

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.

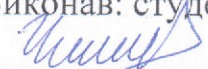
Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: "Лабораторний стенд для дослідження диференціальних
підсилювачів"

Виконав: студент 4367зст3 групи

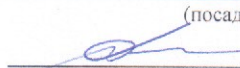

(підпис)

Чудіна Н.С.

Керівник роботи:

К.Т.Н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

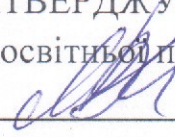

(підпис)

Костенко Д.В.

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 Чудиній Наталії Сергіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Лабораторний стенд для дослідження диференціальних підсилювачів

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 - геометричні розміри 150x150x50 мм; споживаєма електрична потужність – не більше 5Вт; напруга живлення безпечного рівня - 15В

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)

Чудіна Н.С.

(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 53 сторінках машинописного тексту, містить 21 рисунок і перелік літератури з 8 найменування.

Метою дипломного проекту є розробка лабораторного стенду для дослідження схем на постійному струмі, що реалізовані на ОП і дослідження точності ОП. У роботі зроблений аналіз існуючих лабораторних, обґрунтовано вибір конструкції стенду. Розроблено структурну схему стенду і додаткових модулів з диференціальним підсилювачем, виконаний приклад розрахунку, розрахований блок живлення

Ключові слова: операційний підсилювач, генератор, точність.

ABSTRACT

The bachelor's qualification work consists of an introduction, five chapters and conclusions, which are set out on 53 pages of typewritten text, contains 21 figures and a list of literature with 8 titles.

The purpose of the diploma project is to develop a laboratory stand for studying DC circuits implemented on OP and studying the accuracy of 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 differential amplifier is developed, a calculation example is performed, and a power supply is calculated

Keywords: operational amplifier, generator, accuracy.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. ПРИЗНАЧЕННЯ, ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ І ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

1.1 ПРИЗНАЧЕННЯ.

1.2 ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ.

1.3 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

2. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.

2.1 ОГЛЯД СТЕНДІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СТЕНДА.

3.1 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЖИВЛЕННЯ СТЕНДУ.

3.2 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ СТЕНДУ.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СТЕНДУ.

4.1 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК БЛОКА ЖИВЛЕННЯ СХЕМИ.

4.2 РОЗРАХУНОК СХЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФФЕРЕНЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА.

4.3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СТЕНДУ

4.4 РОЗРОБКА ПЕЧАТНОЇ ПЛАТИ.

4.5 ФОТОМАТЕРІАЛИ ПО ЗОВНІШНЬОМУ ВИГЛЯДУ СТЕНДУ

5. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ ОБСЛУГОВУВАНІ СТЕНДА.

5.1 АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТА ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ.

5.2 ЗАГАЛЬНІ УМОВИ БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ.

5.3 ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА В ЛАБОРАТОРІЇ.

5.4 ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК
ЛІТЕРАТУРА

					ДП. 4367стЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Для більшого розуміння важливості електроніки у сучасному житті, треба зробити невеликий екскурс в історію її виникнення.

Електроніка, як галузь науки і техніки зародилась на початку 20ст. після створення основ електродинаміки (1856–1873), дослідження властивостей термоелектронної емісії (1882–1901), фотоелектронної емісії (1887–1905), рентгенівських променів (1895–1897), відкриття електрона (Дж. Дж. Томсон, 1897), створення електронної теорії (1892–1909). Розвиток Електроніки почався з винаходу лампового діода (Дж. А. Флемінг, 1904), триелектродної лампи — тріод-пентода (Л. де Форест, 1906); використання тріод-пентода для генерування електричних коливань (німецький інженер А. Мейснер, 1913); розробки потужних генераторних ламп з водяним охолодженням (М. О. Бонч-Бруєвич, 1919—25) для радіопередавачів, використовуваних в системах далекого радіозв'язку і радіомовлення.

Вакуумні фотоелементи (експериментальний зразок створив О. Г. Столетов, 1888; промислові зразки — німецькі учені Ю. Ельстер і Г. Хейтель 1910); фотоелектронні помножувачі — однокаскадні (П. В. Тимофєєв, 1928) і багатокаскадні (Л. О. Кубецький, 1930) — дозволили створити звукове кіно, послужили основою для розробки передавальних телевізійних трубок : відикона (ідея запропонована в 1925 О. О. Чернишовим, іконоскопа (С. І. Катаєв і незалежно від нього В. К. Зворикін, 1931—32), суперіконоскопа (П. В. Тимофєєв, П. В. Шмаков, 1933), суперортикона (двостороння мішень для такої трубки була запропонована радянським ученим Г. В. Брауде в 1939; вперше суперортикон описаний американськими ученими А. Розі, П. Веймером і Х. Лоу в 1946) і ін. Створення багаторезонаторного магнетрона (Н. Ф. Алексєєв і Д. Є. Маляров, під керівництвом М. О. Бонч-Бруєвича, , 1936—37), відбивного клістрона (М.Д.Дев'ятков та інші і незалежно від них радянський інженер В. Ф. Коваленко, 1940) послужило основою для розвитку

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

радіолокації в сантиметровому діапазоні хвиль; пролітні клістри (ідея запропонована в 1932 Д. А. Рожанським, розвинена в 1935 радянським фізиком А. Н. Арсеньовою і німецьким фізиком О. Хайлем, реалізована в 1938 американськими фізиками Р. і З. Варіанами і ін.) і лампи біжної хвилі (американський учений Р. Компфнер, 1943), забезпечили подальший розвиток систем радіорелейного зв'язку, прискорювачів елементарних часток і сприяли створенню систем космічного зв'язку. Одночасно з розробкою вакуумних електронних приладів створювалися і удосконалювалися газорозрядні прилади (іонні прилади), наприклад ртутні вентилі, використовувані головним чином для перетворення змінного струму в постійний в потужних промислових установках; тиратрони для формування потужних імпульсів електричного струму в пристроях імпульсної техніки; газорозрядні джерела світла.

Використання кристалічних напівпровідників як детекторів для радіоприймальних пристроїв (1900–1905), створення купроксних і селенових випрямлячів струму і фотоелементів (1920–1926), винахід крістадіна (О. В. Лосєв, 1922), винахід транзистора (В. Шоклі, В. Браттейн, Дж. Бардін, 1948) визначили становлення і розвиток напівпровідникової електроніки. Розробка планарної технології напівпровідникових структур (кінець 50 — початок 60-х рр.) і методів інтеграції багатьох елементарних приладів (транзисторів, діодів, конденсаторів, резисторів) на одній монокристалічній напівпровідниковій пластині привело до створення нового напрямку в Е. — мікроелектроніки (див. також Інтегральна електроніка). Основні розробки в області інтегральної Е. направлені на створення інтегральних схем — мікромініатюрних електронних пристроїв (підсилювачів, перетворювачів, процесорів ЕОМ (електронна обчислювальна машина), електронних пристроїв пам'яті тощо), що складаються з сотень і тисяч електронних приладів, що розміщуються на одному напівпровідниковому кристалі площею в декілька мм². Мікроелектроніка відкрила нові можливості для

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

вирішення таких проблем, як автоматизація управління технологічними процесами, переробка інформації, вдосконалення обчислювальної техніки і ін., що висуваються розвитком сучасного суспільного виробництва. Створення квантових генераторів (М. Г. Басов, О. М. Прохоров і незалежно від них Ч. Таунс, 1955) — приладів квантової електроніки — визначило якісно нові можливості Е., зв'язані з використанням джерел потужного когерентного випромінювання оптичного діапазону (лазерів) і побудовою надточних квантових стандартів частоти .

На сьогоднішній день електроніка та електротехнічні пристрої розвиваються дуже швидкими темпами, якщо ще 40 років тому багато пристроїв були виконані на основі напівпровідникових елементів (діодах, тиристорах, транзисторах), то зараз головну роль відіграють пристрої на основі інтегральних схем або логіки. Тому для виховання фахівця в буд'якій технічній галузі, необхідно включати до освітньої програми такий предмет, як «електроніка та мікросхемна техніка», але лиш одного цього недостатньо, на сам перед потрібна матеріально-технічна база, яка буде відповідати сучасним потребам.

Актуальним на сьогодні можна назвати вивчення інтегральних схем, що побудовані на операційних підсилювачах (ОП). ОП Призначений для виконання різноманітних операцій над аналоговими сигналами, переважно, в схемах з від'ємним зворотним зв'язком (ВЗЗ). Операційні підсилювачі застосовуються в різноманітних схемах радіотехніки, автоматики, інформаційно-вимірювальної техніки, — там, де необхідно підсилювати сигнали, в яких є постійна складова. В даний час ОП отримали широке застосування, як у вигляді окремих мікросхем, так і у вигляді функціональних блоків — у складі складніших мікросхем. Така популярність обумовлена тим, що ОП є універсальним блоком з характеристиками, близькими до ідеальних, на основі якого можна побудувати безліч різноманітних електронних вузлів.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Тому стало питання пошуку лабораторного стенду для дослідження ОП, на якому, студенти зможуть наочно дослідити їх властивості, а саме різницю між вхідним і вихідним сигналом, а також схеми включення та зовнішній вигляд елементів, що надасть можливість в майбутньому успішно застосовувати отримані знання на практиці.

Метою даного дипломного проекту є розробка лабораторного стенду для дослідження електронних схем на базі 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 функціональної та принципової схеми стенду;
- розробка і розрахунок блоку живлення;
- вибір і розрахунок лабораторних робіт для виконання на стенді;
- практична реалізація та налагодження випуску стенду у малому тиражі.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1 ПРИЗНАЧЕННЯ, ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1.1 Призначення лабораторних стендів.

Головне завдання промисловості в динамічному, пропорційному розвитку суспільного виробництва і підвищення його ефективності, прискоренні науково-технічного прогресу (НТП), зростання продуктивності праці, поліпшення якості продукції.

Країни, що розвиваються науково-технічна революція (НТР), швидке зростання існуючих і поява нових галузей промисловості викликає, у свою чергу, необхідність подальшого розвитку системи вищої та середньої спеціальної освіти, підвищення якості підготовки молодих фахівців для всіх галузей промислового виробництва.

При цьому все чіткіше на перший план виступає потреба в підготовці не просто хороших фахівців, що володіють тією чи іншою певною сумою знань, але перш за все людей які вміють творчо мислити, здатних швидко адаптуватися до безупинно мінливих вимог НТП.

Тому призначенням лабораторних стендів є їх активне використання у навчальному процесі в технічних вузах, а саме в підготовці кваліфікованих фахівців за напрямками «електромеханіка та електрообладнання», які зможуть задовольнити потреби держави та за своїм рівнем підготовки відповідати сучасним міжнародним стандартам.

1.2 Область використання.

На основі вище викладеного — завдання підготовки висококваліфікованих кадрів, озброєних сучасними знаннями, практичними навичками, є одним з найважливіших завдань на даному етапі. Тому зараз, як ніколи гостро, відчувається необхідність застосування максимальних зусиль для вдосконалення змісту навчання, засобів і методів підготовки фахівців.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Одним з напрямків, яким має йти це вдосконалення, є розвиток і зміцнення матеріально-технічної бази навчального закладу. Сюди відносяться, в першу чергу, широке впровадження технічних засобів навчання, оснащення лабораторій і кабінетів новітнім обладнанням та приладами, модернізація лабораторних стендів і макетів, з урахуванням останніх досягнень науки і техніки на сучасній компонентної бази.

Виконання студентами лабораторних робіт є важливим засобом більш глибокого засвоєння і вивчення навчального матеріалу, а також придбання практичних навичок з експериментального дослідження та поводження з радіовимірювальних приладів.

Отже область використання лабораторних стендів це технічні навчальні заклади (вузи та університети). В ході вивчення предмету «основи мікроелектроніки і мікропроцесорної техніки».

1.3 Технічні характеристики.

Стенд повинен мати наступні параметри:

- геометричні розміри - не більше ніж 150x150x50 мм ;
- споживаєма електрична потужність – не більше 5Вт;
- напруга живлення безпечного рівня - 15В (також можна використати і напругу 24В так, як це значення більш поширене стандартне значення);
- загальна маса плати – не більше 100г;
- наявність виходів для вимірювальних пристроїв, функціональних генераторів (для дослідження схем на змінному струмі), еталонних блоків живлення (для дослідження схем на постійному струмі);
- наявність блоків змінних елементів.

Однією з головних переваг стенду є те, що плата має широкі можливості для подальшого розширення функціонального потенціалу та кількості робіт, що можна виконувати на даному стенді.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Огляд і порівняльний аналіз існуючих лабораторних стендів.

В сучасному світі велике значення приділяється науці. Від неї залежить розвиток як окремої людини, так і держави в цілому. В державах, що прагнуть лідерства на світовій арені, давно зрозуміли, що необхідно витратити кошти на засоби для навчання талановитих вчених та спеціалістів в технічних галузях.

На сьогоднішній день в системі вищої освіти головне значення має навчальне лабораторне обладнання. Підготовка спеціалістів, що мають навички роботи з приборами, а також необхідність закріплення пройденого матеріалу студентами вищих навчальних закладів, а це вимагає створення спеціалізованих лабораторій, котрі дозволяють працювати з унікальним, коштовним обладнанням, проводити реальні експерименти та дослідження з можливістю одночасного виконання роботи декількома студентами за одним стендом. Лабораторні стенди допомагають в навчальному процесі і дають можливість наочно демонструвати все те, що було вивчено на лекціях, сприяють кращому засвоєнню матеріалу, суттєво спрощують задачу викладача. Вони також незамінні під час практичних занять, оскільки сприяють формуванню навичок для ведення повноцінної дослідницької діяльності. Якісний лабораторний комплекс – це основа успішного вищої освіти.

Операційний підсилювач — підсилювач постійного струму з диференціальним входом, що має високий коефіцієнт підсилення. Призначений для виконання різноманітних операцій над аналоговими сигналами, переважно, в схемах з від'ємним зворотним зв'язком (ВЗЗ). Операційні підсилювачі застосовуються в різноманітних схемах радіотехніки, автоматики, інформаційно-вимірювальної техніки, — там, де необхідно підсилювати сигнали, в яких є постійна складова.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

В даний час ОП отримали широке застосування, як у вигляді окремих мікросхем, так і у вигляді функціональних блоків — у складі складніших мікросхем. Така популярність обумовлена тим, що ОП є універсальним блоком з характеристиками, близькими до ідеальних, на основі якого можна побудувати безліч різноманітних електронних вузлів.

Операційні підсилювачі побудовані на базі біполярних або польових транзисторів, але в наш час це не актуально, якщо збирати схему ОП власноруч, то це буде дуже трудомісткий процес, а також схема буде мати великі масо-габаритні показники.

Операційні підсилювачі, що випускаються промисловістю, постійно удосконалюються, параметри ОП наближаються до ідеальних. Проте, поліпшити всі параметри одночасно технічно неможливо, або недоцільно через дорожнечу отриманого чипа. Для того, щоб розширити область застосування ОП, випускаються різні їх типи, в кожному з яких один або декілька параметрів є видатними, а інші на звичайному рівні (або навіть трохи гірші). Це виправдано, оскільки, залежно від сфери застосування, від ОП потрібне високе значення того або іншого параметра, а не всіх їх відразу. Звідси впливає класифікація ОП по областях застосування.

- Індустріальний стандарт. Так називають широко вживані, дуже дешеві ОП загального застосування з середніми характеристиками. Приклад: Lm324 [1].
- Прецизійні ОП мають дуже малу напругу зсуву, застосовуються в точних вимірювальних схемах. Зазвичай ОП на біполярних транзисторах по цьому показнику дещо кращі, ніж на польових. Також, від прецизійних ОП потрібна довготривала стабільність параметрів. Виключно малими зсувами володіють стабілізовані перериванням ОП. Приклад: Ad707 [2], у якого напруга зсуву становить 15 мкВ.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- ОП з малим вхідним струмом. Всі ОП, що мають польові транзистори на вході, мають малий вхідний струм. Але серед них існують спеціальні ОП, — з виключно малим вхідним струмом. Щоб повністю реалізувати їхні переваги, при проектуванні пристроїв з їх використанням, необхідно навіть враховувати витік струму по друкованій платі. Приклад: Ad549 [3], у якого вхідний струмом становить $6 \cdot 10^{-14}$ А.
- Мікропотужні і програмовані ОП мають малий струм споживання. Такі ОП не можуть бути швидкодіючими, оскільки малий споживаний струм і висока швидкодія — взаємовиключні вимоги. Програмованими називаються ОП, для яких всі внутрішні струми спокою можна задати за допомогою зовнішнього струму, що подається на спеціальний вивід ОП.
- Потужні (сильнострумні) ОП, можуть віддавати великий струм в навантаження.
- Високовольтні ОП. Всі напруги для них (живлення, синфазна вхідна, максимальна вихідна) значно більші, ніж для ОП широкого застосування.
- Швидкодіючі ОП. Мають високу швидкість наростання і частоту одиничного підсилення. Такі ОП не можуть бути мікропотужними.

Можливі також комбінації даних категорій, наприклад, прецизійний швидкодіючий ОП.

Тому, стенди, що представлені у огляді побудовані на промислово вироблених ОП, що самі по собі являють інтегральну мікросхему, а також на ОП можна створювати більш складні інтегральні мікросхеми і пристрої. Тому можемо зробити висновок, що всі стенди представлені в огляді актуальні на даний час і можна проектувати стенд, опираючись на деякі технічні рішення, що представлені в них.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Коли постала потреба у лабораторному стенді для виконання лабораторних робіт з дослідження операційних підсилювачів (ОП) , було розглянуто перелік стендів, що випускаються промислово, та огляд їх технічних рішень, а також порівняння їх переваг та недоліків. Нижче наведено декілька прикладів стендів.

На основі аналізу конструкції, електричної принципової схеми, методичних можливостей, можна зробити певні висновки і виявити недоліки, стендів аналогічного призначення, які використовуються в інших лабораторіях.

Лабораторний стенд «Промелектроніка» КПЕ-01

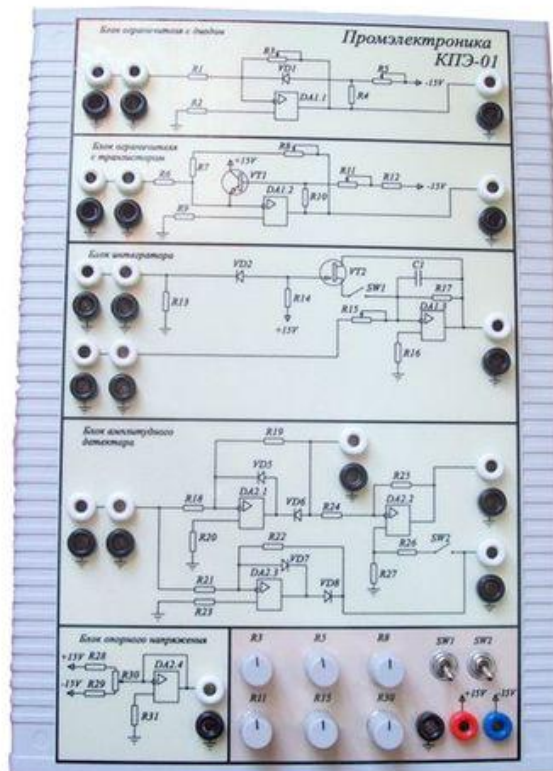


Рис. 1.1. Зовнішній вигляд лабораторного стенду «Промелектроніка» КПЕ-01

Цей стенд надає можливість виконувати наступні лабораторні роботи:

- Дослідження нелінійного режиму ОП
- Схемотехніка обмежувачів на основі ОП

- Побудова прецизійних випрямлячів на ОП
- Побудова інтеграторів і диференційних підсилювачів на ОП

До переваг даного стенду можна віднести простоту виконання лабораторних робіт, навіть учні з низьким рівнем успішності зможуть виконати роботи на цьому стенді. Також, важливу роль відіграє, порівняно низька, ціна стенда.

Недоліком можна назвати те, що він доволі громіздкий, а також те, що учень буде бачити тільки принципові схеми досліджуваних стендів, а реальний вигляд елементів буде схований від очей.

Наступний стенд у нашому огляді має дуже широкі функціональні можливості і досить не погане виконання, за рахунок того, що перш ніж приступити до виконання роботи, студент має ознайомитись зі схемою, а потім, за допомогою перемичок, зібрати потрібну схему.

Стенд розділено на декілька блоків, в кожному блоці виконується декілька різних лабораторних робіт.

Нажаль в цього стенду є 3 суттєвих недоліка, а саме його ціна, громіздкість, треба буде шукати додаткове місце для його розміщення і те, що він живиться від мережевої напруги 220В, а це не є безпечним для учбового стенда.

Перелік робіт, які сіконуться на стенді НТЦ-02.05

- Дослідження випрямлячів.
- Дослідження схем компенсаційного стабілізатора напруги на ОП.
- Дослідження схем пасивних і активних фільтрів.
- Дослідження 16осліджуємий16а підсилювачів.
- Дослідження диференційного підсилювача.
- Дослідження підсилювачів потужності
- Дослідження ОП, схем включення та їх характеристик.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- Дослідження схем суматора, інтегратора та 17осліджуємий17а на ОП
- Дослідження компаратора на ОП
- Дослідження генераторів
- Дослідження мультівібратора на ОП
- Деякі види лабораторних робіт по дослідженню елементів логіки.

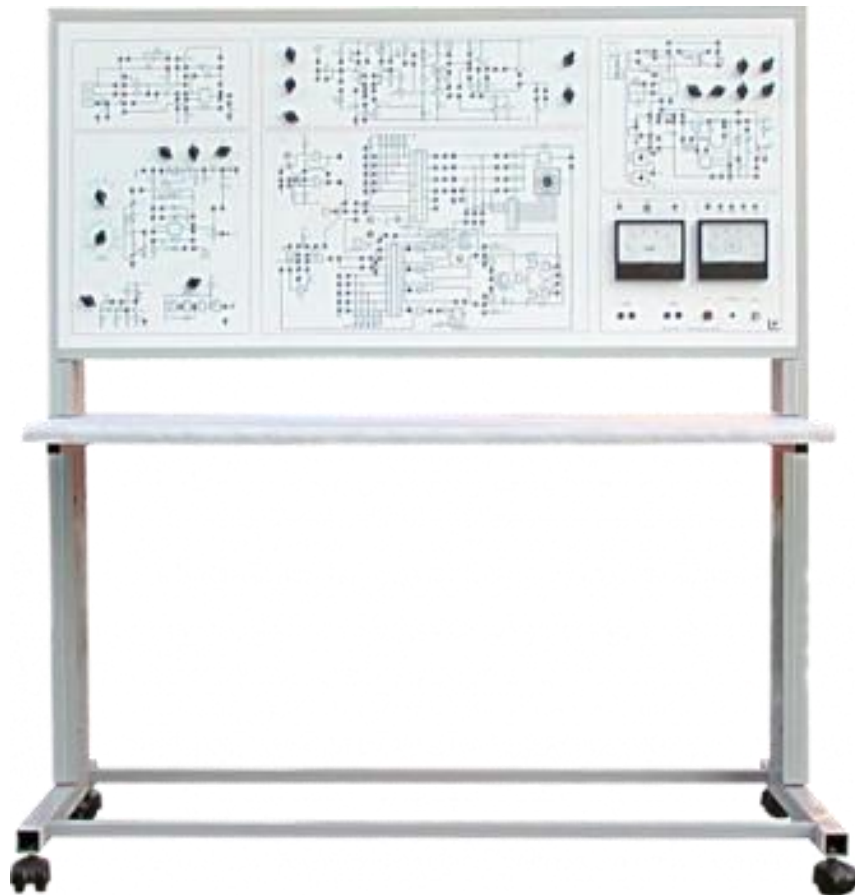


Рис. 1.2 Лабораторний стенд НТЦ-02.05

Наступний стенд більшою мірою відповідає нашим потребам, на сам перед відзначимо те, що він має найбільші показники у співвідношенні своїх розмірів до кількості 17осліджуємий схем на ньому. Він складається з набору схем, у кожній схемі є наборні поля пасивних елементів. Вхідними

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

сигналами може бути постійна або змінна напруга різної амплітуди та частоти, сигнал може мати пилоподібну, прямокутну або синусоїдальну форму.

Блочна структура та поля елементів є гарним прикладом, який можна використати при розробці стенду.

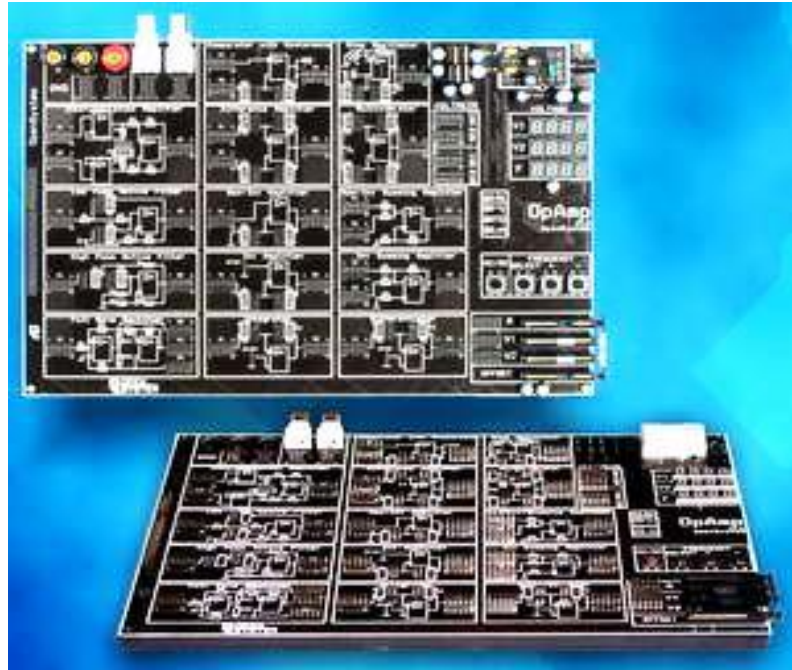


Рис. 1.3 Лабораторний стенд “OpAmp”

На цьому стенді є можливість виконувати лабораторні роботи з дослідження наступних схем побудованих на ОП:

- Інструментальний підсилювач
- Інтегратор
- Диференціатор
- Інвертуючий та не інвертуючий підсилювач
- Сумуючий Інвертуючий та не інвертуючий підсилювач
- Диференційний підсилювач
- Мультивібратор на ОП
- Компаратор з гістерезисом на ОП
- Активний фільтр високих частот другого порядку на схемі Салена-Кі

- Активний фільтр низьких частот другого порядку на схемі Санена-Кі

Також до складу стенда входять: двополуперіодний випрямляч, вимірювальні пристрої, генератор різних типів імпульсів.

Недоліком цього стенда є те, що студент бачить лише принципову схему досліджуваного пристрою, а всі елементи сховані від очей, велика вартість і те, що на ньому розташовано дуже багато схем, які будуть відволікати студента від дослідження тієї, котра запропонована викладачем для даної пари.

Отже можна підбити висновки, на основі вище викладеного матеріалу. Жоден за лабораторних стендів, що представлені на ринку, не може задовольнити потреби нашого навчального закладу у підготовці високоякісних фахівців у сфері мікроелектроніки. А отже сумісно з викладачами кафедри був розроблений власний лабораторних стенд, яких вмістив у собі всі переваги попередніх, а найголовніше те, що він позбавлений їх недоліків. Єдиним недоліком можна назвати досить високу вартість, що зумовлена ціною високоякісних компонентів. Але в той самий час, деякі стенди мають свої цікаві технічні рішення, якими ми скористаємося при розробці.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СТЕНДУ.

3.1 Розробка структурної схеми стенду.

Перш ніж перейти до розрахунку лабораторного стенду, треба уявляти функціональні можливості та набір пристроїв, що будуть входити до стенду для забезпечення його роботи і можливості виконання лабораторних робіт. Для цього треба скласти функціональну схему, яка загально уявлення про пристрої, які потрібно буде розробити. Також це буде мати вплив і на зовнішній вигляд схеми.

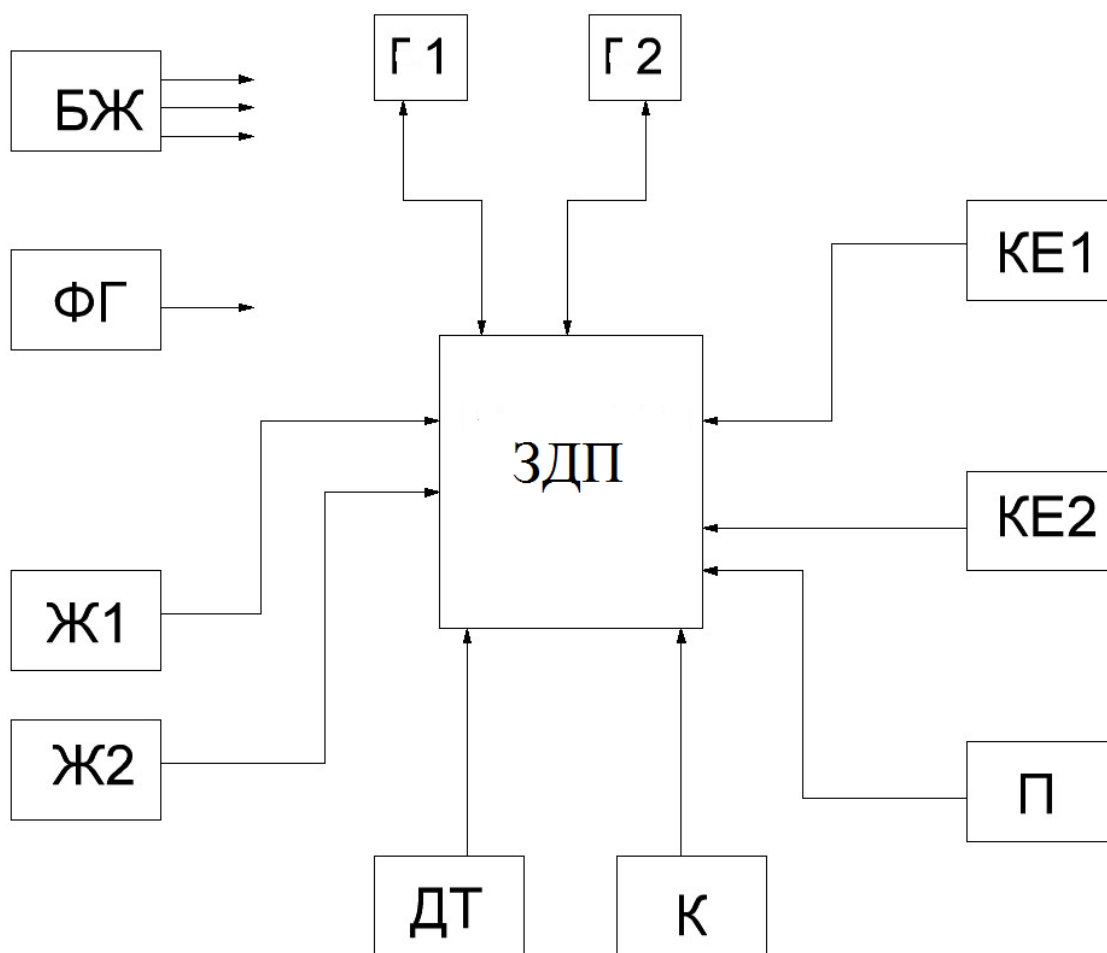


Рис. 3.1 Функціональна схема стенду для виконання лабораторних робіт по дослідженню ОП.

Розглянемо кожний призначення кожного блоку в схемі.

БЖ – блок живлення. Призначений для живлення досліджуємої схеми і для живлення допоміжних елементів стенду (генераторів, джерел опорних напруг...). Для живлення ОП краще використовувати двополярне живлення, тому блок живлення повинен видавати двополярну напругу з величиною $\pm 12\text{В}$. БЖ має 3 вивода $+12\text{В}$, нульовий і -12В . Величину вхідної напруги можна обрати довільну, але так, як стенд має відкриту будову – треба відповідати вимогам безпеки (щоб не відбулося ураження струмом) , то краще буде обрати напругу безпечного рівня, обираємо низьку величину вхідної напруги 15В (ця величина відповідає стандартному ряду напруг для блоків живлення). Блок живлення повинен перетворювати 15В не стабілізованої напруги в $\pm 12\text{В}$ стабілізованої вихідної.

ЗДП – змінна досліджуєма плата. Це центральний елемент нашого стенду, що буде підключатись до стенду за допомогою гнізда. На цій платі буду розташована схема, яку безпосередньо призначено для дослідження і до неї будуть приєднуватись всі допоміжні елементи, котрі розташовані на самому стенді.

ФГ – функціональний генератор. Його завдання вироблення змінної напруги, різної форми кривої та різних частот, для дослідження схем на змінному струмі. В даному випадку він використовуватись не буде, так як завдання цього дипломного проекту – дослідження схем на постійному струмі, що побудовані на ОП.

Ж1 та Ж2 – регульовані джерела живлення постійної напруги для дослідження схем на постійному струмі. Кількість таких джерел можна обирати довільно, але для дослідження таких схем, як диференційний підсилювач, їх повинно бути два. Напруга на виході з джерела, повинна бути стабілізованою та мати можливість регулювання в широкому діапазоні.

КЕ1 та КЕ2 – комутуючі набори елементів. Встановлюємо їх на платі для того щоб мати можливість оперативної наладки параметрів досліджуємої

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

схеми. Встановимо два набори таких елементів, до складу яких будуть входити резистори і конденсатори в широкому діапазоні номінальних значень, та з можливістю комутації через перемички.

П – потенціометр. Призначений для підвищення функціональних можливостей схеми.

К – кнопка. Для комутації всередині досліджуємої схеми.

ДТ – датчик температури. Призначений для більшої наочності дослідження. Характеризується змінною величиною (можна його нагріти і параметр зміниться), наочністю і передбачуваною кривою сигналу.

Г1 та Г2 – гніздо 1 і гніздо 2. Призначені для підключення вимірювальних пристроїв для знімання сигналу зі схеми.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СТЕНДУ

4.1 Розробка і розрахунок блоку живлення стенду.

Для живлення роботи стенду нам потрібно отримати значення напруги рівне $\pm 12\text{В}$, але ця величина напруги не входить до стандартного ряду, тому просто використати блок живлення, $220/\pm 12\text{В}$ не можливо. Виконавши пошук можливих рішень задачі живлення, було вирішено використати блок живлення на $\sim 220\text{В}/-15\text{В}$ постійної напруги. А для перетворення постійної напруги 15В в постійну напругу 12В використаємо схему понижуючого перетворювача на мікросхемі. Але цього не достатньо, тому що нам потрібна біполярна напруга $\pm 12\text{В}$, а для цього існує рішення в вигляді інвертуючого перетворювача, також на мікросхемі.

Спочатку треба обрати мікросхему, яка б відповідала нашим потребам, а саме мала би можливість створення на її основі вище згаданих схем, а також була би сучасною (з хорошими технічними характеристиками) і досить широко поширеною. В ході проектування була обрана регуляторна мікросхема LM 2595, що виробляється фірмою Texas Instruments, як найбільш вдале рішення для наших потреб, на її базі можна реалізувати схему понижуючого регулятора і інвертуючого регулятора.

Технічні характеристики LM 2595:

- можливі величини вихідної напруги 3.3В , 5В , 12В
- граничні значення вхідної напруги $1.2\text{В} - 37\text{В} \pm 4\%$
- максимальний струм навантаження 1А
- частота 150кГц

Методика розрахунку та схема включення понижуючого перетворювача приведено нижче.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

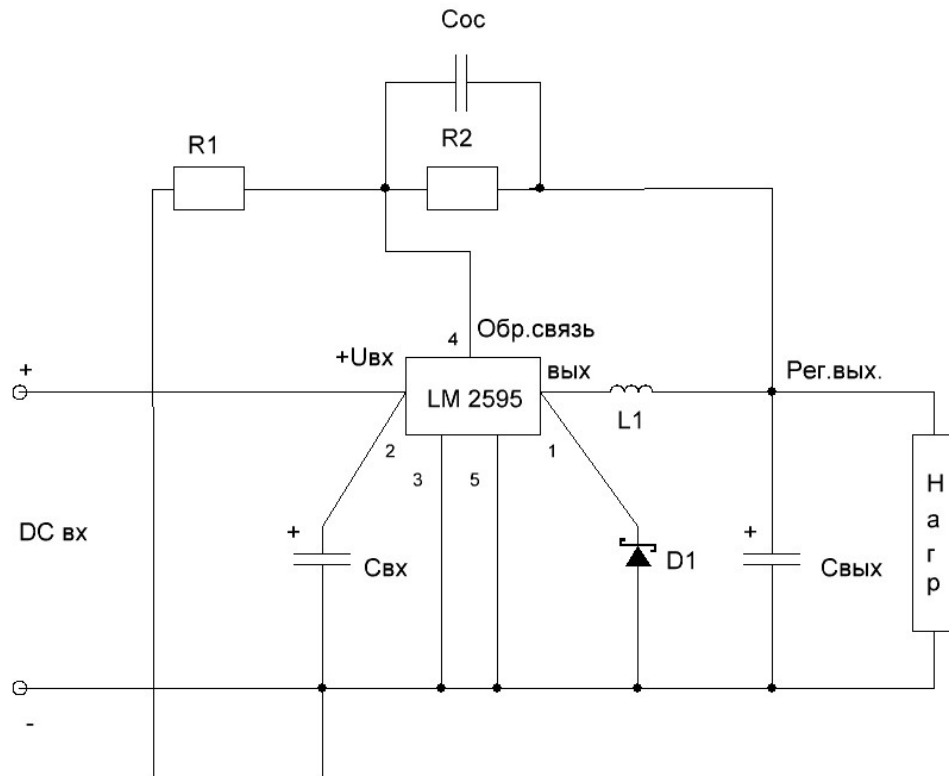


Рис. 4.1.1 Принципова схема понижуючого регулятора

Вхідні дані: $U_{\text{вих}} = 12\text{В}$, $U_{\text{вх макс}} = 16\text{В}$, $I_{\text{наг}} = 0.5\text{А}$, $F=150\text{кГц}$

1. Задаємося величиною вихідної напруги

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{ет}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right), \text{ де}$$

$U_{\text{ет}} = 1.23\text{В}$, еталонна напруга

Обираємо величину R_1 у межах $240\text{ Ом} - 1.5\text{ кОм}$. Менші значення опору мінімізують перешкоди в чутливому зворотному зв'язку (рекомендується використання резисторів з 1% похибкою)

Обираємо $R_1 = 1\text{кОм}.$ (1%)

$$R_2 = R_1 \left(\frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{ет}}} - 1 \right) = 1 \cdot 10^3 \left(\frac{12}{1.23} - 1 \right) = 8.76 \cdot 10^3, \text{ Ом}$$

Обираємо найближче значення резистора R_2 з номінального ряду E96 (1%), $R_2 = 8.66 \text{ кОм}$

2. Розрахунок індуктивності L_1

$$E \cdot T = (U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}} - U_{\text{нас}}) \cdot \frac{U_{\text{вих}} + U_{\text{пад}}}{U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}} + U_{\text{пад}}} \cdot \frac{1000}{150 \cdot 10^3} \text{ (В} \cdot \text{мс)}, \text{ де}$$

$U_{\text{нас}} = 1 \text{ В}$, напруга насичення,

$U_{\text{пад}} = 0.5 \text{ В}$, падіння напруги на діоді.

$$E \cdot T = (16 - 12 - 1) \cdot \frac{12 + 0.5}{16 - 12 + 0.5} \cdot \frac{1000}{150 \cdot 10^3} = 16.13 \text{ (В} \cdot \text{мс)}$$

За допомогою графіка рис 4.1.2, використовуючи значення $E \cdot T$ та $I_{\text{макс}} = 0.5 \text{ А}$ обираємо значення індуктивності.

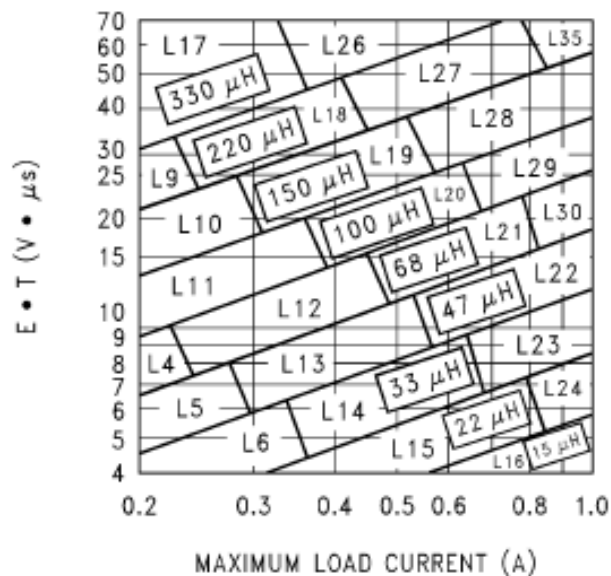


Рис. 4.1.2 Графік залежності $E \cdot T$ від $I_{\text{макс}}$

З графіку видно, що $L_1 = 68 \text{ мГн}$

3. Вибір вихідного конденсатора $C_{\text{вих}}$

$C_{\text{вих}}$ – електролітичний або танталовий обхідний конденсатор з низьким еквівалентним послідовним опором (ЕПО) – необхідний між вхідним і заземлюючим піном, повинен розташовуватись біля регулятора, використовуючи короткі виводи. Цей конденсатор захищає від лавинної

напруги на вході і забезпечую постійність струму, що потрібна кожного разу, як включаємо перемикач. Важливими параметрами є рівень напруги і ЕПО конденсатора

В більшості випадків використовуючи електролітичний або танталовий конденсатор з низьким ЕПО з ємністю в межах 47мФ – 330мФ, дає можливість отримати найбільш хороші результати. Не можна використовувати конденсатори ємністю більшою за 330мФ.

Для спрощення розрахунку скористаємось таблицею (рис. 4.1.3).

Output Voltage (V)	Through Hole Electrolytic Output Capacitor			Surface Mount Tantalum Output Capacitor		
	Panasonic	Nichicon PL	Feedforward	AVX TPS	Sprague	Feedforward
	HFQ Series	Series	Capacitor	Series	595D Series	Capacitor
	(μF/V)	(μF/V)		(μF/V)	(μF/V)	
9	180/25	180/25	1.5 nF	100/16	180/16	1.5 nF
12	120/25	120/25	1.5 nF	68/20	120/20	1.5 nF
15	120/25	120/25	1.5 nF	68/20	100/20	1.5 nF
24	82/35	82/35	1 nF	33/25	33/35	220 pF
28	82/50	82/50	1 nF	10/35	33/35	220 pF

Рис. 4.1.3 Таблиця для вибору вихідного конденсатора та конденсатора зворотного зв'язку.

Головною умовою при виборі конденсатора є те, що рівень напруги конденсатора повинен бути в 1.5 рази більше ніж $U_{\text{вих.}}$. Обираємо конденсатор з параметрами $C_{\text{вих}} = 120\text{мФ}/25\text{В}$

4. Вибір конденсатора зворотнього зв'язку $C_{\text{ос}}$

Для вихідної напруги більшій ніж 10В, потрібен додатковий конденсатор. Компенсаційний конденсатор, зазвичай, обирається величиною 50пФ – 10нФ, і ввімкнений паралельно до резистора R_2 . Він потрібен для більшої стабільності при великих вихідних напругах, низьких вхідних і/або дуже малих ЕПО вихідних конденсаторів, як танталові конденсатори.

Для вибору можна скористатись таблицею на рис 4.1.3, або більш точно – за формулою:

$$C_{\text{ос}} = \frac{1}{31 \cdot 10^3 \cdot R_2} = \frac{1}{31 \cdot 10^3 \cdot 8.66 \cdot 10^3} = 3.725, \text{нФ}$$

Обираємо конденсатор стандартного значення $C_{\text{ос}} = 3.3 \text{ нФ}$

5. Вибір обмежуючого діода D_1 .

Обмежуючий діод повинен бути розрахований на струм в 1.3 рази більший ніж максимальний струм навантаження. Напруга діода повинна бути в 1.25 рази більше максимальної вхідної. Діод повинен бути швидким і розташовуватись близько до мікросхеми, приєднаний за допомогою коротких доріжок на печатній платі. Завдяки тому, що діоди Шотткі мають велику швидкість переключення та не велику величину падіння прямої напруги – вони мають найбільшу ефективність і найліпші характеристики для застосування в даній схемі.

Обираємо діод розрахований на 1A/20V (1N5817)

6. Вибір вхідного конденсатора $C_{вх}$

Треба використовувати конденсатор з низьким рівнем ЕПО алюмінієвий або танталовий, який потрібно розташовувати між вхідним піном і землею для захисту від лавинних напруг, що з'являються на вході. В загальних випадках треба використовувати конденсатор, що розрахований на $\frac{1}{2}$ максимального постійного струму завантаження, а напруга в 1.5 рази більше за максимальну вхідну. Вибір виконуємо за графіком на рис.4.1.4

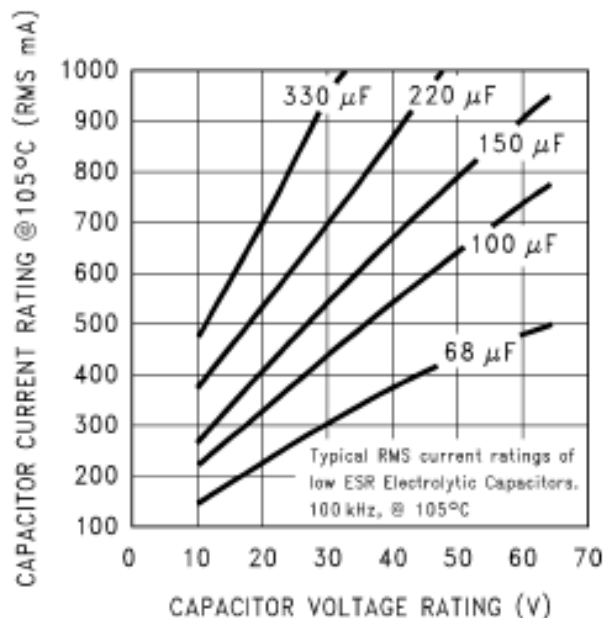


Рис. 4.1.4 Графік залежності струму конденсатора від напруги при 105C

$$U = 1.5 \cdot U_{\text{вх}} = 1.5 \cdot 16 = 24 \text{ В}$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot I_{\text{наб}} = \frac{1}{2} \cdot 0.5 = 0.25 \text{ А}$$

Обираємо конденсатор з ємністю 68мФ

Методика розрахунку та схема включення інвертуючого регулятора:

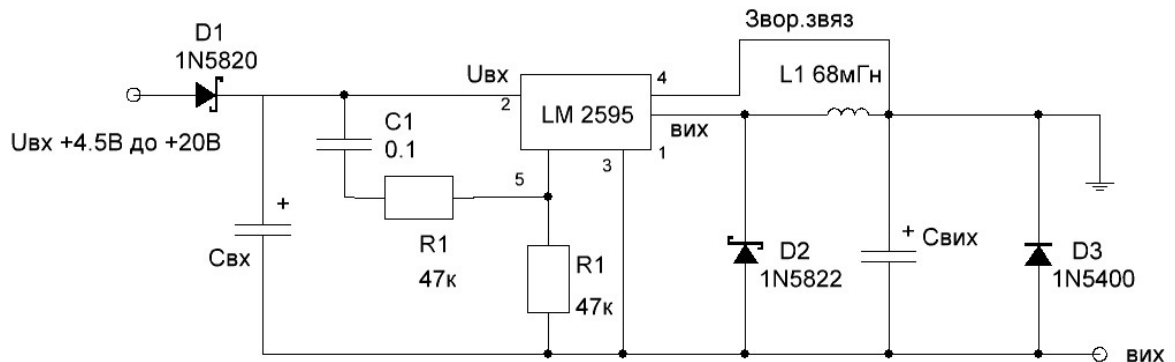


Рис 4.1.5 Принципова схема інвертуючого регулятора

Схема зображена на рис. 4.1.5 призначення для перетворення додатного значення напруги в таке ж значення від'ємної напруги на виході схем, зі спільним заземленням. Схема керується початковим завантаженням заземлення регулятора до від'ємного значення вихідної напруги, потім сигнал подається на лінію зворотнього зв'язку і відбувається корегування вихідної напруги. По графіку залежності максимального вихідного струму навантаження від вхідної напруги, рис. 4.1.6 обираємо значення індуктивності L_1 .

По причині різниці в управлінні інвертуючим регулятором, стандартна процедура розрахунку не використовуються для вибору індуктивності. В більшості випадків $L_1=68\text{мГн}$, 1.5А індуктивність – найліпший вибір. Вибором конденсатора також можна знехтувати. Використовуючи значення, що вказані на схемі рис 4.1.5, можна отримати хороші результати в більшості випадків проектування інвертора.

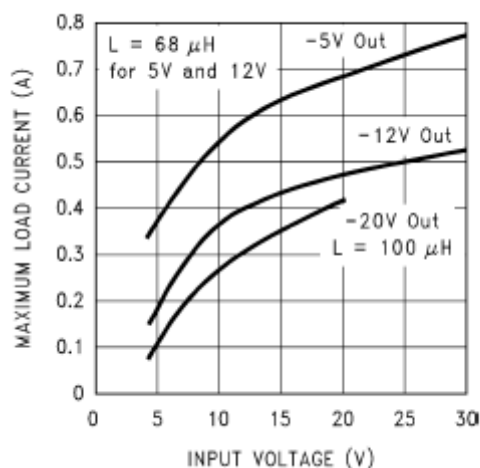


Рис.4.1.6 Графіку залежності максимального вихідного струму навантаження від вхідної напруги

Діод D_1 призначений для мінімізування коливань напруги або шумів від проходження через $C_{вх}$ конденсатор до виходу під недостатнім навантаженням або в режимі холостого ходу. Також, цей діод змінює полярність для змінної конфігурації, що також сприяє стабільності схеми. Діод Шотткі рекомендований для використання при низьких вхідних напругах (має низьке падіння напруги).

Без використання діода D_3 , при першій подачі вхідної напруги, напруга $C_{вх}$ може змінюватись в межах кількох вольт за короткий проміжок часу. Діод перешкоджає тому, щоб вихідна напруга становилась додатною на деяке значення, більше ніж напруга діода.

4.2 Розрахунок лабораторної роботи з дослідження диференційного підсилювача.

Диференційний підсилювач призначений для підсилення різниці двох вхідних напруг. Часто, для попереднього підсилення слабкого диференційного сигналу в високоточних системах, від підсилювача вимагають високих параметрів точності коефіцієнта підсилення, а також велике значення вхідного опору. Точність коефіцієнта підсилення диференційного підсилювача, реалізується за допомогою від'ємного зворотнього зв'язку, що охоплює ОП. Але диференційний підсилювач на базі одного ОП не забезпечує високого вхідного опору (декілька мегаом), тому використовують наступну схему.

Схема найпростішого диференційного підсилювача на базі одного ОП, показана на рис. 4.2.1. Тут вхідна напруга ($U_2 - U_1$) подається на конвертуючий вхід ОП, котрий не використовуються для створення зворотнього зв'язку, а власний вхідний опір прецезійних ОП складає декількох сотен МОм.

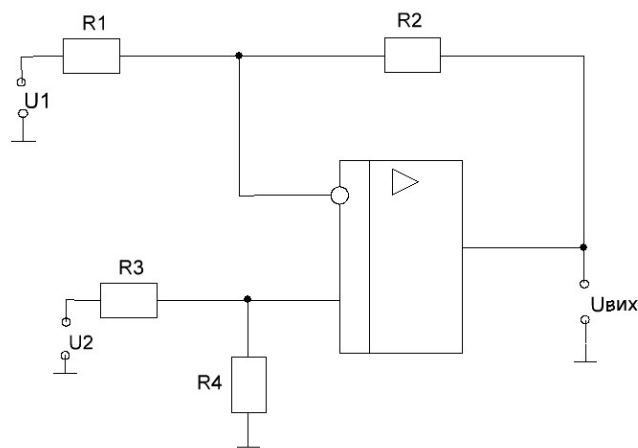


Рис. 4.2.1 Схема найпростішого диференційного підсилювача на базі одного ОП

Диференційний підсилювач необхідний в тих випадках, коли інформацію несе не абсолютне значення напруги в деякій точці (відносно

заземлення), а різниця напруг між двома точками. Слід використовувати диференційні підсилювачі завжди, коли присутні синфазні перешкоди в сигналі. Наприклад, при вимірюванні електричних потенціалів, що знімаються з деяких точок живого організму: при електрокардіограмах, електроенцефалограмах і тому подібних методах дослідження.

Печатна плата диференційного підсилювача має наступний вигляд:

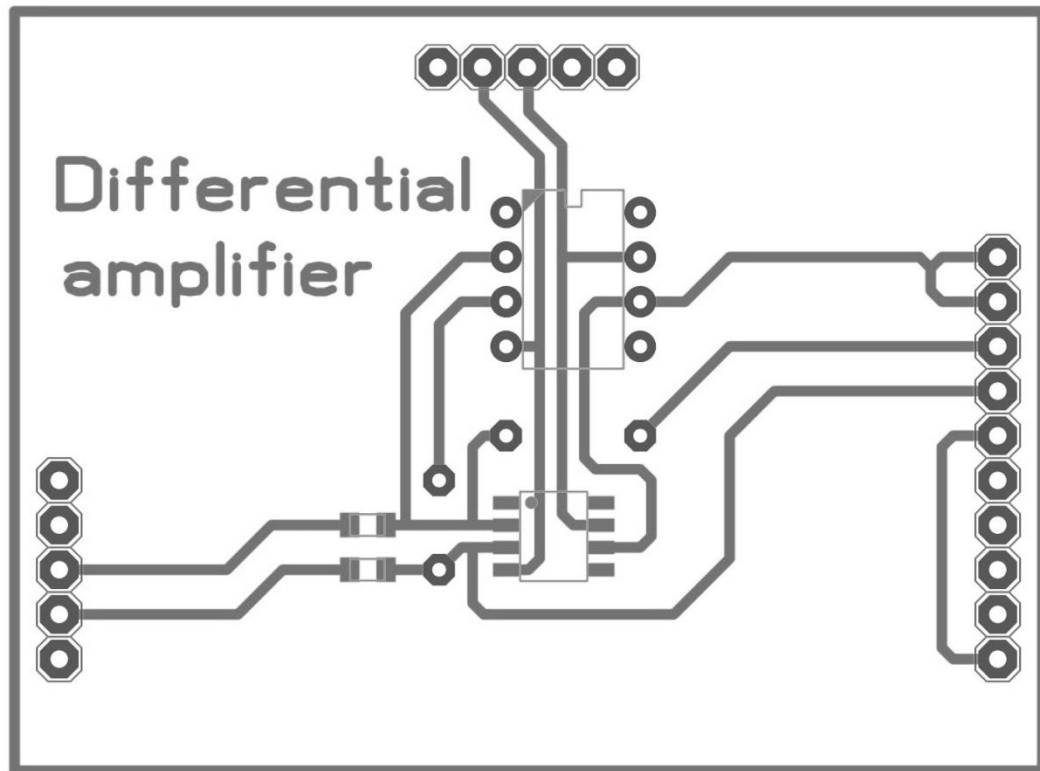


Рис. 4.2.2 Печатна плата змінного модуля для дослідження диференційного підсилювача.

На цій платі припаяні лише резистори R_1 та R_3 , а резистори R_4 та R_2 , студенти зможуть самостійно обрати з блоку змінних компонентів, згідно виконаних розрахунків, для цього передбачені клемні отвори. Один ОП буде припаяний стаціонарно, а для іншого передбачені отвори для тимчасового монтажу, що дасть змогу порівнювати їх характеристики.

Вихідна напруга такого підсилювача знаходиться за формулою:

$$U_{\text{вих}} = U_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - U_1 \frac{R_2}{R_1}$$

Якщо прийняти:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

то вихідна напруга буде змінюватись пропорційно різниці вхідних сигналів:

$$U_{\text{вих}} = (U_2 - U_1) \frac{R_2}{R_1}$$

Доцільно обирати резистори $R_3 = R_1$ і $R_4 = R_2$, тоді можна буде впливати на коефіцієнт підсилення диференційного сигналу, але коефіцієнт підсилення синфазного сигналу буде залишатися близьким до нуля.

Всі формули, що використані при розрахунку схеми, виведені на основі допущення, що ми маємо справу з ідеальним ОП, але на практиці, хоч параметри ОП і наближаються до ідеальних, це не так. Тому потрібно мати уяву про похибки, що присутні в ОП і їх вплив на схему загалом. Для цього потрібно звернути увагу на еквівалентну схему заміщення ОП, рис. 4.2.3.

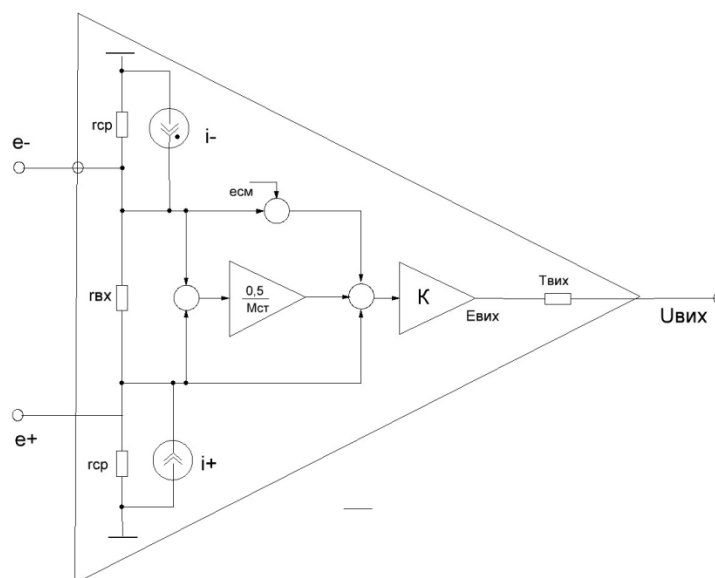


Рис. 4.2.3 Еквівалентна схема заміщення ОП.

Підсумовуючі вузли, що входять до складу схеми (позначені колом) вважаються ідеальними: їх вихідна напруга рівна сумі вхідних напруг, що взяті з відповідним знаком. Також і масштабуючі ланки вважаються ідеальними (позначені трикутниками): їх вхідні і вихідні опори рівні відповідно безкінечності і нулю. Всі напруги розраховуються відносно спільного проводя – заземлення.

Як видно з еквівалентної схеми, ОП має два основних входу і один вихід (можуть бути і інші варіанти). Один з входів підсилювача має назву інвертуючий, а інший – неінвертуючий. При роботі ОП в лінійному режимі, напруга на інвертуючому вході (e_-) і зі збільшення напруги на неінвертуючому вході (e_+).

Різницю напруг на входах ОП ($e_+ - e_-$) називають диференціальним вхідним сигналом ОП, а півсуму цих напруг $(e_+ + e_-)/2$ – синфазним вхідним сигналом.

Основними параметрами ОП, котрі характеризують його якість є :

Коефіцієнт підсилення (К) – відношення зміни вихідної напруги до зміни, що викликала його зміну диференційної вхідної напруги при роботі підсилювача на лінійній ділянці характеристики:

$$K = \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{\Delta U_{\text{вх}}},$$

Де $U_{\text{вх}} = e_+ - e_-$; інтегральні ОП мають коефіцієнт підсилення, що лежить у діапазоні 10^3 - 10^6 .

Напруга зміщення ($e_{\text{см}}$) – диференціальна вхідна напруга ($e_+ - e_-$), при якій вихідна напруга підсилювача рівна нулю. Максимальне модульне значення $e_{\text{см}}$ для підсилювачів на біполярних транзисторах, частіше складає 3-10мВ. В ОП, к котрих вхідний каскад будується на польових транзисторах, напруга зміщення на порядок більша, 30-100мВ.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Середній вхідний струм (i_{ex}) – середнє арифметичне значення струмів Н- и І – входів підсилювача, що виміряні при такій напрузі, при якій вихідна напруга U_{ex} рівна нулю. На рис. 4.2.3 вони позначені у виді джерел струму i_+ та i_- . Середнє значення вхідного струму інтегральних підсилювачів з вхідними каскадами на біполярних транзисторах звичайно лежить у діапазоні 0,01 – 1мкА. Такі малі значення i_{ex} забезпечуються за рахунок роботи вхідних транзисторів ОП в режимі дуже малих колекторних струмів. Подальше зниження значення (до 1 нА) досягається за рахунок використання польових транзисторів на вхідних каскадах ОП.

Різниця вхідних струмів (Δi_{ex}) – абсолютне значення різності струмів двох входів підсилювача $|e_+ - e_-|$, що виміряні, коли напруга на виході підсилювача рівна нулю. Цей струм різниці в значній мірі говорить про те, наскільки велика несиметричність вхідного каскаду ОП. Зазвичай Δi_{ex} складає 20-50% i_{ex} .

Вхідний опір (r_{ex})- опір зі сторони одного з входів ОП, у той час, як інший заземлений. В деяких випадках цей опір, називають вхідним опором для диференційного сигналу. Вхідний опір ОП може складати 10^3 - 10^6 Ом і більше.

Вхідний опір для синфазного сигналу (r_{cf}) знаходять як відношення прирісту середнього струму підсилювача. Величина r_{cf} в більшості випадків більше на 1-2 порядки ніж r_{ex} .

Коефіцієнт послаблення синфазного сигналу (M_{cf}) – відношення коефіцієнту підсилення K до коефіцієнта передачі синфазного сигналу. Коефіцієнт передачі синфазного сигналу при цьому знаходиться як відношення вихідної напруги до викликавшого його зміну синфазної вхідної напруги.

Коефіцієнт впливу нестабільності джерела живлення (K_n)- відношення зміни напруги зміщення до викликавшої її зміни однієї з живлячих напруг ΔU_n .

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Вихідний опір ОП ($r_{вих}$) знаходиться так же, як і для будь якого іншого підсилювача і складає величину, що лежить у діапазоні від декількох десятків до декількох сотен ом.

Похибки підсилювачів визначаються неточністю резисторів, що використовуються і не ідеальністю ОП.

$$\frac{\Delta K_{\Pi}}{K_{\Pi}} = \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1}.$$

Таким чином, відносна мультиплікаційна похибка інвертую чого підсилювача, що викликана неточністю резисторів R_2 та R_1 , рівна різниці відносних похибок цих резисторів:

$$\gamma_i[\Delta R_1, \Delta R_2] = \gamma_{R2} - \gamma_{R1}$$

Для неінвертуючого підсилювача відповідно отримаємо:

$$\gamma_n[\Delta R_1, \Delta R_2] = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (\gamma_{R2} - \gamma_{R1})$$

Як видно, для зниження похибок підсилювачів треба використовувати по можливості точні резистори і прагнути, щоб відносні похибки резисторів R_1 та R_2 були однаковими.

Відносна похибка від зміни коефіцієнта підсилення ОП K може бути знайдена по формулі:

$$\gamma_i[\Delta K] = \gamma_n[\Delta K] = \frac{\gamma_K}{K\beta + 1}$$

Для інвертуючого та неінвертуючого підсилювачів ця похибка має однакові значення. З цього співвідношення можна зробити важливий висновок: похибка підсилювача зі зворотнім зв'язком, що викликана нестабільністю коефіцієнта підсилення ОП, тим менше, чим більше петльове зусилля $K\beta$.

Коефіцієнти підсилення неінвертуючого і інвертуючого підсилювачів менше коефіцієнтів підсилення використаних ОП приблизно в $(K\beta + 1)$ разів. Причому для неінвертуючого підсилювача воно тим точніше, чим

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ближче к одиниці коефіцієнт μ . Похибка підсилювачів із-за нестабільності коефіцієнта K також зменшується пропорційно значенню $K\beta + 1$. Отже, можна вважати, що в скільки разів коефіцієнт підсилення підсилювача з ОЗЗ менше коефіцієнта підсилення K , в стільки ж разів похибка підсилювача менше викликованої її похибки коефіцієнта підсилення ОП:

$$\frac{\gamma_n[\Delta K]}{\gamma_K} = \frac{K_n}{K}; \quad \frac{\gamma_i[\Delta K]}{\gamma_K} \approx \frac{K_i}{K}$$

Нехай, наприклад, в розглянутому діапазоні температур коефіцієнт підсилення ОП, початково рівний 10^5 , може змінюватись на $\pm 50\%$. Якщо на основі цього ОП побудований інвертуючий або неінвертуючий підсилювач з коефіцієнтом підсилення 100, то вказана нестабільність викличе похибку підсилювача, рівну $\pm 50 \cdot 100 / 10^5 = \pm 0,05\%$.

Схема для дослідження буде мати наступні особливості:

- змінний коефіцієнт підсилення (10, 25, 50);
- можливість розрахунку, виміру та аналізу похибок, при чому похибки повинні бути досить великими, щоб можна було виміряти за допомогою мультиметру.

Для реалізації цих особливостей потрібен блок змінних компонентів, а саме резисторів. Щоб схема мала можливість налаштування резистори R_3 та R_1 будуть встановлені відразу, а резистори R_4 та R_2 студенти будуть обирати з блоку змінних елементів після проведення потрібних розрахунків. А також необхідна наявність декількох змінних плат, що будуть виконані на різних ОП. В нашому випадку використаємо ОР07, МС1456 та UA741.

Резистори R_3 та $R_1 = 10\text{кОм}, 20\text{кОм}$ і 51кОм

ОР07 має невелику похибку, являє собою, практично, промисловий стандарт прецизійного ОП.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Виконаємо розрахунок схеми з такими вхідними даними: $K_u = 10$, $R_3 = R_1 = 10\text{кОм}$, а в якості ОП використаємо ОР07.

Виконати розрахунок R_4 та R_2 , а також похибку від вхідних струмів та ЕРС зміщення.

$$R_1 = R_2 / K_u$$

$$R_2 = R_1 K_u = 10 \cdot 10^3 \cdot 10 = 100 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Для зниження похибки від вхідних струмів і ЕРС зміщення треба притримуватись рівностей $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$

$$R_2 = R_4 = 100 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Для знаходження похибок, що викликані наругою зміщення $e_{зм}$ і вхідними струмами i_+ та i_- скористаємось наступною формулою.

$$\Delta U_{вих} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left(e_{зм} + \Delta i \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Так, як для виконання лабораторної роботи було б більш цікаво розглянути ці похибки самостійно одна від одної тому при розрахунку похибки від $e_{зм}$ будемо вважати, що $\Delta i = 0$, а при розрахунку похибки від Δi будемо вважати, що $e_{зм} = 0$

$$\begin{aligned} \Delta U_{вих} &= \frac{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \left(45 \cdot 10^{-6} + 0 \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} \right) \\ &= 4.95 \cdot 10^{-4} \text{ В} \end{aligned}$$

$$\Delta U_{вих} = \frac{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \left(0 + 0.9 \cdot 10^{-9} \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} \right) = 9 \cdot 10^{-5} \text{ В}$$

Виконаємо аналогічні розрахунки, але з іншими вхідними параметрами схеми.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Розрахунок схеми з такими вхідними даними: $K_u = 25$, $R_3 = R_1 = 20\text{кОм}$, а в якості ОП використаємо ОР07.

Виконати розрахунок R_4 та R_2 , а також похибку від вхідних струмів та ЕРС зміщення.

$$R_1 = R_2 / K_u$$

$$R_2 = R_1 K_u = 20 \cdot 10^3 \cdot 25 = 510 \cdot 10^3 \text{Ом}$$

Для зниження похибки від вхідних струмів і ЕРС зміщення треба притримуватись рівностей $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$

$$R_2 = R_4 = 510 \cdot 10^3 \text{Ом}$$

$$\Delta U_{\text{вих}} = \frac{20 \cdot 10^3 + 510 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} \left(45 \cdot 10^{-6} + 0 \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 510 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3 + 510 \cdot 10^3} \right)$$

$$= 1,192 \cdot 10^{-3} \text{В}$$

$$\Delta U_{\text{вих}} = \frac{20 \cdot 20^3 + 510 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} \left(0 + 0,9 \cdot 10^{-9} \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 510 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3 + 510 \cdot 10^3} \right)$$

$$= 4,59 \cdot 10^{-4} \text{В}$$

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Розрахунок схеми з такими вхідними даними: $K_u = 50$, $R_3 = R_1 = 20\text{кОм}$, а в якості ОП використаємо ОР07.

Виконати розрахунок R_4 та R_2 , а також похибку від вхідних струмів та ЕРС зміщення.

$$R_1 = R_2 / K_u$$

$$R_2 = R_1 K_u = 20 \cdot 10^3 \cdot 50 = 1 \cdot 10^6 \text{Ом}$$

Для зниження похибки від вхідних струмів і ЕРС зміщення треба притримуватись рівностей $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$

$$R_2 = R_4 = 1 \cdot 10^6 \text{Ом}$$

$$\Delta U_{\text{вих}} = \frac{20 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^6}{20 \cdot 10^3} \left(45 \cdot 10^{-6} + 0 \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^6}{20 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^6} \right) = 2,295 \cdot 10^{-3} \text{В}$$

$$\Delta U_{\text{вих}} = \frac{20 \cdot 20^3 + 1 \cdot 10^6}{20 \cdot 10^3} \left(0 + 0,9 \cdot 10^{-9} \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^6}{20 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^6} \right) = 0,9 \text{В}$$

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Виконаємо розрахунок схеми з такими вхідними даними: $K_u = 10$, $R_3 = R_1 = 10\text{кОм}$, а в якості ОП використаємо МС1456.

Виконати розрахунок R_4 та R_2 , а також похибку від вхідних струмів та ЕРС зміщення.

$$R_1 = R_2 / K_u$$

$$R_2 = R_1 K_u = 10 \cdot 10^3 \cdot 10 = 100 \cdot 10^3 \text{Ом}$$

Для зниження похибки від вхідних струмів і ЕРС зміщення треба притримуватись рівностей $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$

$$R_2 = R_4 = 100 \cdot 10^3 \text{Ом}$$

Так, як для виконання лабораторної роботи було б більш цікаво розглянути ці похибки самотійно одна від одної тому при розрахунку похибки від $e_{зм}$ будемо вважати, що $\Delta i = 0$, а при розрахунку похибки від Δi будемо вважати, що $e_{зм} = 0$

$$\Delta U_{\text{вих}} = \frac{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \left(45 \cdot 10^{-6} + 0 \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} \right) = 0.044 \text{В}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{вих}} &= \frac{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \left(0 + 2 \cdot 10^{-9} \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} \right) \\ &= 2 \cdot 10^{-4} \text{В} \end{aligned}$$

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Виконаємо розрахунок схеми з такими вхідними даними: $K_u = 10$, $R_3 = R_1 = 10\text{кОм}$, а в якості ОП використаємо UA741.

Виконати розрахунок R_4 та R_2 , а також похибку від вхідних струмів та ЕРС зміщення.

$$R_1 = R_2/K_u$$

$$R_2 = R_1 K_u = 10 \cdot 10^3 \cdot 10 = 100 \cdot 10^3 \text{Ом}$$

Для зниження похибки від вхідних струмів і ЕРС зміщення треба притримуватись рівностей $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$

$$R_2 = R_4 = 100 \cdot 10^3 \text{Ом}$$

Так, як для виконання лабораторної роботи було б більш цікаво розглянути ці похибки самотійно одна від одної тому при розрахунку похибки від $e_{зм}$ будемо вважати, що $\Delta i = 0$, а при розрахунку похибки від Δi будемо вважати, що $e_{зм} = 0$

$$\Delta U_{\text{вих}} = \frac{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \left(45 \cdot 10^{-6} + 0 \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} \right) = 0.011 \text{В}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{вих}} &= \frac{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \left(0 + 2 \cdot 10^{-9} \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3} \right) \\ &= 2 \cdot 10^{-3} \text{В} \end{aligned}$$

З вище викладених теоретичних розрахунків можна зробити наступні висновки, щодо характеристик ОП. Завдяки тому, що використали однакову схему, але з різними операційними підсилювачами та різними резисторами, було отримано передбачувані теоретичні результати. Чим вище коефіцієнт підсилення, при інших рівних, більше числове значення набуває похибка від ЕРС зміщення. При тому ж самому коефіцієнті підсилення, при пропорційному збільшені значень резисторів додається ще й похибка від вхідних струмів і чим вище точність підсилення ОП, тим менше буде похибка (при використанні ОР07, звичайним мультиметром, похибку виміряти неможливо, а на інших ОП, загального призначення, це можна з легкістю зробити). Тому студенти зможуть побачити це наочно за допомогою розрахунків і безпосередньому дослідженні схеми в живу.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

4.3 Розробка принципової схеми стенду.

Принципова схема стенду представлена на рис. 4.3.1

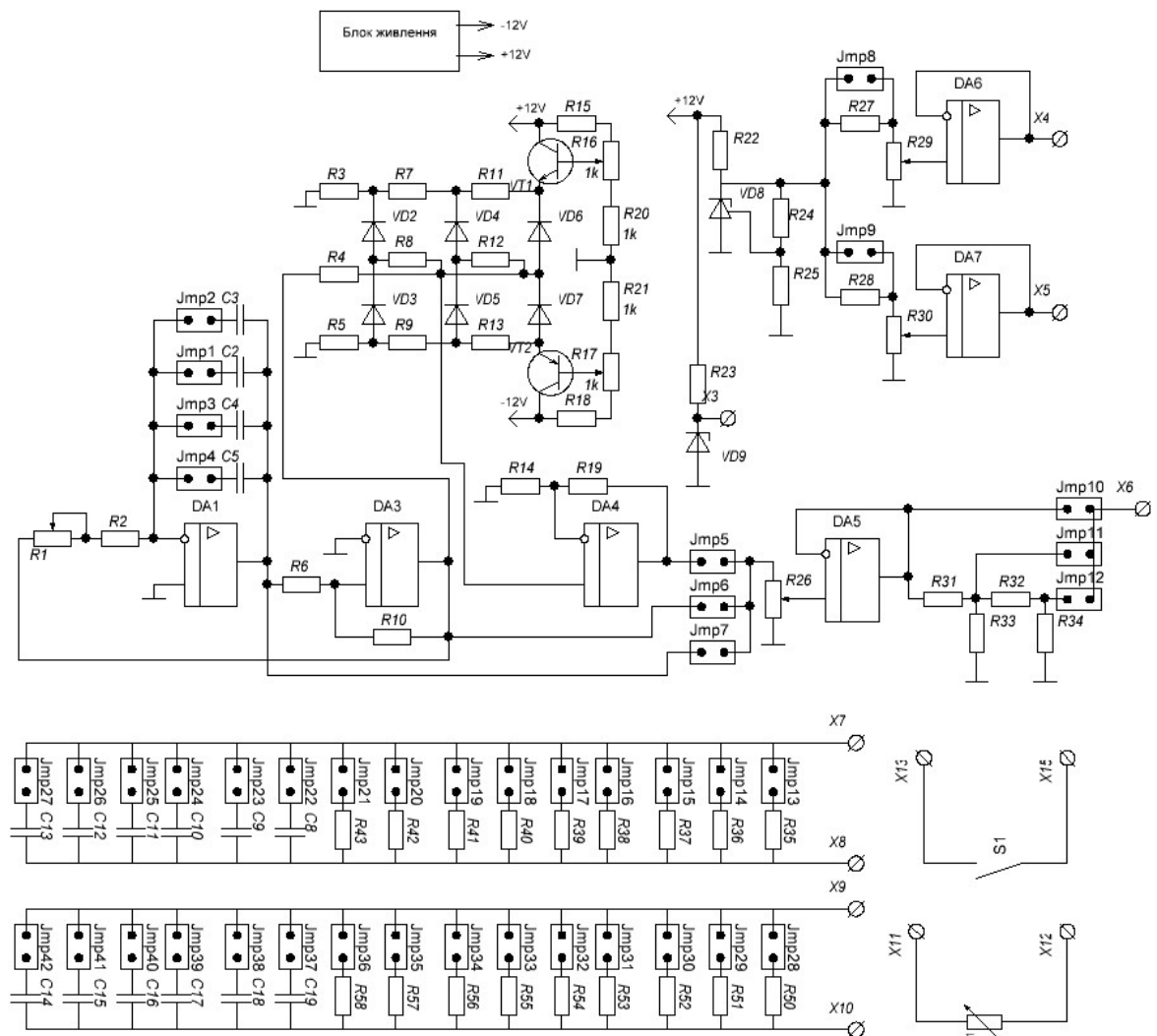


Рис. 4.3.1 Принципова схема стенду

4.4 Розробка печатної плати стенду.

Для розробки печатної, двосторонньої, плати було використане програмне середовище Sprint-Layout. Верхня частина плати зображена на рис. 4.4.1, а нижня частина плати зображена на рис. 4.4.2.

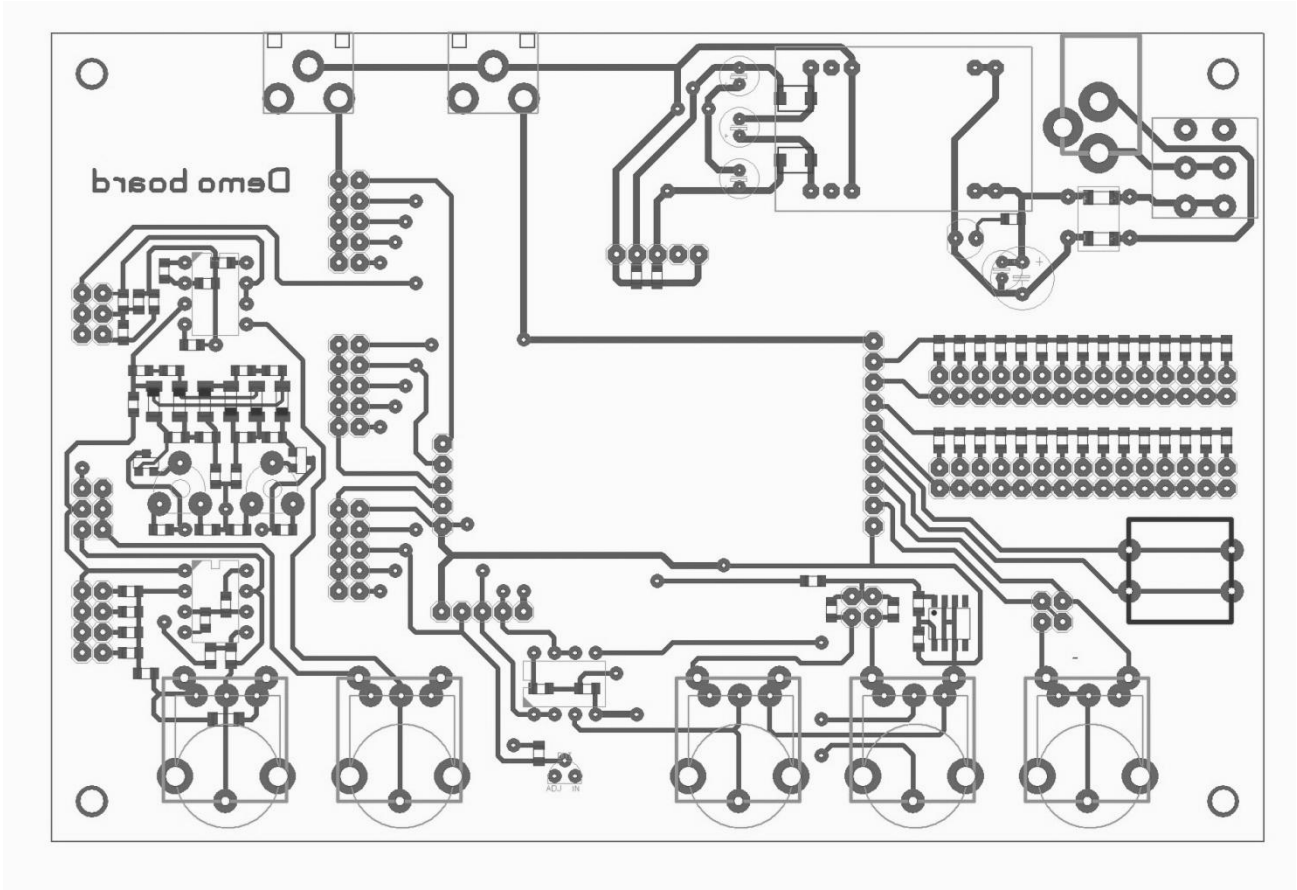


Рис. 4.4.1 Верхня сторона печатної плати стенду.

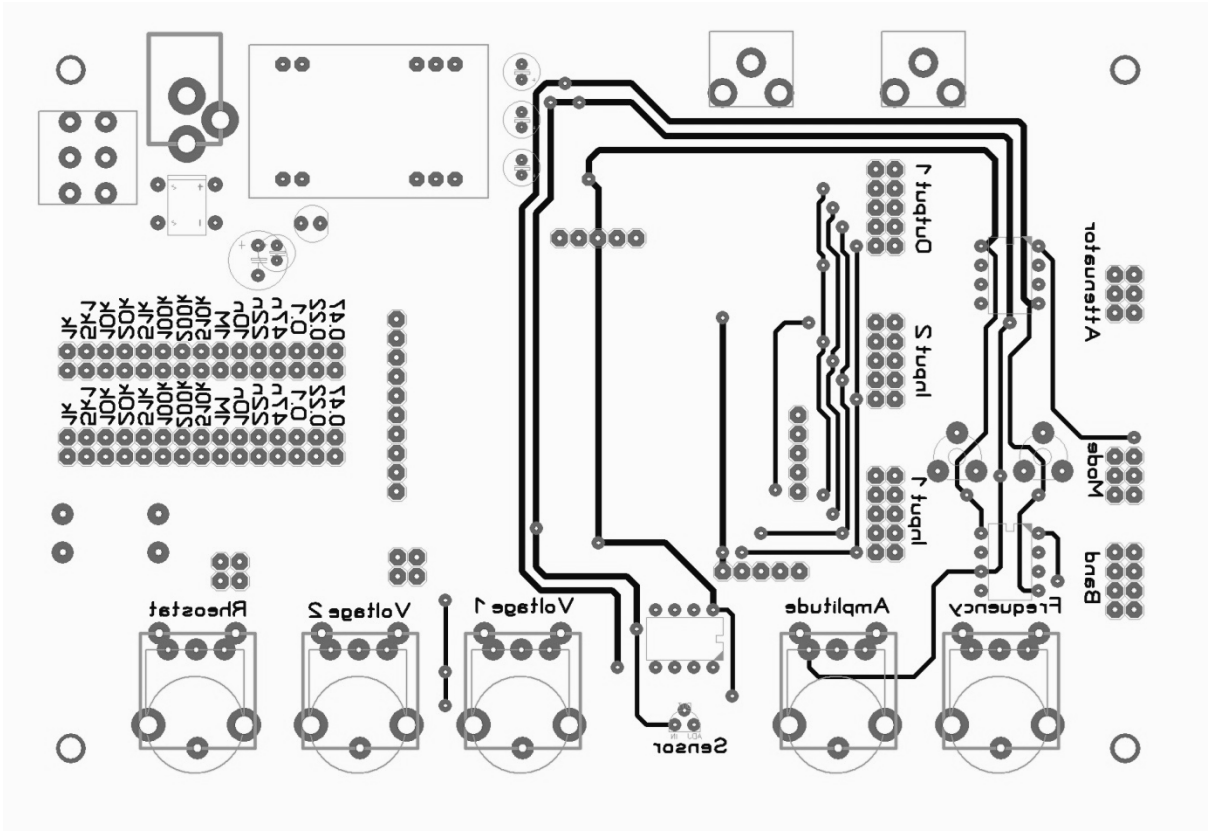


Рис. 4.4.2 Нижня сторона печатної плати стенду

4.5 Фотоматеріали по зовнішньому вигляду стенду.

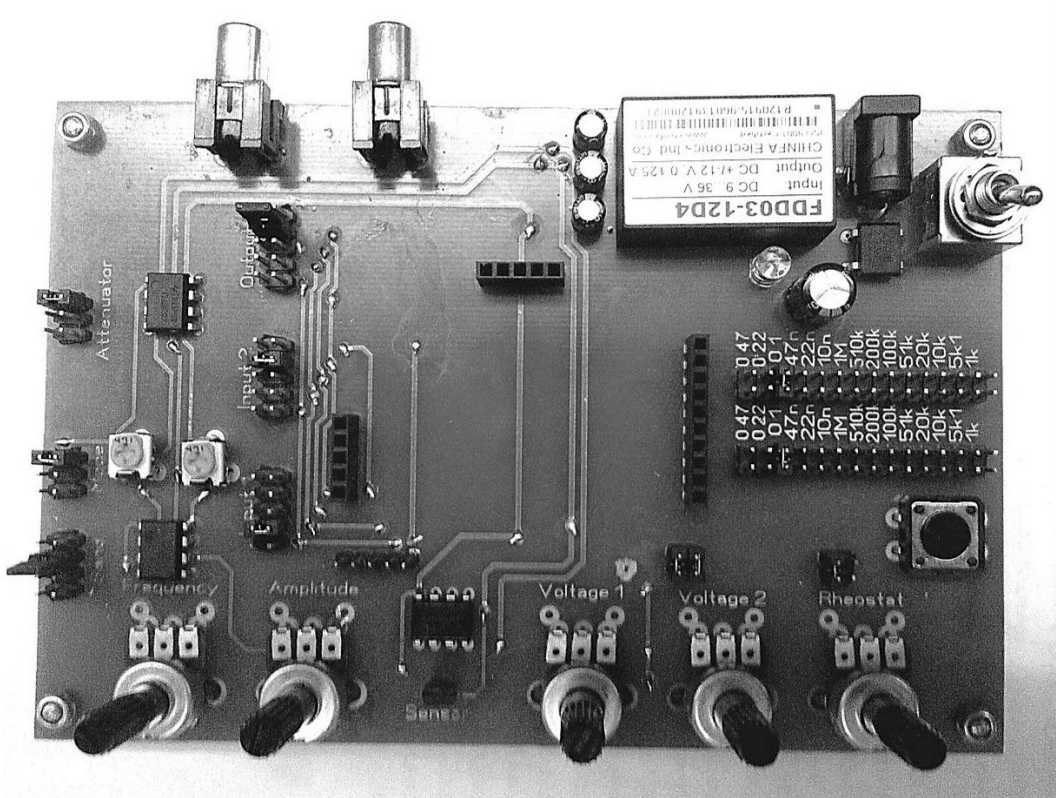


Рис. 4.5.1 Вид зверху.

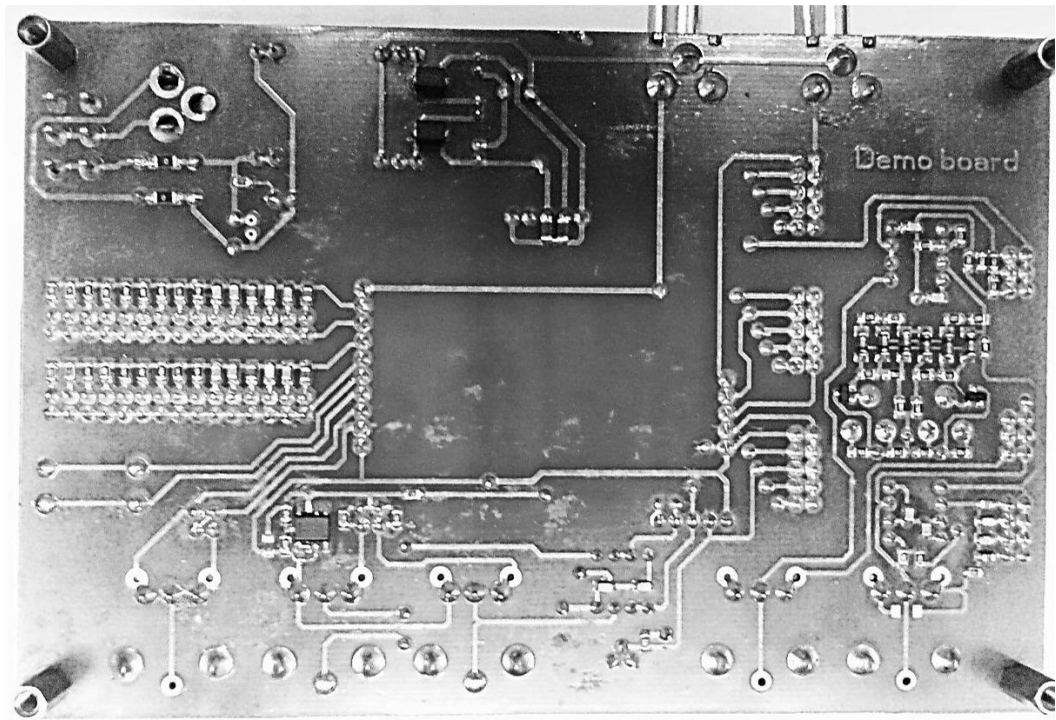


Рис 4.5.2 Вид знизу.

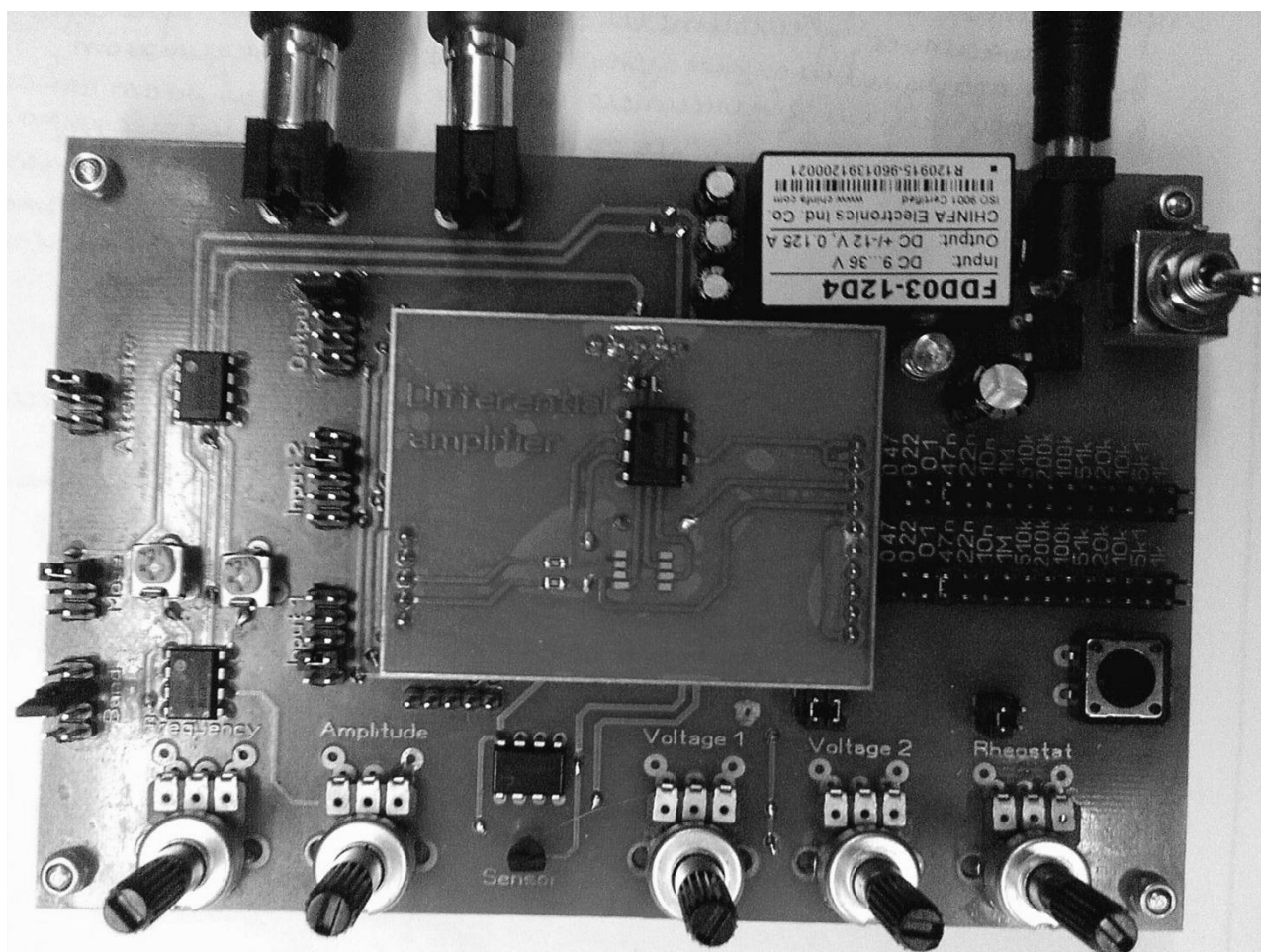


Рис. 4.5.3 Готовий до роботи стенд з підключеними блоком живлення, вимірювальними пристроями та змінною платою для дослідження диференційного підсилювача.

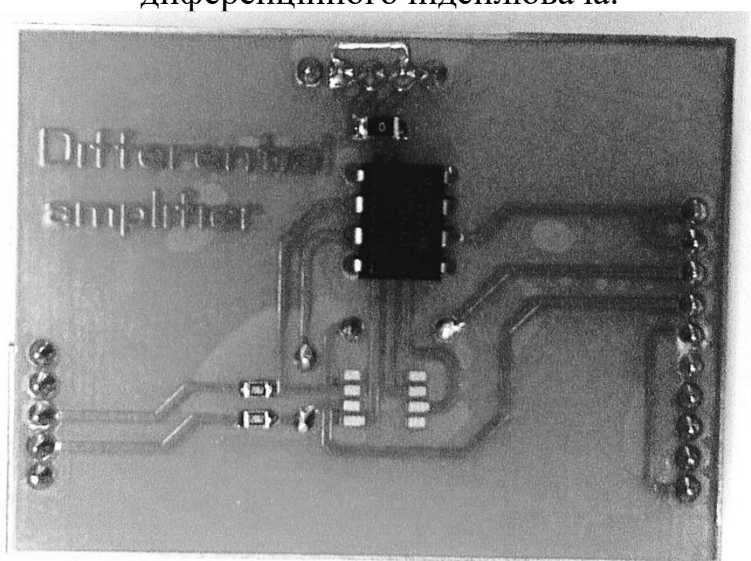


Рис. 4.5.4 Змінна плата для виконання роботи по дослідженню диференційного підсилювача на ОП

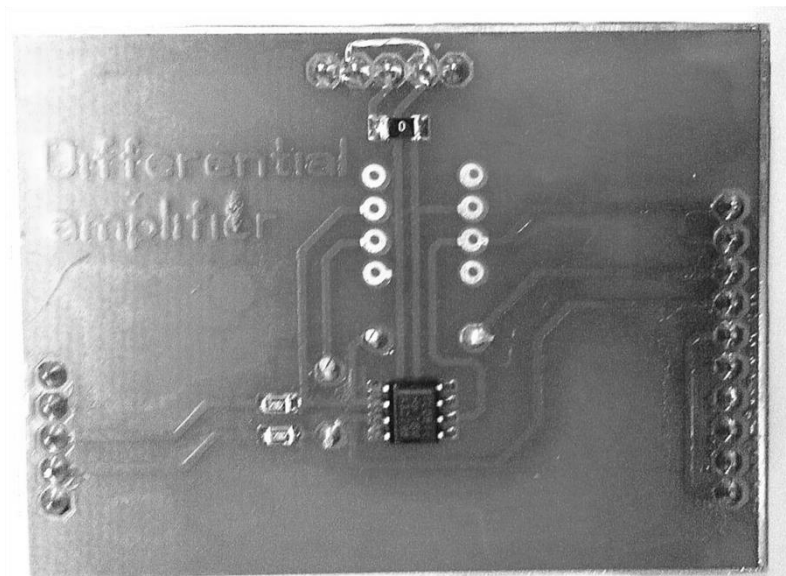


Рис. 4.5.4 Змінна плата для виконання роботи по дослідженню диференційного підсилювача на ОП

5. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ ОБСЛУГОВУВАНІ СТЕНДА.

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів.

Охорона праці - система законодавчих актів, постанов, організаційних, санітарних і технічних заходів, що забезпечують безпечні для здоров'я умови праці на робочому місці. Науково-технічний прогрес вніс зміни в умови виробничої діяльності працівників розумової праці. Їх праця стала більш інтенсивним, напруженим, які вимагають витрат розумової, емоційної і фізичної енергії. Це має пряме відношення і до фахівців, пов'язаних з проектуванням, розробкою, експлуатацією, супроводом і модернізацією автоматизованих систем управління різного призначення.

Організм людини може пристосуватися до виробничих умов лише тоді, коли шкідливі або небезпечні чинники не досить активні і їх рівень знаходиться в межах гранично допустимих нормативних значень. Якщо ж шкідливі і небезпечні чинники виробничого середовища досить активні, тоді організм людини не в змозі до них пристосуватися і його нормальне функціонування порушується, а стан здоров'я погіршується внаслідок чого виникають виробничі травми або професійні захворювання.

Відповідно до державного стандарту шкідливі і небезпечні чинники за дією та природою впливу поділяються на чотири класи: фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні.

До фізичних шкідливих та небезпечних чинників належить шум, вібрація і інші коливальні впливи, іонізуючі і неіонізуючі випромінювання, кліматичні параметри (температура, вологість і рух повітря), атмосферний тиск, рівень освітлення, а також фіброгенний пил і т.ін.

До хімічних шкідливих і небезпечних чинників за характером впливу на організм людини належать токсичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні та мутагенні речовини різного агрегатного стану, що здатні викликати будь-які загальні, місцеві або віддалені в часі негативні наслідки

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

на організм. За шляхами проникнення в організм людини вони можуть діяти через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкіряні покрови та слизові оболонки.

До біологічних шкідливих та небезпечних чинників належать патогенні мікроорганізми, мікробні препарати, біологічні пестициди, сапрофітна спороутворююча мікрофлора, мікроорганізми – продуценти мікробіологічних препаратів.

До психофізіологічних небезпечних й шкідливих виробничих чинників за характером їх дії належать фізичні статичні й динамічні перевантаження-піднімання й перенесення вантажів, незручне положення тіла, тривалий тиск на шкіру, суглоби, м'язи та кістки; фізіологічно недостатня рухова активність (гіподинамія); нервово-психічні перевантаження – розумове перевантаження, емоційні навантаження, перенапруга аналізаторів.

Найбільш характерними специфічними наслідками впливу шкідливих й небезпечних чинників є виробничі травми і професійні захворювання.

Між виробничими небезпечними й шкідливими чинниками досить важко провести відповідну межу. Один і той же виробничий чинник за природою своєї дії може одночасно належати до різних класифікаційних груп. Наприклад, виробничий пил залежно від походження та інших характеристик може спричинити легеневий фіброз або травмування очей або інших ділянок тіла; іонізуюча радіація може викликати променеву хворобу або спричинити променеве смертельне ураження («смерть під променем»); шум може бути причиною професійного невриту або слухової травми і т. ін.

Відповідна форма організації праці та результати наукових розробок з питань гігієни та виробничої санітарії усувають дію деяких шкідливих небезпечних чинників, знімають негативні наслідки перевантажень як фізичного так й психофізіологічного характеру і створюють умови для тривалого довголіття та високого рівня працездатності .

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

В умовах виконання лабораторних робіт з електроніки можуть бути виявлені наступні види шкідливих та небезпечних чинників:

- недостатня рухливість та не зручне положення при роботі з персональним комп'ютером;
- навантаження на зорову систему організму;
- різні види випромінювань;
- випари хімічних речовин, що застосовуються при пайці;
- різні види опіків;
- ураження електричним струмом;
- нервово-психічні перевантаження.

5.2 Загальні умови безпеки в лабораторії.

При експлуатації або обслуговуванні можливий вплив на організм радіотехніки, підвищеної температури шуму на робочому місці, недостатньої освітленості робочих місць, перенапруження очей, статичних або динамічних перевантажень.

Вимірювальна техніка повинна відповідати вимогам безпеки праці: її розміщення повинне забезпечувати зручний підхід до апаратури для ведення регулювальних робіт в умовах лабораторії.

Органи управління повинні виключати накопичення статичної електрики в небезпечних кількостях. Окремі модулі і блоки допускається забезпечувати пристроями для зняття статичної електрики.

Конструктивно окремі модулі і блоки повинні мати засоби місцевого освітлення відповідного умов експлуатації. При цьому повинна виключатись можливість контакту з струмоведучими частинами комплексу.

Конструктивно апаратура повинна мати блочно-модульна побудова для забезпечення зручності в роботі, її безпечної експлуатації, а також обслуговуванням що вийшли з ладу компонентів комплексу.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Модулі та блоки повинні виключати небезпеку ураження електричним струмом під час монтажу, регулювання і випробування апаратури на надійність з боку доступних виробів електронної техніки при знятті захисних пристроїв.

Апаратура, підключається до мережі промислової частоти за допомогою штепсельних вилок повинна мати конструкцію виключає поразки електричним струмом, у випадку дотику до штирів і контактів штепсельної вилки після вилучення її з штепсельної розетки.

5.3 Пожежна безпека в лабораторії.

Радіо-монтажні ділянки пожежонебезпечні. Технологічні операції, наприклад, пайка, облуження гарячим припоєм, обпалення-монтажного проводу проводяться з використанням легко займистих рідин (етилового спирту, ацетону і тому подібні) і при підвищеній температурі.

Виробничі приміщення для монтажу, регулювання і випробування РЕА повинні відповідати вимогам пожежної безпеки, при якій повинна виключатися можливість виникнення пожежі, а також створення умов для її успішного гасіння.

Щоб уникнути пожежі електричні паяльники і обпалювальні пристрої повинні забезпечуватися спеціальними термостійкими діелектричними підставками.

Обпалення ізоляції кінців проводів (монтажних) має проводитися у вогнетривкій витяжній шафі.

Легко легкозаймисті рідини слід зберігати в посуді з герметичними кришками (пробками). Посуд слід відкривати тільки в момент користування легко легкозаймистими рідинами.

При налагодженні та експлуатації стендів великої потужності слід враховувати те, що установка виділяє велику кількість тепла, яке може

виявитися причиною пожежі. Необхідно передбачити надійну систему вентиляції та відводу тепла від цих потужних пристроїв.

На випадок пожежі система вентиляції повинна бути обладнана пристроєм, що відключає її у разі виникнення спалаху.

Після роботи необхідно відключити всі комунікації, крім системи протипожежної сигналізації. При виникненні загоряння потрібно негайно провести організовану евакуацію персоналу і відключити системи енергопостачання та газові комунікації.

Необхідно перевірити всі контакти та затискачі в електричних ланцюгах на відсутність іскріння, електричної дуги, які можуть бути причиною загоряння електропроводки. В електричних ланцюгах повинні використовуватися тільки штатні запобіжники, щоб уникнути короткого замикання та пожежі. Щоб уникнути появи зарядів статичної електрики всі корпуси обладнання повинні мати надійне і справне заземлення. Повітря в приміщенні необхідно періодично зволожувати.

Необхідно періодично проводити прибирання пилу у важкодоступних місцях комунікацій і прихованої електропроводки.

Усі дерев'яні конструкції повинні бути просочені вогнезахисними складами. Сходові клітки, прольоти і тамбури не повинні захащуватись сторонніми предметами. Усі роботи з легкозаймистими та летучими речовинами повинні проводитись під примусовою вентиляцією.

Всі засоби пожежогасіння повинні знаходитись в легкодоступних місцях. Для гасіння загорівся проводки необхідно застосовувати вуглекислотні вогнегасники, для решти - пінні вогнегасники, воду або пісок. При повільному тління дерев'яних конструкцій можна користуватись азбестовими листами.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

5.4 Заходи безпеки при проведенні лабораторних робіт.

На робочому місці є прилади, роз'єми, клеми та інші елементи, які знаходяться під напругою. Тому при проведенні лабораторних робіт необхідно знати і суворо виконувати такі основні правила техніки безпеки.

Лабораторну роботу можна виконувати тільки на справному стенді. Про виявлені несправності необхідно повідомити персоналу лабораторії. Виконувати лабораторну роботу на кожному стенді, повинні одночасно не менше двох людей.

Перед початком роботи на стенді необхідно переконатися, що всі вимикачі стенду знаходяться в положенні "Вимкнено".

Категорично забороняється включати стенд без дозволу викладача або завідувача лабораторією.

Зміни в схемі за допомогою сполучних проводів можна проводити тільки при знеструмленій схемою, для чого відповідні вимикачі повинні бути поставлені в положення "Вимкнено".

Всі операції з приладами та елементами, що знаходяться під напругою (регулювання, включення тумблерів тощо), повинні здійснюватися одним людиною і тільки однією рукою. Друга рука повинна бути вільною і не повинна торкатися апаратури стенду.

При виявленні будь-яких пошкоджень або несправностей, а також при появі диму, іскріння або запаху перегрітої ізоляції необхідно знеструмити лабораторний стенд і повідомити про це викладачу або завідувача лабораторією.

У разі ураження людини електричним струмом необхідно негайно вимкнути живлення стенду. Якщо відключення напруги не може бути зроблено швидко, потрібно вжити заходів до ізоляції потерпілого від елементів, що знаходяться під напругою. Для цього необхідно використовувати гумові рукавички, гумовий килимок або застосувати такі підручні засоби, як сухий одяг, сухі дерев'яні елементи та інші ізолятори.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

При втраті постраждалим свідомості і дихання необхідно звільнити його від стискує подих одягу і робити йому штучне дихання до прибуття лікаря.

					ДП. 4367стЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

В дипломному проекті була розроблена концепція стенду для лабораторних робіт з дисципліни «схемотехніка», основне призначення якого, дослідження схем побудованих на ОП, що працюють на постійному струмі.

В результаті огляду існуючих лабораторних стендів, було показано, що необхідна розробка сучасного стенду для дослідження схем на ОП, котрий забезпечує більшу наочність, на відміну від існуючих рішень (на них не видно самих електронних компонентів). А також, багато існуючих стендів виконані не на ОП, а на транзисторах. В результаті огляду виявлено, що потрібен стенд, котрий має можливість досліджувати сучасні схемо технічні рішення і в той же час наочний.

Розроблена функціональна схема стенду, котра включає джерело живлення, джерела опорної напруги і блоки змінних компонентів, що робить стенд універсальним і широко налагоджувальним під лабораторні роботи.

Оскільки для живлення ОП потрібне двухполярне живлення, розроблено стабільне, двухполярне джерело живлення, котре перетворює однополярну безпечну напругу 15В на двухполярну зі значенням $\pm 12В$ – стабілізовану.

Найбільш поширеною схемою, на практиці, для ОП являється диференційний підсилювач, тому розроблено змінний компонент на основі диференційного підсилювача, що дозволяє досліджувати залежність коефіцієнта підсилення від параметрів резисторів і дозволяє досліджувати основні джерела похибок (ЕРС зміщення та вхідні струми).

Розроблена функціональна та принципова схеми стенду, а також на цій основі розроблена двухстороння печатна плата по якій виготовлені дослідні зразки стенду.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	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.

					ДП. 4367ст3	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		