на рис. 1.2. (і представлено в додатку А, рис. 2). Ця схема називається трансформаторно зв'язаним генератором і використовується в основному в радіочастотній області [19].

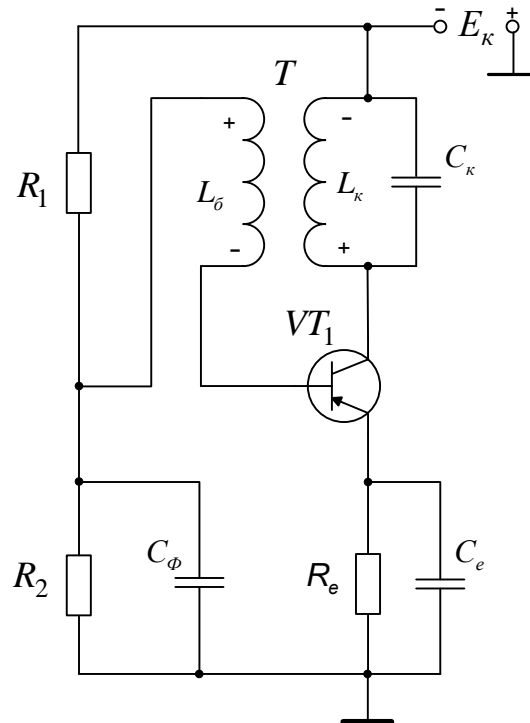


Рисунок 1.2- Схема автогенератора з трансформаторним зв'язком

Компоненти R1, R2, Re і Ce призначені для забезпечення необхідного режиму постійного струму та його термічної стабільності. Один кінець базової обмотки заземлений через конденсатор C2, і його реактивний опір незначний на частоті генерації електроенергії. Резистори Rk і Rb враховують активні втрати відповідно в профільній і базовій обмотках.

Якщо кварцову пластинку стиснути або розтягнути, то на протилежній поверхні виникнуть заряди однакової величини і протилежного знаку. Це явище називається прямим п'єзоелектричним ефектом.

Якщо на поверхню кварцової пластини подати напругу, кварцова пластина стиснеться або розтягнеться залежно від полярності прикладеної напруги. Це явище називається зворотним п'єзоелектричним ефектом.

Коли на кварцову пластину подається змінна напруга, вона починає здійснювати механічні коливання, частота яких залежить від її розміру та різку. Оскільки розміри пластини фіксовані і незначно змінюються в залежності від температури, частота коливань також буде постійною. Механічні коливання кварцу викликають його власні електричні коливання. Коли власна частота кварцового резонатора відповідає частоті електричних коливань, виникає резонанс і механічні коливання досягають максимального значення.

Точність налагодження частоти $\delta_f = (10^{-5} \div 10^{-7})$. Нестабільність частоти генератора складає – $\delta_f = \Delta f_0 / f_{0, \text{н}} = (10^{-5} \div 10^{-7})$

При побудові кварцового генератора кварцовий резонатор включається в ланцюг зворотного зв'язку або як індуктор для коливального контуру [17].

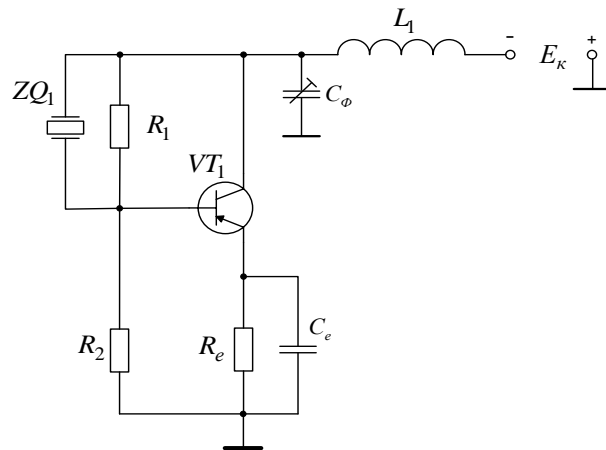


Рисунок 1.3 - Схема кварцового генератора, що містить резонатор у ланцюзі зворотного зв'язку

Генератори з кварцовою стабілізацією виконують переважно на фіксовані частот, що є їхнім недоліком. На частотах понад 10 МГц товщина пластинки кварца досить мала ($\sim 0,3$) мм, а тому вони стають дуже крихкими.

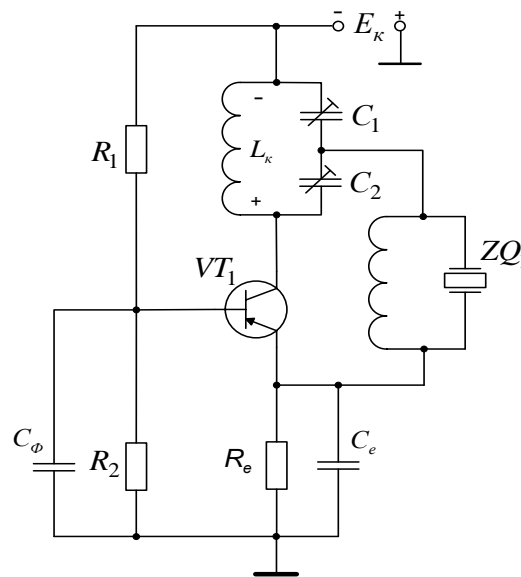


Рисунок 1.4 - Двоконтурна схема кварцового генератора (схема Батлера)

1.2 Класифікація негатронів

Негатрони - це електронні пристрої, основні диференціальні параметри яких (від'ємний активний опір, індуктивність, ємність) мають негативні

значення в певних режимах роботи.

В даний час розроблено велику кількість негатронів, які можна класифікувати за різними ознаками, такими як принцип отримання негативного опору, тип характеристик струму та напруги, діапазон частот, кількість клем тощо. Широка класифікація негатронів показана на рисунку 1.5 (та представлена в додатку А рис.5).



Рисунок 1.5 - Узагальнена класифікація негатронів

У статичній негатронів основні характеристики мають спадну частину, на якій значення головного диференціального параметра є від'ємним. Статичні негатрони поділяються на негатрони N-типу та негатрони S-типу відповідно до їх основних характерних форм. Динамічні негатрони мають від'ємні первинні диференціальні значення параметрів у певних визначених діапазонах частот.

Визначення R-негатрона. Елемент, що має від'ємний опір або від'ємну провідність, називається R-негатроном. Тобто, R-негатрон здатен

перетворювати енергію джерела живлення, в тому числі енергію постійного струму, а тому він може служити джерелом змінного струму.

Отже, під R-негатроном варто розуміти як елемент електричного кола, що здатен віддавати потужність змінного струму, за рахунок перетворення енергії джерела постійного струму.

Залежно від вигляду вольт-амперної характеристики усі R- негatronи можна поділити на R-негатрони, що керуються напругою та мають N-подібну вольт-амперну характеристику, а також як ті, які варто характеризувати від'ємною диференційної провідністю, і на R-негатрони, що керуються струмом, та мають S-подібну вольт-амперну характеристику, тобто які варто характеризувати від'ємним диференційним опором.

Якщо вольт-амперні характеристики R-негатронів, керовані напругою, зображені в координатах (I; U), а характеристики R-негатронів, керованої струмом, зображені в координатах (U; I), тоді вони матимуть однакові форми, при цьому струм і напруга вони будуть змінювати один одного на осях координат. Тому такі пристрої не є простими аналогами. Між ними існує так звана подвійна аналогія. Тому їх називають динегативними електронами. Слід зазначити, що розглянуті вище концепції відносяться до біполярних R-негативних електронних трубок. У випадку чотиріполюсної R-негативної трубки вольт-амперні характеристики вхідного і вихідного ланцюгів мають двоїстий характер. Тому введення незалежних понять негативного опору та негативної провідності не є формальною операцією. Негативний опір і негативна провідність мають різні властивості як елементи схеми. Власне, це і призводить до відмінностей у методах їх застосування, методах увімкнення в сценаріях і в аналізі сценаріїв - використання різних систем параметрів.

Визначення C-негатрона. Існує клас ємнісних елементів та їхніх схемотехнічних аналогів, для яких на кулон-вольтній характеристиці є ділянка з $C \sim < 0$. Тобто вони мають "негативну диференціальну ємність". Такі елементи отримали назву C-негатронів.

Вони також можуть мати як і R-негатрони вольтн-кулону характеристику N- і S-типу.

Фізичний негатрон. Відмінною рисою фізичних негатронів є те, що їх зворотний зв'язок внутрішній, тобто створюється фізичними процесами, що відбуваються в середині пристрою, а не зовнішнім контуром за рахунок передачі сигналу від виходу до входу. Наявність внутрішнього зворотного зв'язку фактично робить ці пристрої функціональними елементами.

Схематичний аналог негатрона. Створюючи аналоги негатронів на основі різних схемних комбінацій активних пристроїв, можна значно зменшити недоліки, властиві фізичним негативним електронним лампам. У таких схематичних аналогах негативних електронних трубок наявність негативного диференціального опору зумовлена дією зовнішнього позитивного зворотного зв'язку. Розвинена теорія аналогового синтезу статичних негативних електронних трубок N-типу та S-типу дозволила створити велику кількість різноманітних схемних рішень для різноманітних аналогових та критичних електронних пристроїв різного функціонального призначення.

Увесь клас схемотехнічних аналогів негатронів, що виконані на транзисторах, можна поділити умовно на декілька груп (рис. 1.6).

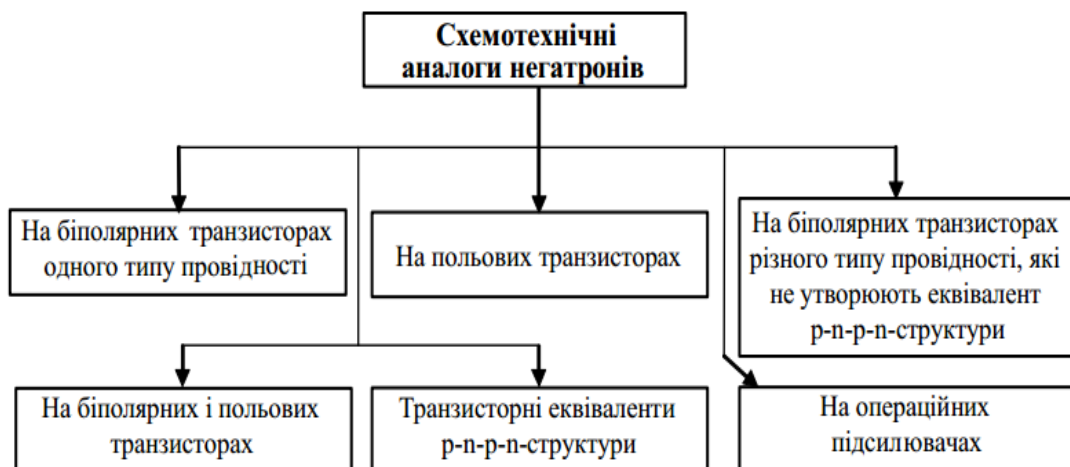


Рисунок 1.6 - Узагальнена класифікація схемотехнічних аналогів негатронів

У схемотехнічних аналогах негатронів недоліки, притаманні фізичним негatronам, можуть бути зменшені, а в деяких випадках усунені, щоб синтезувати пристрої з негативним опором і необхідними параметрами. Але схематичні аналоги негатронів є більш громіздкі, ніж фізичні негатрони, оскільки вони використовують більшу кількість компонентів. Багато технічних параметрів синтетичних пристроїв з негативним опором (наприклад, верхня робоча частота, динамічний діапазон тощо) обмежені параметрами та паразитним зв'язком використовуваних транзисторів. Таким чином, використання перехресних з'єднань обмежує використання пристроїв із від'ємним диференціальним опором частотами до 1 ГГц [14].

1.3 Варіантний підхід до розв'язку основної задачі роботи

1.3.1 Вибір оптимального варіанту генераторів електричних сигналів на негatronах

В теперішній час на базі транзисторних негатронів розроблені та розробляються елементи та пристрої автоматики різного функціонального призначення, узагальнена класифікація яких представлена на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 - Класифікація елементів та пристроїв автоматики на базі транзисторних негатронів

Перевагою використання транзисторних негатронів в таких елементах

та пристроях є можливість реалізації в одному кристалі напівпровідника декількох функціональних операцій: підсилення, перетворення, керування, фільтрації, затримки, генерації, логічних операцій та ін. Таким чином, транзисторний негatron є елементом функціональної електроніки та забезпечує реалізацію елементів та пристроїв автоматики в інтегральному вигляді, що веде до покращення не тільки електричних, але і масогабаритних та вартісних параметрів .

Як видно з представленої класифікації (рис. 1.7), незалежно від схемотехнічної реалізації, всі елементи та пристрої автоматики на базі транзисторних негatronів можна розділити на дві групи: лінійні та нелінійні. Розглянемо сучасні досягнення в області розробки таких пристроїв кожної групи.

Основою транзисторного негatronа є багатоелектродна напівпровідникова структура, яка в загальному випадку є нелінійною, тобто її параметри залежать від струмів I_0 , які протікають в ній, та прикладених напруг U_0 . Однак, якщо робоча точка такої структури за постійним струмом фіксована, а величина амплітуд змінних струмів I_m та напруг U_m відповідає умовам

$$I_m \ll I_0, U_m \ll U_0;$$

то таку структуру можна розглядати на частоті сигналу як лінійну.

В такому режимі працюють транзисторні еквіваленти реактивних елементів, активні фільтри, логічні елементи, помножувачі індуктивності, високочастотні перемикачі та комутатори, які реалізуються на базі транзисторних негatronів.

Транзисторні еквіваленти реактивних елементів

На першому етапі створення напівпровідникових мікросхем виникла проблема реалізації напівпровідникової індуктивності. Вирішення цієї проблеми відбувалося в двох напрямках: застосуванням гіраторних схем та використанням часової затримки носіїв струму в кристалах напівпровідника.

Перший напрямок не одержав широкого застосування, оскільки вимагав застосування великої кількості транзисторів при реалізації індуктивності, а наявність перехресних зв'язків обмежувала їх частотний діапазон декількома сотнями мегагерц.

Другий напрямок вперше був реалізований Діллом в вигляді схеми (рис. 1.8а), яка отримала назву “індуктивний транзистор”. Добротність такого еквівалента котушки індуктивності не перевищувала одиницю, що робило її не придатною для більшості практичних застосувань. Використання лавинного транзистора дозволяло підвищити добротність до декількох десятків одиниць, але значні шуми та більша температурна та режимна нестабільність обмежують область його застосування.

Подальшим розвитком цього напрямку є реалізація багатокаскадного транзисторного еквівалента індуктивності спочатку на біполярних (рис. 1.8б), а потім на польових (рис. 1.8в) транзисторах (та представлена в додатку А рис.6). Його недоліком також є відносно невисока температурна стабільність, яка властива складеним транзисторам.

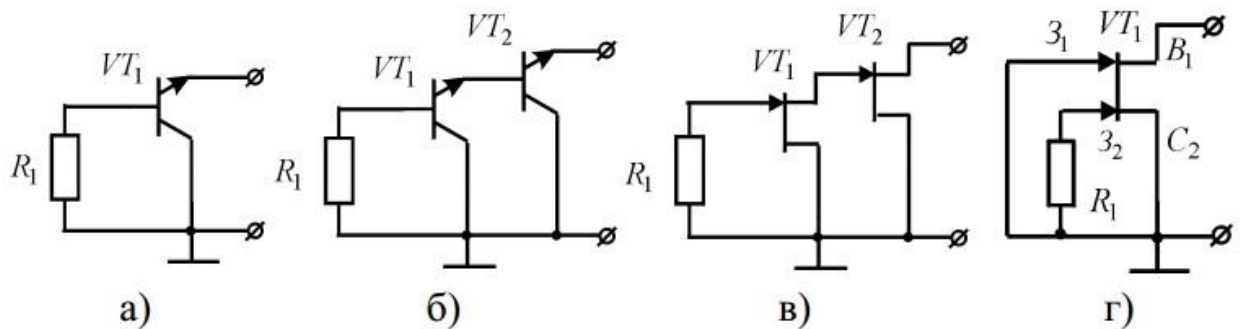


Рисунок 1.8 - Високочастотні схеми напівпровідникових аналогів індуктивності на базі комбінованих транзисторних негатронів

Поява двозатворних транзисторів Шотткі дозволила інтегрувати на одному кристалі транзисторний еквівалент індуктивності, представлений на рис. 1.8г. Він забезпечує реалізацію індуктивностей величиною 3-4 наногенрі

на частоті 18 ГГц з температурним коефіцієнтом індуктивності меншим $0,07\% \cdot \text{град}^{-1}$ в діапазоні температур 0 - 40 °С. Його перевагою є повна технологічна сумісність з напівпровідниковими ІМС та простота проектування з використанням програм “Microwave office”.

Наявність нанотехнологій забезпечила широке використання таких технічних рішень при створенні частотно-вібрових GaAs мікросхем.

Активні фільтри

Теорія та практична реалізація активних фільтрів на основі транзисторних негatronів розроблена професором Філінюком М.А. В основі таких фільтрів лежать як вищерозглянуті транзисторні еквіваленти індуктивності, так і комбіновані негatronи з індуктивним перетворюваним імітансом. Фільтри можуть бути реалізовані до частот в декілька десятків гігагерц, мають взаємні та невзаємні властивості, а також забезпечують подавлення сигналу до 60 дБ в сантиметровому діапазоні частот та підсилення в смузі пропускання до 3 дБ.

Аналогічні роботи широко ведуться за кордоном, часто повторюючи результати, які одержані раніше в Україні. Особлива увага приділяється можливості інтегрального виконання активних фільтрів та електричної перестройки (підстройки) параметрів для частотно-вібрових кіл.

Про перші високодобротні активні індуктивності повідомляли більш ніж три десятиліття назад. В цих схемах використовувався один транзистор, що не дозволяло незалежно електрично керувати величиною індуктивності та послідовним опором втрат. Використання таких котушок індуктивності для реалізації активних LC фільтрів було представлено у двох широко відомих працях. Пізніше, активна індуктивність, продемонстрована фірмою ATR у Японії, привернула увагу до активних індуктивностей, придатних для виконання у вигляді НВЧ інтегральної схеми. Нара та ін. продемонстрували створення активної широкопasmової індуктивності із втратами у вигляді напівпровідникової інтегральної схеми на базі каскадного з'єднання польових транзисторів у схемі зі спільним витокм і резистивним зворотним

зв'язком. Ця активна індуктивність пізніше була успішно використана в широкосмуговому підсилювачі для схеми узгодження. Пізніше, значне зменшення послідовного опору активної індуктивності було отримано при використанні в якості зворотного зв'язку польового транзистора, включеного за схемою зі спільним затвором.

В [20] запропоновано схему активного фільтра керованого напругою без котушок індуктивності, який складається із двох підсилювачів та двох фазоінверторів на основі польових або біполярних транзисторів. Результуючий опір схеми відповідає імпедансу паралельного коливального контура RLC. Схема забезпечує коефіцієнт добротності Q більше, ніж п'ятдесят на центральній частоті фільтра (біля п'ятсот мегагерц). Розроблена автором індуктивність придатна для використання у вигляді монолітної CMOS або інтегральної BiCMOS мікросхеми, що дозволяє комбінувати її з іншими схемами, наприклад, сигнальними процесорами та логічними схемами.

В [21] автор запропонував схему активного фільтра керованого напругою, у якому відсутні котушки індуктивності. Фільтр складається із чотирьох польових транзисторів і дозволяє змінювати центральну частоту настроювання фільтра в межах від 50 МГц до 300 МГц при зміні керуючої напруги від 3 до 8 В. Авторам вдалося одержати лінійну залежність частоти настроювання від напруги. Добротність фільтра - близько 100.

В [2] описаний принцип побудови керованого напругою смугового фільтра для застосування в мініатюрному приймачі-передавачі. Запропонований фільтр призначений для заміни фільтра на поверхневих акустичних хвилях у передавачах з часовим поділом каналів. В [23] автори розробили схеми фільтрів з обмеженою смугою пропускання, придатні для виготовлення в вигляді НВЧ інтегральних мікросхем. Запропоновано варіанти фільтрів нижніх частот, верхніх частот, смугових фільтрів. Автори застосували запропоновані фільтри для радарної установки.

В [24] автори розробили схему фільтра, що складається з каскадного з'єднання двох псевдо-гіраторів. Основні параметри фільтра: частота настроювання 1,4 ГГц, ослаблення сигналу - 30 дБ.

Всі розглянуті фільтри працюють в нелінійному режимі. Але теорія їх роботи в режимі великого сигналу відсутня.

Логічні елементи

Транзисторні негatronи покладені в основу радіочастотних логічних елементів, основи побудови яких закладені в роботах.

На початковому етапі розвитку цього напрямку була відсутня мікроелектронна НВЧ елементна база, в зв'язку з чим широкого впровадження цей напрямок не отримав.

Розробка мікросмугових ліній передачі та теорії транзисторних негatronів дозволила створити мікроелектронні НВЧ елементи повного логічного циклу для дециметрового діапазону частот.

Подальший розвиток теорії створення таких елементів та обчислювальних систем на їх основі виконаний в роботах.

В теперішній час застосування транзисторних негatronів та розробленої теорії забезпечує створення мікроелектронних радіочастотних мікропроцесорів.

Нелінійні інформаційні пристрої на базі динамічних негatronів

Розроблені в попередніх розділах математичні моделі комбінованих транзисторних негatronів в нелінійному режимі та основи проектування пристроїв на їх основі дозволяють здійснювати розробку та дослідження широкого класу пристроїв автоматики на їх основі. В цьому розділі особлива увага приділена розробці та дослідженню різних видів генераторних пристроїв, пристроїв перетворення частоти та генераторним вимірювальним перетворювачам, які є базовими пристроями систем автоматики, що використовують гармонічні сигнали.

Основними перевагами використання транзисторних негatronів в таких пристроях, порівняно з іншими технологічними рішеннями, є

можливість реалізації на одному напівпровідниковому кристалі декількох функцій: підсилення, фільтрації, керування, спектрального розкладу сигналу. Це дає можливість мініатюризації таких пристроїв в вигляді мікросхем та використання їх в системах керування, які використовують гармонічні сигнали. Основи загальної теорії таких пристроїв закладені в роботах .

Автогенератори та генератори на транзисторах

Транзистор є трьохелектродним приладом, тому він полегшує розв'язку в генераторах зворотного зв'язку від НВЧ-виходу та кіл живлення приладу. Більш високі підсилювальні властивості транзистора порівняно з діодами дозволяють виконати настройку генераторів в ширшому діапазоні частот. Крім того, транзистори працюють при більш низьких температурах переходу, ніж діоди Германа та лавинно-пролітні діоди (ЛПД), тому надійність генераторів на транзисторах вища. Генератори на транзисторах стабільніші за частотою, в них простіше вирішується задача розміщення активного приладу та настроювального контуру, простіше джерело живлення, вони потребують меншої потужності та в них легше здійснити тепловідвід.

За кордоном отримані промислові зразки генераторів на транзисторах в діапазоні частот до 58 ГГц. При цьому цей діапазон перекритий в основному генераторами на польових транзисторах.

Найбільш розповсюдженою технологією виготовлення генераторів є гібридно-інтегральна, коли на одній платі в вигляді чипів розташовуються транзистори, конденсатори та інші елементи, з'єднані між собою мікросмуговими виводами. Однак, вже існують і в наш час все більш широко впроваджуються в практику генератори в монолітному виконанні, коли вся схема разом з транзистором виконується на одній підкладинці.

В зв'язку з безперервним розвитком та удосконаленням технології виготовлення транзисторів та діелектричних резонаторів зараз ведуться роботи з покращення стабільності частоти, підвищення вихідної потужності та зменшення частотно-модульованих шумів генераторів.

Генератори на польових транзисторах. Сучасна техніка в галузі генераторів НВЧ-діапазону характеризується широким застосуванням польових транзисторів.

Для створення схем генераторів на польових транзисторах використовують три схеми ввімкнення: зі спільним витокком, спільним затвором та спільним стоком. Кожна з цих схем ввімкнення має свої переваги та недоліки.

Конструкція зі спільним затвором (рис. 1.9) характерна для малопотужних широкосмугових генераторів. Елементом зворотного зв'язку служить послідовна індуктивність в колі затвору.

Витік в цій схемі не може бути безпосередньо заземлений. Тому монтаж транзистора на заземленій платі, яка забезпечує хороший тепловідвід, неможливий. Це обмежує вихідну потужність такої конструкції.

Конструкція генератора зі спільним стоком (рис. 1.10) зі звичайними типами транзисторів мало розповсюджена, що пов'язано з відсутністю хорошого тепловідводу. Стік має високий тепловий опір.

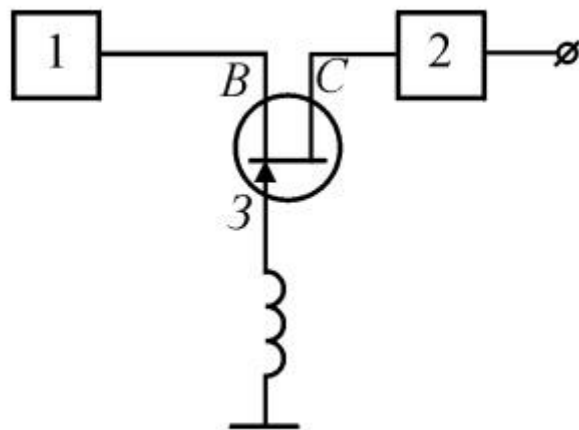


Рисунок 1.9 - Генератор на ПТ за схемою зі спільним затвором

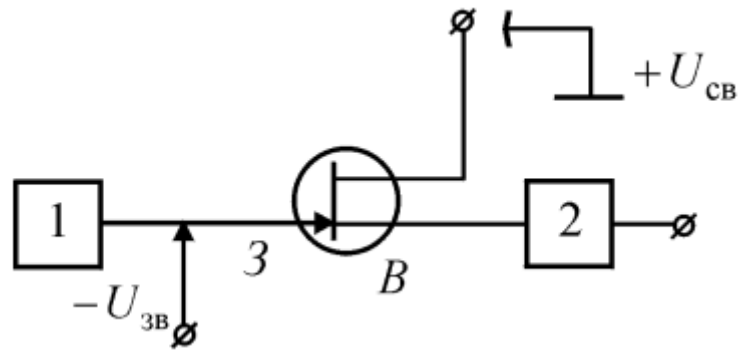


Рисунок 1.10 - Генератор на ПТ за схемою зі спільним стоком

Розповсюдженою конструкцією в схемах потужних генераторів є, так звана, зворотна або перевернута схема, в якій напруга, що подається на витік, від'ємна, тобто стік та витік переставлені місцями. Стік, який формально є витоком, може безпосередньо монтуватися на заземленій платі (рис. 1.11). В цій схемі забезпечується значна вихідна потужність в широкому діапазоні частот настройки, високий ККД, просте джерело живлення, низька провідна індуктивність, малий електричний та тепловий опори, підвищується стабільність роботи генератора, зменшується можливість виникнення низькочастотних паразитних коливань. При цьому застосовуються звичайні стандартні транзистори. Генерована частота визначається величиною імпедансу схеми, що підключена до затвору (звичайно зміною ємності). Вихідний імпеданс мало впливає на частоту та підбирається, виходячи з оптимального узгодження виходу транзистора з навантаженням.

Оскільки затвор та витік потребують від'ємних напруг (напруга затвору підтримується від'ємною відносно стоку), то може бути застосовано одне джерело живлення з резистором в колі витоку (рис. 1.12).

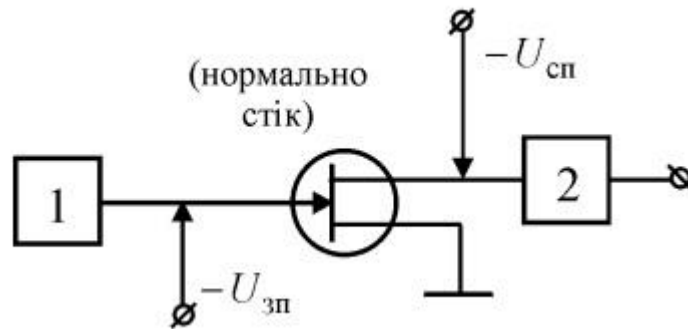


Рисунок 1.11 - Потужний генератор за зворотною схемою

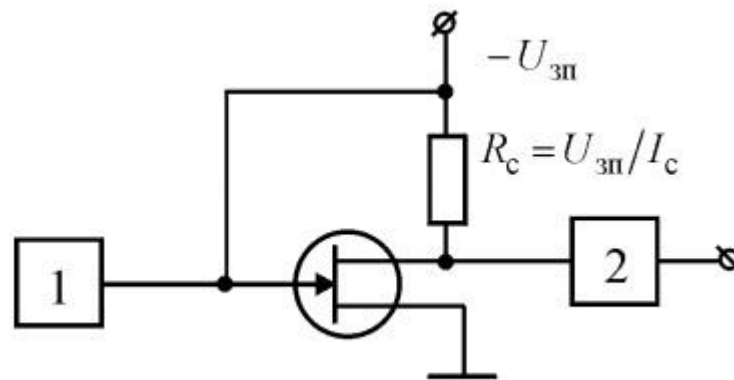


Рисунок 1.12 - Потужний генератор з одним джерелом живлення

Застосування потужних метал-діелектрик-напівпровідник польових транзисторів (МДН-ПТ) при побудові НВЧ автогенераторів дозволяє отримати більшу стабільність та менше абсолютне відхилення частоти порівняно з біполярними приладами. Підвищення стабільності частоти автогенераторів на потужних МДН-ПТ обумовлено такими факторами:

- меншими ємностями та слабкою залежністю їх від напруг і температури;
- високими вхідними та вихідними імпедансами;
- слабкою залежністю крутизни та струму стоку від напруги на стоці;
- можливістю роботи транзистора в різко полегшеному режимі.

Крім того, через лінійність передаточних характеристик, спектр сигналу автогенератора на потужному МДН-ПТ має менший рівень комбінаційних складових.

В якості контура використаний відрізок мікросмугової лінії, зміною довжини якого змінюється частота генерації. На частоті 0,5 ГГц, поряд з підсиленням на такому ж транзисторі, генератор віддає потужність вище 5 Вт при напрузі живлення 14 В.

Автогенератори НВЧ діапазону на біполярних транзисторах. Біполярні транзистори відносно рідко використовуються для генерації коливань в такому частотному діапазоні. Одну з можливих схем автогенератора на біполярному транзисторі показано на рис. 1.13 (та представлена в додатку А рис.7). Цей автогенератор зібрано за схемою зі спільною базою на транзисторі КТ919. Вибір такої схеми обумовлений тим, що вона забезпечує більш високий ККА, стійкість на частотах, близьких до граничної частоти транзистора.

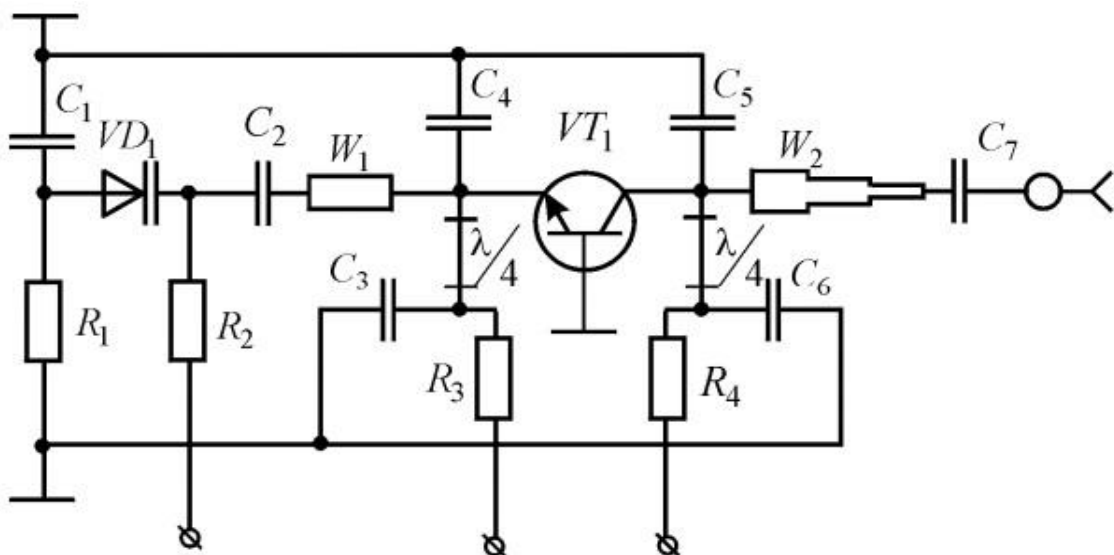


Рисунок 1.13 - Автогенератор на біполярному транзисторі

Хвильовий опір лінії W_1 дорівнює 50 Ом. Ввімкнення варактора VD_1 , яке показано на схемі, забезпечує максимальний діапазон перестройки за частотою. Коло визначає частоту автогенератора. Воно може розглядатися як

послідовний коливальний контур. Реактивність відрізка W_1 визначається величиною зміщення на варакторі.

Вихідне коло утворює чебишевський трансформатор опорів - W_2 . Цей трансформатор узгоджує вихідний опір транзистора, рівний 10 Ом, з хвильовим опором коаксіального кабелю $\rho=50$ Ом. Зворотний зв'язок здійснюється через внутрішні ємності транзистора та зовнішні елементи C_4 та C_5 . Змінюючи ємності конденсаторів C_4 та C_5 можна регулювати величину зворотного зв'язку та в невеликих межах середню частоту автогенератора.

Частота генерації залежить від довжини смугової лінії W_1 та визначається параметрами варактора. В колах емітера та колектора ввімкнені розв'язуючі дроселі, які виконані на чвертьхвильових відрізках мікросмугової лінії.

Автогенератор має такі характеристики:

- генератор виконано в смуговому варіанті;
- при коефіцієнті стоячої хвилі навантаження меншому 2 вихідна потужність складає 700-1000 мВт;
- діапазон електронної перестройки при зміні напруги на варакторі від -5 В до +40 В складає 1100-1260 МГц при величині вихідної потужності від 0,7 Вт до 1,0 Вт;
- ККД складає 25 %;
- відносна нестабільність частоти складає $1 \cdot 10^{-3}$ при зміні напруги живлення на ± 20 %.

Генераторні давачі

На базі автогенераторів реалізуються різні види генераторних давачів. Автогенератори в давачах використовуються в таких випадках:

- Сигнал від автоматичного генератора подається на одну з діагоналей мостової схеми, в одне або кілька плечей якої включений датчик

(чутливий елемент), вихідний сигнал подається з другої діагоналі моста Remove. Датчики можуть бути резистивними, ємнісними або індуктивними;

- Сигнал від автоматичного генератора подається на схему, що складається з послідовного з'єднання датчика і опорного резистора, з якого виходить вихідний сигнал;
- Датчик включається в ланцюг генератора і визначає його частоту. У цьому випадку резонатор також може виконувати роль датчика.

Датчик і автоматичний генератор виконані як єдина конструкція, що представляє собою датчик (перетворювач). Якщо додати до датчика схему індикації, ви отримаєте передавач. Звичайно, перетворювачі і навіть датчики також називають перетворювачами.

Усі датчики генератора на основі транзисторного негативу можна розділити на дві групи: ті, що використовують схематичне моделювання негативів транзисторів, і ті, що використовують комбіновані мінуси транзисторів.

У роботі узагальнено методи і засоби реалізації першої групи датчиків. Даний тип датчика має характеристики хорошої стабільності режиму, передбачуваності та керованості. Однак через вплив паразитного зворотного зв'язку їх робочий діапазон частот не перевищує 1-2 ГГц.

У більшості негативних трубчастих ланцюгів змінний і постійний струм забезпечують позитивний зворотний зв'язок одночасно. Це створює значні технічні труднощі для забезпечення його температурної стабільності.

Динамічні негативні транзистори не мають цього недоліку. Тому пріоритет віддається генераторним датчикам, реалізованим на їх основі. Крім того, такі датчики здатні працювати на частотах в десятки гігагерц, що забезпечує більш високі значення коефіцієнта перетворення.

Існує велика кількість публікацій з реалізації таких генераторних давачів. Вони знаходять застосування при створенні газових аналізаторів, давачів освітлення, індуктивних давачів, медичних давачів та ін. Новим перспективним напрямком є створення давачів фізичних величин на базі LC-негатронів, які забезпечують суттєве збільшення їх чутливості.

Привертає увагу відсутність теоретичних розробок з питань проектування таких давачів з урахуванням нелінійних властивостей транзисторних негатронів. Винятком є монографія, де викладені деякі загальні питання проектування, але використання викладеного теоретичного матеріалу неможливе, оскільки відсутні формальні моделі транзисторних негатронів, які враховують параметри реальних структур.

В техніці вимірювання неелектричних величин вимірювальні перетворювачі перетворюють енергію за допомогою допоміжного джерела енергії або без нього.

Активний вимірювальний датчик - це пристрій, який поєднує в собі чутливий елемент (датчик) з активними елементами для підсилення, перетворення та формування сигналу. Поєднання цих функцій в АРУ не реалізується через звичайне послідовне з'єднання передавача, узгоджувальних і підсилювальних елементів, а забезпечується електрично одним функціональним пристроєм.

АВП є цілісним пристроєм і не може бути розділений на активну та пасивну частини.

Інтеграція датчиків, відповідних компонентів і пасивних компонентів дозволяє:

- Підвищення точності вимірювань;
- Зменшити розмір вимірювального датчика;
- Розширити діапазон вимірюваних значень;
- Розширити діапазон частот вимірювального датчика;

- Покращте узгодження вимірювальних датчиків.

У більшості випадків АВП дозволяють отримати переваги від кількох призначень одночасно. Переваги АРУ найкраще демонструються в діапазоні надвисоких частот, де функції узгодження та посилення фактично важко розділити.

В якості активного елемента можна використовувати практично будь-який активний елемент: тунелі, лавинні діоди або транзисторні схеми, але багато технічних параметрів можна поліпшити за допомогою комбінованих динамічних нелінійних негативних трубок.

За режимом роботи активних компонентів АРУ можна розділити на тип генератора, тип підсилювача та тип детектора.

Генератор АРУ перетворює механічну або іншу енергію безпосередньо в енергію електричних сигналів керування та дозволяє легко перетворювати їх у цифрову форму.

1.4 Висновки до розділу

Елемен з негативним опором називають негatronом. Поняття негативного диференціального опору використовують при розгляді стійкості різних радіотехнічних ланцюгів. Такий опір може компенсувати деяку частину втрат в електричному ланцюзі, якщо його абсолютна величина менше активного опору; в протилежному випадку стан стає нестійким, можливий перехід в інший стан стійкої рівноваги (перемикання) або виникнення коливань (генерація). В однорідному зразку напівпровідника в області існування негативного диференціального опору нестійкість може призводити до розбиття зразка на ділянки сильного і слабого поля (доменна нестійкість) для характеристики N- типу або шунтування струму по перетину зразка для характеристики S- типу.

Проведений аналіз показав, що інформаційні пристрої широко використовуються в різних галузях людської діяльності. Але досягнення високих технічних характеристик в існуючих інформаційних пристроях відбуваються за рахунок збільшення їх складності, а також габаритів, маси і вартості, що обмежує їх застосування в області НВЧ.

Метою роботи є покращення технічних показників генератора гармонійних коливань за рахунок використання ві'ємної ємності С-негатронів.

2 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ ГЕНЕРАТОРА СИНУСОЇДАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ НА ОСНОВІ КОНВЕРТОРА ІМПЕДАНСУ

2.1 Аналіз побудови RC-генераторів на операційних підсилювачах

Найчастіше RC-генератори низької частоти виготовляють на основі операційних підсилювачів, охоплених ланцюгами позитивного і негативного зворотного зв'язку з використанням інвертуючих RC-схем. Для забезпечення самозбудження RC-генератора на вхід підсилювача РП (рис. 2.1) необхідно подати частину вихідної напруги, рівну та синфазну з вхідною напругою (див. Додаток А, рис. 8).). Щоб отримати гармонійні синусоїдальні коливання, ці умови повинні виконуватися на одній частоті і раптово порушуватися на всіх інших частотах [25].

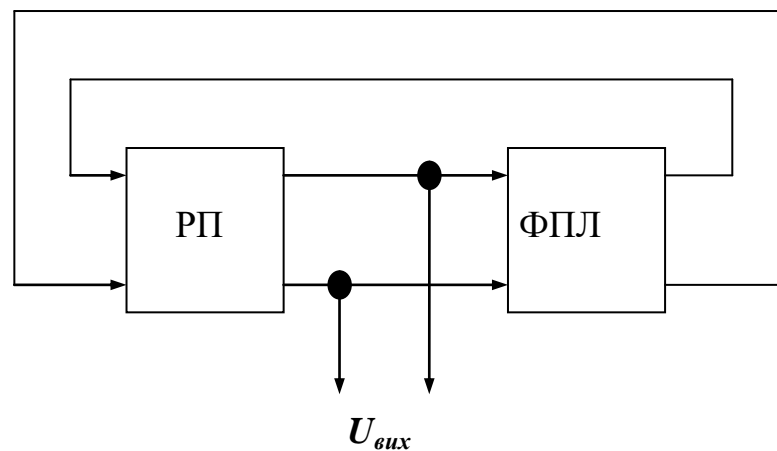


Рисунок 2.1 - Структурна схема RC-генератора

Це завдання вирішується за допомогою фазоінвертуючої схеми (ФЗ), яка складається з декількох RC-ланцюгів, що використовуються для зміни фази вихідної напруги підсилювача на певний кут. Такими зв'язками можуть служити диференціальні або інтегруючі RC-схеми, пасивні смугові RC-фільтри, подвійні Т-фільтри або інтегратори на основі операційних підсилювачів [26].

2.1.1 Схема генератора з фазозсувним RC-колом

Найбільш простим RC-генератором є так звана схема з фазозсувним колом, яка ще називається схемою з реактивними елементами одного знака. Вона показана на рис. 2.2 (та представлена в додатку А рис.9).

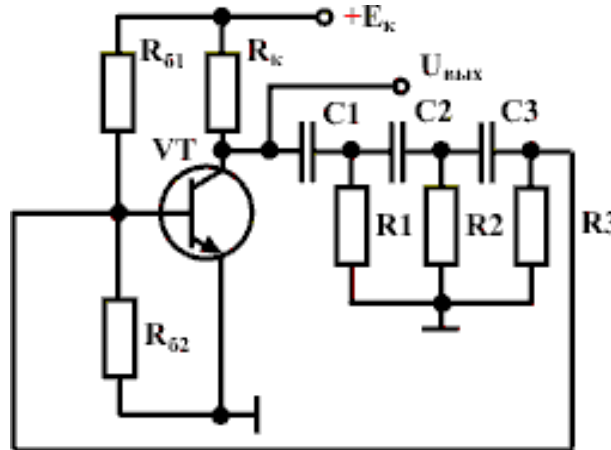


Рисунок 2.2 – RC-генератор з фазозсувним колом

Як видно на схемі, це просто підсилювач, який містить схему, яка зсуває фазу сигналу на 180° між його виходом і входом. Цей контур називається фазовим зсувом. Ланцюг фазового зсуву складається з компонентів $C1R1$, $C2R2$ і $C3R3$. За допомогою схеми резисторів і конденсаторів можна отримати зсув фаз не більше 90° . Насправді зсув ближче до 60° . Отже, щоб отримати фазовий зсув на 180° , потрібно розмістити три ланцюги. З виходу останнього RC-ланцюга сигнал подається на базу транзистора [26].

Робота починається з увімкнення живлення. При цьому виникає імпульс колекторного струму, який містить широкий і безперервний частотний спектр, в якому повинна бути необхідна для генерації частота. При цьому флуктуації частоти, на яку налаштована схема зсуву фази, стануть незатухаючими. Для коливань на інших частотах вони швидко загасатимуть,

оскільки не задовольняють умови самозбудження. Частота коливань визначається за такою формулою

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}} \approx \frac{0.065}{RC}$$

При цьому має виконуватись умова

$$R1 = R2 = R3 = R$$

$$C1 = C2 = C3 = C$$

Такі генератори здатні працювати тільки на фіксованій частоті.

2.1.2 Схема генератора з мостом Віна

Перевагою цього генератора є те, що частоту вироблених коливань можна змінювати. Принципова електрична схема цього генератора показана на рисунку 2.3. (та представлена в додатку А рис. 10).

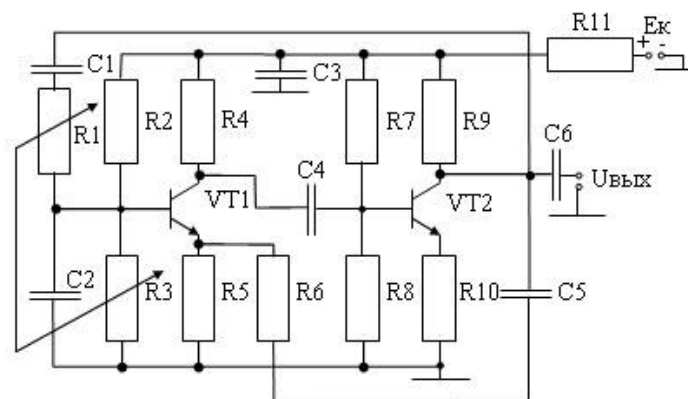


Рисунок 2.3 - Принципова схема RC автогенератора із мостом Віна

У цьому генераторі підсилювач також має два підсилювальних каскаду, зібраних на транзисторах VT1 і VT2. Навантаженням для цих каскадів є

резистори R4 і R9. Напряга зсуву на резистор надходить від дільника напруги R2R3 і R7R8.

Вихідна напруга надходить на вхід підсилювача через схему балансування фаз C1R1C2R3, яка є одним плечем моста Віна, а інше плече складається з компонента R6R5. Друга гілка підключена до виходу підсилювача через об'ємний конденсатор C5, тому схема R5R6 не створює значного зсуву фази.

Крім позитивного зворотного зв'язку, також вводиться негативний зворотний зв'язок, утворений елементом R5R10C5R6. Негативний зворотний зв'язок зменшує коефіцієнт підсилення, значно зменшуючи нелінійні спотворення, які викликають коливання. Зменшення коефіцієнта посилення не призводить до руйнування амплітудного балансу, тому що коефіцієнт посилення справжнього двокаскадного підсилювача значно перевищує 3. Крім того, компонент R5R10 забезпечує температурну стабільність робочої точки транзистора. Регулювання частоти коливань, створюваних у розглянутому генераторі, досягається одночасним регулюванням опору резистора R1R3, але також можна досягти одночасним регулюванням ємності конденсатора C1C2 [27].

Недоліком є необхідність коефіцієнта підсилення не менше 3, що знижує частотний діапазон роботи, та для зміни частоти генерації необхідно одночасно міняти параметри двох елементів. Для покращення ми розробили схему генератора на С-негвтроні.

2.2 Розробка математичної моделі генератора на основі конвертора імпедансу

Синусоїдальний сигнал RC-генератора широко використовуються в багатьох електронних пристроях. Покращити технічні параметри пристроїв часто можна за допомогою негвтронів - пристрої з негативним опором, ємністю, індуктивністю. Пристрої з негативною ємністю називаються С-

негатронами, нові перспективні прилади для просунутих високоефективних електронних систем [28].

C-негатрон може бути реалізований на різних фізичних ефектах або схемотехнічних аналогах на транзисторах і операційних підсилювачах. Схема запропонованої синусоїди RC-генератора на операційному підсилювачі. Реалізована негативна ємність знаходиться за формулою

$$C^{(-)} = - C_k (K - 1),$$

де K - коефіцієнт підсилення, який визначається резисторами R_1 і R_2 .

Негативний опір визначається з формули

$$R^{(-)} = -K^2 / (2\pi f_1 C_k (K-1)^2),$$

де f_1 - коефіцієнт підсилення смуги пропускання підсилювача.

Якщо $K > 1$ ніж $C^{(-)} < 0$ і $R^{(-)} < 0$. Так необхідним чинником підсилення є тільки $K > 1$, і тому запропонована схема може коливатися в більш високій частоті, ніж відома схема генератора на основі моста Віна ($K=3$) і фазового зсуву генератора ($K=29$). Також запропонована схема містить менше елементів. Пропускна здатність підсилення LF157A становить 20 МГц. Вихідна частота 8,7МГц. Змінюючи значення ємності C_k від 10 до 20 пФ вихідна частота змінюється від 8,7МГц до 4,7 МГц. Інший C-негатрон може бути використаний для розширення частотного діапазону.

Переваги схеми невелика кількість елементів і більш високий діапазон частот.

2.3 Комп'ютерне моделювання

В програмі MicroCap проведемо моделювання роботи схеми.

Дослідимо як впливає на частоту зміна ємності C_2 . Параметри зміни ємності вказані на рис. 2.4 (та представлена в додатку А рис. 11)

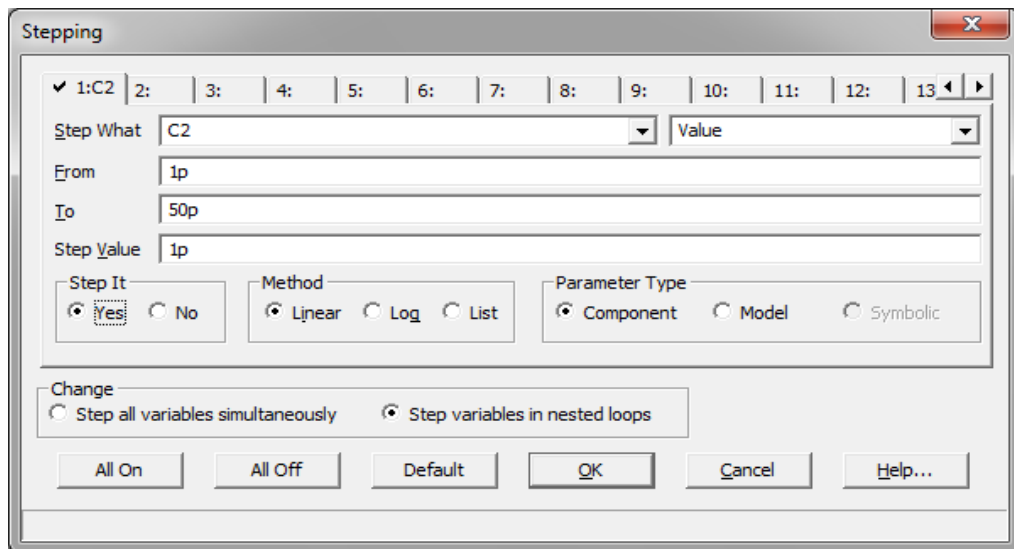


Рисунок 2.4 – Графік параметрів зміни ємності

Часова діаграма на виході для різних значень ємності показана рис. 2.5 (та представлена в додатку А рис.12)

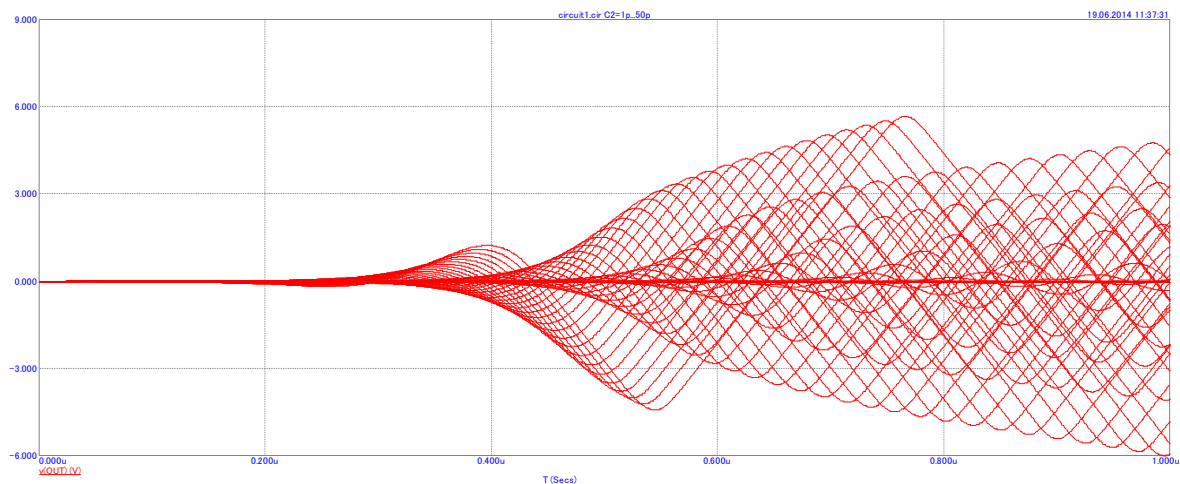


Рисунок 2.5 – Графік часової діаграми для різних значень ємності

З даної часової діаграми визначимо частоти для різних значень ємності. Графік залежності частоти від значення ємності зображений на рис. 2.6 (та представлена в додатку А рис.13)

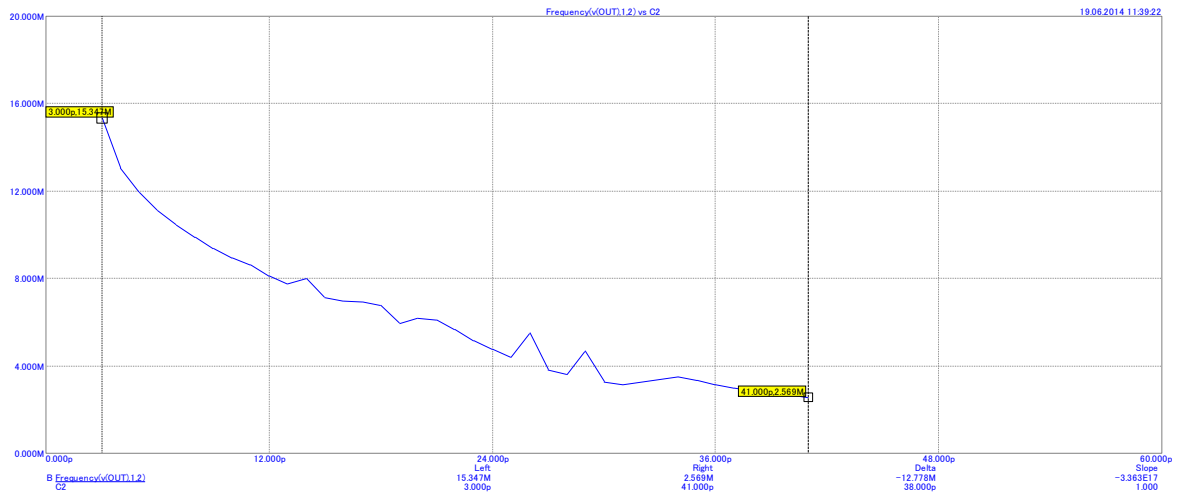


Рисунок 2.6 - Графік залежності частоти від значення ємності

З даного графіку видно, що якщо ємність становить 3 пФ, то частота генерації дорівнює 15 МГц, а якщо ємність 41 пФ, то частота генерації – 2,6МГц.

Дослідимо як впливає на частоту вихідного сигналу ємність С1. Використовуючи аналогічні діапазони значень, як і для ємності С2. Вихідний сигнал зображений на рис.2.7 (та представлена в додатку А рис.14)

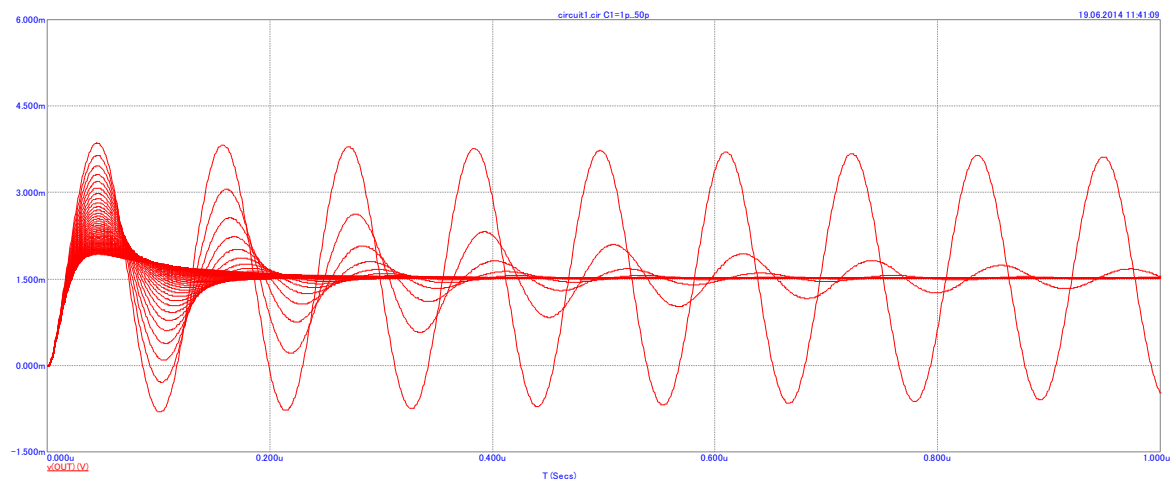


Рисунок 2.7 – Графік вихідного сигналу

З графіка видно, що ємність С1 становить 1пФ, то частота на виході – 8,8МГц, а якщо ємність 8пФ, то частота – 6,7МГц. При більших значеннях ємності генерація відсутня, так як не виконуються умови самозбудження.

Проведене комп'ютерне моделювання підтвердило правильність зроблених розрахунків і те, що схема генерує синусоїдальний сигнал на виході.

2.4 Експериментальні дослідження

Було розроблено схему генератора гармонічних коливань на основі конвертора імпедансу. Ця схема зображена на рис. 2.8:



Рисунок 2.8 – Схема генератора гармонічних коливань на основі конвертора імпедансу

При найбільшому значенні ємності синусоїда має такий вигляд:

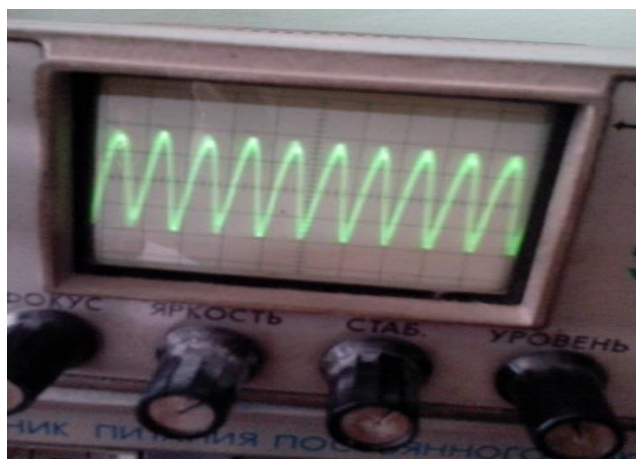


Рисунок 2.9 – Графік синусоїди при найбільшому значенні ємності

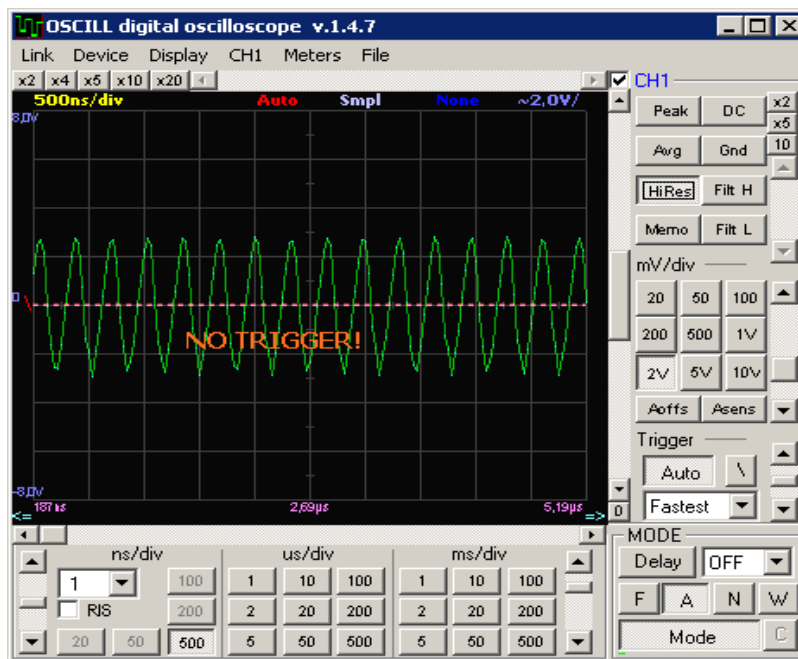


Рисунок 2.10 – Графік синусоїди при найбільшому значенні ємності на цифровому осцилографі

Частота синусоїди становить 3,08 МГц, розмах 5,75 В:



Рисунок 2.11 – Графік частоти синусоїди при значенні 3,08 МГц і розмахом 5,75 В

Спектр сигналу зображений на рис. 2.12. Коефіцієнт нелінійних спотворень 1,3%.

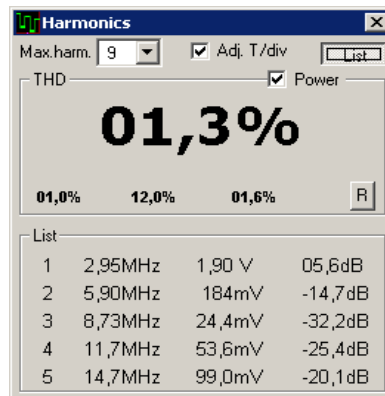
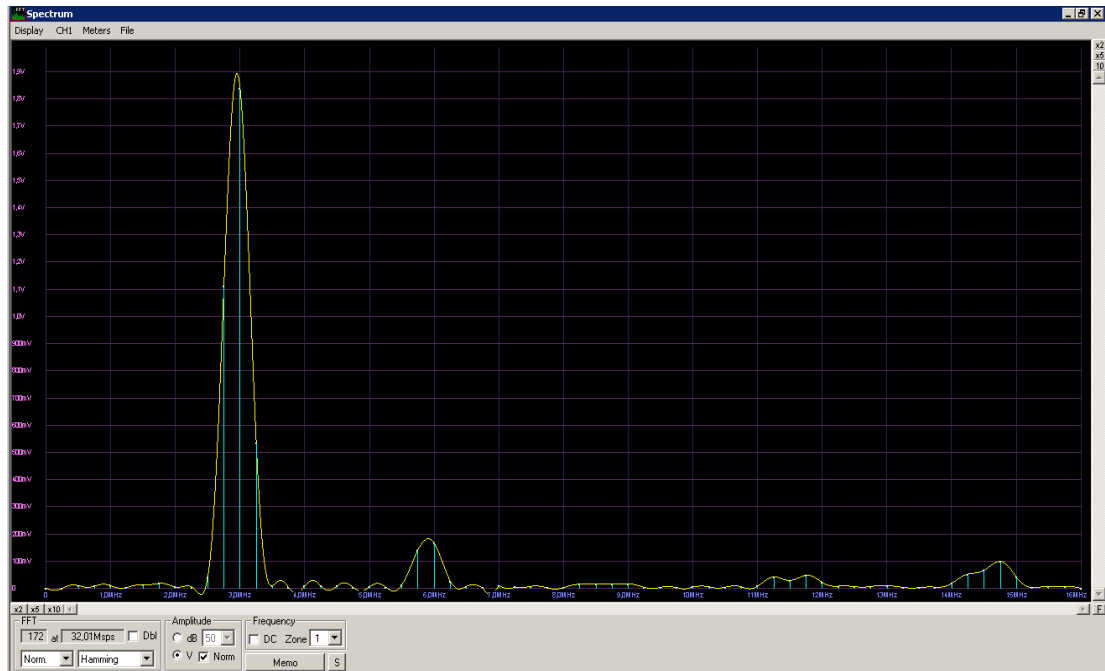


Рисунок 2.12 – Графік спектру сигналу

При найменшому значенні ємності синусоїда буде мати такий вигляд:

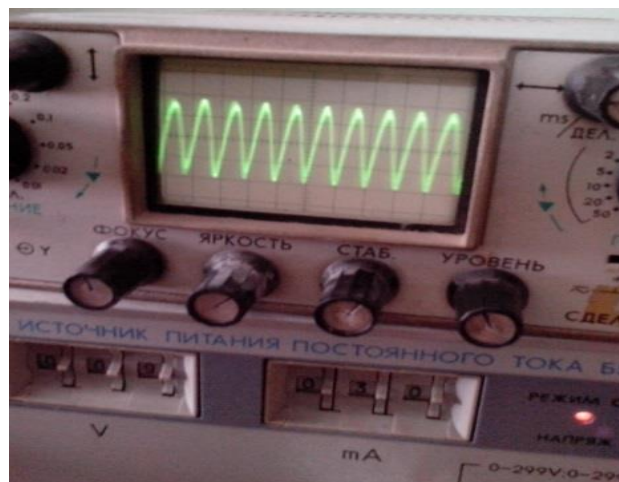


Рисунок 2.13 – Графік синусоїди при найменшому значенні ємності

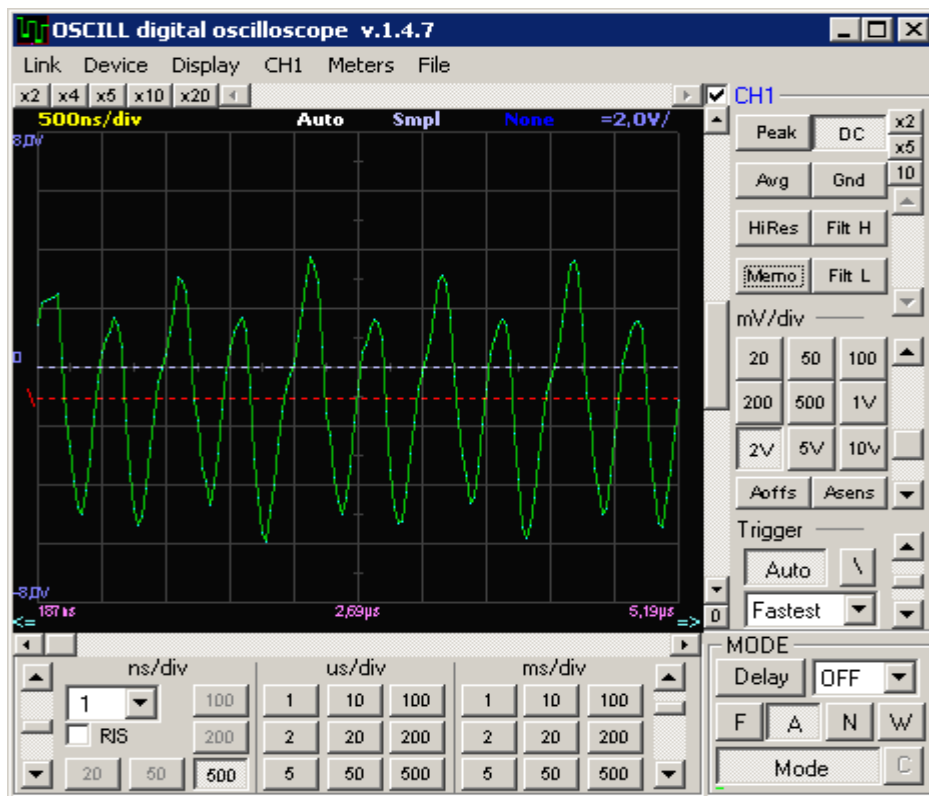


Рисунок 2.13 – Графік синусоїди при найменшому значенні ємності на цифровому осцилографі

Частота синусоїди становить 1,98 МГц, розмах 9,69 В:

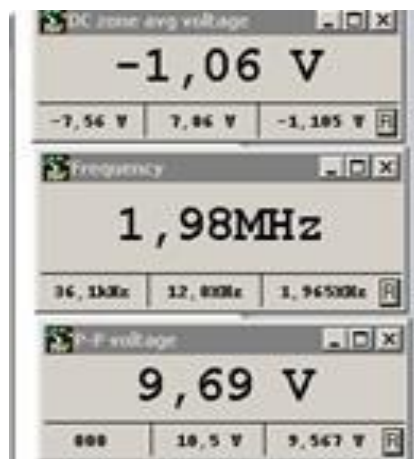


Рисунок 2.14 – Графік частоти синусоїди при значенні частоти 1,98 МГц і розмахом 9,69 В

Спектр сигналу зображений на рис. 2.15.

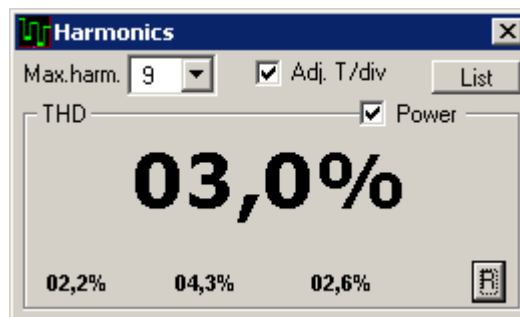
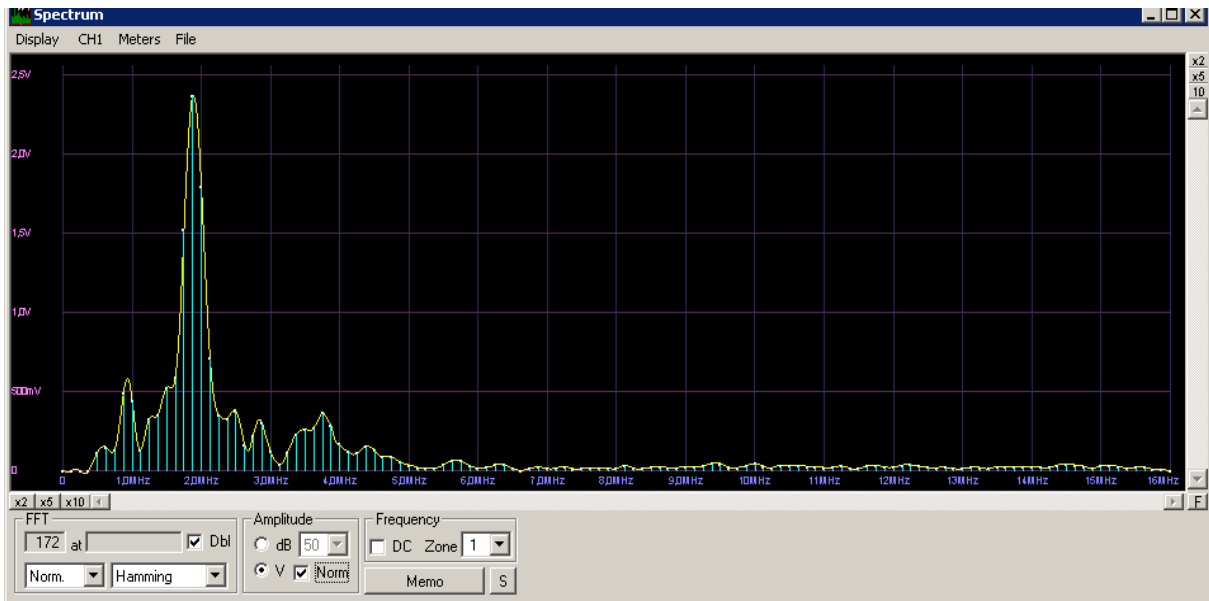


Рисунок 2.15 – Графік спектру сигналу

З усіх цих графіків видно, що наш прилад генерує синусоїдальний сигнал у відповідності до розробленої математичної моделі та проведеного комп'ютерного моделювання.

2.5 Критеріальне оцінювання ефективності генератора гармонічних коливань на операційному підсилювачі

Для початку визначаємо основні параметри генератора:

1. Максимальна частота генерації F_{\max} ;
2. Коефіцієнт переналаштування при зміні параметрів лише одного елемента $K_{\text{пер}}$;
3. Кількість елементів N .

Таблиця 2.1 – Параметри генератора

Генератор	F_{\max}	$K_{\text{пер}}$	N
Генератор з RC-колом	$1/29F_1$	5...10%	10
Генератор з мостом Віна	$1/3F_1$	5...10%	19
Генератор на основі конвертора імпедансу	$1/2F_1$	100	5

де F_1 – частота одиничного підсилення операційного підсилення.

Введемо критерії ефективності, значення яких мають бути нормованими і лежати в межах від 0 до 1 [14].

Критерії оцінювання ефективності:

1. Критерій оцінювання за частотою

$$K_F = \frac{F_{\max}}{F_1}$$

2. Критерій ефективності за переналаштуванням

$$K_{K_{\text{пер}}} = \frac{K_{\text{пер}_i}}{K_{\text{пер}_{\max}}}$$

3. Критерій ефективності за кількістю елементів

$$K_N = 1 - \frac{N_i}{N_{\max}}$$

Чим менше елементів в схемі, тим буде більша її надійність, кращі масогабаритні показники та менша вартість. Так як критерій має бути в межах від 0 до 1 (0 – означає найгірший випадок, а 1 – найкращий), тому в

даний критерій вводимо нормування по максимальній кількості елементів і віднімаємо від одиниці.

Визначаємо критерій ефективності за частотою

$$1) K_{F_1} = \frac{1/29F_1}{F_1} = 1/29,$$

$$2) K_{F_2} = \frac{1/3F_1}{F_1} = 1/3,$$

$$3) K_{F_3} = \frac{1/2F_1}{F_1} = 1/2.$$

Визначаємо критерій ефективності за переналаштуванням:

$$1) K_{nep_1} = \frac{5}{100} = 0,05,$$

$$2) K_{nep_2} = \frac{5}{100} = 0,05,$$

$$3) K_{nep_3} = \frac{100}{100} = 1.$$

Визначаємо критерій ефективності за кількістю елементів:

$$1) K_{N_1} = 1 - \frac{10}{19} = 0,47,$$

$$2) K_{N_2} = 1 - \frac{19}{19} = 0,$$

$$3) K_{N_3} = 1 - \frac{5}{19} = 0,74.$$

Таблиця 2.2 – Розрахунок критеріїв ефективності

Генератор	K_F	$K_{K_{пер}}$	K_N	E
Генератор з RC-колом	1/29	0,05	0,47	0,093
Генератор з мостом Віна	1/3	0,05	1	0,255
Генератор на основі конвертора імпедансу	1	1	0,74	0,718

Кожен з розглянутих критеріїв оцінює ефективність генераторів лише за одним показником, для оцінки за всіма показниками введемо інтегральний показник ефективності

$$E = \sqrt[3]{K_F \cdot K_{K_{пер}} \cdot K_N}.$$

Отже, інтегральний критерій ефективності для кожного генератора розраховується так

$$1) E_1 = \sqrt[3]{1/29 \cdot 0,05 \cdot 0,47} = 0,093,$$

$$2) E_2 = \sqrt[3]{1/3 \cdot 0,05 \cdot 1} = 0,255,$$

$$3) E_3 = \sqrt[3]{1 \cdot 1 \cdot 0,74} = 0,718.$$

Результати розрахунків інтегральних критеріїв зведено в табл.2.2. З одержаних розрахунків видно, що найкращу ефективність має генератор гармонічних коливань на основі конвертора імпедансу, тому що в ньому найменша кількість елементів, найбільша частота роботи та найбільший коефіцієнт пере-налаштування.

3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНО-КЕРОВАНОГО ГЕНЕРАТОРА ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ НА С-НЕГАТРОНІ

3.1 Розробка електрично-принципової схеми електрично-керованого генератора електричних сигналів на С-негатроні

Генератор, керований напругою, — це електронний генератор, який використовує напругу для керування частотою коливань. Частота коливань залежить від напруги, що подається, і генератор може живитися модульованим сигналом, що дозволяє фазову або частотну модуляцію; для генераторів, керованих напругою, з цифровими виходами, частота імпульсу може бути модульована або реалізована широтно-імпульсна модуляція (ШИМ). [41].

За вихідним сигналом генератори, керовані напругою, можна розділити на два типи:

- гармонічний осцилятор;
- релаксаційний осцилятор.

Гармонічні осцилятори створюють синусоїдальні сигнали. Вони включають підсилювачі та резонансні контури (які необхідні для повернення сигналу на вхід). Коливання відбуваються на налаштованій частоті, де в контурі виникає позитивний зворотний зв'язок.

Генератори релаксації можуть генерувати пилкоподібні або трикутні хвильові сигнали. Зазвичай вони використовуються в монолітних інтегральних схемах (ІС) і можуть забезпечувати широкий діапазон частот. Існує три методи побудови генератора з керуванням напругою, які найчастіше використовуються для реалізації в комплексних конструкціях:

- Генератори з пасивними резонаторами, що містять коливальні системи, кварцові резонатори, різні типи резонаторів, які визначають номінальну частоту генерованого сигналу та його якість;

- релаксаційний генератор, в якому відбувається поперемінна перезарядка, встановлюючи частоту конденсатора від джерела постійного струму між двома крайніми значеннями;

- Кільцевий генератор складається з непарної кількості асиметричних інверторів або парної/непарної кількості диференціальних інверторів, з'єднаних у кільцеву схему [42].

На рисунку 3.1 наведена схема генератора, побудованого на основі двох операційних підсилювачів [18] (та представлена в додатку А рис.16)

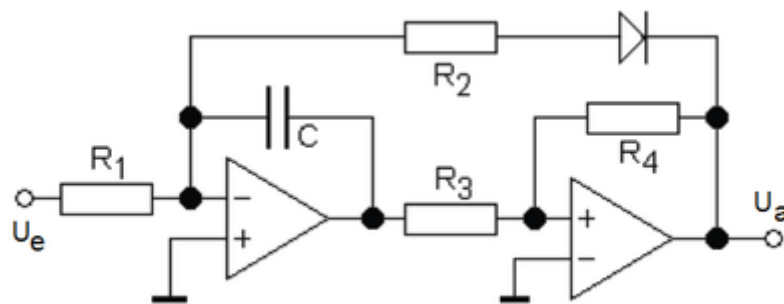


Рисунок 3.1 – Схема генератора побудована на двох операційних підсилювачах

В генераторів, що керовані напругою, виділяють такі параметри:

- діапазон частот реконструкції ГКН, який визначає діапазон частот вихідного сигналу генератора від мінімального значення (f_{min}) до максимального значення (f_{max});
- крутизна регулювання частоти ГКН відноситься до крутизни характеристики регулювання частоти, починаючи з напруги налаштування (вираженої в Гц/В). Вона вказує на те, наскільки зміниться вихідна частота при зміні керуючої напруги на одну одиницю;
- регулюючу поведінку ГКН по частоті, яка представлена графічно як залежність вихідної частоти ГКН від керуючої напруги;

- нелінійність регулювання частоти, що є відхиленням від лінійності характеристики зміни частоти ГКН, викликаним напругою регулювання;
- потужність вихідного сигналу ГКН залежить від частоти і визначається типом використовуваного генератора і елементною базою;
- відхилення від номінального значення вихідної потужності НКН, яке є різницею (вираженою в дБ) між максимальним і мінімальним рівнями потужності вихідного сигналу НКН на навантаженні 50 Ом при даній температурі як функція частоти;
- залежність вихідної потужності від температури, яка являє собою зміну потужності основного гармонічного сигналу на виході ГКН з температурою;
- залежність частоти від температури, зміна частоти ГКН від температури при відновленій постійній напрузі;
- швидкість налаштування частоти (час процесу переходу ГКН), який є часом, необхідним для встановлення початкової частоти ГКН на 90% від її кінцевого значення після початку налаштування частоти ГКН;
- ширина смуги модуляції відноситься до частоти сигналу модуляції, коли відхилення частоти зменшується від постійного значення до 0,707. Зазвичай це залежить від загального опору джерела сигналу модуляції, з типовим значенням 50 Ом;
- залишкове відхилення ГКН, при стрибкоподібній зміні регулюючої напруги ГКН перебудовується з початкової частоти f_1 на кінцеву частоту f_2 . При цьому частота f_2 через деякий час буде встановлена на необхідне значення Залишкове відхилення ГКН – це відхилення частоти від кінцевого значення протягом певного часу після зміни напруги;
- відхилення частоти ГКН - це відхилення між частотою і кінцевим значенням протягом певного часу після стрибкоподібної зміни регульованої напруги;

- відхилення частоти НКН при зміні температури - це зміна частоти НКН від температури при постійній напрузі регулювання;
- частотна затримка – це відхилення вихідної частоти гармати від її номінального значення, викликане зміною її вихідного навантаження;
- зсув частоти - це зміна вихідної частоти гармати під зовнішнім впливом, за винятком зміни навантаження генератора, при постійній установці напруги;
- коефіцієнт гармонік вихідної напруги ГКН - рівень гармонійної складової вихідного сигналу;
- фазовий шум, який вимірюється в діапазоні 1 Гц і пов'язаний з потужністю несучої частоти при певному зсуві частоти або перешкод.

3.2 Розробка математичної моделі електрично-керованого генератора на С-негатроні

Варактор — напівпровідниковий компонент, конденсатор змінної ємності з електронним керуванням [44].

Принцип роботи варактора заснований на властивості електронно-діркового переходу (р-п переходу), який змінює свою товщину в залежності від прикладеної напруги. Зміни товщини викликають зміни ємності замкнутого переходу, явище, яке використовується для створення конденсаторів змінної ємності. Варактор працює за рахунок зворотної напруги, підключеної до р-п-переходу. Потужності сильно відрізняються [45].

Принцип роботи варакторного діода заснований на характеристиках бар'єрної ємності р-п переходу. При збільшенні зворотної напруги на переході його ємність зменшується. Цей конденсатор має відносно високий коефіцієнт добротності, низький рівень власного шуму та не залежить від частоти в міліметровому діапазоні. Теоретичне значення ємності варактора діода можна визначити за формулою (5.1).

$$C = C_0 \sqrt{1 - \frac{U_{\text{в}}}{\varphi_{\text{к}}}} \quad (3.1)$$

де C_0 – початкова ємність варикапа (при $U_{\text{в}} = 0$), $U_{\text{в}}$ - напруга на варикапі, $\varphi_{\text{к}}$ – контактна різниця потенціалів. Приклад залежності ємності варикапа від напруги (вольт-фарадна характеристика) наведено на рис. 3.2 (та представлена в додатку А рис.17)

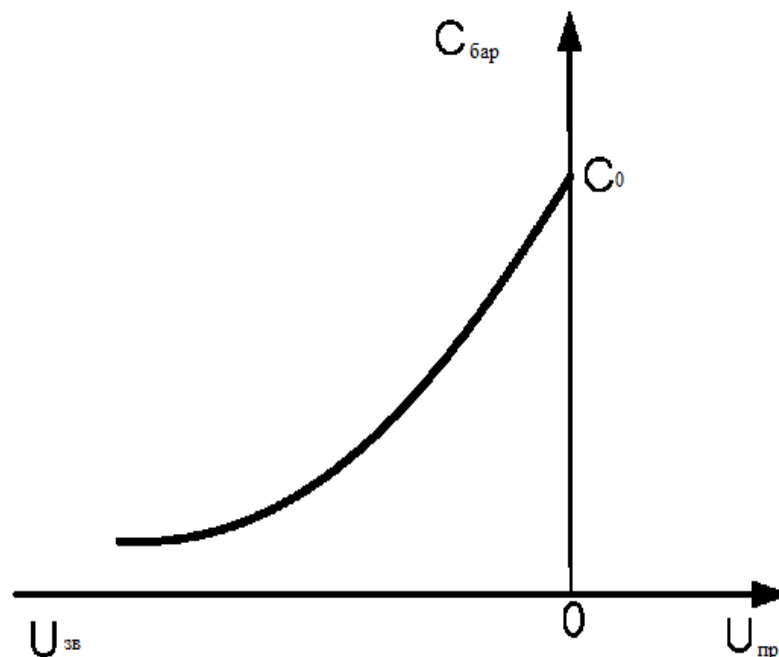


Рисунок 3.2 – Залежність ємності варикапа від зворотної напруги

На операційному підсилювачі виконаний перетворювач від'ємного опору, який перетворює додатню ємність 20пФ у від'ємну -20пФ. Резистори R1, R2, R3 визначають коефіцієнт перетворення. Якщо вони однакові, то коефіцієнт перетворення -1. До від'ємної ємності -20пФ під'єднана змінна ємність, змінюючи яку, змінюється загальна ємність схеми визначається виразом (3.2):

$$C_{\Sigma} = C_1 + C^{-}. \quad (3.2)$$

Ця сумарна ємність разом із ємністю варикапа утворюють частоту задавального кола.

Частота генерації сигналу визначається виразом (3.3):

$$f = \frac{1}{2\pi R \left(C_0 \sqrt{1 - \frac{U_g}{\varphi_k}} + C^{(-)} \right)} \quad (3.3)$$

Частота електрично-керуємого генератора змінюється від 233,5 кГц до 43 кГц. Коефіцієнт переналаштування генератора знаходимо з виразу (3.4)

$$K = \frac{f_1}{f_2} \quad (3.4)$$

Тоді, підставляємо значення у формулу і отримаємо коефіцієнт переналаштування

$$K = \frac{233,5}{43} = 5.$$

Дана схема генератора керованого напругою має приблизно в 2 рази більший коефіцієнт переналаштування за рахунок використання від'ємної ємності С-негатрона.

3.3 Комп'ютерне моделювання

В програмі MicroCap проведемо моделювання роботи схеми. Часова діаграма сигналу на виході показана в додатках на рис. 10.

Дослідимо як впливає на частоту зміна напруги U3. Параметри зміни напруги вказані на рис.3.3 (та представлена в додатку А рис.18)

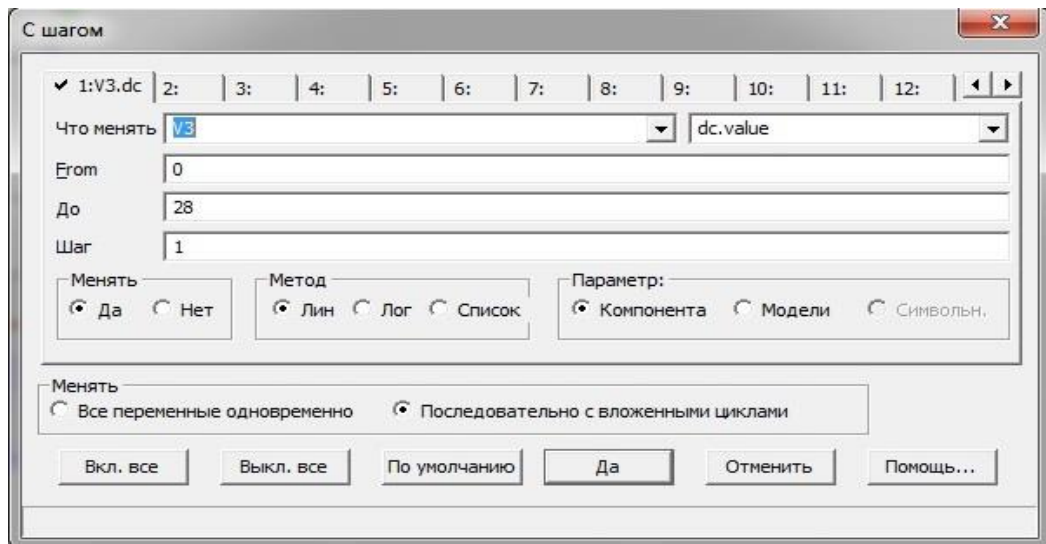


Рисунок 3.3 – Графік параметрів зміни напруги

Зміна напруги від 0В до 20В з шагом 1В. Графік часової діаграми вихідного сигналу для різних напруг показаний на рис. 3.4 (та представлена в додатку А рис.19)

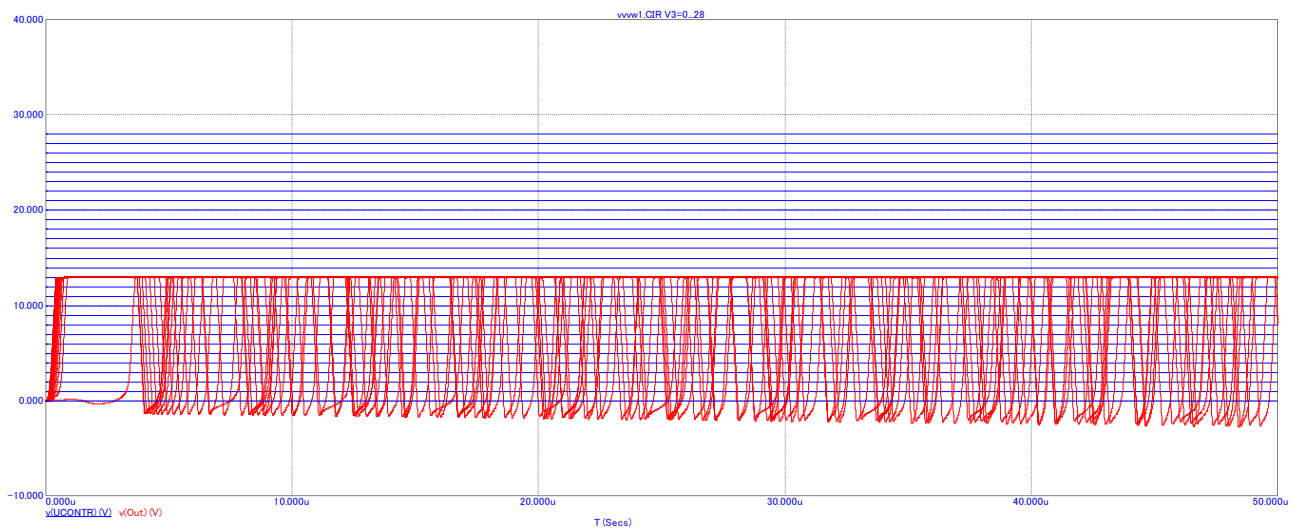


Рисунок 3.4 – Графік часової діаграми вихідного сигналу

З графіку видно, що при напрузі 0В, частота складає 233,5 кГц, а при напрузі 20 В, частота – 43 кГц. Проведене комп'ютерне моделювання підтвердило правильність зроблених розрахунків.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

4.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу»

можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

У вимірjuвальній, телекомунікаційній, радіолокаційній техніці, радіопередавальних та радіоприймальних пристроях часто виникає потреба генерувати не тільки гармонічні коливання зі строго визначеними параметрами, а і коливання більш складної форми, у тому числі випадкові некорельовані і корельовано процеси, суміші сигналів. Гармонічні коливання зручно формувати методом прямого цифрового синтезу. Генератори, що реалізують цей метод, надають можливість цифровими кодами змінювати у великому діапазоні і з високою точністю частоту коливань. У них практично відсутні перехідні процеси встановлення амплітуди, частоти, фази. Стабільність частоти визначається стабільністю кварцового генератора.

Доповнення генератора додатковими вузлами дозволяє отримати пристрої, що формують процеси більш складної форми, без втрат позитивних якостей.

Дослідження в цьому напрямку базуються на використанні нелінійних і реактивних властивостей напівпровідникових приладів із від'ємним диференційним опором, а саме від'ємних значень основних диференційних параметрів – від'ємного активного опору, від'ємної ємності. В зв'язку з цим відкриваються нові можливості проектування та реалізації високоефективних інформаційних пристроїв телекомунікацій, придатних для виготовлення в інтегральному вигляді, що забезпечить їх широке застосування в різних системах.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	52	54	53
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	0	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		53,0		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше

пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 4.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	0	65	0
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	56	0	59
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	60,0		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [28]

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (4.1)$$

де $k_{нов}$, $k_{теор}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{нов} = 53,0$, $k_{теор} = 60,0$ балів;

$0,6$ та $0,4$ – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор} = 0,6 \cdot 53,0 + 0,4 \cdot 60,00 = 55,80 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{нау}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу», даний рівень становить 55,80 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [28]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, (грн.);

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=21$ дні.

$$Z_o = 12410,00 \cdot 28 / 21 = 16546,67 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник НДР	12410,00	590,95	28	16546,67
Науковий співробітник	11740,00	559,05	28	15653,33
Інженер-радіотехнік 1-ї категорії	11520,00	548,57	18	9874,29
Інженер-дослідник РЕА	11400,00	542,86	21	11400,00

Продовження таблиці 4.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Провідний фахівець	7800,00	371,43	18	6685,71
Всього				60160,00

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу» розраховуємо за формулою

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, (грн/год.);

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=6700,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [28];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,35 \cdot 1,35 / (21 \cdot 8) = 72,68 \text{ (грн.)}$$

$$Z_{pl} = 72,68 \cdot 6,50 = 472,44 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Установка обчислювального обладнання для проведення досліджень	6,50	3	1,35	72,68	472,44
Підготовка робочого місця інженера-дослідника	6,80	3	1,35	72,68	494,24
Інсталяція програмного забезпечення для моделювання та розробки	4,50	4	1,50	80,76	363,42
Контроль вхідних компонентів	2,10	5	1,70	91,53	192,21
Монтаж експериментальної моделі	5,80	5	1,70	91,53	530,86
Контроль ходу експериментів	8,30	4	1,50	80,76	670,30
Вимірювання параметрів	12,30	4	1,50	80,76	993,33
Всього					3716,80

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 12%.

$$Z_{\text{доо}} = (60160,00 + 3716,80) \cdot 12 / 100\% = 7665,22 \text{ (грн.)}$$

4.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доо}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (4.6)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (60160,00 + 3716,80 + 7665,22) \cdot 22 / 100\% = 15739,24 \text{ (грн.)}$$

4.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{в}j}, \quad (4.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, (грн/кг.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

$C_{\text{в}j}$ – вартість відходів j -го найменування, (грн/кг.)

$$M_1 = 3,0 \cdot 268,00 \cdot 1,05 - 0 \cdot 0 = 844,20 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Офісний папір ULTRA FAXE-500 A4	268,00	3,0	0	0	844,20
Папір для записів FAXE 70 A5-250	95,00	4,0	0	0	399,00
Органайзер офісний OFFICE 100	220,00	3,0	0	0	693,00
Набір офісний DATUM X-2	250,00	4,0	0	0	1050,00
Картридж для принтера HP-2100	2820,00	2,0	0	0	5922,00
Диск оптичний OPTIMA CD	20,00	2,0	0	0	42,00
Flesh-пам'ять GOODRAM 64 C10A	560,00	1,0	0	0	588,00

Продовження таблиці 4.6 – Витрати на матеріали

Флюс	320,00	0,0050	0	0	1,68
Припій ПОС-61	640,00	0,0030	0	0	2,02
Спирт етиловий	360,00	0,1000	0	0	37,80
Пластини сталі	32,00	0,0500	0	0	1,68
Всього					9581,38

4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, (грн.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_e = 1 \cdot 280,00 \cdot 1,1 = 308,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Плата макетна	1	280,00	308,00
Операційний підсилювач	1	184,50	202,95
Транзистор	2	82,00	180,40
Резистор	3	8,30	27,39
Конденсатор керамічний	2	27,50	60,50
Діоди	3	14,30	47,19
Корпус	1	245,00	269,50
Всього			1095,93

4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, (грн.);

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 6800,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 7480,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Блок живлення універсальний лабораторний	1	6800,00	7480,00
Генератор сигналів	1	12340,00	13574,00
Генератор кварцевий	1	4120,00	4532,00
Частотомір	1	8920,00	9812,00
Осцилограф цифровий	1	10100,00	11110,00
Всього			46508,00

4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inprz} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де C_{inprz} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{npz.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npz} = 8300,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 8715,00 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Прикладний пакет проектування РЕА	1	8300,00	8715,00
Прикладний пакет обробки даних Statistica	1	7500,00	7875,00
Всього			16590,00

4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{е}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де $Ц_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{е}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (54200,00 \cdot 2) / (3 \cdot 12) = 3011,11 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Обчислювальний комплекс	54200,00	3	2	3011,11
Обчислювально-графічна система моделювання	28600,00	3	2	1588,89
Робоче місце дослідника	9350,00	5	2	311,67
Пристрій обміну даними	8320,00	4	2	346,67
Блок живлення універсальний лабораторний	7480,00	5	2	249,33

Продовження таблиці 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Генератор сигналів	13574,00	4	2	565,58
Генератор кварцевий	4532,00	5	2	151,07
Частотомір	9812,00	5	2	327,07
Осцилограф цифровий	11110,00	5	2	370,33
Дослідна лабораторія	375000,00	20	2	3125,00
Всього				10046,72

4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{\text{вн}i}}{\eta_i}, \quad (4.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, (грн.); (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,50$ (грн.);

$K_{\text{вн}i}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{\text{вн}i} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,45 \cdot 200,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 675,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Обчислювальний комплекс	0,45	200,0	675,00
Обчислювально-графічна система моделювання	0,35	200,0	525,00
Робоче місце дослідника	0,05	200,0	75,00
Пристрій обміну даними	0,03	12,0	2,70
Блок живлення універсальний лабораторний	0,45	110,0	371,25
Генератор сигналів	0,10	110,0	82,50
Генератор кварцевий	0,06	85,0	38,25
Частотомір	0,10	110,00	82,50
Осцилограф цифровий	0,220	85,0	140,25
Всього			1992,45

4.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.13)$$

де H_{cb} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо $H_{cb} = 20\%$.

$$B_{cb} = (60160,00 + 3716,80) \cdot 20 / 100\% = 12775,36 \text{ (грн.)}$$

4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», приймемо $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (60160,00 + 3716,80) \cdot 30 / 100\% = 19163,04 \text{ (грн.)}$$

4.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_s = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ig}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{ib} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ib} = 50\%$.

$$I_e = (60160,00 + 3716,80) \cdot 50 / 100\% = 31938,40 \text{ (грн.)}$$

4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (60160,00 + 3716,80) \cdot 100 / 100\% = 63876,80 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{одд} + Z_n + M + K_e + B_{слец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_e + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{\text{заг}} = 60160,00 + 3716,80 + 7665,22 + 15739,24 + 9581,38 + 1095,93 + 46508,00 + 16590,00 + 10046,72 + 1992,45 + 12775,36 + 19163,04 + 31938,40 + 63876,80 = 300849,32 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ЗВ = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (4.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,9$.

$$ЗВ = 300849,32 / 0,9 = 334277,02 \text{ (грн.)}$$

4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t}, \quad (4.19)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I = 3$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n = 2$;

T_c – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_c = 3$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Прийmemo $R = 4$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B = 334277,02$ (грн.);

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t = 0,17$ років, (2 міс.).

Визначення показників I , n , T_c , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [28].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t} = \frac{3^2 \cdot 3 \cdot 4}{334,3 \cdot 0,17} = 1,94.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

4.4 Висновок до розділу

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу» складають 334277,02 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Генератор

електричних сигналів на основі конвертора імпедансу» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Відповідно до Конституції України, життя людини є найвищою цінністю у нашій країні. Збереження життя і здоров'я фактично є пріоритетним напрямком розвитку будь-якої держави і головним гарантом її ефективного функціонування. Україні в даному питанні, на жаль, відстає, тому корисним заходом для покращення стандартів охорони праці в нашій країні є вивчення та запозичення вдалого міжнародного досвіду. Причинами суттєвих економічних втрат є, перш за все, шкідливі та небезпечні умови праці. Кількість осіб, зайнятих на роботах зі шкідливими та небезпечними умовами виробництва, а відповідно й економічні втрати підприємств (компенсаційні виплати) в основних галузях промисловості неухильно зростають. Саме тому роботодавцям важливо усвідомити необхідність належного забезпечення безпеки праці та реалізації практичних засобів захисту учасників трудового колективу від різних небезпек та загроз.

На працівника під час розробки генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу можуть мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори (згідно Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу») [29]:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони; відсутність чи нестача природного освітлення.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження; розумове перевантаження; емоційні перевантаження.

Відповідно до визначених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

5.1 Технічні рішення з безпечного виконання роботи

5.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Оскільки розробка генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу проводилася із використанням ПК та відповідного програмного забезпечення, тому обладнання приміщення та робочого місця працівника повинно враховувати специфіку цієї роботи. Робоче місце має бути організоване таким чином, щоб забезпечити комфорт і продуктивність праці, а також для збереження здоров'я розробника під час тривалої роботи з комп'ютером.

Розглянемо основні вимоги щодо організації робочого місця, зважаючи на особливості виконання роботи. Площа приміщення повинна бути не менше 6,0 м² на 1 робоче місце; робочі місця повинні бути розташовані на відстані не менше ніж 1 м від стіни з вікном, і 1,4 м від звичайної стіни; відстань між бічними поверхнями комп'ютерів має бути не меншою за 1,2 м; відстань між тильною поверхнею одного комп'ютера та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5м.

Відповідні робочі місця заборонено облаштовувати у підвальних або цокольних приміщеннях будинків. В обладнанні приміщень забороняється використання полімерних матеріалів (деревинно-стружкові плити, шпалери, що миються, рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик тощо), що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини. Покриття підлоги повинно бути матовим, а поверхня – рівною, неслизькою, з антистатичними властивостями.

Особливу увагу необхідно приділити колірній гармонії приміщень. Колір є засобом створення психологічного комфорту та підвищення

продуктивності праці. Найбільш сприятливі для нервової системи світлі, пастельні тони – зеленувато-блакитний, ясно-сірий, золотавий. Яскраві, контрастні поєднання (синій і жовтогарячий, червоний і фіолетовий) викликають втому, роздратування. У приміщеннях, де здійснюється робота з комп'ютерами, щодня має проводитися вологе прибирання з метою недопущення запиленості підлоги та меблів. Крім того, має бути обладнана кімната психологічного розвантаження.

Конструкція робочого столу та крісла користувача персонального комп'ютера має забезпечити підтримання оптимальної робочої пози та забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури, принтера) і документів. Достатній простір для працівника забезпечується наступними заходами:

- вільну досяжність органів ручного керування в зоні моторного поля (відстань по висоті - 900-1330 мм, по глибині - 400-500 мм);
- екран монітора ПК повинен знаходитися від очей оператора (користувача) ПК на відстані 600 - 700 мм;
- клавіатура повинна розміщуватися так, щоб на ній було зручно виконувати роботу двома руками. Кут нахилу до панелі клавіатури повинен бути в межах від 5 до 25°;
- принтер повинен бути розташований у зручному для оператора – відстань до клавіш керування принтером не перевищувала довжину витягнутої руки;
- висота робочої поверхні стола – 725 мм;
- робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 450 мм, на рівні витягнутих ніг – не менше 650 мм.

5.1.2 Електробезпека приміщення

Усе наявне в приміщенні обладнання, ПК, спеціальні периферійні пристрої ПК та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження

ПК з якими працює розробник відповідають вимогам чинних в Україні стандартів та нормативних актів з охорони праці (НПАОП 0.00-7.15-18, ДСанПіН 3.3.2.007-98) [30].

По небезпеці ураження електричним струмом приміщення, де відбувалася розробка генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу відноситься до категорії без підвищеної небезпеки, оскільки є сухим, в ньому нема підвищених температур, підвищеної вологості, підлога вкрита струмонепровідним матеріалом.

Лінія електромережі для живлення ПК, периферійних пристроїв та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ПК виконана як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів і прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення

Оскільки у приміщенні експлуатується більше п'яти ПК, на помітному та доступному місці встановлено аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;
- застосування саморобних продовжувачів, які не відповідають вимогам ПУЕ до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

– використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

До основних показників мікроклімату повітря робочої зони відносяться температура (t , $^{\circ}$ C), відносна вологість (%), швидкість руху повітря (м/сек.). На параметри мікроклімату та стан людського організму також впливає інтенсивність теплового випромінювання різних нагрітих поверхонь, температура яких перевищує температуру у виробничому приміщенні. Тривала дія на організм людини несприятливих метеорологічних умов погіршує самопочуття, знижує продуктивність праці і часто призводить до різних захворювань і порушень стану здоров'я.

Робота розробника за енерговитратами відноситься до категорії 1а Нормується мікроклімат на робочому місці розробника згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.5.1 [31].

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	$t, ^{\circ}\text{C}$	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення комфортних умов передбачено систему кондиціонування повітря з можливістю індивідуального налаштування температури. Також встановлена система центрального опалення для підтримки оптимальних температурних умов. Крім того, здійснюється

регулярне вологе прибирання, щоб забезпечити видалення пилу з робочої поверхні та підлоги.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забезпечення чистоти повітря робочої зони є важливим аспектом охорони праці. Повітря робочої зони може містити шкідливі речовини, такі як пил, вихлопні гази, хімічні пари тощо. Ці речовини можуть викликати різні захворювання, такі як алергії, астма, рак тощо. Критерієм ступеня чистоти повітряного середовища закритих приміщень служить вміст вуглекислого газу. Вміст 1-2% вуглекислого газу в повітрі не може завдати шкоди організмові, однак він є досить чутливим непрямим показником забруднення повітря приміщень, оскільки зі збільшенням його вмісту спостерігається збільшення у повітрі таких токсичних речовин, як індол, меркаптан та ін. Зменшення вмісту кисню до 9% призводить до кисневого голоду тканин організму (аноксемії), втрати свідомості. При зростанні вмісту азоту до 83% відчувається задуха, а при 93% настає смерть від нестачі кисню

В приміщенні, де здійснюється розробка генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу, можливими шкідливими речовинами у повітрі є пил, озон та вуглекислий газ. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2 [32].

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	10	4	4
Озон	0,16	0,03	4
Вуглекислий газ	3	1	4

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.5.3).

Таблиця 5.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

5.2.3 Виробниче освітлення

Досить важливим є дотримання вимог до освітлення приміщень, оскільки тривала робота за комп'ютером та з документами при недостатньому рівні освітленості може призвести до значного перенапруження зору. Для регулювання рівня освітлення природним світлом бажано застосовувати жалюзі. Робоче місце, обладнане ПК повинно бути розташоване так, щоб уникнути попадання в очі прямого сонячного світла. Штучне освітлення приміщення має бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. Застосування світильників без розсіювачів та екрануючих сіток забороняється.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та сумісному освітленні для умов виконання роботи зазначені у таблиці 5.4 [34]:

Таблиця 5.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО,			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високі точності	0,3 - 0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Штучне освітлення в приміщенні, де здійснювалася розробка генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу, здійснюється системою загального рівномірного освітлення. За необхідності, допускається застосування системи комбінованого освітлення (крім системи загального освітлення додатково встановлюються світильники місцевого освітлення). Як джерела світла в разі штучного освітлення застосовуються люмінесцентні лампи.

Для забезпечення достатнього освітлення слід максимально використовувати бічне природного освітлення, систематично очищувати скло від бруду та систематично замінювати перегорілі лампи.

5.2.4 Виробничий шум

Виробничий шум має несприятливий для людини вплив, особливо при тривалій дії. В працівників це виражається в зниженні працездатності (наприклад, швидкість обробки тексту зменшується на 10-15%), у прискоренні розвитку зорового стомлення, зміну відчуття кольору, підвищенні витрати енергії (на 17%). Тривалий та інтенсивний шум значно знижує продуктивність праці і призводить до зростання кількості помилок у роботі. У приміщенні, де здійснювалася розробка генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу шум може створюватися телефонними дзвінками та розмовами, системними блоками та клавіатурою ПК. Так само джерелами шуму можуть бути системи кондиціонування та вентилявання повітря, існують і зовнішні джерела шуму (наприклад, працюють агрегати на вулиці).

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відображені в ДСН 3.3.6.037-99. Допустимі рівні звукового тиску для умов виконання роботи наведені в таблиці 5.5 [36].

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно забезпечити звукоізоляцію та дотримання раціональних режимів роботи та відпочинку.

5.2.5 Виробничі випромінювання

Ступінь біологічного впливу електромагнітних полів на організм людини залежить від частоти коливань, напруженості та інтенсивності поля, тривалості його впливу. Найбільшу небезпеку для організму становить тривале випромінювання впродовж декількох років. Унаслідок дії електромагнітних полів можливі як гострі, так і хронічні ураження, порушення в системах і органах, функціональні зсуви в діяльності нервово-психічної, серцево-судинної, ендокринної, кровотворної та інших систем організму людини. Зазвичай зміни у діяльності нервової та серцево-судинної системах зворотні, і хоча вони накопичуються і посилюються з часом, але, як правило, зменшуються та зникають при виключенні впливу і поліпшенні умов праці. Тривалий та інтенсивний вплив електромагнітних полів призводить до стійких порушень і захворювань.

Відповідно до стандартів, електромагнітне випромінювання на робочому місці розробника повинне бути виміряне в діапазоні частот від 5 Гц до 400 кГц. Гранично допустимі рівні електромагнітного поля для працівника становлять наведені в таблиці 5.6 [37].

Таблиця 5.6 - Допустимі параметри електромагнітних неіонізуючих випромінювань і електростатистичного поля

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії, Вт/кв.м
	за електричною складовою (E), В/м	за магнітною складовою (H), А/м	
Напруженість електромагнітного поля 60 кГц до 3 мГц	50	5	
Напруженість електромагнітного поля 3 кГц до 30 мГц	20		
Напруженість електромагнітного поля 30 кГц до 50 мГц	10	0,3	

Продовження таблиці 5.6 - Допустимі параметри електромагнітних неіонізуючих випромінювань і електростатистичного поля

Напруженість електромагнітного поля 30 кГц до 300 мГц 5	5		
Напруженість електромагнітного поля 300 кГц до 300 гГц			10Вт/кв. м
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-С (220 -280 нм)			0,001
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-В (280-320 нм)			0,01
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-А (320 - 400 нм)			10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в видимій частині спектру 400 — 760 нм			10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в інфрачервоній частині спектру 0,76 — 10,0 мкм			35,0 — 70,0
Напруженість електричного поля відеодисплейного терміналу			20кВ/м

Для обмеження впливу ЕМП на працівника слід використовувати лише якісну техніку із сертифікатом якості. Для забезпечення безпеки розробника необхідно дотримуватися вимог НПАОП 0.00-7.15-18 [38] та встановленого режиму часу під час роботи з ПК.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

До небезпечних психофізіологічних та шкідливих виробничих чинників належать фізичні (статичні, динамічні та гіподинамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове, зорове, емоційне). Праця розробника генератора

електричних сигналів на основі конвертора імпедансу характеризується тривалою багатогодинною (8 год і більше) працею в одноманітному напруженому положенні, малою руховою активністю при значних локальних динамічних навантаженнях. Робоче положення «сидячи» супроводжується статичним навантаженням значної кількості м'язів ніг, плечей, шиї та рук. В результаті, виникають больові відчуття в руках, шиї, верхній частині ніг, спині та плечових суглобах

Оцінка психофізіологічних факторів під час розробки генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу здійснюється відповідно до Гігієнічної класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

Робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни;

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – творча діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму;

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 5-75%;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) – 4-6год.

Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 16 до 20.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Режим праці:

Тривалість робочого дня – 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

За зазначеними показниками важкості та напруженості праці, робота, яка виконується належить до допустимого класу умов праці (напруженість праці середнього ступеня).

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи РЕС генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу в умовах дії загрозливих факторів НС

5.3.1 Дія радіації на стійкість роботи об'єктів господарської діяльності

Головним об'єктом ядерних досліджень є структура атома. Ядра всіх атомів складаються з дрібних частинок – протонів і нейтронів, які міцно з'єднані одна з одною. Число протонів суворо визначено, а кількість нейтронів у ядрі може бути різною у атомів одного хімічного елемента. Тому можуть існувати різновиди атомів одного й того ж елемента, які відрізняються один від одного масою. Такі атоми називаються ізотопами елемента. Для більшості ізотопів характерна радіоактивність, яка може бути природною і штучною. Природна радіоактивність – це довільний розпад ядер елементів у природному стані. Штучна радіоактивність викликається людиною в лабораторіях, на реакторах АЕС, тощо.

Під час радіоактивного розпаду з ядра виділяється величезна кількість енергії у вигляді іонізуючих випромінювань. Розрізняють кілька видів

іонізуючого випромінювання. Гамма-випромінювання (γ) є найнебезпечнішим джерелом енергії, воно проникає у повітрі на відстань сотень метрів. Бета-випромінювання (β) проникає в повітрі на відстань кількох метрів, а в живих тканинах кількох міліметрів. Альфа-частинки мають найкоротший радіус дії (кілька сантиметрів у повітрі, 0,1 мм у тканинах), а тому небезпечні лише у разі безпосереднього контакту з слизовими оболонками.

В залежності від виду випромінювання, дози радіації, природи опромінюваної речовини та умов навколишнього середовища в значній мірі залежить дія радіації на об'єкти господарської діяльності.

Критерієм стійкості роботи об'єкта в умовах дії радіації може бути допустима доза радіації, яку можуть отримати робітники і службовці за час роботи зміни в конкретних умовах.

Оскільки умови роботи в різних цехах можуть відрізнятись, то при оцінці стійкості розраховуються дози опромінення для кожної групи робітників і службовців, які знаходяться в однакових умовах.

Якщо при цьому з'ясується, що люди можуть отримати дозу опромінення більше допустимої (встановленої), об'єкт вважається нестійким до радіації.

Для зниження рівня забруднення радіоактивними речовинами використовують дезактивацію.

5.3.2 Оцінка безпеки роботи РЕС приладу в умовах дії іонізуючих випромінювань

Вихідні дані: $K_{\text{посл}}=4$.

Проводимо аналіз приладу і визначаємо радіоелектронні елементи, від яких залежить її функціонування: діоди, резистори, конденсатори, напівпровідники, мікросхеми, інтегральні схеми, діелектрики.

Визначаємо максимально допустимі рівні радіації, при яких в елементах можуть виникнути незворотні зміни [39]. Дані заносимо в таблицю 5.7.

Проаналізувавши дані, визначаємо межу стійкості $P_{гр}$ роботи РЕС, враховуючи коефіцієнт послаблення радіації

$$P_{гр}=10^4 \cdot K_{посл}=10^4 \cdot 4=40000 \text{ P/c.}$$

Таблиця 5.7 – Максимально допустимі рівні радіації елементів РЕС

№	Елементи РЕС	$P_{гpi}$, P/c	$P_{гр}$, P/c
1	Діоди	10^5	10 ⁴
2	Резистори	10^6	
3	Конденсатори	10^6	
4	Напівпровідники	-	
5	Мікросхеми	10^4	
6	Інтегральні схеми	10^5	
7	Діелектрики	10^4	

Так як межа стійкості роботи РЕС генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу в умовах дії на них іонізуючих випромінювань значно більша за можливі рівні радіації, то безпека їхньої роботи забезпечується.

5.4 Висновки до розділу

Було досліджено безпеку роботи РЕС генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу в умовах дії загрозливих чинників НС. Із дослідження впливу іонізуючих випромінювань на безпеку роботи РЕС генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу можна сказати, що межа стійкості роботи в умовах дії на них іонізуючих випромінювань значно більша за можливі рівні радіації, то безпека їхньої роботи забезпечується.

ВИСНОВКИ

В роботі наведені результати розроблення та дослідження генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу. На початковому етапі було здійснено аналітичний огляд літератури, у якому розглянуті класифікації генераторів, негatronів та інформаційних пристроїв на негatronах. Проведення аналітичного огляду схем генератора показало їхні загальні принципи роботи, а також значні переваги в порівнянні з іншими генераторами, які не розроблені на негatronах. Тому що використання негatronів дозволяє поліпшити техніко-економічні показники електронних пристроїв, підвищує чутливість і, відповідно, точність вимірювання неелектричних фізичних величин.

Виконане ознайомлення з принципом роботи генератора електричних сигналів на основі конвертора імпедансу, проведено порівняння даного виду генератора з іншими видами генераторів, розглянуті переваги та недоліки генератора електричних сигналів, а також проводиться огляд серійного застосування пристроїв на основі конвертора імпедансу.

В другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розроблено і досліджено схема генератора синусоїдальних коливань на основі конвертора імпедансу, також розроблено математичну модель генератора на основі конвертора імпедансу. Проведено комп'ютерне моделювання і експериментальні дослідження, з яких видно, що схема працює. Розраховано критеріальне оцінювання ефективності пристроїв, яке дає можливість визначити надійність, достовірність і безпечність пристроїв. Ефективність – це властивість пристрою виконувати поставлену мету в заданих умовах використання і з певною якістю. Вона має бути в межах від 0 до 1. Так як ефективність розробленого пристрою становить 0,718, то він є надійним, достовірним, має високі техніко-економічні показники.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gumber, K.; Dejous, C.; Hemour, S. Harmonic reflection amplifier for widespread backscatter Internet-of-Things. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 2021, 69, 774–785.
2. Islam, M.T.; Kogut, A.; Yahya, I.; Dolia, R. On the Possibility of Use of Planar Dielectric Resonators for Solving the Problems of Frequency Stabilization of Millimeter Waves Oscillators. In *Proceedings of the 2019 IEEE Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics, Melacca, Malaysia, 25–27 November 2019.*
3. Semenov, A.; Osadchuk, O.; Semenova, O.; Koval, K.; Baraban, S.; Savytskyi, A. A Deterministic Chaos Ring Oscillator Based on a MOS Transistor Structure with Negative Differential Resistance. In *Proceedings of the 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology, Kyiv, Ukraine, 8–11 October 2019.*
4. Choi, S.; Jeong, Y.; Lee, J.; Yang, K. A novel high-speed multiplexing IC based on resonant tunneling diodes. *IEEE Trans. Nanotechnol.* 2009, 8, 482–486.
5. Chen, S.L.; Griffin, P.B.; Plummer, J.D. Negative differential resistance circuit design and memory applications. *IEEE Trans. Electron Devices* 2009, 56, 634–640.
6. Kastalsky, A.; Luryi, S.; Gossard, A.C.; Chan, W.K. Switching in NERFET circuits. *IEEE Electron Device Lett.* 1985, 6, 347–349.
7. Semenov, A.; Semenova, O.; Rudyk, A.; Voznyak, O.; Pinaiev, B.; Kulias, R. Mathematical Model of Microwave Devices on Resonant Tunneling Diodes for Practical Application in Radar and Electronic Systems. In *Proceedings of the 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week, Kyiv, Ukraine, 21–25 September 2020.*
8. Gumber, K.; Amato, F.; Dejous, C.; Hemour, S. Nonlinear Negative Resistance-based Harmonic Backscatter. In *Proceedings of the 2020 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium, Los Angeles, CA, USA, 4–6 August 2020.*

9. Semenov, A.; Semenova, O.; Osadchuk, O.; Osadchuk, I.; Baraban, S.; Rudyk, A.; Safonyk, A.; Voznyak, O. Van der Pol Oscillators Based on Transistor Structures with Negative Differential Resistance for Infocommunication System Facilities. In *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*; Ageyev, D., Radivilova, T., Kryvinska, N., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2021; Volume 69, pp. 43–78.
10. Broekaert, T.P.; Brar, B.; van der Wagt, J.P.; Seabaugh, A.C.; Morris, F.J.; Moise, T.S.; Beam, E.A.; Frazier, G.A. A monolithic 4-bit 2-Gsps resonant tunneling analog-to-digital converter. *IEEE J. Solid State Circuits* 1998, 33, 1342–1349.
11. Boriskov, P.P.; Velichko, A.A. Inductively coupled burst oscillators in neural network information processing systems. *J. Phys. Conf. Ser.* 2019, 1399, 033051.
12. Berger, P.R.; Ramesh, A. Negative differential resistance devices and circuits. In *Comprehensive Semiconductor Science and Technology*; Bhattacharya, P., Fornari, R., Kamimura, H., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2011; Volume 5, pp. 176–241.
13. Семенов А.О., Усатюк В.Р., Розпутний Д.В. Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу. IX міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПІРН-2023)», 15-17 листопада 2023, м Вінниця, ВНТУ. С. 1-4. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/spirn/spirn2023/paper/view/19323/1601>
[6](#)
14. Лазарев О. О., Романько А. І. Генератори електричних сигналів на С-негатронах. XLVII Науково-технічна конференція факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, 21-23 березня 2018, м. Вінниця, ВНТУ. С. 1-23. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzp/all-frtzp-2018/paper/viewFile/5420/4532>

15. Філінюк М.А., Гаврілов Д.В. Метрологічні основи негatronіки. Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. 188 с
16. Філінюк М. А. Теоретичні основи негatronіки / М. А. Філінюк. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 105 с.
17. Філінюк М. А. Основи негatronіки. Том 1. Теоретичні і фізичні основи негatronіки. Монографія / М. А. Філінюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 456с.
18. Філінюк М. А. Елементи та пристрої автоматики на основі нелінійних властивостей динамічних негatronів / М. А. Філінюк, О. В. Войцеховська : Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 189 с.
19. Пат. 6813484 США, МКИ G 03 D 27/26. Voltage controlled band-pass filter / Tolson, James N. (США). - Опубл. 2.11.04. - 3 с.
20. Пат. 5339057 США, МКИ G 03 D 27/26. Limited bandwidth microwave filter / Rauscher, Christen. (США). - Опубл. 16.08.4. - 3 с.
21. Пат. 5202655 США, МКИ G 03 D 27/26. Microwave active filter circuit using pseudo gyrator / Hara, Shinji (США). - Опубл. 13.04.93. - 3 с.
22. Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напряму економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / В. О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.
23. Філінюк, М. А. Навчальний посібник до виконання дипломних проектів (робіт) та магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальностей 7(8).05090303 «Технології та засоби телекомунікацій» та 7(8).05090201 «Радіоелектронні апарати і засоби» всіх форм навчання : навчальний посібник / М. А. Філінюк, С. Т. Барась, С. Є. Фурса, О. О. Лазарєв. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 85 с.
24. Генератори електричних сигналів — Режим доступу до журн.: <http://www.twirpx.com/file/769611/>.
25. Пат. 95812Україна, МПК H03H 3/00. Генератор гармонійних коливань на основі конвертора імпедансу / М. А. Філінюк, О. О. Лазарєв, В.

П. Стахов, І. Я. Дзюба. – № 201407446 ; заявл. 02. 07. 2014 ; опубл. 12. 01. 2015, Бюл. №1 – 4с.

26. Критеріальне оцінювання ефективності інформаційних пристроїв та систем. Навчальний посібник / М. А. Філінюк, В. О. Багацький, Л. Б. Ліщинська, О. В. Войцеховська. – Вінниця: ВНТУ, 2014 – 143с.

27. Щупляк Н. М. Основи електроніки та мікроелектроніки./ Н. М. Щупляк. Книга 2. – Дрогобич: 2012. – 217с.

28. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

29. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14_nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

30. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

31. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

32. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

33. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

34. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Електронний ресурс] – Режим доступу до сторінки: http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819

35. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

36. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

37. СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.vrednost.ru/2241191-03.php>

38. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

39. Методичні вказівки до самостійної та індивідуальної роботи з дисципліни "Цивільний захист та охорона праці в галузі. Частина 1. Цивільний захист" / Уклад. О. В. Поліщук, О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 32 с.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ГЕНЕРАТОР ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ КОНВЕРТОРА
ІМПЕДАНСУ

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-22м
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіо-
техніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

ВУМ

Усатюк В.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., проф. каф. ІРТС

А.О.

Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

« 14 »

12

2023 р.

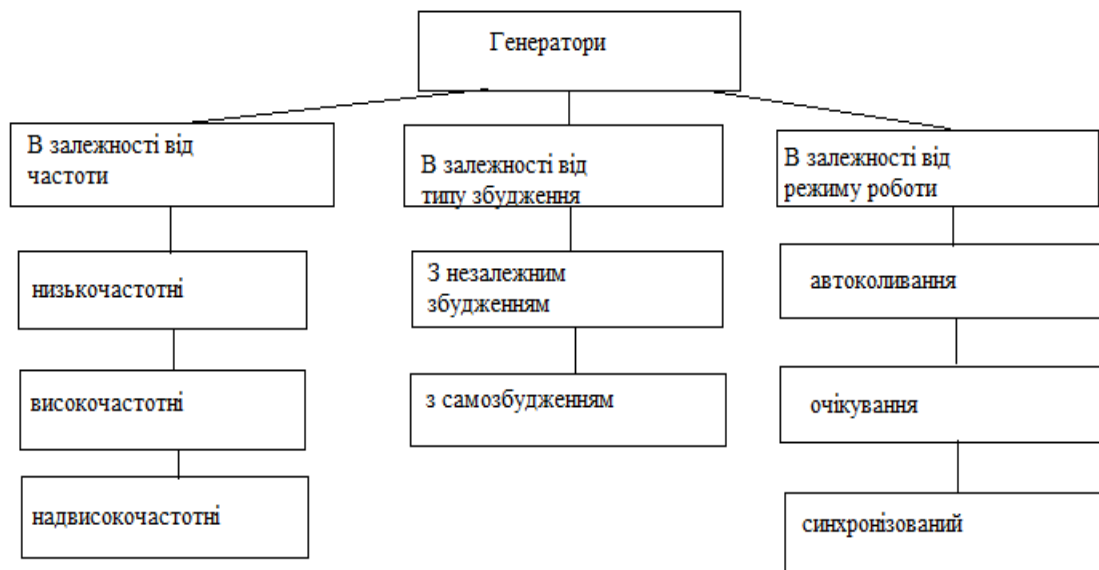


Рисунок 1- Класифікація генераторів

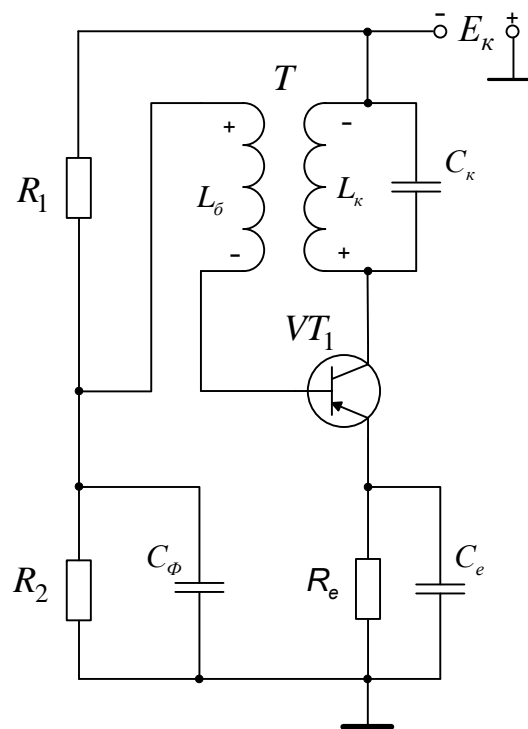


Рисунок 2- Схема автогенератора з трансформаторним зв'язком

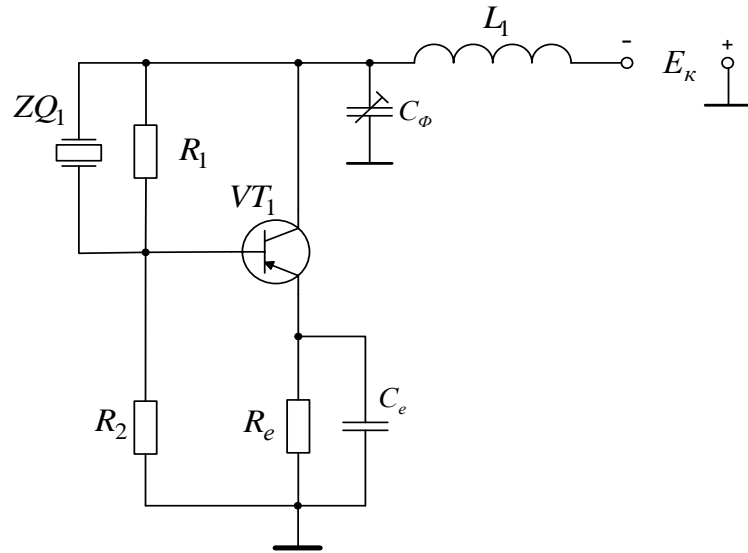


Рисунок 3 - Схема кварцового генератора де резонатор ввімкнений в коло зворотного зв'язку

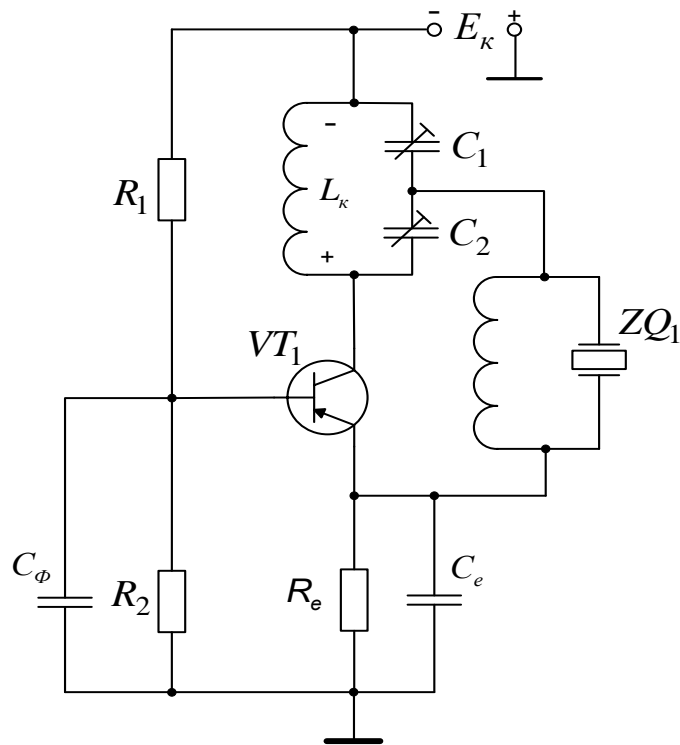


Рисунок 4 - Двоконтурна схема кварцового генератора (схема Батлера)

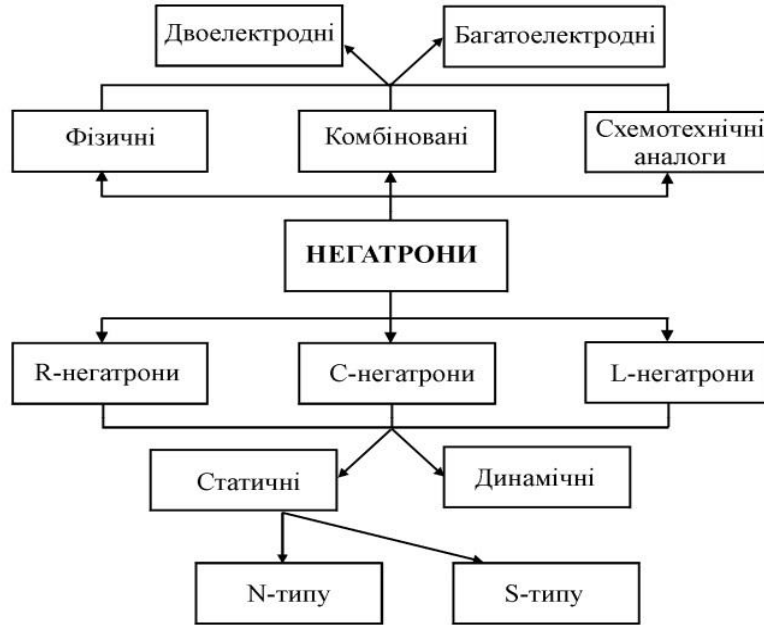


Рисунок 5 - Узагальнена класифікація негаторнів

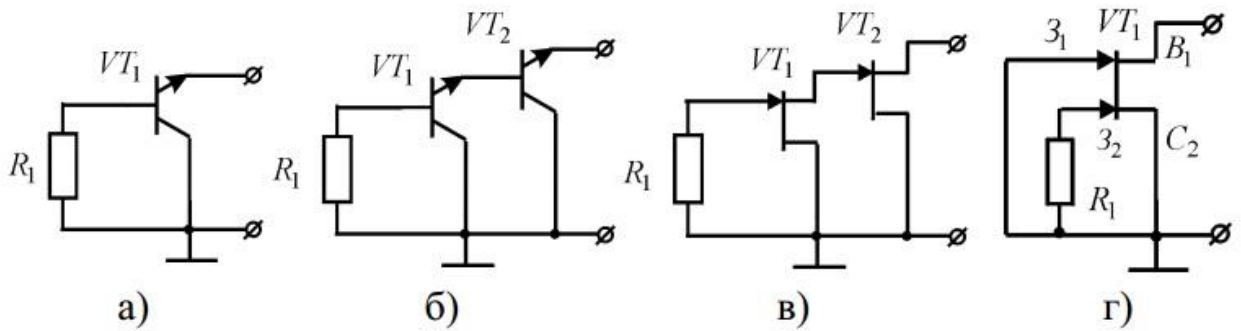


Рисунок 6 - Високочастотні схеми напівпровідникових аналогів індуктивності на базі комбінованих транзисторних негаторнів

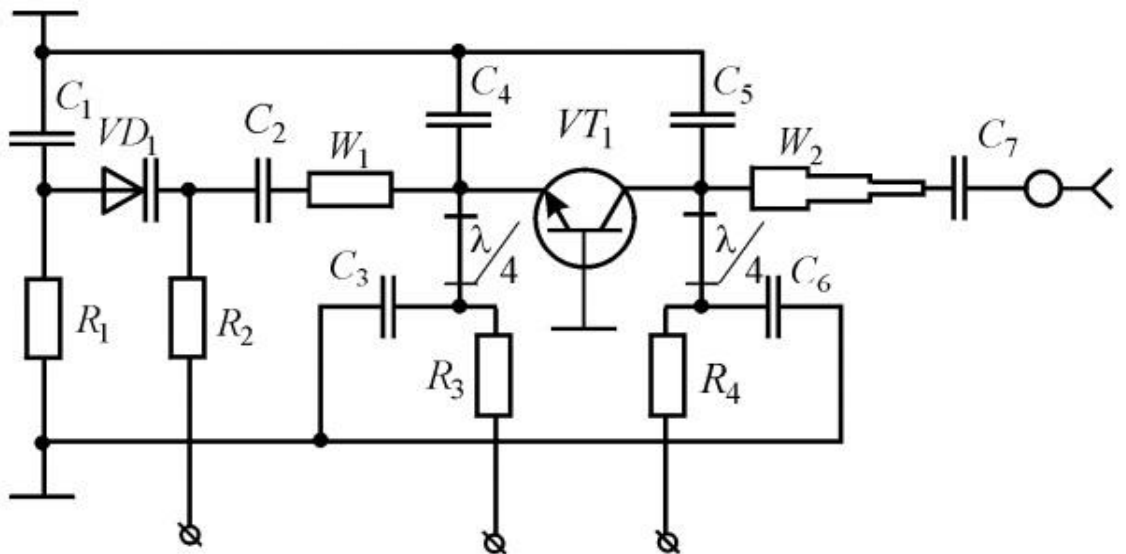


Рисунок 7 - Автогенератор на біполярному транзисторі

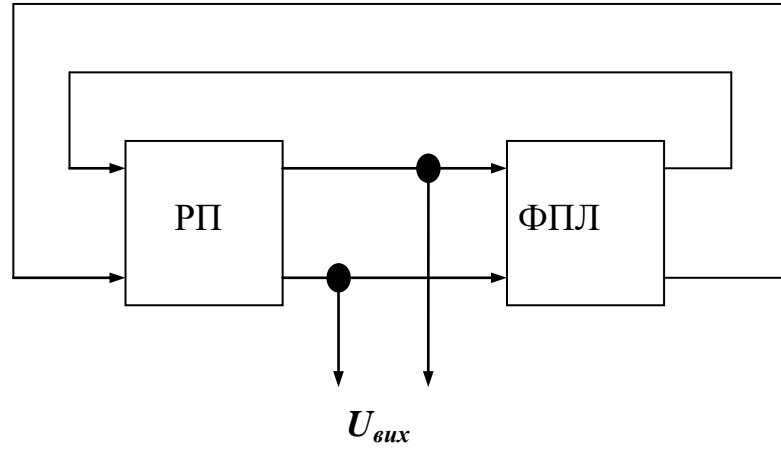


Рисунок 8 - Структурна схема RC-генератора

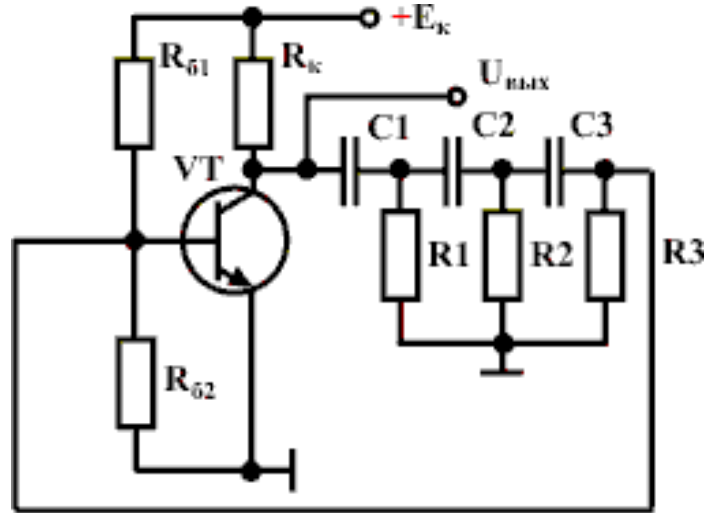


Рисунок 9 – RC-генератор з фазозсувним колом

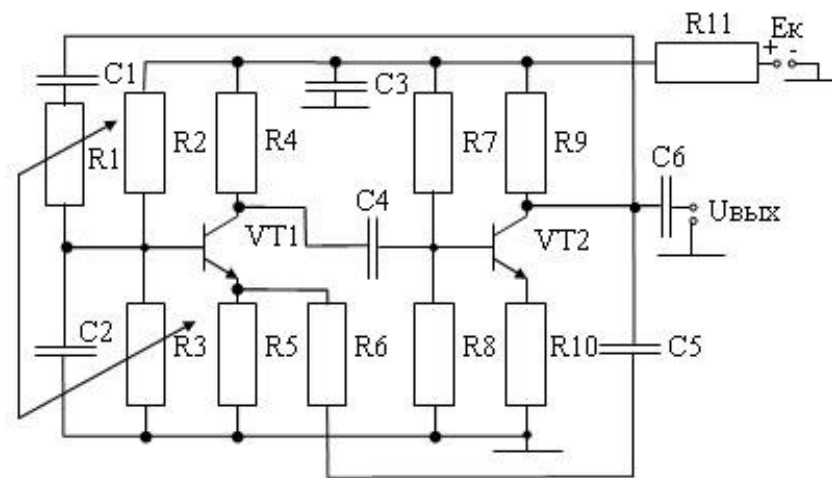


Рисунок 10 - Принципова електрична схема RC автогенератора з мостом Віна

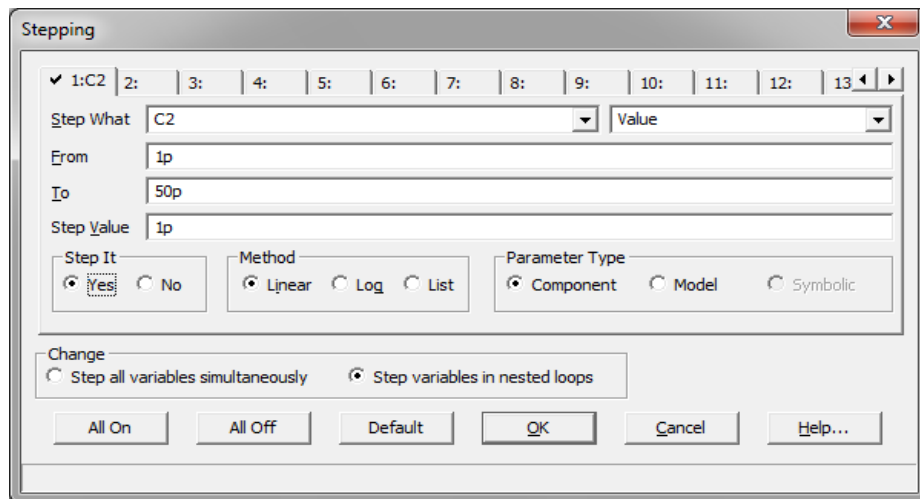


Рисунок 11 – Графік параметрів зміни ємності

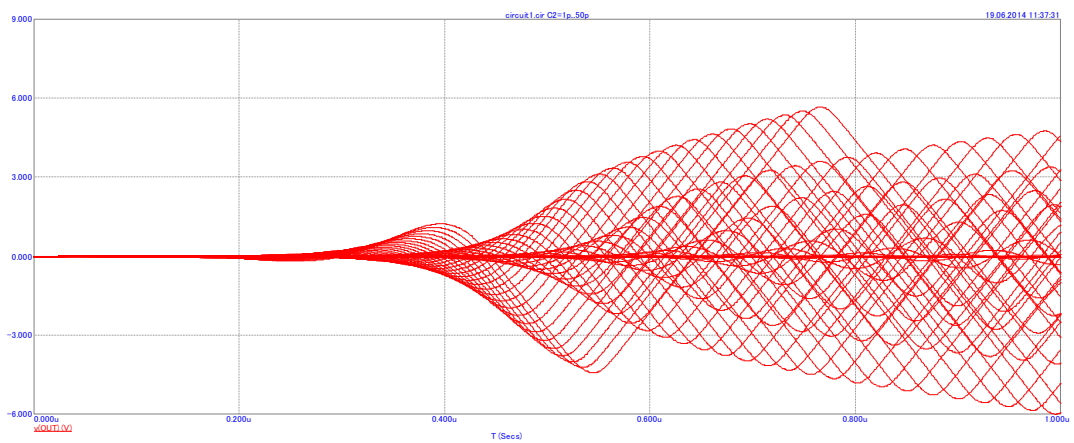


Рисунок 12 – Графік часової діаграми для різних значень ємності

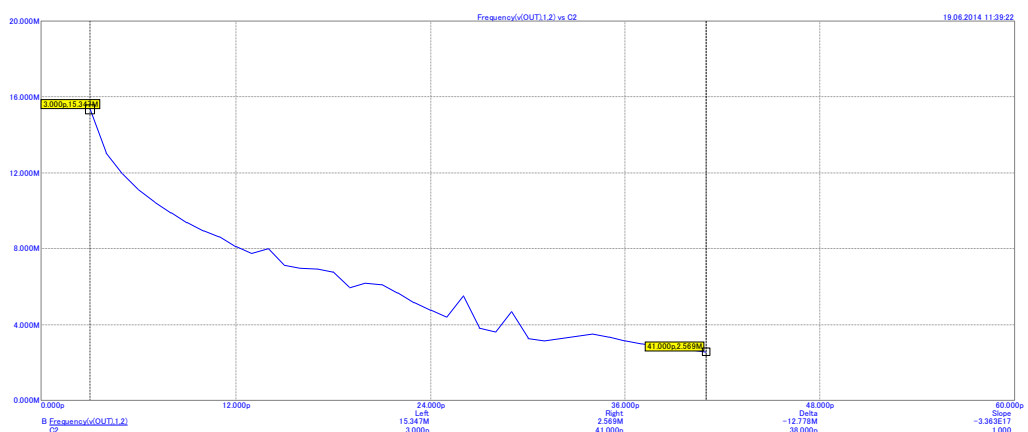


Рисунок 13 - Графік залежності частоти від значення ємності

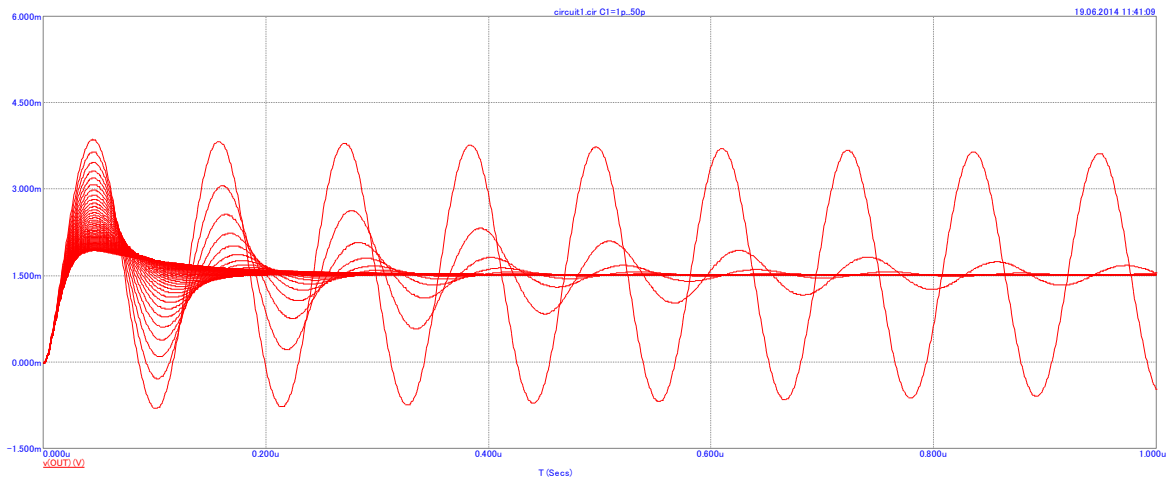


Рисунок 14 – Графік вихідного сигналу

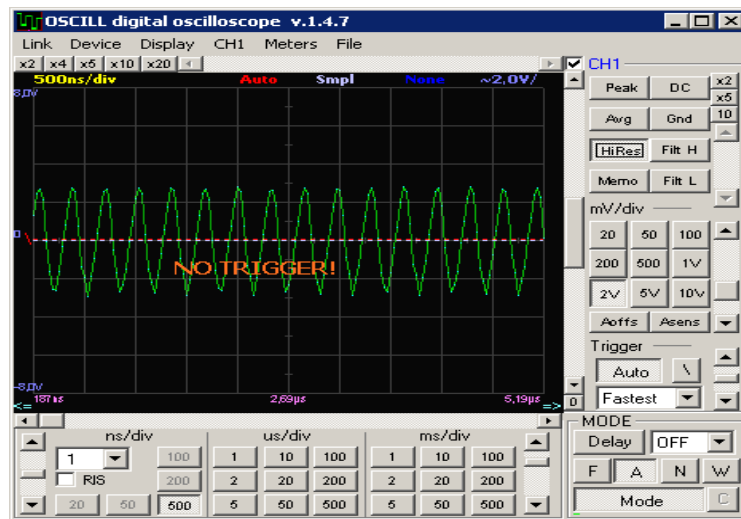


Рисунок 15 – Графік синусоїди при найбільшому значенні ємності на цифровому осцилографі

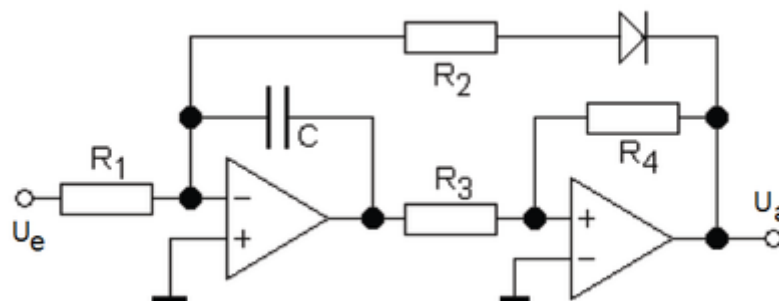


Рисунок 16 – Схема генератора побудована на двох операційних підсилювачах

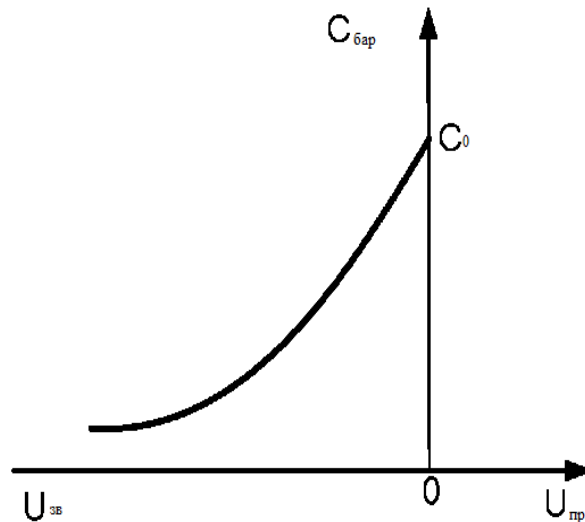


Рисунок 17 – Залежність ємності варикапа від зворотної напруги

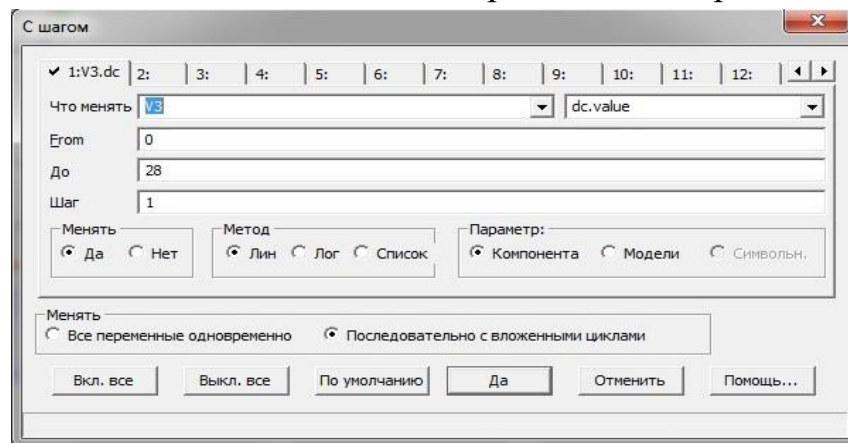


Рисунок 18 – Графік параметрів зміни напруги

Зміна напруги від 0В до 20В з шагом 1В. Графік часової діаграми вихідного сигналу для різних напруг показаний на рис. 19:

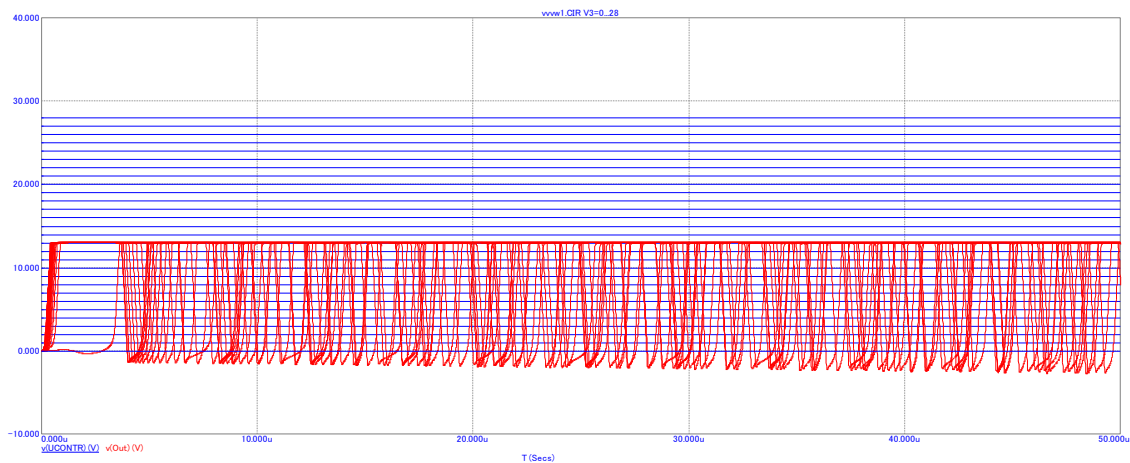


Рисунок 19 – Графік часової діаграми вихідного сигналу

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
ГЕНЕРАТОР ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ КОНВЕРТОРА
ІМПЕДАНСУ

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Генератор електричних сигналів на основі конвертора імпедансу»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)


Підрозділ кафедра ІРТС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 96,04% Схожість 3,96%


Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Звягін О.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи  Усатюк В.Р.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Семенов А.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)