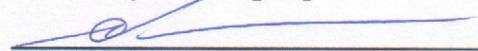


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



«__» _____ 2026 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: "Лабораторний стенд для дослідження генераторів і активних
фільтрів"

Виконав: студент 4367зст3 групи

Врона В.Б.

(підпис)

Керівник роботи:

К.Т.Н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Костенко Д.В.

(підпис)

Миколаїв – 2026 р.

Міністерство освіти і науки України

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та
електротехніки
Кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
Освітня програма Електромеханіка та електроенергетика

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

«__» _____ 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр**

Студенту Вроні Володимирі Борисовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Лабораторний стенд для дослідження
генераторів і активних фільтрів

Керівник роботи к.т.н., доцент Костенко Д.В.

Затверджені наказом ректора № _____ від «__» _____ 2026 р.

2. Термін виконання роботи 09 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи частотний діапазон від 20 Гц до 2 кГц;
амплітуда регулювання від 0 В до 5 В; тип вихідних сигналів: прямокутний,
трикутний та синусоїдальний; опір навантаження 1кОм

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування
розділів) розрахунок структурної та принципової схем, приклади
розрахунків лабораторних робіт.

5. Перелік презентаційного матеріалу

Електронна презентація

6. Консультанти розділів проєкту

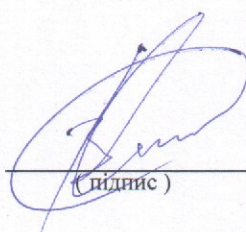
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання на кваліфікаційну роботу «13» вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Видача завдання на КР	13.09.2025 р.	
2	Рубіжний контроль. Чернові варіанти розділів та розширеного змісту ПЗ	10.02.2026 р.	
3	Рубіжний контроль. Готовий розширений зміст ПЗ, спецрозділів, 1-3 розділи ПЗ. Розрахунки.	28.03.2026 р.	
4	Рубіжний контроль. Чернетка повної пояснювальної записки, презентації та доповіді.	09.05.2026 р.	
5	Кафедральний захист. Готова, зшита ПЗ, підписана студентом, керівником. Готова презентація та доповідь укр. мовою.	06.06.2026 р.	
6	Подання документів на захист.	09.06.2025 р.	
7	Захист кваліфікаційної роботи	16.06–25.06. 2026 р.	

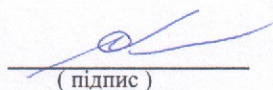
Студент


(підпис)

Врона В.Б.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Костенко Д.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, п'яти розділів та висновків, що викладені на 59 сторінках машинописного тексту, містить 24 рисунки і перелік літератури з 8 найменування.

Метою дипломного проекту є розробка лабораторного стенду для дослідження схем на змінному струмі що реалізовані на ОП. У роботі зроблений аналіз існуючих лабораторних, обґрунтовано вибір конструкції стенду. Розроблено структурну схему стенду і додаткових модулів з генератором і активним фільтром, виконаний приклад розрахунку.

Ключові слова: операційний підсилювач, генератор, активний фільтр.

ABSTRACT

The bachelor's qualification work consists of an introduction, five chapters and conclusions, which are set out on 59 pages of typewritten text, contains 24 figures and a list of literature with 8 titles.

The purpose of the diploma project is to develop a laboratory stand for the study of alternating current circuits implemented on OP. The work analyzes existing laboratory ones, justifies the choice of the stand design. A structural diagram of the stand and additional modules with a generator and an active filter is developed, and an example of calculation is performed.

Keywords: operational amplifier, generator, active filter.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. ПРИЗНАЧЕННЯ, ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ І ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

1.1 Призначення елементів лабораторного стенду

1.2 Область використання.

1.3 Технічні характеристики.

2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ.

3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СТЕНДА.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

4.1 Розробка функціонального генератора.

4.2 Розробка активного фільтра низьких частот.

4.3 Розробка генератора синусоїдального сигналу.

5. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З СТЕНДОМ.

5.1 Основні положення охорони праці

5.2 Аналіз небезпечних і шкідливих чинників на робочому місці

5.3 Розрахунок штучного освітлення

ВИСНОВОК

ЛІТЕРАТУРА

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Електроніка являє собою стрімко розвиваючу галузь науки та техніки. За останні роки вона зазнала значних змін. Перш за все це пов'язано з стрімким розвитком мікроелектроніки. Поява нових схемних рішень як окремих підсилювачів, так і мікропроцесорних комплектів тощо, привело до оновлення елементної бази.

Електроніка вивчає принципи роботи і застосування різноманітних електронних приладів. До фізичної електроніки відносяться електронні та іонні процеси в вакуумі, газах і напівпровідниках. В технічній електроніці вивчається побудова електронних пристроїв і їх застосування в техніці. Область по призначенню електронних приборів в промисловості, називають промисловою електронікою.

Електронні пристрої дозволяють проводити різноманітні дослідження і вимірювання, які безпосередньо не пов'язані з електронікою. Електронні підсилювачі, генератори, осцилографи та інші вимірювальні прибори стали потужним засобом для наукових досліджень, автоматизації та контролю промислових процесів. Методи електроніки значно покращили вивчення властивостей ряду елементів, що існують в природі, дозволили глибше пізнати будову матерії.

Розвиток електроніки та радіоелектроніки, підвищення вимог до них привело до необхідності використовувати велику кількість елементів для виготовлення апаратури. Зокрема, особливо багато їх вимагалось для електронно-вимірювальних машин (ЕОМ). Виготовлення таких машин з дискретних елементів, тобто елементів, що представляють собою самостійні вироби (діоди, транзистори, резистори, конденсатори тощо), стало практично неможливим. ЕОМ та інші радіоелектронні пристрої створюються в наш час на основі мікроелектроніки – з застосуванням інтегральних мікросхем.

Перехід до мікроелектроніки проходив поступово. Спочатку в радіоелектроніці на основі дискретних елементів стали застосовувати замість старого навісного (об'ємного) монтажу друковані схеми. Вони представляли собою нанесені на плату з діелектрика з'єднувальні проводи у вигляді металевих плівок, до яких

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

припадають дискретні елементи. Об'єм приладу при цьому значно зменшувався.

Великий крок вперед в створенні найскладніших типів радіоелектронної апаратури дозволили зробити інтегральні мікросхеми. Інтегральними вони називаються, тому що тут всі елементи або їх частина та з'єднання між елементами нероздільно пов'язані і схема розглядається як єдине ціле.

Головною перевагою інтегральних схем – малі розміри та маса, мала споживана потужність, висока надійність за рахунок зменшення кількості паяних з'єднань, висока швидкодія, оскільки при дуже коротких з'єднанувальних лініях між елементами час пробігу сигналів по цих лініях зменшується, відносно низька собівартість.

Поряд з численними перевагами інтегральні схеми мають деякі недоліки. Перш за все вони є малопотужними. Проблеми виникають також при створенні великих ємностей та індуктивностей.

Метою даного дипломного проекту є розробка лабораторного стенду для дослідження схем на змінному струмі що реалізовані на ОП, який би відповідав всім нашим потребам: технічним функціоналом, надійністю, наочністю, масо-габаритними параметрами і безпекою виконання.

До задач проекту можна віднести:

- огляд і аналіз існуючих лабораторних стендів;
- розробка і розрахунок функціонального генератора;
- вибір і розрахунок лабораторних робіт для виконання на стенді;
- практична реалізація та налагодження випуску стенду у малому тиражі.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПРИЗНАЧЕННЯ, ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ І ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

1.1 Призначення елементів лабораторного стенду

Серед усіх елементів стенду для проведення лабораторних робіт на постійному струмі, необхідно додати функціональний генератор.

Функціональними генераторами прийнято називати генератори декількох функціональних залежностей (сигналів), наприклад, прямокутних, трикутних і синусоїдальних, формованих з однією перебудовуванню в досить широких межах частотою. Різноманітність форм сигналів розширює сфери застосування таких генераторів і дозволяє використовувати їх для тестування, налаштування і дослідження найрізноманітнішої електронної апаратури.

На відміну від RC і LC генераторів функціональні генератори є більш широкодіапазонними - відношення максимальної частоти генерації до мінімальної у них має нерідко порядок 10^5 - 10^6 і вище. Найчастіше функціональні генератори використовуються при налаштуванні ВЧ, НЧ і низькочастотних пристроїв. У НВЧ діапазоні частот ці пристрої не використовуються, за винятком застосування як джерела модулюючих сигналів.

Функціональні генератори діляться на два широкі класи:

- Аналогові функціональні генератори на основі інтегратора аналогових сигналів у вигляді прямокутних імпульсів (меандру).
- Цифрові функціональні генератори на основі дискретних (цифрових) інтеграторів.

Окрім простоти реалізації, аналогові функціональні генератори мають одну безперечну перевагу перед їх цифровими побратимами - відсутність сходнок на ділянках зростання і спаду пилоподібного і синусоїдального вихідної напруги. Це особливо важливо, якщо потрібне отримання похідної від вихідної напруги генератора. В цьому випадку сходинки недопустимі, оскільки при переході від однієї сходинки до іншої похідна спрямовується до дуже великих значень. Для реалізації аналогової інтеграції застосовують пристрої заряду розряду конденса-

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тора незмінним струмом і схеми з 100% негативним зворотним зв'язком (інтегратори місткостей на інтегруючих підсилювачах постійної напруги).

Широкого поширення аналогові функціональні генератори набули після розробки високоякісних інтегральних операційних підсилювачів, на яких стала можлива побудова прецизійних інтеграторів. Вони і складають основу функціональних генераторів. На жаль, максимальна частота у генераторів зазвичай не перевершує 1-3 МГц і обмежена частотними властивостями вживаних операційних підсилювачів. Функціональні генератори на основі заряду-розряду конденсатора з одним заземленим обкладанням реалізують максимальні частоти до 20-30 МГц, а в окремих унікальних (лабораторних) розробках до 50 МГц.

1.2 Область використання

Область застосування пристрою – проведення лабораторних робіт з курсу «Електроніка та мікросхемотехніка» для студентів, що навчаються в НУК за спеціальністю «Електромеханіка». У рамках курсу вивчаються основні положення і закони теорії кіл та сигналів; методи аналізу електронних кіл; принцип дії та характеристики компонентів і вузлів електронної апаратури; основи аналогової і цифрової схемотехніки.

У процесі навчання студенти вивчають схемотехніку аналогових і цифрових електронних пристроїв, набувають навички розрахунку електричних кіл і використання комп'ютерних моделюючих програм. Навчальним планом передбачені лекції, лабораторні роботи, виконання курсових робіт. Тематика лабораторних робіт спрямована на закріплення і поглиблення теоретичних знань, отриманих студентами на лекційних заняттях, на експериментальну перевірку теоретичних положень, вироблення вмінь і практичних навичок роботи з обладнанням та вимірювальними приладами, з практикою планування і підготовки експерименту, а також його обробки.

У ході виконання лабораторних робіт студенти повинні:

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- навчитися читати схеми простих електронних пристроїв, розрізняти умовні графічні позначення електронних компонентів;
- ознайомитися з пристроєм і зовнішнім виглядом електронних компонентів;
- вивчити принцип дії основних електронних пристроїв;
- одержати навички визначення характеристик і параметрів електронних пристроїв;
- одержати навички використання сучасних вимірювальних приладів.

Набір однакових універсальних лабораторних стендів дозволяє виконувати всі лабораторні роботи фронтальним методом. Перевага фронтального методу полягає в тому, що лабораторні роботи виконуються всіма студентами одночасно після лекцій з відповідного розділу.

Підготовка до лабораторної роботи передбачає вивчення теоретичного матеріалу, а також виконання попередніх розрахунків. Перед виконанням лабораторної роботи необхідно уважно ознайомитися з описом лабораторної роботи, усвідомити, в чому полягають мета і робоче завдання. Результати попередніх розрахунків заносяться у відповідний розділ звіту.

Правила виконання лабораторних робіт. Щоб уникнути нещасних випадків, а також передчасного виходу з ладу обладнання лабораторії студент повинен суворо виконувати наступні правила. Перед виконанням експериментів студент повинен уважно ознайомитися зі схемою досліджуваного ланцюга. Збірку і комутацію електричних кіл виробляють при вимкненій напрузі живлення в відповідності зі схемою, представленою в лабораторному практикумі. Будь-які переключення можна проводити при відключеній напрузі живлення, повторно включати стенд можна тільки після перевірки схеми викладачем. Проте, щоб уникнути нещасних випадків всі електричні кола повинні живитись безпечною напругою і не мати гальванічного зв'язку з мережею.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Технічні характеристики

Функціональний генератор повинен мати наступні параметри:

- Частотний діапазон від 20 Гц до 2 кГц;
- Амплітуда регулювання від 0 В до 5 В;
- Тип вихідних сигналів: прямокутний, трикутний та синусоїдальний;
- Опір навантаження 1кОм.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЛАБОРАТОРНИХ СТЕНДІВ

Важливою складовою частиною навчального процесу є лабораторні заняття, в ході яких студенти здобувають практичні навички з обраної спеціальності.

Лабораторний практикум з електроніки покликаний вирішувати наступні завдання:

1) Закріпити, експериментально підтвердити і розширити теоретичні знання, одержувані студентами на лекціях з електроніки та інтегральної схемотехніки і в процесі самостійного вивчення рекомендованої літератури.

2) Ознайомити студентів з сучасної елементної базою електроніки, її конструктивним виконанням і технічними характеристиками.

3) Навчити студентів сучасним методам експериментальних інженерних досліджень, максимально наблизивши процес експериментального вивчення електроніки в лабораторних умовах до процесу технічного контролю, наладки і дослідження електронних пристроїв при конструюванні та експлуатації реальної мікроелектронної апаратури.

4) Прищепити студентам практичні навички роботи з контрольно-вимірювальним обладнанням, приладами та технічною документацією.

5) Прищепити студентам навички аналізу та узагальнення отриманих результатів.

Сучасна радіоелектронна апаратура (РЕА) формується на одношарових або багатошарових друкованих платах. Розташовувані на цих платах інтегральні мікросхеми та дискретні компоненти з'єднуються між собою (згідно принциповими схемами) методом друкованого монтажу.

Друковані плати виконуються з листового ізоляційного матеріалу (зазвичай, склотекстоліти), покритого мідною фольгою, з якої методом хімічного травлення формуються сполучні друковані провідники, так звані «доріжки». Металеві висновки елементів зазвичай пропускаються в отвори і припаюються до друкованих провідникам. Існує також так званий поверхневий монтаж, який використовується для виконання пристроїв на компонентах без виводів (SMD) або компонентах з

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

планарними виводами (тобто виводами, розташованими в одній площині). З'єднання друкованих плат між собою, а також з іншими зовнішніми блоками і пристроями здійснюється звичайно за допомогою стандартних роз'ємів.

При роботі з такою апаратурою всі необхідні виміри проводяться безпосередньо на платі, тому необхідно знати номенклатуру і виконання дискретних та інтегральних елементів, а також вміти ідентифікувати на платі елементи і з'єднання між ними згідно принципівими та монтажними схемами.

Існуючі традиційні підходи до проектування навчально-лабораторного обладнання за електронною напрямку, як правило, припускають рознесення процесу навчання на окремі етапи. Перший етап орієнтований на вивчення компонентів електронних пристроїв, дослідження фізичних процесів, зняття характеристик і визначення електричних параметрів. Надалі розглядаються можливості використання цих компонентів у відносно простій класичній схемотехніки (різноманітних підсилювачах, генераторах, стабілізаторах напруги та струму тощо).

Конструктивне виконання навчально-лабораторного обладнання різноманітно. Лабораторні стенди можуть являти собою поодинокі макети з обмеженими функціональними можливостями або ж містити сукупність макетів, згрупованих у відповідності з певною тематикою. Але для будь-якого з варіантів при проведенні досліджень потрібна наявність додаткової контрольно-вимірювальної апаратури (вимірників напруги та струму, джерел сигналів різних форм і діапазонів, осцилографів і т.д.). Не применшуючи відомих достоїнств устаткування, що виготовляється рядом спеціалізованих підприємств, слід відзначити вкрай високу вартість комплектації одного робочого місця, яка перевищує всі мислимі межі. Тому одного разу придбане вузом навчально-лабораторне обладнання експлуатується протягом декількох десятиліть, аж до повного фізичного зносу. Поряд з фізичним зносом особливо слід виділити більш важливий чинник, пов'язаний з морально застарівають об'єктів досліджень. Термін оновлення номенклатури продукції (компонентів і функціональних вузлів) провідними компаніями-виробниками складає в середньому 5 - 7 років. Тому часто в вузах проводиться підготовка фахівців на ос-

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нові елементної бази давно знятої з виробництва і не застосовується при сучасному схемотехнічному проектуванні.

Розглянемо деякі серійно випускаються стенди по схемотехніці. Тайванська компанія K & H випускає широкий асортимент лабораторних стендів. Наприклад, аналоговий тренажер IDL-600A (див. рис. 2.1.1) розроблений для вивчення принципів побудови та роботи аналогових схем. Конструкція тренажера IDL-600 полегшує роботу з аналоговими схемами і дозволяє максимально спростити їх вивчення.



Рис. 2.1.1 – Аналоговый тренажер IDL-600A.

Пристрій містить:

Макетну плату AD-200, що дозволяє збирати нескладні схему без пайки за допомогою перемичок.

Регульоване двополярне джерело живлення $0 \sim +15 \text{ В} \pm 10\%$ і $0 \sim -15 \text{ В}$ з максимальним струмом навантаження 300 мА.

Джерела живлення $+5 \text{ В} \pm 10\%$ з струмом навантаження до 1 А та $5 \text{ В} \pm 10\%$ з струмом навантаження 100 мА.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функціональний генератор з діапазоном частот від 0,1 Гц до 200 кГц, розбитий на 6 піддіапазонів з синусоїдальної, прямокутної і трикутної формами вихідного сигналу.

Аналоговий вольтметр 30 В, клас точності 2,5 і аналоговий амперметр 100 мкА, клас точності 2,5 та інші компоненти.

Є більше новий пристрій ETS-7000A (див. рис. 2.1.2), в якому додані пасивні компоненти, цифровий індикатор, звуковий динамік та інше.



Рис. 2.1.2 – Аналоговий тренажер ETS-7000A.

Зазначені пристрої є основою для складання лабораторної схеми. Для прискорення складання таких схем поставляються набори розширень Цифровий навчальний тренажер LT-1000, комплект для проведення лабораторних робіт з аналогової електроніки OLS-1000 (див. рис. 2.1.3)

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2.1.3 – Комплект OLS-1000.

Комплект дозволяє студентам збирати найскладніші схеми залишаючи їм достатньо часу для плідної експериментування

Комплект для проведення лабораторних робіт з аналогової електроніки OLS-1000 сумісний з іншими продуктами K & H - аналоговим тренажером IDL-600 і цифровий-аналогової навчальної лабораторної системою ETS-7000.

У комплекті OLS-1000 є електронний шаблон, яким студенти користуються для швидкої і раціональної збірки експериментальної схеми, оскільки позначення на кальці такі ж, як на традиційній принциповій схемі. Ніяких додаткових пристроїв не потрібно. У комплект входить стандартний набір всіх необхідних компонентів. Є перелік компонентів принципової схеми і чіткий опис послідовності дій. Кожен експеримент перед остаточним редагуванням пройшов випробування. Крім того, тривалий навчальна практика забезпечує передачу практичних навичок за мінімальний час.

Як недолік такого стенду можна відзначити його виражену «іграшковість», схема збирається з реальних компонентів, але виглядає вона не справжньої, студенти не можуть оглянути і оцінити особливості технології монтажу електронних пристроїв.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Компанія MikroElektronika спільно з найбільшим виробником електронних компонентів Texas Instruments демонстраційну плату Analog System Lab Kit PRO (див. рис. 2.1.4).

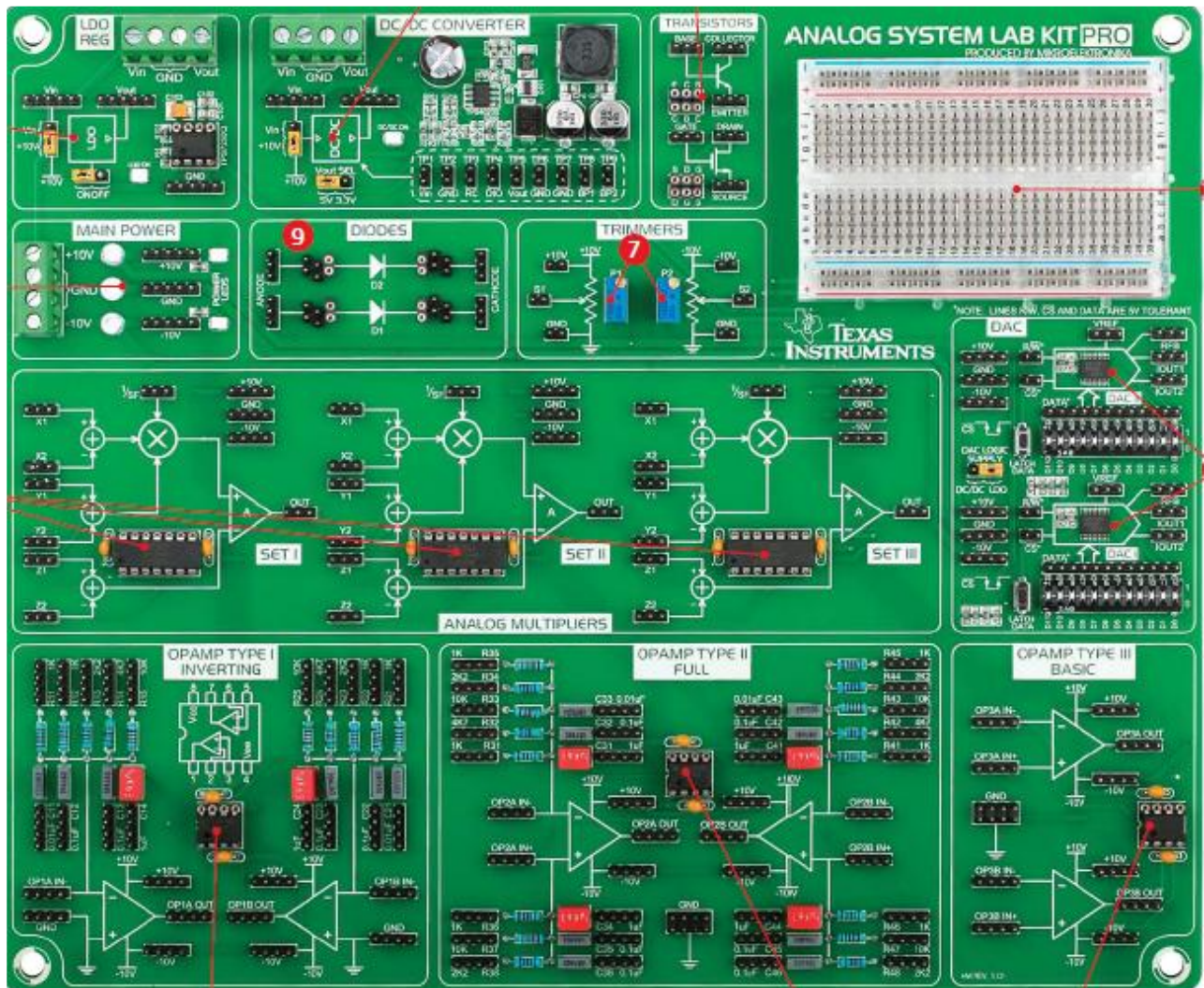


Рис. 2.1.4 – Плата Analog System Lab Kit PRO

Як зазначено в рекламних матеріалах, пристрій чудово підійде для студентів електро і радіотехнічних спеціальностей для вивчення роботи інтегральних схем загального призначення, таких як операційні підсилювачі і аналогові мультіплікатори. Так само може бути корисна радіоаматорам і інженерам для макетування невеликих проектів, що містять аналогові компоненти.

На платі встановлені три операційних підсилювача загального призначення TL082, три прецизійних аналогових множителів МРУ634, 12-бітний паралельних

ЦАП DAC7821, DC / DC контролер TPS40200, стабілізатор TPS7250. Операційні підсилювачі, встановлені на плату, можуть бути використані наступним чином:

- TypeI - в інверсному включенні;
- TypeIII-як буфер напруги.

2ц Для роботи з ME-Analog System Lab Kit PRO буде корисним використання наступного програмного забезпечення від TI:

- TINA-TI - потужний симулятор заснований на движку симуляції SPICE;
- FilterPro - програма для проектування активних фільтрів.

У вкладеному керівництві користувача є практично готова програма для проведення лабораторних робіт і експериментів з платою.

Відмінні особливості:

- 3 операційних підсилювача загального призначення TL082;
- 3 аналогових множителей МРУ634;
- 12-бітний паралельний ЦАП DAC7821;
- DC / DC контролер TPS40200;
- стабілізатор TPS7250;
- макетна майданчик.

Недоліками є труднощі покупки цього пристрою в Україні (заявлена ціна становить 99 доларів, але в Україну можна поставити тільки за ціною близько 250 доларів без урахування вартості доставки) і деяка закритість архітектури.

З описаних в огляді пристроїв відзначимо кращі риси. У продуктів К & Н - гнучкість, можливість модифікувати схему; у Analog System Lab Kit - сучасні компоненти, зовнішній вигляд відповідає реальним промисловим електронним пристроям.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СТЕНДА

Зазвичай, ЛАЧХ і АЧХ ОП відповідають аперіодичній ланці першого порядку. рис.3.1. Але ОП не можна оглядати як ідеальну аперіодичну ланку – такий підхід може бути допустимий тільки при оцінці динамічної стійкості схеми і в низькочастотних пристроях. Справа в тому, що із-за обмежених значень струмів, котрі окремі каскади підсилювача можуть віддавати навантаження, швидкість наростання сигналу на виході підсилювача обмежена. Виникає ситуація, аналогічній, котра має місце в емітерному повторювачі. Нехай, наприклад, в даних підсилювача вказана частота зрізу (добуток коефіцієнта підсилення на полюсу пропускання) $f_T = 0,5 \text{ МГц}$ (рис. 3.1). Це означає, що в режимі повторювача рис.3.2 а) полоса пропускання підсилювача 0,5 МГц, так як $\beta = 1$. Припустимо, що при цьому для підсилювача вказана максимальна швидкість зростання сигналу на вході

$$V_{U_{\text{макс}}} = \left[\frac{du_{\text{вих}}}{dt} \right] = 0,5 \frac{\text{В}}{\text{мкс'}}$$

а шкала виходу (максимальна амплітуда вихідного сигналу) $U_{\text{вих.макс.}} = 10\text{В}$.

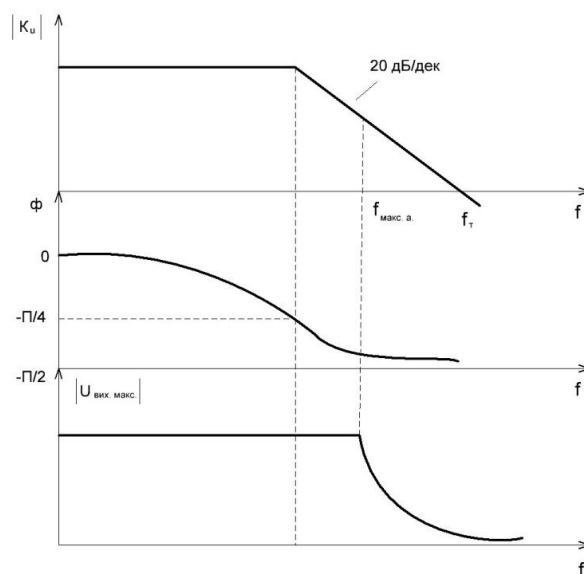


Рис. 3.1 Частотні характеристики ОП.

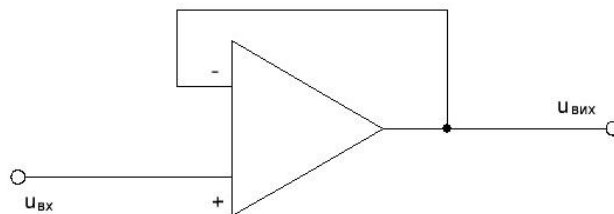
					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Але вказана швидкість зростання вихідного сигналу при повній амплітуді потребується вже на частоті

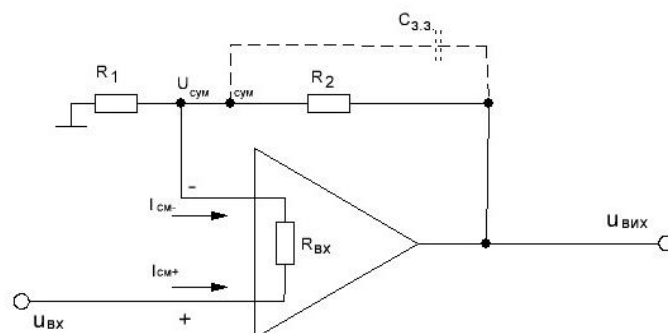
$$f_{\text{макс.з}} = \frac{V_{U_{\text{макс}}}}{2\pi U_{\text{вих.макс}}},$$

або в даному випадку, при $f_{\text{макс}} = 8\text{кГц}$. Таким чином, важливою характеристикою ОП являється залежність не зображеного вихідного синусоїдального сигналу $U_{\text{вих.макс}}$ від частоти (рис.3.1). Відмітимо, що в приведеному прикладі допустима амплітуда сигналу на частоті 0,5МГц складає всього близько 170мВ.

В вимірювальних системах основним параметром швидкодії ОП являється час встановлення сигналу з заданою точністю. При $\beta = 0,1 \div 1$, тобто невеликих $K_{з.з.}$, лімітуючим фактором зазвичай являється $V_{U_{\text{макс}}}$, а при малих $\beta < 0,1$ час встановлення визначається полосою пропускання, так як вона знижується в $1/\beta$ раз.



а)



б)

Рис.3.2 Схеми включення ОП в режимі масштабуючого підсилювача.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо реакцію підсилювача в схемі рис.3.2 б) на стрибкоподібний вхідний сигнал. В час виникнення сигналу $u_{\text{вх}} = 0$ і в точці Σ сигнал зворотного зв'язку відсутній (рис.3.3). Диференційна напруга між входами ОП:

$$u_+ - u_- = u_{\text{вх}}.$$

Далі вихідна напруга почне лінійно зростати:

$$u_{\text{вх}}(t) = V_{\text{от}} t, \quad (1)$$

і процес на виході буде проходити таким чином (суцільна лінія на рис. 3.3) до тих пор, поки ця пряма не перетне експоненту:

$$u_{\text{вх}}(t) = [1 - \exp(-\frac{2\pi f_T}{\beta})] / \beta \quad (2)$$

в момент t_1 . Починаючи з t_1 ворується експотенціальний «хвіст» процесу, повільно досягаючий встановившогося значення:

$$u_{\text{вх}}(t \rightarrow \infty) = \frac{u_{\text{вх}}}{\beta}.$$

Процес на виході в момент часу t визначається меншою з двох величин (1) і (2), а диференційна вхідна напруга до t_1 різницею:

$$u_+ - u_- = u_{\text{вх}} - V_{\text{от}} t \beta,$$

а з моменту t_1 :

$$u_+ - u_- = u_{\text{вх}} \exp(-2\pi t f_T \beta).$$

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

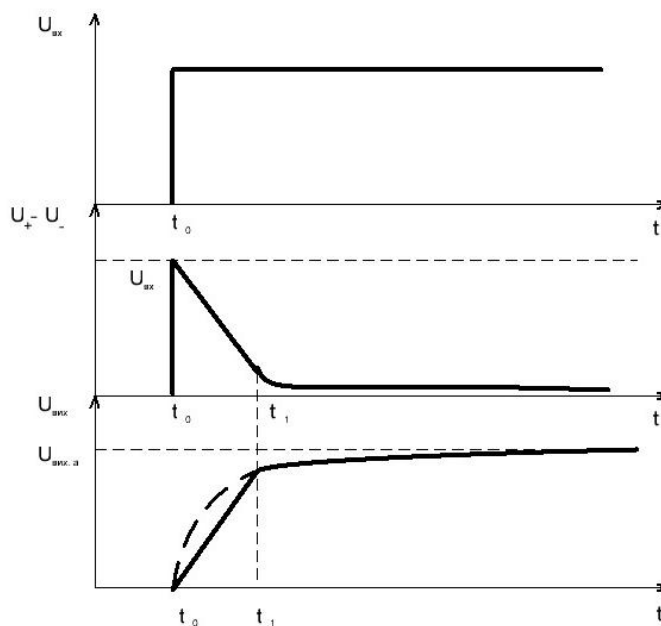


Рис. 3.3 Перехідні процеси в схемі на ОП.

Таким чином, для дослідження властивостей ОП, недостатньо проводити його дослідження лише з синусоїдальним сигналом. Також необхідно досліджувати перехідні процеси ступінчастим впливом, таке дослідження найпростіше провести з допомогою генератора прямокутної форми, тому для дослідження ОП на змінному струмі, необхідно мати в складі стенду функціональний генератор, який буде генерувати сигнал не лише синусоїдальної форми, а й сигнал прямокутної форми, тоді це буде відповідати вимогам стенду.

При дослідженні існуючих схем на змінному струмі з застосуванням ОП можна зробити висновок, що всі схеми можна об'єднати в три групи:

- підсилювачі;
- фільтри;
- генератори сигналу.

Відміною підсилювачів на змінному струмі від підсилювачів на постійному є те, що на параметри сигналу впливають і частотні властивості ОП.

Схеми генераторів мають особливість – робота з глибокими зворотнім зв'язками і переводять ОП в режим автоколивань.

Всі групи мають свої особливості в роботі схем тому в лабораторному стенді повинні бути представлені: підсилювач на змінному струмі, генератор на ОП і фільтр. Таким чином для допрацювання стенду потрібно додати до схеми стенду функціональний генератор, а також диференційний підсилювач (можна використати вже наявну схему), генератор та фільтр.

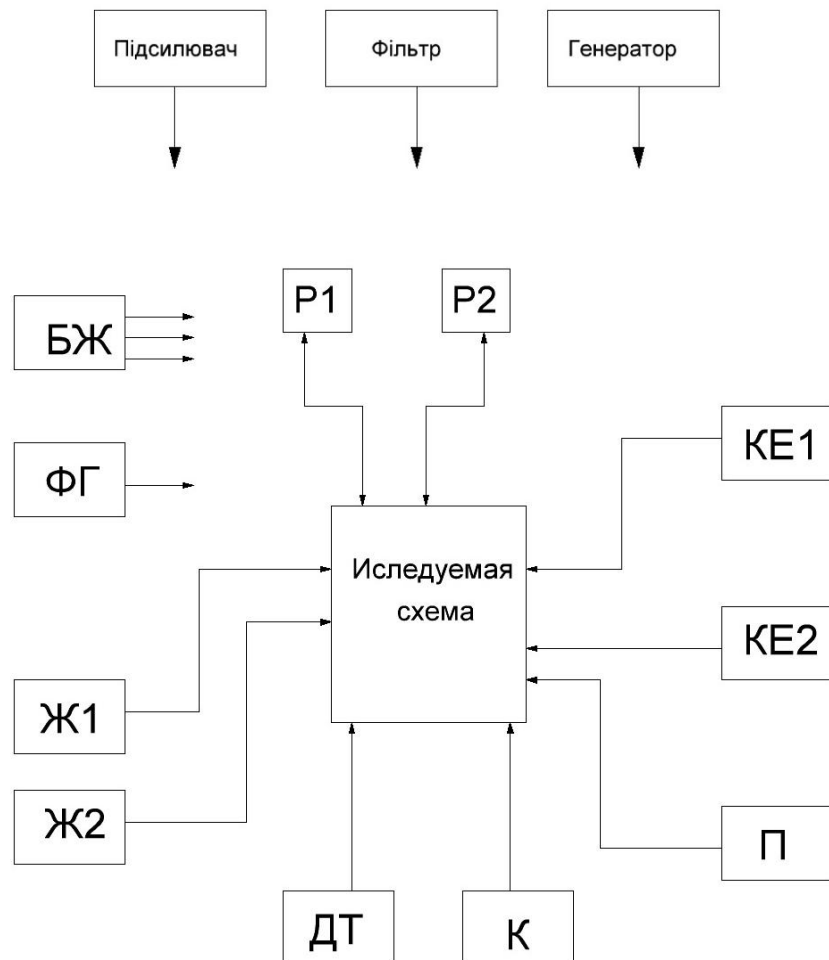


Рис. 3.4 Функціональна схема стенду для виконання лабораторних робіт по дослідженню ОП на постійном струмі

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

4.1 Розробка функціонального генератора

При формуванні низькочастотних синусоїдальних коливань майже завжди необхідно використовувати ланцюги стабілізації амплітуди вихідної напруги. Генерація змінної напруги трикутної форми виконується по більш простій схемі за допомогою інтегратора і тригера Шмітта. В свою чергу, використовуючи блок формування синусоїдальної функції, з трикутної напруги можна отримати синусоїдальну. Так як за цим методом можна отримати одночасно трикутну, прямокутну і синусоїдальну напруги, працюючі на цьому принципі генератори можуть бути названі функціональними. Блок схема такого генератора зображена на рис.4.1.1.

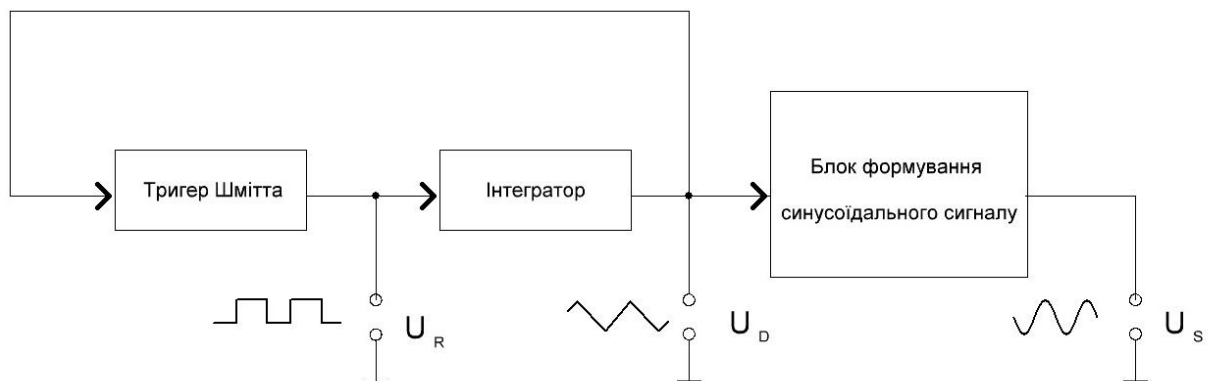


Рис.4.1.1 Блок-схема функціонального генератора.

Як показано на рис. 4.1.2 генератор трикутної і прямокутної напруги складається з послідовно включених інтегратора та тригера Шмітта. Інтегратор інтегрує існуючу на виході тригера Шмітта постійну напругу.

Коли вихідна напруга інтегратора досягає порогу спрацювання тригера Шмітта, напруга на виході скачком змінює свій знак. Внаслідок цього напруга на виході інтегратора починає змінюватись в протилежну сторону, поки не досягне

другого порогу спрацювання тригера Шмітта. Змінюючи сталу інтегрування, можна в широкому діапазоні перебудовувати частоту формуємої напруги. Амплітуда трикутної напруги U_2 залеже тільки від установки рівня спрацювання тригера Шмітта. Вона складає:

$$U_D = \left(\frac{R_1}{R_2}\right) U_{\text{макс}},$$

де $U_{\text{макс}}$ – межа насичення ОП1. Період коливань рівен подвійному часу, котре необхідно інтегратору, щоб його вихідна напруга змінювалась від $-U_D$ до $+U_D$. Звідси виходить:

$$T = 4RC\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$$

Таким чином, частота формуємої напруги не залеже від рівня границі насичення $U_{\text{макс}}$ операційного підсилювача.

Якщо до стабільності амплітуди трикутної напруги пред'являють високі вимоги, то простіший тригер Шміта, виконаний на базі неінвертуючого підсилювача, належе змінити однією з прецізійних схем.

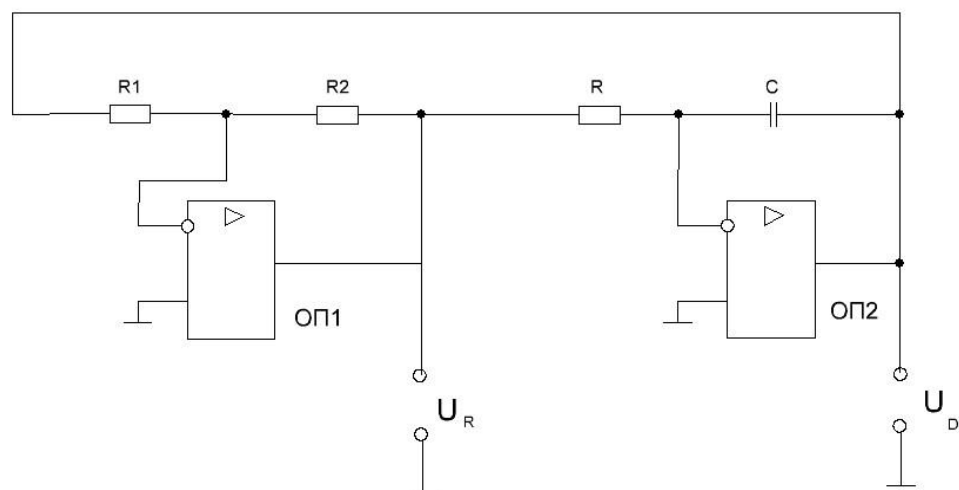


Рис. 4.1.2 Простий генератор трикутного та прямокутного сигналів.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Замість резистора R ставимо послідовно реостат і постійний резистор. Реостат використовується для регулювання частоти в широкому діапазоні, а постійний резистор для уникнення нульового опору, який може привести до зриву генерації. Частота за допомогою резистора регулюється в 10 разів, від 1 до 10кГц для цього ми беремо реостат в 10 разів більше опором ніж опір постійного резистора R. Реостат по схемі використовується 100кОм, отже отримаємо опір постійного резистора:

$$R = \frac{100\text{кОм}}{10} = 10\text{кОм}$$

Опори резисторів R1 та R2, отримаємо із співвідношення для цього задаємося значеннями $\hat{U}_D = 5\text{В}$, $U_{\text{макс}} = 12\text{В}$ та $R_1 = 15\text{кОм}$.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\hat{U}_D}{U_{\text{макс}}};$$

$$R_2 = \frac{R_1}{U_D} \cdot U_{\text{макс}} = \frac{15 \cdot 10^3}{5} \cdot 12 = 35.7 \text{ кОм}.$$

Для регулювання частоти в більшому діапазоні, встановимо конденсатори з різною ємністю. Розрахуємо ємність конденсаторів, при умові що опір реостата рівний нулю для різних значень частоти за формулою:

$$C = \frac{1}{4Rf} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$$\text{При } f = 20\text{кОм}, f = \frac{1}{4 \cdot (10 \cdot 10^3) \cdot (20 \cdot 10^3)} \cdot \frac{35,7 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3} = 2,975 \cdot 10^{-9} \text{ Ф};$$

$$\text{При } f = 2\text{кОм}, f = \frac{1}{4 \cdot (10 \cdot 10^3) \cdot (2 \cdot 10^3)} \cdot \frac{35,7 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3} = 2,975 \cdot 10^{-8} \text{ Ф};$$

$$\text{При } f = 200\text{Ом}, f = \frac{1}{4 \cdot (10 \cdot 10^3) \cdot 200} \cdot \frac{35,7 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3} = 2,975 \cdot 10^{-7} \text{ Ф};$$

$$\text{При } f = 20\text{Ом}, f = \frac{1}{4 \cdot (10 \cdot 10^3) \cdot 20} \cdot \frac{35,7 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3} = 2,975 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}.$$

Схема модернізованого генератора трикутного та прямокутного сигналів показана на рис. 4.3.1

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

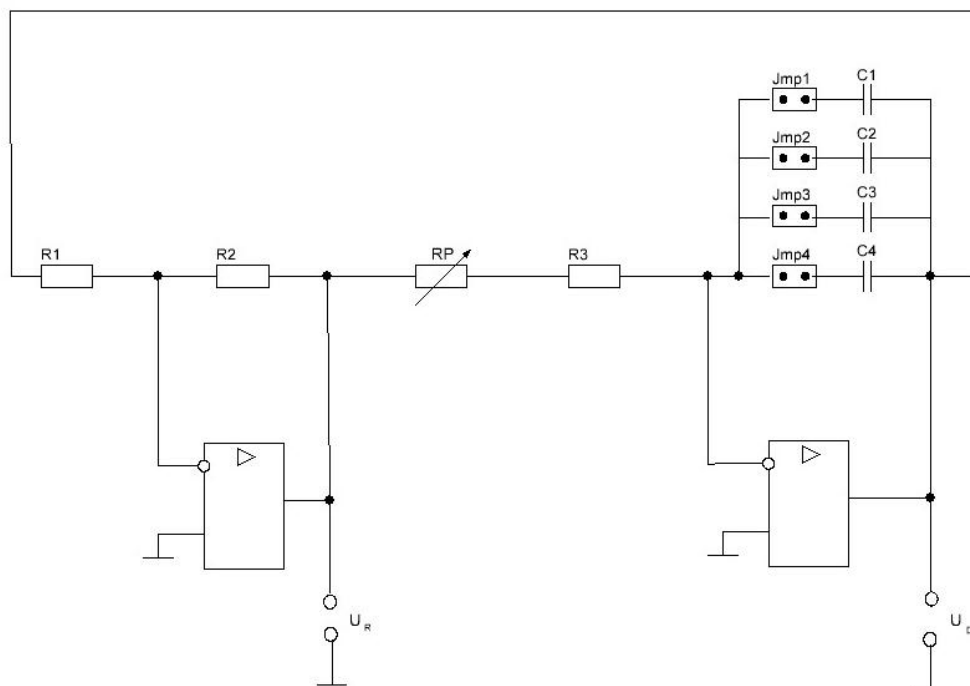


Рис.4.1.3 Модернізована схема генератора трикутного та прямокутного сигналів.

В функціональних генераторах модуляцію частоти вихідної напруги можна забезпечити відносно простими методами. Для цього послідовно з тригером Шмітта вмикають аналоговий комутатор на рис. 4.1.3 зображено такий підхід. В залежності від полярності вихідного сигналу тригера Шмітта на вхід інтегратора поступає напруга U_e або $-U_e$. При цьому швидкість наростання напруги U_D на виході інтегратора рівна:

$$\left(\frac{\Delta U_D}{\Delta t}\right) = \pm \left(\frac{U_e}{RC}\right)$$

Вихідна напруга тригера Шмітта стрибком змінює знак, коли трикутна напруга U_D досягає значення $\pm \left[\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right] U_{\text{макс}}$. Звідси для частоти коливань вихідної напруги отримаємо:

$$f = \frac{R_1 + R_2}{4R_1RC} \frac{U_e}{U_{\text{макс}}}$$

Таким чином, ця частота пропорційна вхідній напрузі U_e задається, як

$$U_e = U_{e0} + \Delta U_e$$

то отримаємо лінійну частотну модуляцію вихідної напруги.

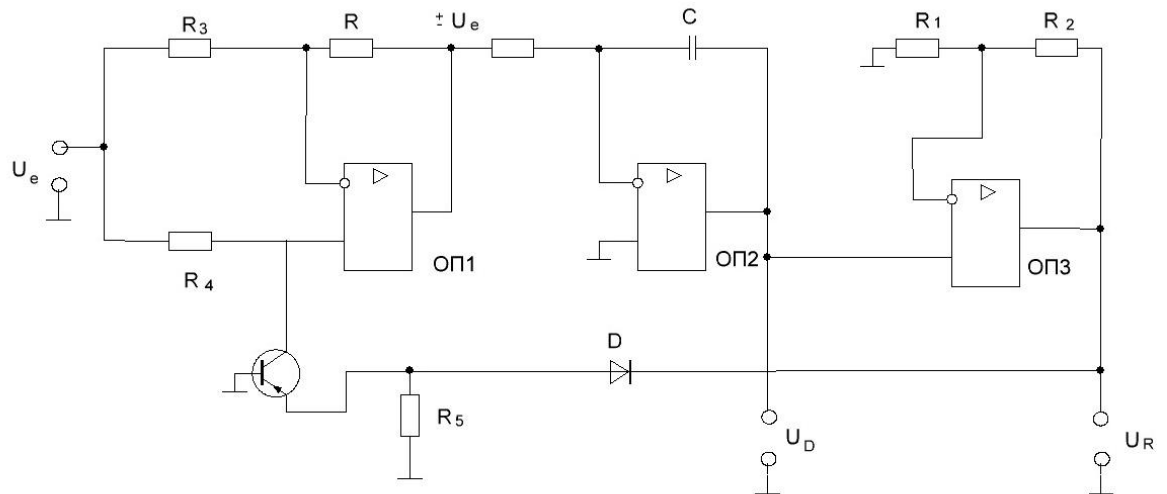


Рис.4.1.3 Функціональний генератор з аналоговим комутатором на операційному підсилювачі.

При необхідності забезпечення високої стабільності амплітуди і частоти сигналу замість тригера Шмітта на базі ОП 3 слід використовувати одну з прецизійних схем.

Зображений на рис. 4.1.3. аналоговий комутатор може працювати тільки на відносно невисоких частотах. Для частот вище 10кГц краще використовувати транзисторні комутатори рис. 4.1.4. В залежності від стану тригера Шмітта через транзистори T_1 і T_2 на вхід інтегратора подається напруга $+U_e$ або $-U_e$. Як було сказано, повинна виконуватись умова $|U_e| < U_{\text{макс}}$. В цьому випадку транзистори працюють, як насичений комплементарний емітерний повторювач і мають падіння напруги на відкритих переходах всього декілька мілівольт.

Синусний перетворювач призначений для реалізації виразу:

$$U_a = \hat{U}_a \sin\left[\left(\pi/2\right)\left(U_e / \hat{U}_e\right)\right], \quad (3)$$

в діапазоні зміни вхідної напруги $-U_e \leq U_e \leq +\hat{U}_e$. Для малих значень вхідної напруги можна записати:

$$U_a = \hat{U}_a (\pi / 2) \cdot (U_e / \hat{U}_e).$$

Доцільно вибрати значення амплітуди $\hat{U}_a$ так, щоб поблизу нуля виконувалася умова $U_a = U_e$. В цьому випадку $\hat{U}_a$ вибирається відповідно до відношення

$$\hat{U}_a \equiv (2 / \pi) \cdot \hat{U}_e. \quad (4)$$

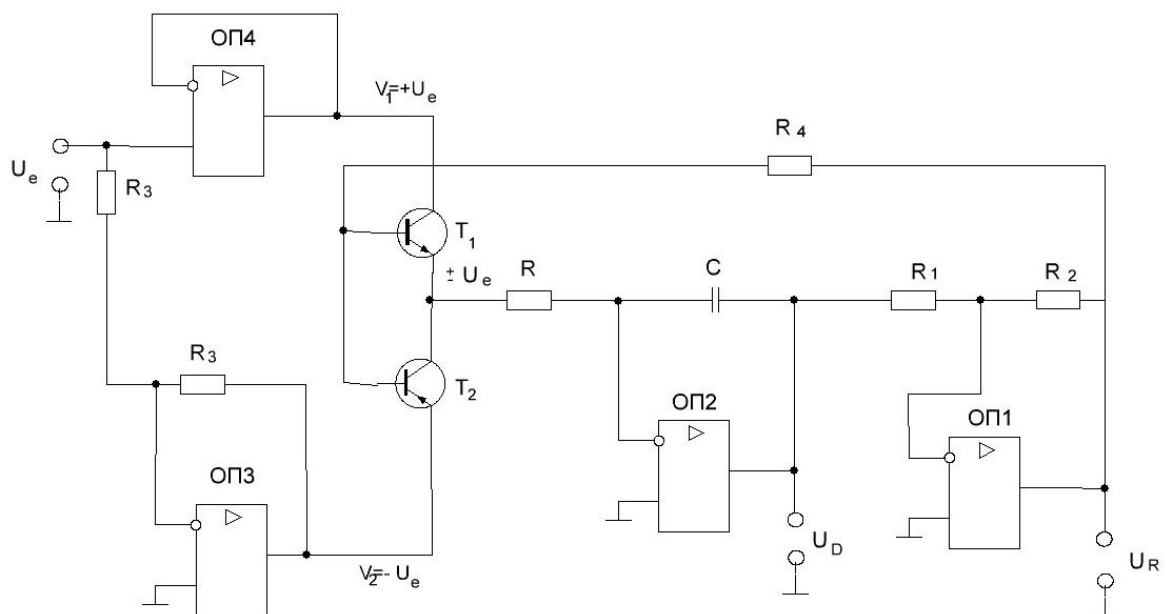


Рис. 4.1.4 Функціональний генератор з транзисторним аналоговим комутатором.

Отже, при малих значеннях вхідної напруги синусний перетворювач повинен мати коефіцієнт передачі, рівний 1, який при великих значеннях напруги повинен зменшуватися. Схема, яка задовольняє цим вимогам наведена на рис 4.1.5. Вона заснована на принципі кусочної апроксимації.

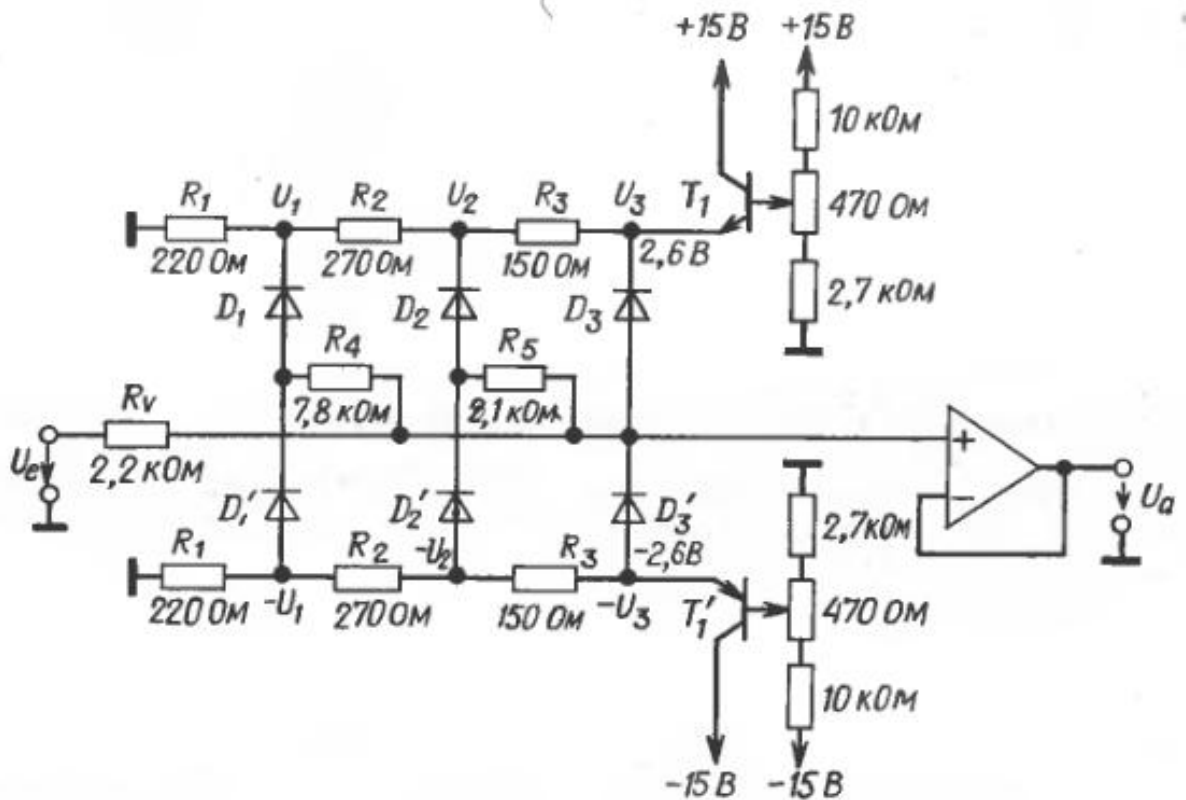


Рис 4.1.5 Схема реалізації синусної функції с $2n=6$ точками зламу.

При малих значеннях вхідної напруги всі діоди замкнені і вихідна напруга, як вимагалось, дорівнює вхідному ($U_a \equiv U_e$). При досягненні вхідною напругою значення U_1 діод D_1 відкривається. Наразі вихідна напруга U_a буде зростатиме повільніше вхідного, так як резистори R_v та R_1 утворюють дільник напруги. Коли вихідна напруга стане більше U_2 , підключиться додаткове плече дільника напруги (R_5) та коефіцієнт передачі вхідного сигналу ще зменшиться. Нарешті, діод D_3 служить для апроксимації синусних характеристики дотичній в точці максимуму. Відповідні діоди $D'_1 - D'_3$ призначені для аналогічної апроксимації характеристики при негативних вхідних напругах. Слід враховувати, що діоди будуть отпіратися не миттєво, а відповідно до їх експоненціальних характеристик; це дозволяє реалізувати синусну характеристику з досить малою похибкою при невеликому числі діодів.

Для розрахунку параметрів схеми необхідно спочатку задати точки зламу апроксимуючої кривої з кусочно-постійним нахилом. Можна показати, що перші n непарних гармонік будуть відсутні, якщо положення $2n$ точок зламу будуть задовольняти наступному співвідношенню:

$$U_{ek} = \pm [2k/(2n + 1)] \hat{U}_e,$$

$$0 < k \leq n.$$

Відповідні їм значення вихідної напруги з урахуванням виразів (3) та (4) визначаються формулою:

$$U_{ak} = \pm (2/\pi) \hat{U}_e \sin[\pi k / (2n+1)],$$

$$0 < k \leq n.$$

Нахил відповідних апроксимуючих відрізків дорівнює :

$$m_k = \frac{U_{a(k+1)} - U_{ak}}{U_{e(k+1)} - U_{ek}} = \frac{2n+1}{\pi} \left[\sin \frac{\pi(k+1)}{2n+1} - \sin \frac{\pi k}{2n+1} \right], \quad (5)$$

Як вже зазначалося, в точці максимуму ($k = n$) апроксимуючий відрізок горизонтальний, тобто $m = 0$. Коефіцієнт m_0 , що визначає нахил початкової ділянки, обраний рівним одиниці.

Внаслідок симетрії апроксимуючої характеристики парні гармоніки у вихідному сигналі будуть відсутні. Враховуючи вплив ефективних значень непарних гармонік, можна теоретично оцінити похибку апроксимації. Так, похибка не перевищує 1.8% для $2n = 6$ точок зламу, 0.8% для $2n = 12$. В результаті згладжування апроксимуючої кривої, обумовленого реальними характеристиками діодів, фактичні значення похибок будуть ще менше.

Перетворимо трикутну напругу в синусну напругу. Користуючись формулою :

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\hat{U}_a \equiv (2 / \pi) \cdot U_e,$$

отримаємо значення для амплітуди вихідного сигналу:

$$\hat{U}_a \equiv (2 / \pi) \cdot 5 = 3.18 \text{ В};$$

при цьому нахил нульових ділянок, як і потрібно було довести, буде рівний одиниці.

Виберемо для апроксимації $2n=6$ точок зламу кривої. За допомогою формули:

$$U_{ak} = \pm (2 / \pi) \hat{U}_e \sin[\pi k / (2n+1)],$$

обчислимо відповідні значення вхідного сигналу, при яких змінюється нахил кривої:

$$U_{ak} = \pm (2 / \pi) 5 \cdot \sin[\pi 1 / (2 \cdot 6 + 1)] = \pm 1.4 \text{ В}$$

$$U_{ak} = \pm (2 / \pi) 5 \cdot \sin[\pi 2 / (2 \cdot 6 + 1)] = \pm 2.5 \text{ В}$$

$$U_{ak} = \pm (2 / \pi) 5 \cdot \sin[\pi 3 / (2 \cdot 6 + 1)] = \pm 3.1 \text{ В}$$

Враховуючи реальні характеристики діодів, слід скорегувати отримані значення напруги так, щоб початковий момент відкривання діодів наступав при вхідній напрузі, менше на 0.5В. Отримаємо кінцевий результат $U_1 = 0.9 \text{ В}$, $U_2 = 2.0 \text{ В}$, $U_3 = 2.6 \text{ В}$. Значення опорів R1, R2 та R3, визначають коефіцієнт передачі вхідного сигналу, приведені на рис. 4.1.5. Емітерний повторювачі на транзисторах Т1 та Т2 служать в якості джерел напруги для установки напруги і одночасно для температурної компенсації прямої напруги діодів. Нахили трьох

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ділянок визначимо за формулою (5) $m_1 = 0.78, m_2 = 0.43, m_3 = 0$. Значення опору резистора обираємо рівним 2.2кОм. Нехтуючи внутрішнім опір ланцюгів подільника напруги, можна записати.

$$m_1 = R_4 / (R_v + R_4),$$

звідки отримаємо значення опорів $R_4 = 7.8$ кОм. Розрахунок опору R_5 проводиться на підставі формули:

$$m_2 = (R_5 \parallel R_4) [R_v + (R_5 \parallel R_4)],$$

Обчислення значення R_5 дорівнює 2.1 кОм.

Для точного налаштування схеми застосовується загороджуючий фільтр, що виділяє основну гармоніку, і досліджується осцилограми напруги сигналу помилки. Оптимум досягається тоді, коли максимальні значення сигналу помилки будуть рівні. Вимірний коефіцієнт спотворень складає 0.42%, що виявляється значно менше теоретичного значення для діодів з ідеальними характеристиками

4.2 Розробка активного фільтра низьких частот

Активний фільтр - один з видів аналогових електронних фільтрів, в якому присутній один або кілька активних компонентів, наприклад транзистор або операційний підсилювач.

В активних фільтрах використовується принцип відділення елементів фільтра від інших електронних компонент схеми. Часто буває необхідно, щоб вони не чинили впливу на роботу фільтра. Застосування підсилювачів в активних фільтрах дозволяє збільшити нахил частотної характеристики в смузі придушення, що недосяжно при каскадному з'єднанні пасивних RC-ланцюжків.

Існує кілька різних типів активних фільтрів, деякі з яких також мають і пасивну форму:

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Фільтр високих частот - послаблює (зазвичай значно) амплітуди гармонійних складових сигналу нижче частоти зрізу.
- Фільтр низьких частот - послаблює (зазвичай значно) амплітуди гармонійних складових сигналу вище частоти зрізу.
- Смуговий фільтр - послаблює (зазвичай значно) амплітуди гармонійних складових сигналу вище і нижче деякої смуги.
- Режекторний фільтр - послаблює (зазвичай значно) амплітуди гармонійних складових сигналу в певній обмеженій смузі частот.

Фільтр Чебишева - один з типів лінійних аналогових або цифрових фільтрів, відмітною особливістю якого є більш крутий спад амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) і суттєві пульсації амплітудно-частотної характеристики на частотах смуг пропускання (фільтр Чебишева I роду) і придушення (фільтр Чебишева II роду), ніж у фільтрів інших типів. Фільтр отримав назву на честь відомого російського математика XIX століття Пафнутія Львовича Чебишева, так як характеристики цього фільтра ґрунтуються на многочленів Чебишева.

Фільтри Чебишева зазвичай використовуються там, де потрібна за допомогою фільтра невеликого порядку забезпечити необхідні характеристики АЧХ, зокрема, гарне приглушення частот зі смуги придушення, і при цьому гладкість АЧХ на частотах смуг пропускання і придушення не настільки важлива.

Фільтр Баттерворта. АЧХ фільтра Баттерворта максимально гладка на частотах смуги пропускання і знижується практично до нуля на частотах смуги придушення. При відображенні частотного відгуку фільтра Баттерворта на логарифмічною АФЧХ, амплітуда знижується до мінус нескінченності на частотах смуги придушення. У разі фільтра першого порядку АЧХ загасає зі швидкістю -6 децибел на октаву (-20 децибел на декаду) (насправді всі фільтри першого порядку незалежно від типу ідентичні і мають однаковий частотний відгук). Для фільтра Баттерворта другого порядку АЧХ загасає на -12 дБ на октаву, для фільтра третього порядку - на -18 дБ і так далі. АЧХ фільтра Баттерворта - монотонно спадна функція частоти. Фільтр Баттерворта - єдиний з фільтрів, що зберігає форму АЧХ для більш високих порядків (за винятком більш крутого спаду характеристики на

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

смузі придушення) тоді як багато інших різновиди фільтрів (фільтр Бесселя, фільтр Чебишева, еліптичний фільтр) мають різні форми АЧХ при різних порядках.

У порівнянні з фільтрами Чебишева I і II типів або еліптичних фільтром, фільтр Баттерворта має більш пологий спад характеристики і тому повинен мати більший порядок (що більш важко в реалізації) для того, щоб забезпечити потрібні характеристики на частотах смузи придушення. Однак фільтр Баттерворта має більш лінійну фазо-частотну характеристику на частотах смузи пропускання.

ЛАЧХ для фільтрів Баттерворта нижніх частот порядку від 1 до 5. Нахил характеристикі - $20n$ дБ / декаду, де n - порядок фільтра.

Як і для всіх фільтрів при розгляді частотних характеристик використовують фільтр нижніх частот, з якого легко можна отримати фільтр високих частот, а, включивши кілька таких фільтрів послідовно, - смуговий фільтр або режекторний фільтр.

Фільтр Бесселя - в електроніці та обробці сигналів один з найбільш поширених типів лінійних фільтрів, відмітною особливістю якого є максимально гладка групова затримка (лінійна фазо-частотна характеристика). Фільтри Бесселя найчастіше використовують для аудіо-кросоверів. Їх групова затримка практично не змінюється по частотах смузи пропускання, внаслідок чого форма фільтруемого сигналу на виході такого фільтра в смузі пропускання зберігається практично незмінною.

Фільтр нижніх частот є схемою, яка без змін передає сигнали нижніх частот, а на високих частотах забезпечує загасання сигналів і запізнення їх по фазі щодо вхідних сигналів. На рис. 4.2.1 зображена схема найпростішого RC-фільтра нижніх частот

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

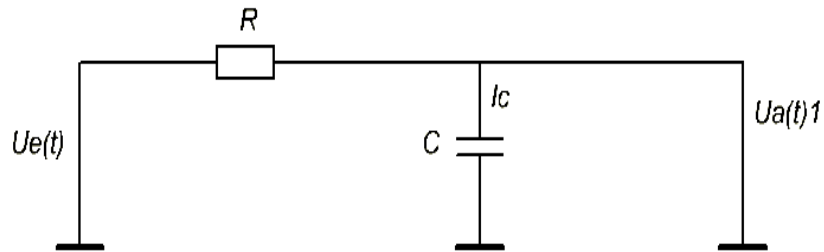


Рис. 4.2.1 Простий фільтр низьких частот.

Вхідна напруга фільтра залежить від частоти вхідного сигналу. Ця залежність визначається формулою:

$$\underline{A(j\omega)} = U_a / U_e = 1 / (1 + j\omega \cdot RC).$$

Замінивши $j\omega$ на $j\omega + \sigma = p$, отримаємо звідси передавальну функцію фільтра:

$$A(P) = L\{U_a(t)\} / L\{U_e(t)\} = 1 / (1 + pRC).$$

Передавальна функція визначає залежність перетворень Лапласа вихідного і вхідного напруг для довільних часових сигналів. Перехід від передавальної функції $A(p)$ до частотної характеристики $\underline{A(j\omega)}$ для синусоїдальних вхідних сигналів можна виконати, поклавши $\sigma = 0$.

Для реалізації підходу доцільно нормувати комплексну змінну p . Припустимо:

$$P = p / \omega_g.$$

При $\sigma = 0$ в цьому випадку отримаємо:

$$P = j\omega / \omega_g = j(f / f_g) = j\Omega.$$

Частота зрізу фільтра f_g на рис 4.2.1. дорівнює $1/\pi RC$. Звідси отримаємо $P = pRC$ та:

$$A(p) = 1 / (1 + P).$$

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуючи передавальну функцію для оцінки залежності амплітуди вихідного сигналу від частоти, запишимо:

$$|A(j\Omega)|^2 = 1/(1 + \Omega^2).$$

При $\Omega \gg 1$, тобто для випадку, коли частота вхідного сигналу $f \gg f_g$, $|A| = 1/\Omega$. Це відповідає зниженню коефіцієнта передачі фільтра на 20дБ на декаду.

Якщо необхідно отримати більш швидке зменшення коефіцієнта передачі, можна включити n фільтрів нижніх частот послідовно. Передавальна функція такої системи має вигляд:

$$A(P) = \frac{1}{(1 + \alpha_1 P)(1 + \alpha_2 P) \dots (1 + \alpha_n P)}, \quad (6)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – дійсні позитивні коефіцієнти. З цієї формули слідує, що $|A| \sim 1/\Omega^n$ при $\Omega \gg 1$. Зменшення коефіцієнта передачі характеризується величиною $n \cdot 20$ дБ на кожну декаду. Відзначимо, що кореня передавальної функції (6) є від'ємними і дійсними. Таким властивістю володіють пасивні RC - фільтри n -го порядку. Поєднавши послідовно фільтри нижніх частот з однаковою частотою зрізу, отримаємо:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha = \sqrt[n]{2-1}.$$

Цей випадок відповідає критичного загасання. Окремі фільтри (ланки) мають при цьому частотою зрізу, що перевищує частоту зрізу всього фільтра на коефіцієнт $1/\alpha$.

Передавальна функція фільтра нижніх частот в загальному вигляді може бути записана як:

$$A(P) = \frac{A_0}{1 + c_1 P + c_2 P^2 + \dots + c_n P^n},$$

Де $c_1, c_2, \dots, c_n$ - позитивні справжні коефіцієнти. Порядок фільтра визначається максимальним ступенем змінної P . Для реалізації фільтра необхідно розкла-

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сти поліном знаменника на множники. Якщо серед коренів полінома є комплексні, то розглянуте раніше уявлення полінома (6) не може бути використана. У цьому випадку слід записати його у вигляді добутку множників другого порядку:

$$A(P) = \frac{1}{(1 + a_1 P + b_1 P^2)(1 + a_2 P + b_2 P^2) \dots},$$

де a_i та b_i - позитивні справжні коефіцієнти. Для непарних порядків полінома коефіцієнт b_1 дорівнює нулю.

Параметри фільтра можуть бути оптимізовані за різними критеріями. Для задоволення кожному з вибраних критеріїв оптимізації коефіцієнти a_i і b_i передавальної функції $A(P)$ повинні мати строго певні значення. Коріння полінома можуть мати пов'язані комплексні значення, що призводить до неможливості реалізації такого фільтра за допомогою пасивних RC-ланцюгів. Для реалізації фільтрів з сполученими комплексними країнами можуть бути використані LRC-фільтри. Для високих частот отримання необхідних індуктивностей не представляє труднощів. Однак для низьких частот потрібні великі індуктивності, які складні у виготовленні і володіють поганими електричними характеристиками. Застосування індуктивностей для фільтрів в низькочастотному діапазоні можна уникнути, користуючись RC-схеми з активними елементами (наприклад, операційними підсилювачами)

В якості активного фільтра низьких частот обираємо схему Саллена-Кі.

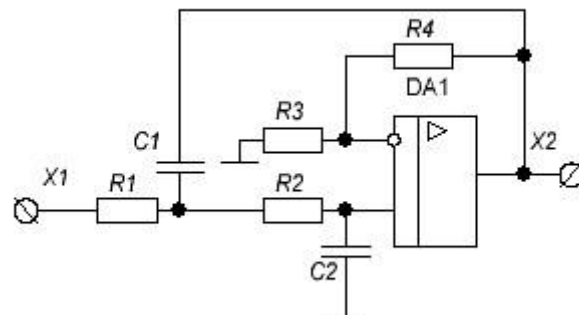


Рис. 4.2.2 Схема активного фільтра низьких частот Саллена-Кі

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок фільтра досить громіздкий, але його можна спростити, якщо припустити $C1 = C2$ и $R1 = R2$: $f = \frac{1}{2\pi \cdot R1 \cdot C1}$. Для дослідження фільтра низьких частот слід вибрати частоту зрізу фільтра істотно нижче частоти, яку може генерувати функціональний генератор. Функціональний генератор має діапазон частот до 20 кГц, вибираємо максимальну частоту зрізу фільтра на декаду нижче - 2 кГц. Мінімальна ємність становить 10 нФ, тоді опір резисторів складе:

$$R1 = \frac{1}{2\pi \cdot 5000 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 7961.$$

Вибираємо найближче значення 8,2 кОм.

Розрахуємо частоту зрізу фільтра при всіх значеннях ємності конденсаторів, встановлених на платі за формулою:

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot R1 \cdot C1}.$$

$$\text{При } C1 = 10 \text{ нФ } f = \frac{1}{2\pi \cdot 8200 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 1941 \text{ Гц};$$

$$\text{При } C1 = 22 \text{ нФ } f = \frac{1}{2\pi \cdot 8200 \cdot 22 \cdot 10^{-9}} = 882 \text{ Гц};$$

$$\text{При } C1 = 47 \text{ нФ } f = \frac{1}{2\pi \cdot 8200 \cdot 47 \cdot 10^{-9}} = 412 \text{ Гц};$$

$$\text{При } C1 = 0.1 \text{ мкФ } f = \frac{1}{2\pi \cdot 8200 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 194 \text{ Гц};$$

$$\text{При } C1 = 0.22 \text{ мкФ } f = \frac{1}{2\pi \cdot 8200 \cdot 220 \cdot 10^{-9}} = 88 \text{ Гц};$$

$$\text{При } C1 = 0.47 \text{ мкФ } f = \frac{1}{2\pi \cdot 8200 \cdot 470 \cdot 10^{-9}} = 41 \text{ Гц}.$$

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дані частоти знаходяться в звуковому діапазоні, сигнал може легко вимірюватися за допомогою осцилографа, навіть самий високочастотний фільтр має частоту зрізу на декаду нижче частоти функціонального генератора і тому наочно може досліджуватися робота фільтра в смузі придушення.

Резистори R3 і R4 визначають не тільки коефіцієнт посилення, але і тип фільтра. Для того, щоб можна було досліджувати різні типи фільтрів, необхідно мати можливість зміни R3 або R4. В якості R4 можна використовувати встановлений на основній платі реостат. Виберемо опір R3 рівним 15 кОм. У літературі наводиться таблиця з залежністю типу фільтра від коефіцієнта підсилення.

Тип фільтра	Коефіцієнт підсилення
Фільтр з критичним загасанням	1
Фільтр Бесселя	1,268
Фільтр Баттерворта	1,586
Фільтр Чебишева	2,234

Коефіцієнт підсилення схеми визначається співвідношенням:

$$K = 1 + \frac{R4}{R3}.$$

Звідси отримаємо:

$$R4 = (K - 1) \cdot R3.$$

Для $K = 1$ $R4 = (1 - 1) \cdot 15000 = 0$ Ом, тобто коротке замикання.

Для $K = 1$ $R4 = (1.268 - 1) \cdot 15000 = 4000$ Ом.

Для $K = 1$ $R4 = (1.586 - 1) \cdot 15000 = 8790$ Ом.

Для $K = 1$ $R4 = (2.234 - 1) \cdot 15000 = 18510$ Ом.

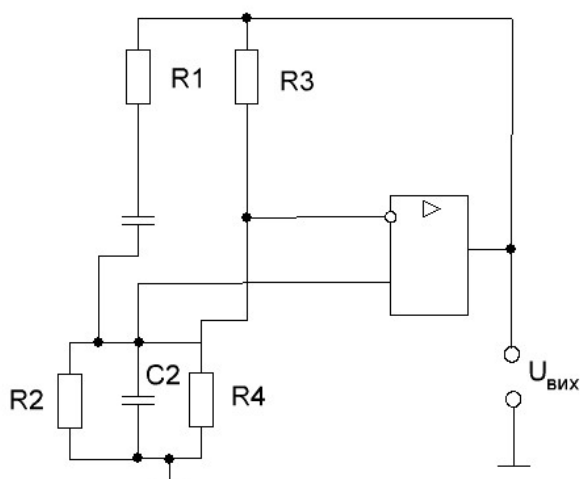
Тип фільтра особливо наочно змінює перехідну характеристику, яку можна імітувати за допомогою подачі на вхід сигналу прямокутної форми.

4.3 Розробка генератора синусоїдального сигналу

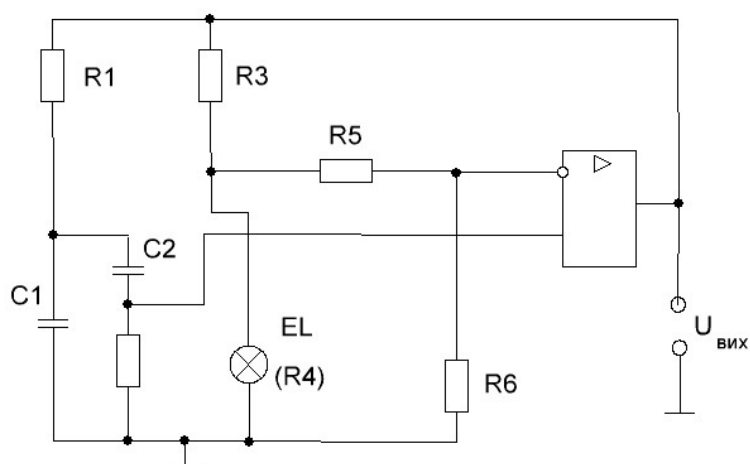
					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі ОП можуть бути побудовані різні види генераторів гармонічних коливань. Якщо необхідно отримати змінну синусоїдальну напругу низьких або середніх частот, то найбільш зручно використати один з варіантів RC – генераторів.

Приклади RC – генераторів, що виконані на основі ОП показані на рис. 4.3.1



а)



б)

Рис.4.3.1 Схеми гармонічних RC – генераторів.

Схема Рис. 4.3.1 а) відповідає часто використовуваному генератору з мостом Віна. При $\frac{R_3}{R_4} > \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}$ в пристрої виникають автоколивання, частота котрих визначаються формулою $\omega_0^2 = 1/(R_1 R_2 C_1 C_2)$. Звичайно використовують в частотно-залежній гілці моста Віна рівні опори і рівні ємності $R_1 = R_2 = R, C_1 = C_2$, а частоту автоколивань знаходять по співвідношенню $f_0 = 1/(2\pi RC)$, при чому автоколивання виникають при умові, що коефіцієнт підсилення підсилювача, складеного з ОП і резисторів R_3 і R_4 , більше трьох. Інакше кажучи, повинна бути виконана умова $R_3/R_4 > 2$.

Усталені автоколивання в замкненому ланцюзі можливі лише при умові точної рівності одиниці коефіцієнта путьового підсилення на частоті f_0 . Але для виникнення автоколивань потрібно, щоб на початку коефіцієнт петльового підсилення був більше одиниці. Після виникнення автоколивань їх амплітуда стабілізується в кінцевому рахунку на такому рівні, при котрому за рахунок нелінійного елементу в петлі коефіцієнт підсилення знижується до одиниці. Якщо не виживати спеціальних заходів, то згадана не лінійність проявляється в амплітудній характеристиці ОП; в цьому випадку форма автоколивань може значно відрізнятись від синусоїди.

Для отримання гармонійних коливань з малими спотвореннями використовують інерційно-нелінійний ланцюг від'ємного зворотного зв'язку ОП. Потрібний характер не лінійності забезпечується тоді, коли зі зростанням амплітуди сигналу зменшується опір R_3 або збільшується опір R_4 (рис. 4.3.1 а). Тому замість R_3 можна ввімкнути мініатюрний полу провідниковий транзистор або замість R_4 – металевий терморезистор (наприклад, мініатюрну лампочку накаливання). Малі розміри терморезистора в даному випадку потрібні для того, щоб забезпечити його розігрів малопотужним сигналом.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки при використанні моста Віна з $R_1 = R_2$ та $C_1 = C_2$ на резисторі R_3 (рис.4.3.1а) падає напруга в два рази більша ніж на резисторі R_4 , то схема рис. а) зручна для використання замість R_3 полу провідникового терморезистора. В цьому випадку значна частина вихідної потужності ОП буде витрачатись на розігрів терморезистора. Для того, щоб при використанні лампочки накаливання також забезпечити розсіювання на ній більшої частини вихідної потужності ОП, можна зробити ланцюг від ємного зворотного зв'язку двохступінчатим. Саме так побудовано ланцюг ВЗЗ в схемі на рис. б). Тут лампочка EL, що виконує роль резистора R_4 , входить до першої ланки подрібнювача ВЗЗ (R_3, R_4), а друга ланка складена з резисторів R_5, R_6 . Якщо прийняти $R_5 = R_6 \gg R_4$, то коефіцієнт передачі ланцюга ВЗЗ:

$$\beta_0 \approx \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_6}{R_5 + R_6} = \frac{1}{3}$$

буде забезпечуватись при $R_4 = 2R_3$.

На рівні з Г-подібним частотно-залежним RC – ланцюгом, характерним для моста Віна, в RC – генераторах можуть використовуватись приблизно такі ж по основним характеристикам подвійні Г – подібні RC – ланцюги. Саме такий ланцюг і використаний в генераторі по схемі рис. б) взаємно змінити місцями резистори і конденсатори R_1, R_2 і C_1, C_2 .

При побудові генераторів з частотно-залежними ланцюгами, забезпечуючи на частоті автоколивань фазовий зсув, рівний π , зручно використовувати потенціально-струмові різновиди виборчих ланцюгів. Такі ланцюги призначені для роботи сумісно з підсилювачами, що мають малий вхідний та вихідний опори.

Приклад RC – генератора з поступовою потенціально-струмовою RC – ланкою показано на рис. 4.3.2а. Частотно-залежний ланцюг включає елементи C_1, C_2, C_3, R_1, R_2 , а ОП і резистор R_3 утворюють підсилювач зі струмовим вхо-

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дом, в котрому відношення вихідної напруги до вхідного струму рівно R_3 (якщо не враховувати діоди D_1, D_2). Частота автоколивань цього генератора знаходиться за формулою:

$$\omega_0 = 1/\sqrt{R_1 R_2 (C_1 C_2 + C_1 C_3 + C_2 C_3)}$$

Для виникнення автоколивань необхідно виконання умови:

$$R_3 > \frac{R_1 (C_1 + C_2)}{C_e} + \frac{R_2 (C_2 + C_3)}{C_e},$$

$$\text{де } C_e = C_1 C_2 C_3 / (C_1 C_2 + C_1 C_3 + C_2 C_3)$$

При умові $C_1 = C_2 = C_3$ і $R_1 = R_2 = R_3$ частота автоколивань генератора рис. а) рівна $f_0 = 1/(2\sqrt{3}\pi RC)$, а для виникнення автоколивань необхідно, щоб виконувалась умова $R_3 > 12R$. Діоди D_1, D_2 , що ввімкнені в цьому генераторі послідовно з резистором R_3 забезпечують не лінійність петльового підсилення і служать таким чином для стабілізації амплітуди коливань. Якщо, наприклад, $R=15\text{кОм}$ і, отже, при відсутності діодів необхідно, щоб було $R_3 > 12 \cdot 15 = 180\text{кОм}$, то при наявності діодів можна встановити $R_3 = 150\text{кОм}$.

При малій амплітуді сигналу діоди майже зачинені і петльове підсилення в генераторі суттєво більше одиниці. Це забезпечується швидке збудження автоколивань. Потім амплітуда коливань стабілізується на такому рівні, при котрому опір діодів сумісно з опором R_3 забезпечує одиничне петльове підсилення для основної гармоніки сигналу.

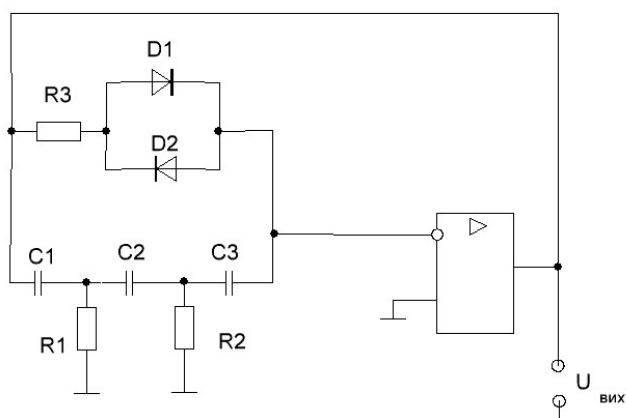
При введенні інерційно-нелінійного ВЗЗ в генератор з поступовим RC – ланцюгом зручно використовувати Т – подібний трьохполюсник в ланцюзі ВЗЗ (рис.4.3.16). Ввімкнення такого трьохполюсника, складеного з резисторів R_3, R_4, R_5 , між виходом і входом ОП еквівалентно ввімкненню одного опору рів-

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ного $R_3 + R_4 + R_3 R_4 / R_5$. Це дає можливість так обирати опір резисторів, щоб забезпечити виділення більшої частини потужності на терморезисторі (полу провідниковий тенхорезистор вмикається замість R_3 або металевий – замість R_5).

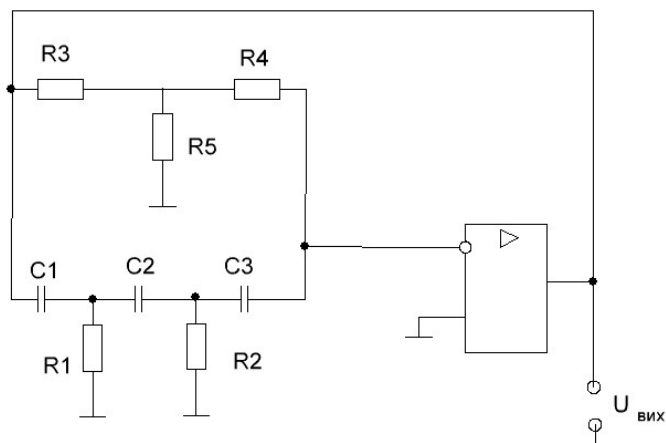
Якщо треба забезпечити високу стабільність амплітуди автоколивань в RC – генераторі, то ланцюг регулювання глибини ВЗЗ виконують на основі порівняння амплітуди генеруємої напруги з опорною постійною напругою. Зазвичай спочатку випрямляють змінну напругу з виходу генератора, потім з нього віднімають опорну напругу, а різницю підсилюють і використовують для управління одним з опорів, що входять в гілку ВЗЗ генератора. В якості керованих опорів при цьому можуть використовуватись польові транзистори, фоторезистори, терморезистори і т. п.

На завершення можна відмітити, що тут коротко описані лише основні різновиди RC – генераторів. В принципі можна складати різні автоколивальні RC – ланцюги, що мають потрібні властивості. Змінюючи місцями, наприклад в мості Віна (рис. 4.3.1а) плечі R_4 і R_1, C_1 можна отримати генератор, в котрому обидва конденсатори мають по одному заземленому зажиму. Це зручно при наладці частоти за допомогою зпареного змінного конденсатора.



а)

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



б)

Рис.4.3.2 Схеми RC – генераторів з потенціально-струмовими виборчими ланцюгами.

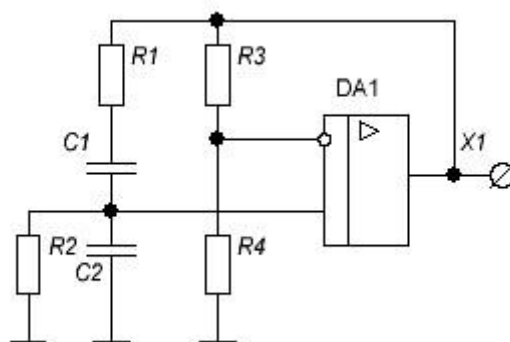


Рис. 4.3.3 Схеми генератора

Резистори R1 і R2 будуть встановлені на платі генератора, а конденсатори підключатися за допомогою джамперів з основної плати. Необхідно розрахувати опір резисторів так, щоб при найменшій ємності отримати частоту генерації в допустимому діапазоні частот ОП. Вибираємо частоту $f = 5$ кГц. Конденсатори на основній платі мають ємності від 10 нФ до 0,47 мкФ. Вираз для частоти генератора має вигляд:

$$\omega^2 = \frac{1}{R1R2C1C2};$$

Звідси отримаємо при $C1 = C2$ и $R1 = R2$:

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R1 = \frac{1}{\omega C1}, \text{ або } R1 = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C1}.$$

Максимальної частоті відповідає мінімальна ємність, тому підставимо в формулу частоту 5 кГц і ємність 10 нФ:

$$R1 = \frac{1}{2\pi \cdot 5000 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 3184.$$

Вибираємо найближче значення 3 кОм.

Як резистора R4 вибираємо мініатюрну лампу розжарювання з параметрами $U = 12 \text{ В}$, $I = 0,05 \text{ А}$. Заміри опір лампи в холодному стані, отримаємо $R4 = 39 \text{ Ом}$. Для виникнення коливань необхідно виконання умови:

$$\frac{R3}{R4} > \frac{R1}{R2} + \frac{C2}{C1}.$$

Так як $C1 = C2$ и $R1 = R2$, то отримаємо $\frac{R3}{R4} > 2$. Отже, $R3 > 2 \cdot R4$. Лампа розжарювання змінює опір нитки розжарювання в широких межах, вибираємо з запасом $R3 = 180 \text{ Ом}$.

Розрахуємо частоту роботи генератора при всіх значеннях ємності конденсаторів, встановлених на платі за формулою

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot R1 \cdot C1}.$$

$$\text{При } C1 = 10 \text{ нФ } f = \frac{1}{2\pi \cdot 3000 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 5307 \text{ Гц.}$$

$$\text{При } C1 = 22 \text{ нФ } f = \frac{1}{2\pi \cdot 3000 \cdot 22 \cdot 10^{-9}} = 2412 \text{ Гц.}$$

$$\text{При } C1 = 47 \text{ нФ } f = \frac{1}{2\pi \cdot 3000 \cdot 47 \cdot 10^{-9}} = 1129 \text{ Гц.}$$

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При $C1 = 0.1 \text{ мкФ}$ $f = \frac{1}{2\pi \cdot 3000 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 531 \text{ Гц.}$

При $C1 = 0.22 \text{ мкФ}$ $f = \frac{1}{2\pi \cdot 3000 \cdot 220 \cdot 10^{-9}} = 241 \text{ Гц.}$

При $C1 = 0.47 \text{ мкФ}$ $f = \frac{1}{2\pi \cdot 3000 \cdot 470 \cdot 10^{-9}} = 113 \text{ Гц.}$

Отримані частоти знаходяться в звуковому діапазоні, легко можуть спостерігатися на осцилографі під час виконання лабораторних робіт і відповідають робочому діапазону частот операційного підсилювача.

Використовуючи програму Sprint-Layout, була розроблена та виготовлена двостороння плата. Верхня та нижня сторони якої зображені на рис.4.3.4 та рис.4.3.4.

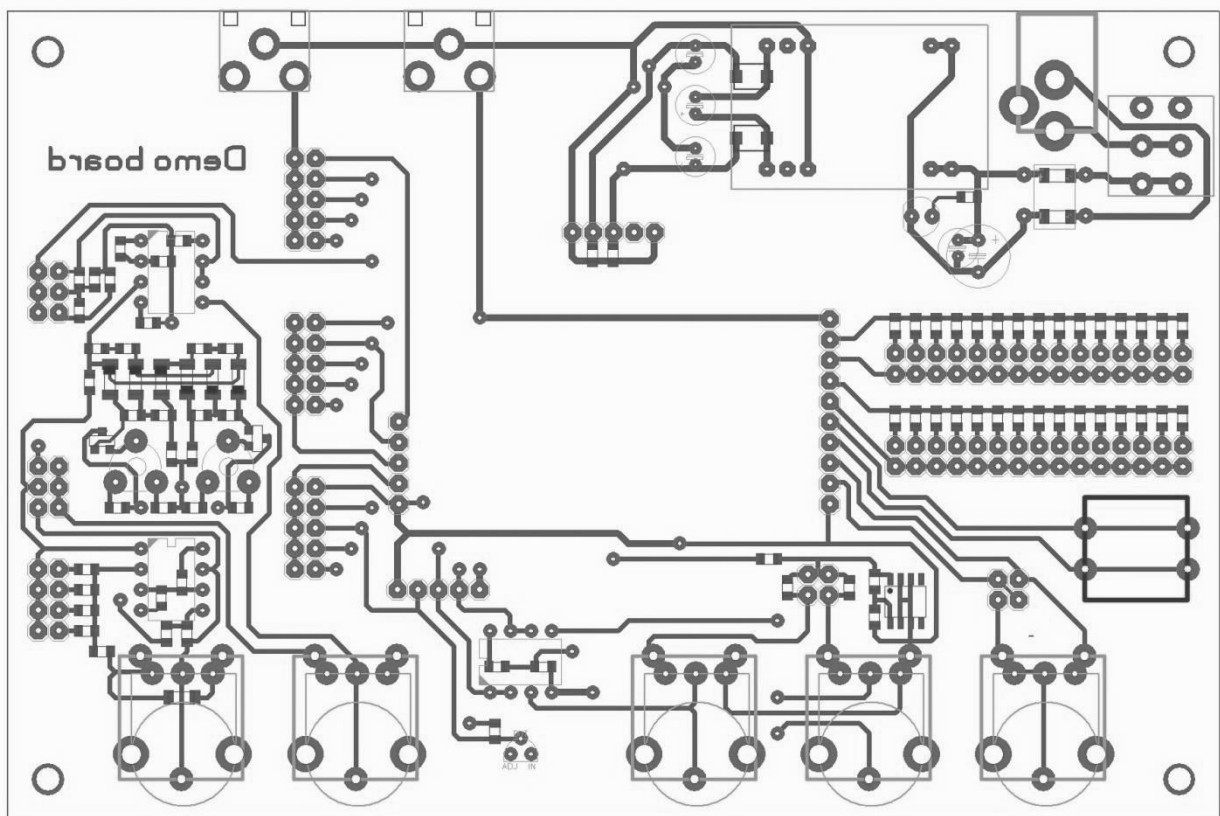


Рис. 4.3.4. Верхня сторона печатної плати стенду.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

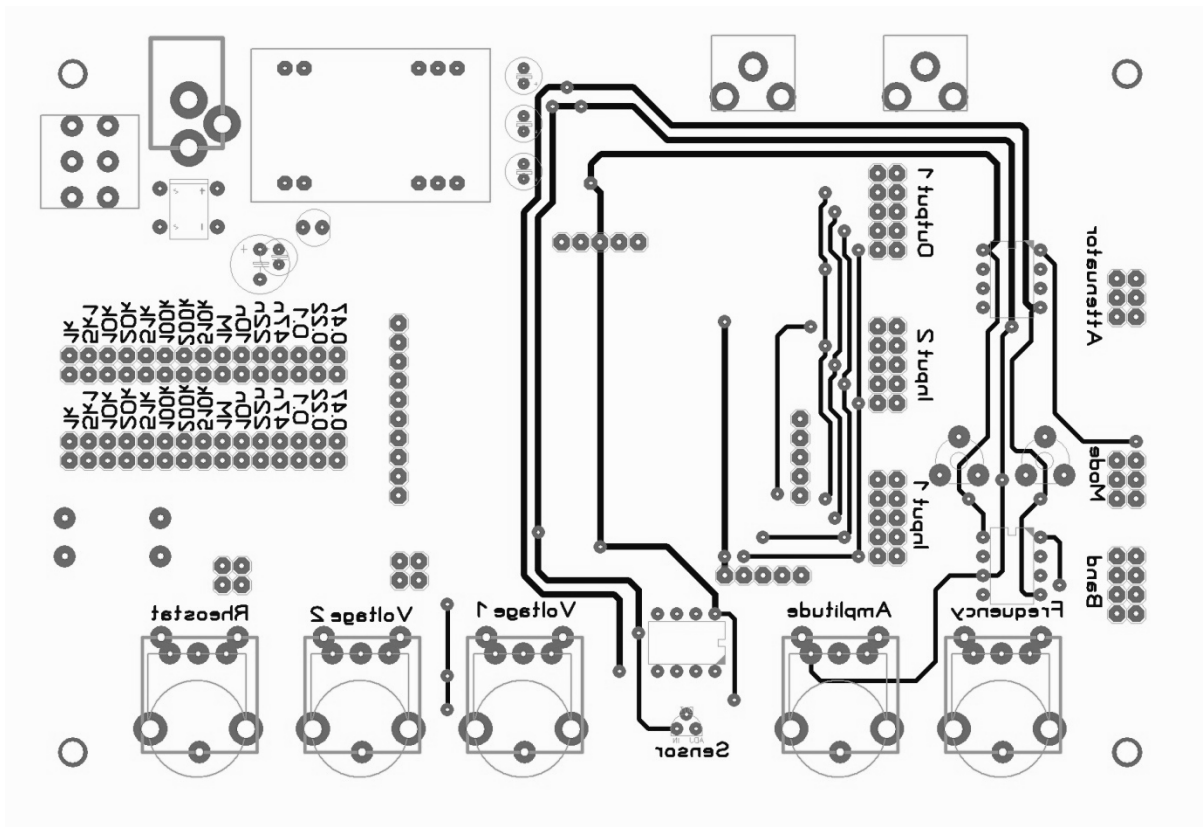


Рис. 4.3.5. Нижня сторона печатної плати стенду

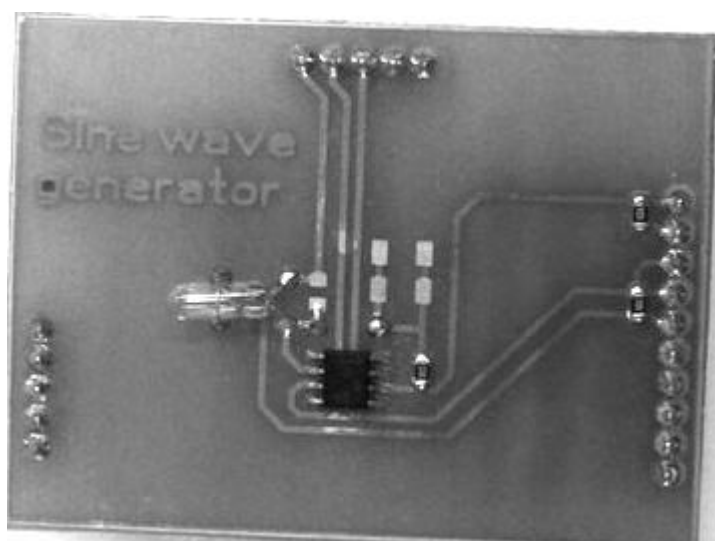


Рис. 4.3.6. Змінна плата для виконання роботи по дослідженню генератора синусоїдального сигналу

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

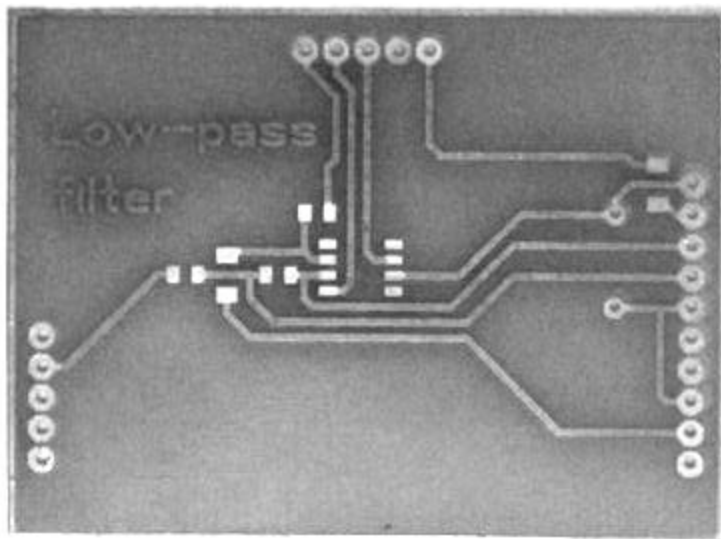
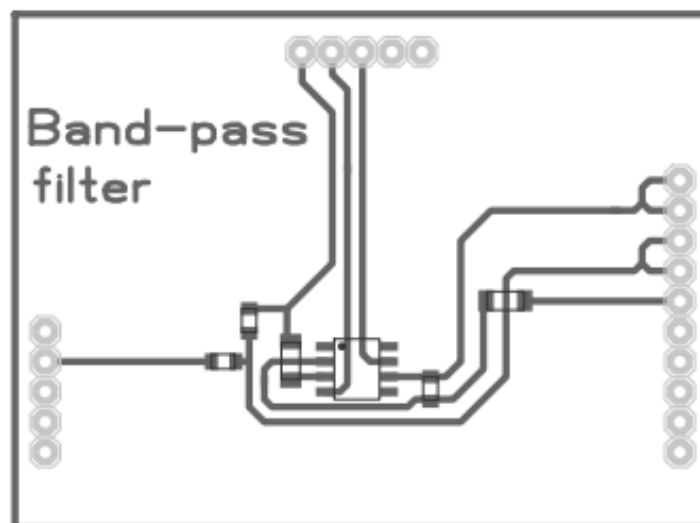
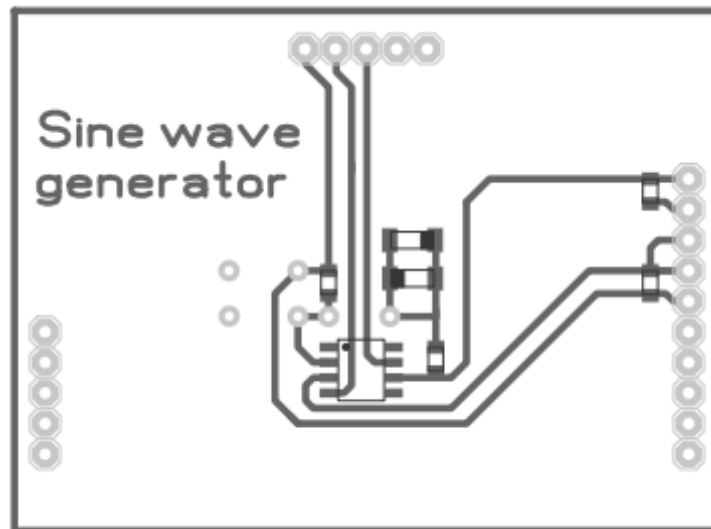


Рис. 4.3.6. Змінна плата для виконання роботи по дослідженню активного фільтра низьких частот

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З СТЕНДОМ

5.1 Основні положення охорони праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Цілком безпечних і нешкідливих виробництв не існує. Задача охорони праці – звести до мінімальної ймовірності ураження або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Конкретні заходи щодо створення здорових і безпечних умов праці, попередження нещасних випадків і професійних захворювань регламентуються спеціальними Правилами і Нормами.

Правила і норми з техніки безпеки спрямовані на захист організму людини від отримання фізичних травм, дії технічних засобів, що використовуються в процесі праці.

Правила і норми з виробничої санітарії та гігієни мають на меті захист організму від перевтоми, хімічної, атмосферної дії і т.д. Ці правила і норми встановлюють вимоги до впорядкування і правильного використання території, виробничих і побутових приміщень підприємств, облаштування робочих місць.

Поліпшення умов праці, підвищення безпеки і нешкідливості має велике економічне значення. Воно впливає на економічні результати виробництва – на продуктивність праці, якість і собівартість продукції, що випускається.

Поліпшення умов праці і підвищення рівня безпеки призводять до зниження виробничого травматизму, професійних захворювань, інвалідності, що зберігає здоров'я працівників і одночасно призводить до зменшення витрат на оплату пільг і компенсацій за роботу в несприятливих умовах праці, на оплату наслідків такої роботи (тимчасової і постійної непрацездатності), на лікування, перепідготовку працівників виробництва у зв'язку з текучістю кадрів із причин,

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пов'язаних з умовами праці.

Всі заходи щодо охорони праці проводяться з метою захисту учасників трудового процесу від дії небезпечних і шкідливих чинників, що характеризують умови його проведення.

5.2 Аналіз небезпечних і шкідливих чинників на робочому місці

До небезпечних належать чинники, що призводять при короткочасному впливі на людину до травмування або до інших швидко виникаючих пошкоджень організму. Це можуть бути машини, механізми або їх елементи, електричний струм, сильно нагріті поверхні та інші.

Шкідливими називаються такі чинники, які в результаті тривалої дії на працюючих можуть призвести до стійкого погіршення стану здоров'я, наприклад, до професійного захворювання. До них належать шкідливі хімічні речовини, різного роду випромінювання, несприятливі метеорологічні умови та інші.

Залежно від тривалості і характеру дії одні і ті ж чинники можуть бути небезпечними або шкідливими.

Шкідливі і небезпечні чинники за природою їх виникнення діляться на 4 групи: фізичні, хімічні, біологічні і психофізіологічні.

До фізичних належать чинники, що викликають небезпеку механічної дії (машини і механізми, що рухаються, рухомі елементи устаткування); несприятливі метеорологічні умови; підвищений рівень шуму, інфразвуку, ультразвуку, вібрації, електромагнітних та іонізуючих випромінювань; підвищена або знижена іонізація повітря; електричний струм небезпечної величини; підвищений рівень статичної електрики; несприятливі умови освітлення.

До хімічних чинників належать шкідливі хімічні речовини, які проникають в організм через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкірні покриви і слизисті оболонки.

Біологічні чинники включають різні біологічні об'єкти, які негативно впливають на людину; патогенні мікроорганізми і продукти їх життєдіяльності, а

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також мікроорганізми (рослини і тварини).

До психофізіологічних чинників належать фізичні (статичні і динамічні) перевантаження, гіподинамія і нервово-психічні перевантаження. Останні характеризуються розумовими і емоційними перевантаженнями, монотонністю праці.

В даний час в нашій країні існує комплекс розроблених організаційних заходів і технічних засобів захисту. Накопичений досвід роботи показує, що існує можливість досягти значних успіхів в справі усунення дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників на працюючих. Проте стан умов праці і її безпеки не завжди задовольняють сучасним вимогам. Працівники ще стикаються з дією наступних фізичних небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

З фізіологічної точки зору шум розглядають як звук, що заважає розмовній мові і негативно впливає на здоров'я людини. Прояв шкідливої дії шуму на організм людини різноманітний: це і необоротні втрати слуху, і механічні пошкодження органів слуху, і вплив на центральну і вегетативну нервові системи, а через них – на внутрішні органи. Люди, що працюють в умовах підвищеного шуму, скаржаться на швидку стомлюваність, головний біль, безсоння. У людини погіршується увага, страждає пам'ять. Все це призводить до значного зниження продуктивності праці, зростання кількості помилок в роботі операторів.

За походженням шум ділять на механічний, обумовлений коливаннями деталей машин і їх взаємним переміщенням, аеродинамічний (гідродинамічний), виникаючий в пружних конструкціях в газі або рідині, і шуми електричних машин.

Відповідно до ГОСТ 12.1.003 – 83 захист від шуму, що створюється на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, проникаючого ззовні, здійснюється наступними методами:

- зменшенням шуму в джерелі;
- застосуванням засобів колективного і індивідуального захисту;
- раціональним плануванням і акустичною обробкою робочих приміщень.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця. Допустимі рівні звукового тиску на робочих місцях

Робочі місця	Рівні звукового тиску (дБ) з середньгеометричною частотою, Гц								Рівень звуку, дБ
	6	1	2	5	1	2	4	8	
	3	25	50	00	000	000	000	000	
Постійні роб.місця і роб.	9	9	8	8	8	7	7	7	85
	9	2	6	3	0	8	6	4	
			9	8	7	7	7	7	74
		99	2	6	8	6	4	6	
		7	7	7	7	7	7	7	74
		8	6	4	8	6	4	8	
		8	8	8	7	7	7	8	86
		6	3	0	8	6	4	5	
		8	7	7	7	8	8	7	76
		0	8	6	4	5	0	8	

Під метеорологічними умовами виробничого середовища розуміють поєднання температури, відносної вологості, швидкості руху і запыошеності повітря. Перелічені параметри мають величезний вплив на функціональну діяльність людини, її самопочуття і здоров'я. Ці мікрокліматичні параметри впливають як кожний окремо, так і в різних поєднаннях. У виробничих умовах характерна сумарна дія мікрокліматичних параметрів.

Великий вплив на мікроклімат мають джерела теплоти, що знаходяться в приміщенні: електроустановки, ЕОМ, допоміжне устаткування, прилади освітлення, обслуговуючий персонал. Крім того, на сумарні тепловиділення приміщень впливають зовнішні джерела надходжень теплоти. До них відносять теплоту, що надходить через вікна від сонячної радіації, і приток теплоти через непрозорі захищаючі конструкції. Інтенсивність цих джерел залежить від району розташування будівлі, орієнтації приміщень по сторонам світу, матеріалу зовнішніх огорож, колірної гамми і т.д.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На організм і роботу устаткування також впливає відносна вологість повітря.

До сучасного виробничого освітлення висуваються високі вимоги як гігієнічного, так і техніко-економічного характеру. Правильно спроектоване і виконане освітлення забезпечує високий рівень працездатності, має позитивну психологічну дію на працюючих, сприяє підвищенню продуктивності праці.

Електричні установки, до яких також належить практично все устаткування ЕОМ, є для людини потенційно небезпечними, оскільки в процесі експлуатації або проведення профілактичних робіт вона може торкнутися частин, що знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: провідники, корпуси стійок ЕОМ та іншого устаткування, що виявилось під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають яких-небудь сигналів, які попереджали б людину про небезпеку. Реакція людини на електричний струм виникає лише при протіканні останнього через тіло людини.

Проходячи через тіло людини, електричний струм викликає термічну, електролітичну, механічну і біологічну дію. Термічна дія струму виявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні тканин і біологічних середовищ, що викликає в них функціональні розлади. Електролітична дія струму виражається в розкладанні органічної рідини, крові і виявляється в зміні їх фізико-хімічного складу. Механічна дія струму призводить до розриву м'язових тканин. Біологічна дія струму полягає в здатності струму дратувати і порушувати живі тканини організму.

Найбільшою небезпекою статичної електрики є виникнення іскрового розряду, що може стати причиною вибуху, пожежі. Електричний струм іскрового розряду малий і не може викликати ураження людини. Проте розряд статичної електрики, що відчувається людиною як болісний укол, може в деяких випадках виявитися непрямою причиною нещасного випадку. Крім того, заряди статичної електрики в 39 випадках зі 100 є причиною вибухів і пожеж, в 38 – електричних ударів людей і в 23 – технологічних дефектів.

Крім вище перелічених небезпечних і шкідливих виробничих чинників на працюючих також згубно впливають такі психофізіологічні чинники, як розу-

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мове перенапруження, перенапруження зорових і слухових аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження і т.д.

Дія вказаних несприятливих чинників призводить до зниження працездатності, стомлення, погіршення здоров'я. Тривале перебування людини в зоні комбінованої дії різних несприятливих чинників може призвести до професійного захворювання.

Запобігання дії електричного струму на організм людини при експлуатації електроустановок.

Діючими називають електроустановки, які знаходяться під напругою або на яких немає напруги, але вона може бути подано ввімкненням вимикача, магнітного пускача або іншої апаратури.

Електроустаткування машинного залу, в основному, належить до установок напругою до 1000 В, виняток становлять лише екранні пульти, дисплеї, електронно-променеві трубки яких мають напругу в декілька кіловольтів.

Відповідно до правил техніки безпеки до обслуговуючого персоналу даних електроустановок висуваються наступні вимоги:

- особи, що не досягли 18-річного віку, не можуть бути допущені до робіт в електроустановках;
- особи не повинні мати хвороб, що заважають виробничій роботі;
- робітники після відповідної теоретичної і практичної підготовки повинні пройти перевірку знань і мати посвідчення, що допускає до робіт з електроустановками.

Працівники, що допускаються до обслуговування або ремонту електроустановок, повинні знати устаткування, схеми і особливості обслуговуваних пристроїв, мати чітке уявлення про можливі небезпеки, добре знати і виконувати вимоги ПТЕ і ПТБ споживача, а також мати кваліфікаційну групу по електробезпеці, відповідну виконуваній роботі.

При проведенні робіт в електроустановках дуже важливо суворо виконувати і дотримуватися відповідних організаційних і технічних заходів. До організаційних заходів належать:

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- оформлення роботи нарядом або усним розпорядженням;
- допуск до роботи;
- нагляд під час роботи;
- оформлення перерви в роботі, перекладів на інше робоче місце, закінчення роботи.

До технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт із зняттям напруги, відносяться:

- відключення устаткування на ділянці, виділеній для проведення робіт, і вживання заходів щодо помилкового або мимовільного включення, огороження за необхідності робочих місць і струмоподаючих частин, що залишилися під напругою;
- вивішування попереджувальних плакатів і знаків безпеки;
- перевірка відсутності напруги;
- накладення заземлення.

Перераховані технічні заходи виконуються працівниками, які стають до роботи з дозволу особи, що віддає розпорядження на проведення робіт.

Проте застосування тільки одних організаційних і технічних заходів щодо попередження ураження електричним струмом не може повною мірою забезпечити необхідну електробезпеку при експлуатації електроустановок. Це можливо, якщо разом з виконанням приписаних ПТЕ і ПТБ споживачів організаційних захисних заходів використовувати технічні засоби захисту, до яких відносять:

- електричну ізоляцію струмоподаючих частин;
- захисне заземлення, занулення;
- вирівнювання потенціалів;
- захисне відключення;
- електричне розділення мережі;
- малу напругу;
- подвійну ізоляцію.

Використання цих засобів в різних поєднаннях дозволяє забезпечити захист

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

людей від торкання струмоподаючих частин, від небезпеки переходу напруги на металеві неструмоподаючі частини, від напруг кроку .

5.3 Розрахунок штучного освітлення

Для забезпечення оптимальних умов зорової роботи операторів до виробничого освітлення висуваються наступні вимоги:

- 1 Відповідність рівня освітленості робочого місця характеру роботи, що виконується.
- 2.Достатньо рівномірний розподіл яскравості на робочій поверхні і в навколишньому просторі.
- 3.Відсутність різких тіней, прямої і відображеної блискавичності.
- 4.Постійність освітленості в часі.
- 5.Оптимальна спрямованість світлового потоку, що випромінюється освітлювальними приладами.
- 6.Довговічність, економічність, електро і пожежна безпека, естетичність, зручність і простота експлуатації.

Залежно від природи джерела світлової енергії розрізняють природне, штучне і суміщене освітлення. У виробничих приміщеннях, де виконуються зорові роботи I і II розрядів, коли лише природного освітлення недостатньо, влаштовують суміщене освітлення.

При цьому основним завданням світлотехнічних розрахунків є визначення необхідної площі світлоотворів при природному освітленні і потрібній потужності освітлювальної установки - при штучному.

Всі методи розрахунку штучного освітлення, які використовувалися, засновані на формулах, що пов'язують освітленість з характеристиками світильників і ламп.

Для розрахунку загального рівномірного освітлення при горизонтальній робочій поверхні, основним є метод світлового потоку.

Для освітлення робочого місця оператора в виробничому цеху розмірами

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$A = 20$ м, $B = 9$ м і заввишки $H = 3$ м, передбачені стельові світильники типу УСП 35 з двома люмінесцентними лампами типу ЛБ – 40. Коефіцієнти віддзеркалення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно $\rho_{\text{п}} = 70\%$, $\rho_{\text{с}} = 50\%$, $\rho_{\text{підл}} = 10\%$. Затінювання робочих місць немає. В даному випадку тип і потужність світильників відомий наперед. Тому розрахунок зводиться до визначення необхідного числа світильників.

Для виробничих цеху рівень робочої поверхні над підлогою складає 0,8 м. тоді:

$$h = H - 0,8 = 2,2 \text{ м.}$$

У світильників УСП 35 найвигідніше відношення $\alpha = 1,4$. Звідси відстань між рядами світильників:

$$L = \alpha \cdot h = 1,4 \cdot 2,2 = 3 \text{ м.}$$

Розташовуємо світильники уздовж довгої сторони приміщення. Відстань між стінами і крайніми рядами світильників приймаємо рівною $L_1 = (0,3 \dots 0,5)L$. При ширині виробничого цеху $B = 9$ м маємо число рядів світильників $n = B/L_1 = 3$.

Для машинних залів встановлена норма освітленості $E_n = 400$ лк. З урахуванням заданих $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{с}}$, $\rho_{\text{підл}}$ при:

$$i = \frac{180}{2,2 \cdot (20 + 9)} = 2,82,$$

з довідкових даних знаходимо $\eta = 0,5$.

Номінальний світловий потік лампи ЛБ — 40 $\Phi_{\text{л}} = 3120$ лм, тоді світловий потік, випромінюваний світильником, складе $\Phi_{\text{св}} = 2\Phi_{\text{л}} = 2 \cdot 3120 = 6240$ лм. За формулою:

$$N = \frac{E_n \cdot k_z \cdot A \cdot B \cdot z}{n \Phi_{\text{св}} \eta} = \frac{400 \cdot 1,4 \cdot 180 \cdot 1,15}{3 \cdot 6240 \cdot 0,45} = 14,74 \approx 15 \text{ шт.}$$

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $k_3 = 1,4$ – коефіцієнт запасу для люмінесцентної лампи ; $z = 1,1$ – коефіцієнт нерівномірності освітлення; $n = 3$ – кількість рядів світильників.

Розміщення світильників приймаємо паралельне.

При довжині одного світильника типу УСП 35 з лампами ЛБ - 40 $l_{св} = 1,27$ м їх загальна довжина складе:

$$Nl_{св} = 1,27 \cdot 15 = 19,05,$$

тобто світильники розміщуються практично в безперервний суцільний ряд.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У дипломному проекті розроблений стенд, що дозволяє досліджувати роботу найбільш поширених схем на операційних підсилювачах на змінному струмі.

В результаті огляду існуючих лабораторних стендів промислового виготовлення з'ясований перелік найбільш поширених схем на операційних підсилювачах, набір інструментів для вивчення їх характеристик.

Доведено, що найбільш ефективним способом отримання сигналу синусоїдальної форми є перетворення трикутного сигналу за допомогою нелінійного перетворювача.

Випробування розробленого і виготовленого пристрою доводять правильність обраних схемних рішень. лабораторний стенд рекомендується для впровадження в навчальний процес.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка і мікро схемотехніка: Підручник / За ред.. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2009. – 416 с.
2. Ковальов В.О., Телюта Р.В., Плешков С.П. Основи електроніки та мікросхемотехніки: Навчальний посібник. – Кропивницький: РВЛ ЦНТУ, 2018. – 197 с..
3. В.А. Скаржепа, А.Н. Луценко. Електроніка і мікросхемотехніка. – Київ: Вища школа, 1989, т 1, т 2.
4. Комп'ютерна електроніка: Електроніка і мікросхемотехніка: Розділ "Елементна база комп'ютерної електроніки та аналогові електронні пристрої": Конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.050201 "Системна інженерія" / Укл.: А.О. Новацький– К: НТУУ «КПІ», 2011 – 308 с.
- 5.http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96
- 6.http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80
7. http://jobsafety.com.ua/ids_op/date_full/1039_2531_1.html
8. Запорожець О.І.,Протоєрейський О.С.,Франчук Г.М.,Боровик І.М. Основи охорони праці.Підручник.-К.:Центр учбової літератури,2009.-264с.

					4367зст3.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		