

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Освітній рівень

Автоматизована система вимірювання характеристик МПД-транзисторів

Назва теми

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ

172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ

17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва

ОСВІТНЯ ПРОГРАМА

172 Телекомунікації та радіотехніка

Назва

КПТР. 018004.01.08 ПЗ

Виконав:

здобувач 4 курсу, група TP-18-1


підпис

Олександр МЕЙХЕР

ініціали, прізвище

Керівник: канд. техн. наук, доцент


підпис, дата

Леся КАРПОВА

ініціали, прізвище

Нормоконтроль: канд. техн. наук, доцент



підпис, дата

Олег ПИВОВАР

ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТМІТ
д-р техн. наук, доцент


підпис, дата

Сергій ПІДЧЕНКО

Ініціали, прізвище

«25» травня 2022р.

Хмельницький, 2022

Хмельницький національний університет

Факультет	інформаційних технологій
Кафедра	телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій
Освітній рівень:	бакалавр
Галузь знань:	17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність:	172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма:	172 Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМІТ

 Сергій ПІДЧЕНКО

«10» лютого 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

МЕЙХЕРУ Олександр Андрійовичу

Прізвище, ім'я по батькові здобувача

1 Тема проєкту: Автоматизована система вимірювання характеристик МПД-транзисторів

Керівник проєкту: КАРПОВА Леся Вікторівна

Затверджено наказом по університету від «01» березня 2022р. № 18

2 Строк подання здобувачем проєкту на кафедру 20 травня 2022 року

3 Вихідні дані до проєкту Необхідно розробити джерело живлення для МДП-транзисторів. Джерело живлення повинне формувати прямокутні імпульси струму амплітудою від 0 до 20 А. Максимальна вихідна напруга – 50 В.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

- Огляд сучасних характеріографів.
- Розробка структурної та електрично принципової схеми джерела живлення характеріографа.
- Розробка конструкції джерела живлення для МДП-транзисторів.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):

- структурна схема джерела живлення характеріографа;
- електрично-принципова схема джерела живлення характеріографа;
- друкована плата пристрою.

6 Консультанти розділів кваліфікаційного проекту

Розділ	Прізвища, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв


7 Дата видачі завдання 10 лютого 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

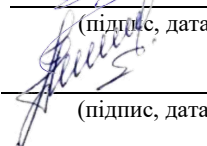
№ п/п	Найменування виду роботи	Форма звітності, термін виконання	Відмітка наукового керівника
1.	Розробка завдання на кваліфікаційний проект	15.02.2022р.	виконано
2.	Складання індивідуального плану на кваліфікаційний проект	15.02.2022р.	виконано
3.	Написання першого (теоретичного) розділу	10.03.2022р.	виконано
4.	Написання другого розділу	26.03.2022р.	виконано
5.	Написання третього розділу	15.04.2022р.	виконано
6.	Написання вступу і загальних висновків та пропозицій до кваліфікаційного проекту	30.04.2022р.	виконано
7.	Оформлення кваліфікаційного проекту	10.05.2022р.	виконано
8.	Рецензування кваліфікаційного проекту	15.05.2022р.	виконано
9.	Презентаційні матеріали за результатами виконання кваліфікаційного проекту	20.05.2022р.	виконано

Здобувач

Науковий керівник



(підпис, дата)



(підпис, дата)

Олександр МЕЙХЕР

Леся КАРПОВА

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проєкту: «Автоматизована система вимірювання характеристик МПД-транзисторів»

Автор роботи: МЕЙХЕР Олександр Андрійович

Керівник роботи: канд. техн., доц. КАРПОВА Леся Вікторівна.

Пояснювальна записка: 64 сторінок, 39 рисунків, 10 таблиць, 22 джерела, 2 додатки.

Графічна частина: 1 плакати, 2 креслення, 16 презентаційних слайдів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ХАРАКТЕРИОГРАФ, ВАХ, ЕЛЕКТРОЛІТИЧНІ КОНДЕНСАТОРИ, МДП-ТРАНЗИСТОРИ, ШУНТ, ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, РЕЗИСТИВНИЙ ПОДІЛЬНИК НАПРУГ, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ.

Метою кваліфікаційного проєкту є розробка джерела живлення характеріографа для МДП-транзисторів.

У процесі роботи використовувався досвід розробки електричних принципових схем, а також досвід експлуатації сучасних автоматизованого проектування.




Внаслідок проведеної роботи розроблено джерело живлення характеріографа для МДП-транзисторів. Розрахована та розроблена електрична принципова схема пристрою. Розрахунки підтверджені результатами моделювання у схемотехнічному симуляторі NI Multisim. Розроблено друковану плату пристрою.

Область застосування – дослідження параметрів напівпровідникових МДП-транзисторів.

Ефективність – застосування розробленого джерела живлення для МДП-транзисторів дозволить знімати вольт-амперні характеристики потужних транзисторів.

ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ХАРАКТЕРИОГРАФИ	9
1.1 Огляд сучасних характеріографів	9
1.1.1 Характеріограф напівпровідникових пристроїв великої потужності В1505А	10
1.1.2 Характерістограф Keithley 4200А-SCS	12
1.1.3 Характеріограф ІПСШ-3	14
1.1.4 Характеріограф Л2-100 ТЕКО	15
1.1.5 Характеріограф Assist-ASA	18
1.1.6 Імпульсний характеріограф напівпровідникових приладів ...	21
1.2 Аналіз переваг та недоліків сучасних характеріографів	25
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНО ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ХАРАКТЕРИОГРАФА	26
2.1 Розробка структурної схеми джерела живлення характеріографа	26
2.2 Розробка електричної принципкової схеми	27
2.2.1 Вибір керуючого р-канального транзистора	27
2.2.2 Розробка схеми керування для р-канального транзистора	28
2.2.3 Розробка схеми двотактного підсилювача потужності	30
2.2.4 Вибір вимірювального шунта та розрахунок масштабуючого операційного підсилювача	32
2.2.5 Розрахунок схеми джерела напруги	33
2.3 Розробка схеми блоку живлення	35

КПТР. 2018004.01.08 ПЗ									
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система вимірювання характеристик МПД-транзисторів Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів	
								5	
									
									
						ХНУ, гр. ТР-18-1			
Н. контр.									
Затв.		Підченко С.К.							

2.3.1 Розробка структурної схеми джерела живлення	35
2.3.2 Розробка електричної принципової схеми блоку живлення.....	36
3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ МДП- ТРАНЗИСТОРІВ.....	44
3.1 Конструкторський розрахунок друкованої плати.....	44
3.2 Розрахунок електричних параметрів друкованої плати	51
3.3 Розробка друкованої плати пристрою	53
3.4 Вибір корпусу для пристрою	56
ВИСНОВОК	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59
ДОДАТОК А	
ДОДАТОК Б	
ДОДАТОК В	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП	аналого-цифровий перетворювач
В	– випрямляч
ВАХ	– вольт-амперна характеристика
ВП	– випробуваний прилад
ГН	– генератор імпульсної напруги
ДН	– джерело напруги
ІТ	– імпульсний трансформатор
НПП	– напівпровідникові прилади
ОК	– об'єкт контролю
ПЗ	– програмне забезпечення
ПВ	– підсилювач індикаторний по вертикалі
ПГ	– підсилювач індикаторний по горизонталі
ПК	– персональний комп'ютер
Р	– регулятор
СН	– стабілізатор напруги
Ф	– фільтр
ШІМ	– широко-імпульсної модуляції

ВСТУП

Сучасну електроніку неможливо уявити без напівпровідникових приладів, область застосування та номенклатура яких неухильно розширюється. Удосконалення технологічних процесів виробництва дозволяє створювати пристрої з новими характеристиками. В цих умовах постійно зростають вимоги до можливостей устаткування вимірювання параметрів напівпровідникових приладів.

В даний час на ринку контрольно-вимірювальних приладів є велика кількість обладнання, у тому числі відомих зарубіжних брендів, і ця апаратура здатна забезпечити будь-які види вимірювань. Проте вартість брендів суттєво обмежує їх широке поширення.

Характеріограф – загальна назва приладів, призначених для спостереження та дослідження характеристик радіоелектронних пристроїв та компонентів. Вимірювальна інформація цих приладів відображається, як правило, на екрані у вигляді кривої або сімейства кривих.

У даному кваліфікаційному проєкті згідно з технічним завданням потрібно розробити джерело живлення характеріографа для МДП-транзистор.

Необхідно розглянути існуючі технічні рішення, провести аналіз їх переваг та недоліків. Розробити структурну схему пристрою. Провести розрахунок електричної принципової схеми джерела живлення характеріографа, підтвердити результати моделюванням. На основі електричної схеми розробити друковану плату пристрою.

1 ХАРАКТЕРИОГРАФИ




Залежно від функціоналу, характеристики можуть визначати не тільки вольт-амперні характеристики на постійному струмі, а й вольт-фарадні характеристики на змінному струмі, ємність між выводами біполярного транзистора. По суті характеристики є одночасно джерела струму і напруги, а також можуть включати прецизійні мультиметри.

Вимірювані величини для кожного характеристикографа свої, але можна виділити загальні для більшості: мінімальний та максимальний струм, як постійний, так і імпульсний; максимальне значення величини постійної напруги, що подається на прилад. Під час підготовки до вимірювання для режиму джерела струму вказуються мінімальне та максимальне значення постійного струму, а також граничне імпульсне значення. Може вказуватися межа величини опору, що вимірюється установкою. Для налаштувань позначаються інтерфейси введення/виводу. Деякі моделі можуть мати сенсорні РК-екрани, для яких прописуються в параметрах характеристикографа їх діагональ та роздільна здатність.

1.1 Огляд сучасних характеристикографів

В даний час існує велика кількість характеристикографів. Вони мають низку відмінних характеристик:

- 1) можливість підключення приладів до персонального комп'ютера;
- 2) широкий набір інтерфейсів та портів;
- 3) прості методи налаштування параметрів та управління роботою.

					КПТР. 2018004.01.08 ПЗ			
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система вимірювання характеристик МПД-транзисторів	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Мейхер О.А.						9
Перевірив		Карпова Л.В.			Пояснювальна записка	ХНУ, гр. ТР-18-1		
Н. контр.								
Затв.		Підченко С.К.						

Сучасні характеристики вимагають від користувача знань у галузі програмування.

Розглянемо основні типи характеристик різних виробників.

1.1.1 Характеристика напівпровідникових пристроїв великої потужності B1505A

Аналізатор силових приладів/характеристика B1505A від компанії Keysight Technologies, Inc – це єдине готове рішення з функціями характеристики нового покоління, здатне точно вимірювати показники силових приладів і визначати їх характеристики при напругах до 10 кВ і струмах до 1500 А. Прилад B150 (рис. 1.1) аналізу характеристик силових приладів завдяки таким особливостям, як широкий діапазон струмів та напруг, можливість використовувати короткі імпульси (10 мкс), вимірювання опорів приладів у включеному стані з мікроомметровою роздільною здатністю та вимірювання струмів у субпікоамперному діапазоні. Крім того, режим осцилографа дозволяє візуально контролювати форму імпульсного сигналу струму та напруги.

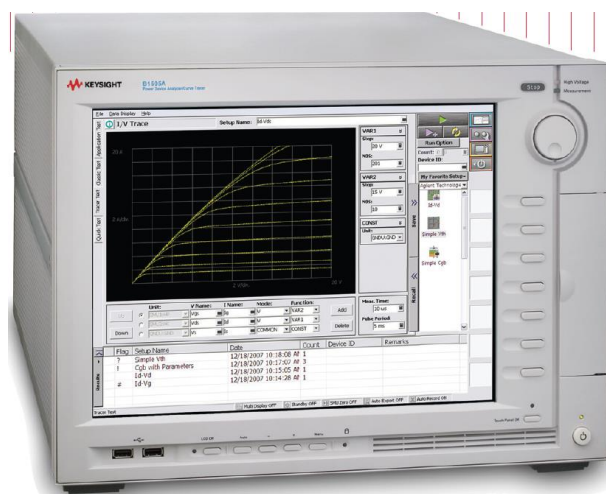


Рисунок 1.1 – Keysight Technologies характеристика B1505A

										КПТР. 2018004.01.08 ПЗ	Арк 10
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата							

вимірювань (прикладних тестів), причому можливе автоматичне збереження умов випробувань та даних вимірювань після кожного виміру в унікальній вбудованій базі даних (робочому просторі): це гарантує, що цінна інформація не буде втрачена, а вимірювання можна буде за необхідності повторити пізніше. В результаті забезпечуються додаткова зручність використання, покращений аналіз даних та спрощене управління даними вимірювань силових приладів та кіл.

1.1.2 Характериограф Keithley 4200A-SCS

Система Keithley 4200A-SCS – універсальна система для вимірювання вольт-амперних (ВАХ) характеристик на постійному струмі, для зняття вольт-фарадних характеристик на змінному струмі та в імпульсному режимі для напівпровідникових приладів та тестових структур на пластині у напівпровідниковому виробництві. Система має модульну багатоканальну архітектуру і конфігурацію, що настроюється, підтримуючи до 9 вимірювальних і додаткових модулів. На рисунку 1.2 представлено лицьову сторону Keithley 4200A-SCS.



Рисунок 1.2 – Keithley 4200A-SCS вид спереду

					КПТР. 2018004.01.08 ПЗ	Арк 12
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

Система Keithley 4200A-SCS має низку особливостей. Власна вбудована робоча станція на базі ОС Windows 7, інтерактивне середовище тестування, бібліотека стандартних тестів. Прилад має сенсорний 15,6" РК монітор високої роздільної здатності (1920x1080), Широкий набір інтерфейсів і портів. Серед них: USB, SVGA, Printer, GPIB, Ethernet, mouse, Keyboard. Підтримка до 9 вимірювальних модулів одночасно.

Прилад забезпечує вимірювання ВАХ в діапазоні струмів 0,1 фА до 1 А і напруги від 1 мкВ до 210 В. Вимірювання на змінному струмі в діапазоні до 420 з роздільною здатністю 1 мВ, в частотному діапазоні від 1 кГц до 10 МГц. Система вимірювання параметрів напівпровідників Keithley 4200A – це комплекс апаратних та програмних засобів. На рисунку 1.3 представлено комплекс апаратних та програмних засобів приладу.

	4200A-SCS		
Програмные средства	Clarius™ с >450 тестов/проектов/устройств		
ВАХ на пост. токе	4200-SMU 210 В, 100 мА	4210-SMU 210 В, 1 А	4200-PA Предусилитель 100аА
Импульсный режим Переходные режимы	4225-PMU Импульсн. измерения	4225-RPM Предусил./коммут.	4220-PGU Импульсн. генератор
C-V метрия	4210-CVU от 1 кГц до 1 МГц	Ramp-Rate (Квазистатич.) C-V	Ультранизкие частоты (VLF) C-V
Коммутация	4200-UL-LS/V Ультра слабые токи	4225-RPM Слабые токи	4200A-CVIV Автокоммут. CV/IV
Драйверы для зондовых станций, темп. контроллеров, внешних устройств			

Рисунок 1.3 – Апаратні та програмні засоби Keithley 4200A-SCS

Розглянемо основні характеристики модуля, що підключається. Модуль 4200-SMU використовується для зняття ВАХ на постійному струмі. Він забезпечує максимальну вихідну напругу 21 при струмі 100 мА і 210 при струмі 10 мА. Діапазон струму від 100 нА до 100 мА для генерації та вимірювання. Діапазон напруги від 200 мВ до 200 В для генерації та вимірювання.

1.1.3 Характериограф ВПНП-3

ВПНП-3 вимірювач параметрів напівпровідникових приладів призначений для контролю та досліджень ВАХ електронних компонентів, шляхом їх візуального спостереження на екрані ПК у вигляді графіків або таблиць, розрахунку на їх основі стандартних параметрів досліджуваного об'єкта та відображення функціональних залежностей цих параметрів, запам'ятовування та документування результатів вимірювань. ВПНП-3 представлений на рисунку 1.4.

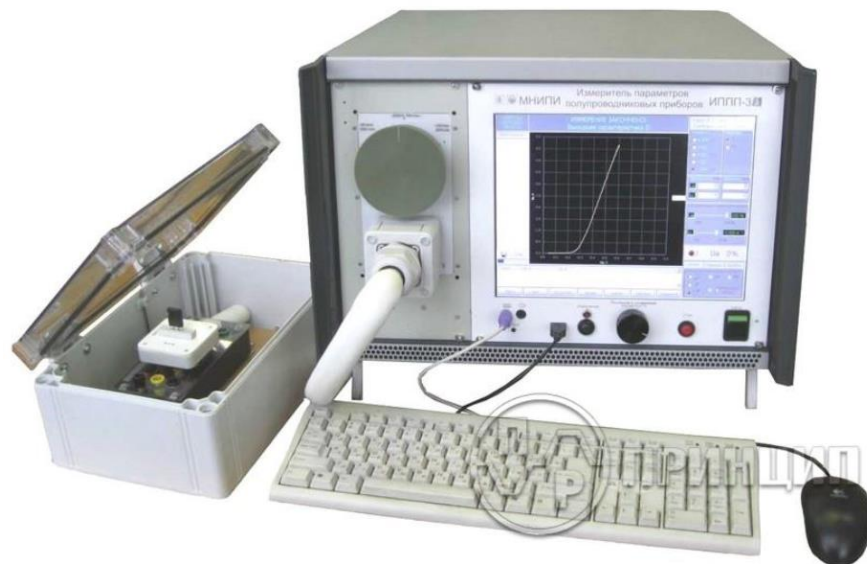


Рисунок 1.4 – Характериограф ВПНП-3

Особливості ВПНП-3. Відображення вимірних та розрахункових характеристик у вигляді графіків та таблиць та збереження таблиць в електронному вигляді. Наявність бібліотеки стандартних тестів для вимірювання параметрів стандартних напівпровідникових приладів. Створення власного архіву еталонних графіків із можливістю накладання еталонної ВАХ на вимірну характеристику. Можливість створення власних моделей вимірювання за принципом: виріб, елемент, що тестується, тест. Підтримка портів та інтерфейсів USB, mouse, Keyboard, Ethernet.

Даний характеріограф дозволяє вести вимірювання та аналіз ВАХ в діапазонах струмів до 20 А і напруг до 2000 В. Подано динамічне відображення графіка ВАХ при регулюванні напруги повторюваної розгортки вручну. Прилад дозволяє провести одноразове вимірювання ВАХ за внутрішнім або зовнішнім сигналом запуску розгортки.

У режимі вимірювача струму діапазон становить від 10 до 20 А з мінімальним кроком в 0,005 нА. У режимі вимірювача напруги діапазон становить від 0,5 до 2 кВ з мінімальним кроком в 0,2 мВ.

У режимі джерела напруги при 20 В максимальний струм становить 10 А, при 2 кВ струм 0,06 А.

Явними недоліками приладу є вартість та неможливість прямого підключення до комп'ютера.

1.1.4 Характеріограф Л2-100 ТЕКО

Цифровий запам'ятовуючий характеріограф напівпровідникових приладів Л2-100 ТЕКО компанії «ТЕСТПРИЛАД» призначений для візуального спостереження статичних ВАХ напівпровідникових приладів (НПП), вимірювання напруг на електродах і струмів в їх колах.

						КПТР.2018004.01.08 ПЗ	Арк 15
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			

Характериограф дозволяє досліджувати ВАХ напівпровідникових діодів, стабілітронів та стабісторів, біполярних та польових транзисторів, тиристорів, симісторів та інших НПП, а також оптоелектронних та пасивних компонентів. Прилад представлений рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Характериограф Л2-100 ТЕКО

На рисунку 1.6 представлена спрощена функціональна схема характериографу. Основні вузли приладу: джерело живлення колекторного кола, генератор ступенів напруги (струму), підсилювач індикаторний по вертикалі (ПВ), підсилювач індикаторний по горизонталі (ПГ).

Для отримання на екрані характериографу сімейства ВАХ досліджуваного транзистора колекторне коло транзистора через обмежувальний резистор $R_{обм}$ подається напруга від джерела живлення колекторного кола. Від генератора ступенів на керуючий електрод транзистора подається струм, що ступінчасто змінюється або напруга. При цьому колекторне коло транзистора виникають імпульси струму, що створюють пропорційне падіння напруги на

вимірювальному шунті RШ. Напряга між колектором та емітером транзистора та напряга на вимірювальному шунті надходять через відповідні підсилювачі в канали горизонтальної та вертикальної розгортки характеріографа, які, у свою чергу, формують зображення сімейства ВАХ на екрані (рис. 1.7).

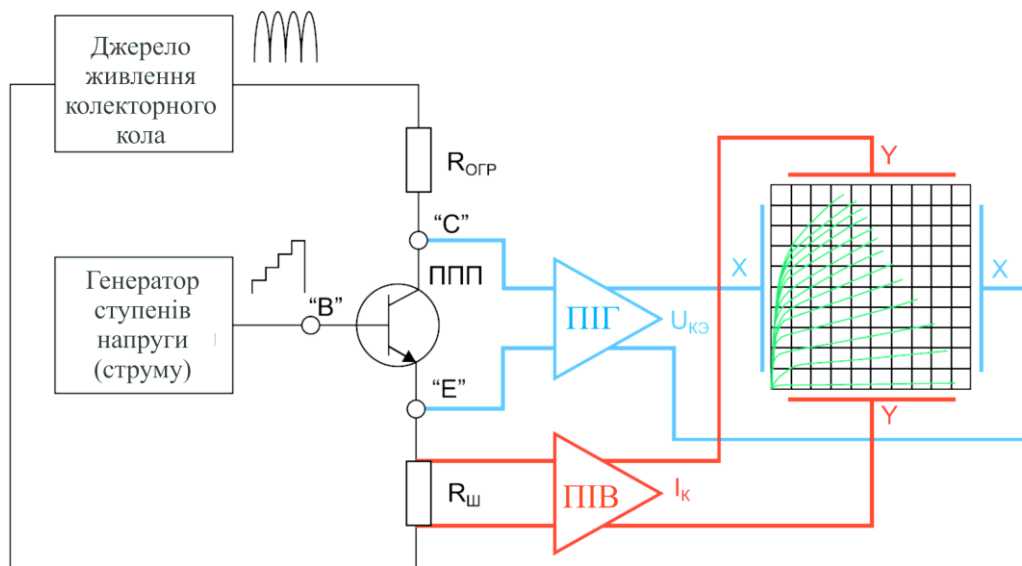


Рисунок 1.6 – Функціональна схема характеріографа Л2-100 ТЕКО

Характеріограф також оснащений високовольтним джерелом (на схемі не показаний), що дозволяє досліджувати ВАХ ППП при напругах до 5 кВ.

Характеріограф Л2-100 ТЕКО має низку особливостей. Можливість збереження до 10 ВАХ у пам'яті приладу. Прилад підтримує функцію порівняння досліджуваної ВАХ із зразковою. Ці ВАХ виводяться на дисплей одночасно. Підключення до персонального комп'ютера через високошвидкісний порт USB. Можливість синхронного відображення досліджуваної ВАХ на екрані комп'ютера. Прилад дозволяє зберегти необмежену кількість ВАХ у форматі JPG, PNG, BMP, GIF, TIFF, CSV, XLS при підключенні до комп'ютера. Підтримка табличних форматів CSV і XLS дає можливість подальшої обробки

виявлення несправностей в електронних цифрових, цифро-аналогових та аналогових платах, модулях, блоках за параметричним методом. Прилад представлений рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Характеріограф Assist-ASA

Assist-ASA надає можливість пошуку несправних елементів (мікросхем, транзисторів, конденсаторів, резисторів та ін.) на платі об'єкта контролю (ОК) без подачі на нього напруги живлення.

Застосування характеріографа не вимагає високої кваліфікації персоналу та створює умови для швидкого ремонту електронних модулів, на які відсутні або втрачені електричні схеми.

Пошук несправностей в ОК проводиться за параметричним методом VI (UI, ASA) за допомогою вимірювання вольт-амперних та імпедансних

характеристик контрольних точках несправного електронного модуля та порівняння з еталонними характеристиками.

Еталонні характеристики вимірюються на свідомо справній платі та зберігаються у файлах на диску комп'ютера. Є можливість роботи без збережених стандартів.

Assist-ASA оперує з характеристиками, представленими у вигляді графічних сигнатур та відповідних їм чисельних значень (R-активний опір, C-ємність, U-напруга у точці перегину вольт-амперної характеристики). Критерієм розбіжності параметрів при автоматичному звірванні є перевищення порога допустимого відхилення виміряного R, C, U від зразка. Поріг задається програмно у відсотковому вираженні. Найчастіше рекомендується встановлювати значення граничного порога відхилення лише на рівні 10-15%.

Метод дозволяє отримати інформацію визначення несправних елементів на платі, і навіть знайти обриви і короткі замикання провідників друкованої плати.

Assist-ASA складається з блоку аналізу та двох активних пробників (кожен з них оснащений контактною голкою та мікрокліпсою). Блок аналізу за інтерфейсом USB підключений до керуючого комп'ютера (ноутбука) із встановленим спеціальним програмним забезпеченням. Assist-ASA може комплектуватися додатковим приладдям).

Основні функціональні переваги характериографа в порівнянні з аналогами:

- два канали і два режими порівняння сигнатур (зі збереженим еталоном або з одночасно зондованої свідомо справної плати) на одному екрані;
- високий рівень автоматизації під час створення бази даних сигнатур;
- автоматичне розпізнавання надійності контакту голки з точкою на платі;

						КПТР. 2018004.01.08 ПЗ	Арк 20
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			

температурному коефіцієнті напруги на р-п-переході визначити зміну температури кристала, викликане протіканням через об'єкт імпульсу струму. Імпульси струму формуються в одноразовому режимі та в режимі широко-імпульсної модуляції (ШІМ).

Для вимірювання вольт-амперних параметрів польових транзисторів є формувач постійної напруги на затворі транзистора. Частотно-часові параметри задаються кварцовим резонатором вбудованого мікроконтролера. Мікроконтролер взаємодіє із зовнішнім комп'ютером для прийому з комп'ютера інформаційного пакета даних з параметрами вимірювання, формування керуючих сигналів і параметрів вимірювання, передачі результатів вимірювання комп'ютер для подальшої обробки.

Програмне забезпечення LED Meter, яке встановлюється на зовнішній комп'ютер, служить для керування режимами, завдання параметрів та функцій формування та вимірювання сигналів.

1.1.7 Характеріограф / аналізатор потужних пристроїв Agilent Technologies B1505A.

При традиційному аналізі несправностей вимірювання електричних характеристик виконується визначення виду несправності (функціональні відмови, несправності, що з витокami постійному струмі тощо.). Характеріографи були одними з найпоширеніших приладів, що використовуються для вимірювання електричних характеристик на постійному струмі, оскільки вони забезпечували зручну перевірку робочих характеристик та перекривали широкий діапазон напруги та струму. Але всі основні постачальники припинили виробництво характеріографів, і нині вироби, які їх замінили, відсутні.

									КПТР.2018004.01.08 ПЗ	Арк
										22
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата						

1.2 Аналіз переваг та недоліків сучасних характеріографів

Незважаючи на велику та різноманітну кількість характеріографів, кожен з них має певні недоліки і не задовольняє нашим вимогам: за вартістю; за функціональними можливостями. Тому для проведення досліджень, вимірювань та вирішення відповідних завдань на кафедрі прийнято рішення реалізувати джерело живлення характеріографа для МДП-транзисторів за допомогою програмного забезпечення Multisim. Джерело живлення характеріографа забезпечить побудову ВАХ МДП-транзисторів; надасть можливість використання різних режимів дослідження; дозволить підключатися до персонального комп'ютера через зв'язок через плату введення/виводу даних PCI6251.

					КПТР. 2018004.01.08 ПЗ	Арк
						25
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНО ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ХАРАКТЕРИОГРАФА

2.1 Розробка структурної схеми джерела живлення характеріографа

Початковим етапом вирішення поставленої задачі була розробка структурної схеми джерела живлення характеріографа, що відбиває взаємозв'язок основних вузлів. Генератор імпульсної напруги (ГІН) дозволяє генерувати імпульси заданої тривалості та амплітуди напруги. Джерело напруги (ДН) визначає граничну напругу, необхідну для зняття ВАХ. Регулятор (Р) формує необхідну довжину імпульсу. На випробуваний прилад (ВП) подається згенерована напруга певної тривалості та амплітуди. Інформація про напругу і струм з приладу надходить на підсилювач, що масштабує, з метою приведення величин до максимально можливого діапазону роботи плати РСІ6251.

Структурна схема представлена рисунку 2.1.

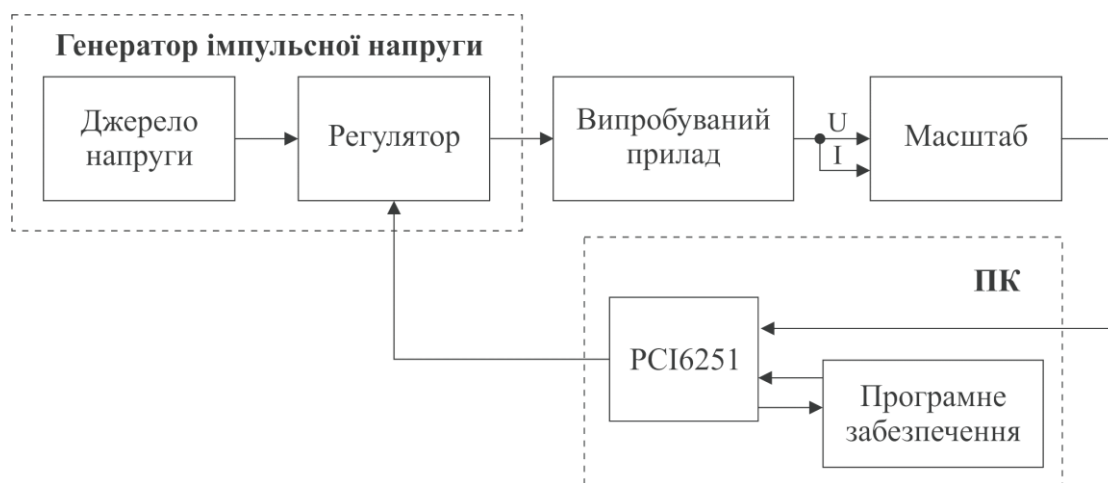


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою

					КПТР. 2018004.01.08 ПЗ					
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система вимірювання характеристик МПД-транзисторів Пояснювальна записка			Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Мейхер О.А.						26	26	26
Перевірив		Карпова Л.В.								
Н. контр.										
Затв.		Підченко С.К.								
								ХНУ, гр. ТР-18-1		

2.2 Розробка електричної принципової схеми

Далі у розділі представлені результати розрахунків і моделювання електричних важливих схем структурних вузлів джерела живлення характеріографа для МДП-транзисторів. Пристрій включає р-канальний керуючий транзистор і його схему управління, двотактний підсилювач потужності, схему джерела напруги, вимірювальний шунт і операційний підсилювач, що масштабує, блок живлення.

2.2.1 Вибір керуючого р-канального транзистора

Відповідно до завдання, керуючий транзистор повинен витримувати падіння напруги не менше 50 В [4]. Тому як р-канальний польовий МДП-транзистор вибраний IRF9Z34. Його технічні характеристики представлені нижче:

- максимальна потужність, що розсіюється – 75 Вт;
- гранично допустима напруга стік-витік – 55 В;
- гранично допустима напруга затвор-витік – 20 В;
- гранична напруга включення – 4 В;
- максимально допустимий постійний струм стоку – 18 А;
- максимальна температура каналу – 175 °С;
- загальний заряд затвора – 34 нС;
- опір стік-витік відкритого транзистора – 0,14 Ом;
- тип корпусу – TO220.

Незважаючи на високий допустимий струм стоку 18 А, вимір ведеться в імпульсному режимі, тому транзистор не згорить.

IRF9Z34 Pinout

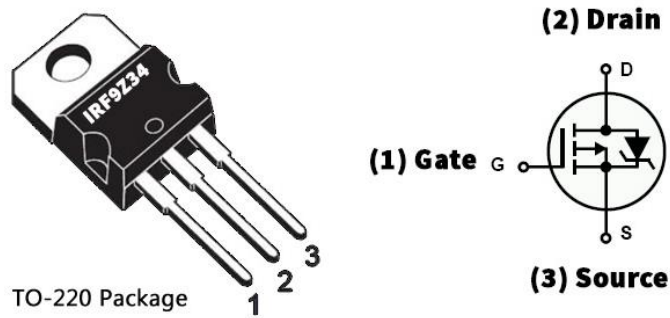


Рисунок 2.2 – МДП-транзистор IRF9Z34

2.2.2 Розробка схеми керування для р-канального транзистора

Дана схема складається з діляника напруги та операційного підсилювача.

Схема представлена рисунку 2.3.

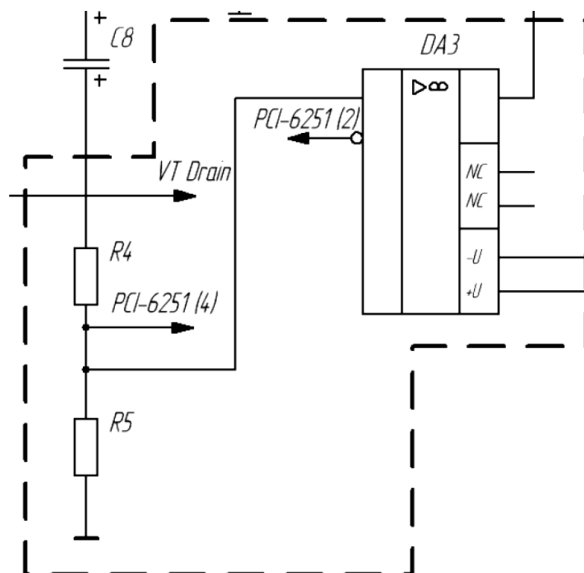


Рисунок 2.3 – Схема керування для р-канального транзистора

Дільники напруги – це вимірювальні пристрої, призначені для зменшення вимірюваної напруги в кілька разів, це так званий коефіцієнт поділу. На вхід резистивного дільника надходить гранична напруга $U_{in} = 50$ В. На вхід, що не інвертує, операційного дільника, що стоїть після дільника можна подати максимум 10 В [7]. Отже, дільник розрахований таким чином, щоб відмасштабувати напругу, що надходить на операційний підсилювач, в рамки 10 В. Вибрав коефіцієнт розподілу $k=5$. Прийняв опір резистора $R5 = 10$ кОм. Тоді опір $R4$ визначається за такою формулою:

$$k = \frac{R4 + R5}{R5}, \quad (2.1)$$

$$R4 = (k - 1)R5 = 40 \text{ кОм}. \quad (2.2)$$

Опір другого резистора відповідно $R4 = 40$ кОм. Найближчий за номіналом до резистори $R4$ з ряду E24 – 39 кОм. Обрано по довіднику найбільш підходящі резистори CF-100 (C1-4) за потрібним номіналом. Резистор $R5$ взято

CF-100 (C1-4) 1 Вт, 10 кОм, 5%, а резистор $R4$ CF-100 (C1-4) 1 Вт, 39 кОм, 5%.

Операційний підсилювач КР140УД17. Даний операційний підсилювач є прецизійним, з малою напругою зміщення та високим коефіцієнтом підсилення напруги. Має внутрішню частотну корекцію. КР140УД17 має непогане поєднання параметрів вхідної напруги і струму шуму. Зазвичай даний операційний підсилювач застосовується у високоточних вимірювальних колах з великим коефіцієнтом підсилення [7].

Технічні характеристики КР140УД17:

- напруга живлення – ± 15 В;
- температурний діапазон – $0^\circ \text{C} \dots +70^\circ \text{C}$;

					КПТР. 2018004.01.08 ПЗ	Арк 29
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

- частота – 0,6 МГц;
- кількість каналів – 1;
- напруга зміщення – 0,06 мкВ;
- тип корпусу – DIP8.

2.2.3 Розробка схеми двотактного підсилювача потужності

Вихідний струм операційного підсилювача досить малий. МДП-транзистори мають паразитні ємності. Ці ємності сповільнюють відкриття транзистора. Тому для швидкого відкриття транзисторів розраховували даний підсилювач потужності на двох транзисторах [5]. Операційний підсилювач працює як повторювач напруги. Вихідна напруга даної схеми буде дорівнює вхідній напрузі, що дозволить подати на затвор випробуваного транзистора таку саму напругу, яку поставимо для моделювання ВАХ [2]. Ця схема представлена на рисунку 2.4.

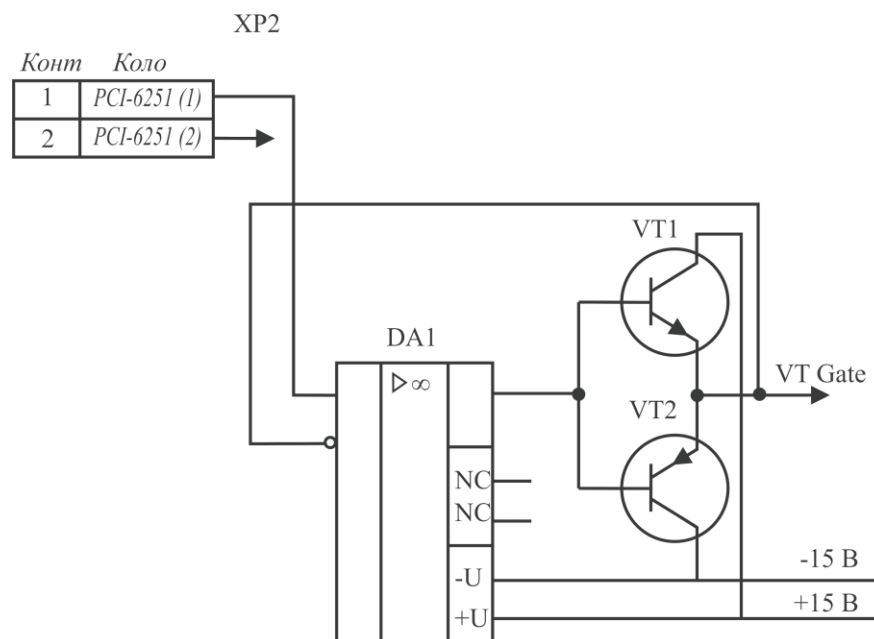


Рисунок 2.4 – Двотактний підсилювач потужності на двох транзисторах з ОП

Як операційний підсилювач у даній схемі вибрав КР140УД17. Даний операційний підсилювач є прецизійним і має найбільш хороші параметри. Характеристики операційного підсилювача розглядалися у попередньому пункті.

У схемі використовуються транзистори n-p-n та p-n-p структури [5]. Як транзистор n-p-n структури обрано 2N6488G. Цей транзистор має такі характеристики:

- максимальна напруга колектор-база при заданому зворотному струмі колектора та розімкнутого кола емітера ($U_{кбо\ max}$) – 90 В;
- максимальна напруга колектор-емітер при заданому струмі колектора та розімкнутого кола бази ($U_{кео\ max}$) – 90 В;
- максимально допустимий струм колектора ($I_{к\ max}$) – 15 А;
- статичний коефіцієнт передачі струму $h_{21e\ min}$ – 15;
- гранична частота коефіцієнта передачі струму $f_{гр}$ – 5 МГц;
- максимальна потужність, що розсіюється – 75 Вт.

Компліментарним транзистором p-n-p структури обрано 2N6491G. Цей транзистор має такі характеристики:

- максимальна напруга колектор-база при заданому зворотному струмі колектора та розімкнутого кола емітера ($U_{кбо\ max}$) – 80 В;
- максимальна напруга колектор-емітер при заданому струмі колектора та розімкнутого кола бази ($U_{кео\ max}$) – 80 В;
- максимально допустимий струм колектора ($I_{к\ max}$) – 15 А;
- статичний коефіцієнт передачі струму $h_{21e\ min}$ – 20;
- гранична частота коефіцієнта передачі струму $f_{гр}$ – 5 МГц;
- максимальна потужність, що розсіюється – 75 Вт.

									КПТР. 2018004.01.08 ПЗ	Арк 31
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата						

2.2.4 Вибір вимірювального шунта та розрахунок масштабуючого операційного підсилювача

Вимірювальний струмовий шунт повинен мати якомога нижче падіння напруги. Це пов'язано з тим, що шунт заземлений, а керування р-канальним транзистором відбувається щодо шунта. У зв'язку з цим, будь-яка напруга, що падає на шунт, заважатиме відкриття керуючого транзистора [3]. Це означає, що напруга падаюча на шунті віднімається від напруги, що подається на транзистор. Виберемо в ролі шунту резистор КНР-100 з наступними характеристиками:

- точність – 5%;
- номінальна потужність – 5 Вт;
- робоча температура – 55..155°C.

Розрахував потужність, що падає на шунт при струмі 20 А, напрузу 50 В в імпульсному режимі зі шпаруватістю $D = 200$ мкс:

$$P_{ш} = I \cdot U \cdot D = 20 \cdot 50 \cdot (200 \cdot 10^{-6}) = 0.2 \text{ Вт}. \quad (2.3)$$

Отримана потужність відповідає номінальній потужності обраного шунта.

Масштабуючий підсилювач реалізований на операційному підсилювачі К140УД17А [8]. Коефіцієнт підсилення за напругою дорівнює:

$$K_{ос} = \frac{R8}{R7} = 10. \quad (2.4)$$

Вибрано резистор $R7 = 1 \text{ кОм}$, тоді резистор виходячи з формули $R8 = 10 \text{ кОм}$. При напрузі в 1 В на шунті, на виході операційного підсилювача буде 10 В .

2.2.5 Розрахунок схеми джерела напруги

Вибрано 4 діоди MUR840 для діодного мосту [6]. Характеристики даного діода такі:

- максимальний безперервний прямий струм – 16 А ;
- максимальне падіння напруги – $1,3 \text{ В}$;
- максимальна зворотна напруга – 400 В ;
- максимальний імпульсний струм – 100 А ;
- максимальний зворотний струм – 10 мкА ;
- максимальний діапазон робочих температур – від -65 °C до $+175 \text{ °C}$.

Ємність електролітичних конденсаторів підбираються таким чином, щоб за короткий проміжок часу напруга, що видається джерелом живлення на тестований транзистор було незмінним. Час напруги на МДП-транзистор повинен становити 200 мкс . Цей час вибрано з тією метою, щоб не перегріти транзистор та інші елементи схеми, що негативно позначиться на точності вимірювання характеристик приладу. Необхідний за умовою струм 20 А напруга 50 В . Розрахуємо опір схеми для моделювання.

$$R_m = \frac{U}{I} = \frac{50}{20} = 2.5 \text{ Ом.} \quad (2.5)$$

Ємність батареї конденсаторів C_c підібрана за допомогою схемотехнічного симулятора NI Multisim 10.

У початкові параметри конденсатора задамо напругу, з якої йде розряд. Напругу встановлено рівною 50 В. Проведено моделювання цієї схеми за допомогою програмного забезпечення NI Multisim 10. Схема представлена на рисунку 2.5.

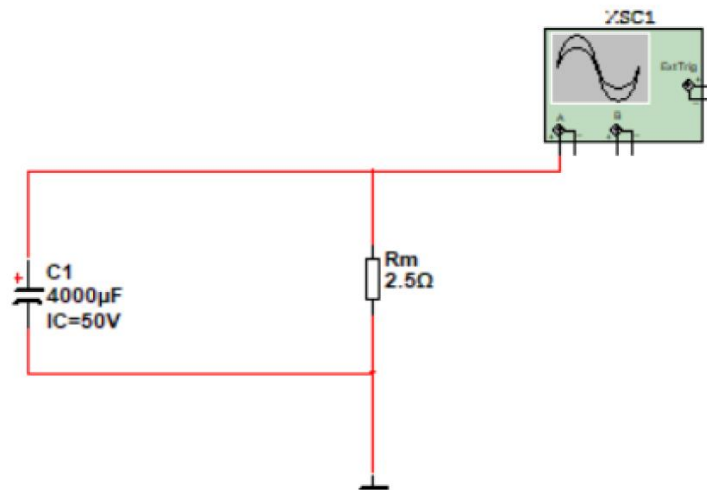


Рисунок 2.5 – Моделювання схеми з ємністю конденсатора, що розраховується у програмі NI Multisim 10

Результати моделювання наведено на рисунку 2.6.

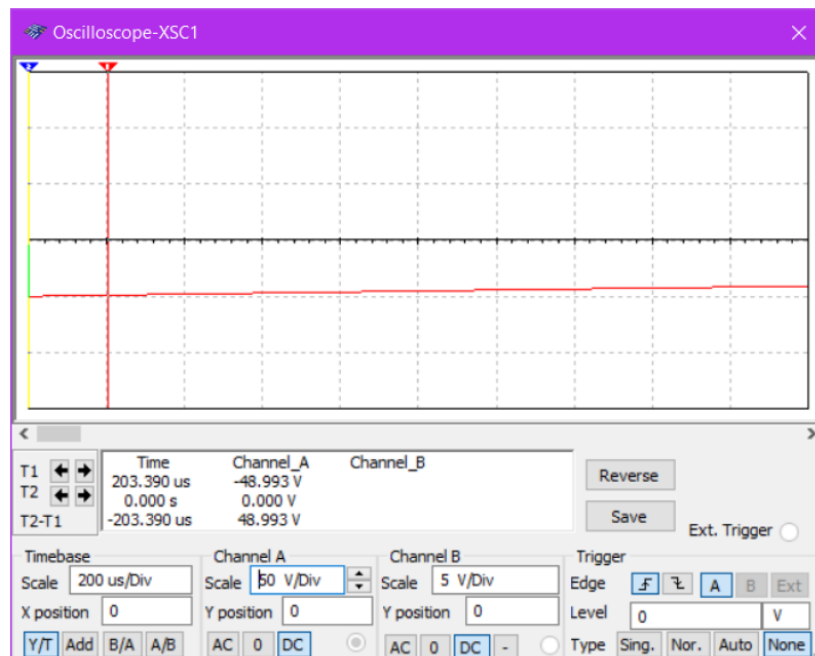


Рисунок 2.6 – Результат моделювання схеми ємності конденсатора у програмі NI Multisim 10

Моделювання показало, що потрібна ємність електролітичного конденсатора $C_c = 4000$ мкФ. За час 200 мкс конденсатор розрядився на величину напруги, що дорівнює 1 В. Це означає, що підібрана ємність повністю підходить під встановлені нами завдання. Замінімо розрахунковий конденсатор чотирма електролітичними конденсаторами $C5 - C8$ ємністю 1000 мкФ кожен.

Резистор, що йде після діодного мосту, вибирається виходячи з необхідності обмежити струм на діоди та на конденсатори. І тому на виході діодного мосту поставимо резистор $R3 = 10$ кОм [6].

Загальна схема джерела живлення показана на рисунку 2.7.

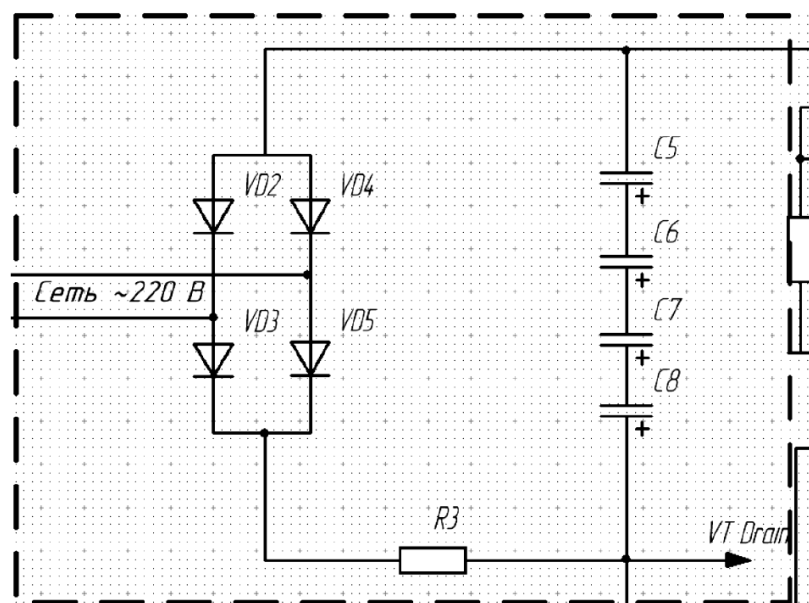


Рисунок 2.7 – Загальна схема джерела напруги

2.3 Розробка схеми блоку живлення

2.3.1 Розробка структурної схеми джерела живлення

Для проєктованої установки необхідні напруги живлення: +15 В, -15 В.

Структура джерела живлення представлена на рисунку 2.8:

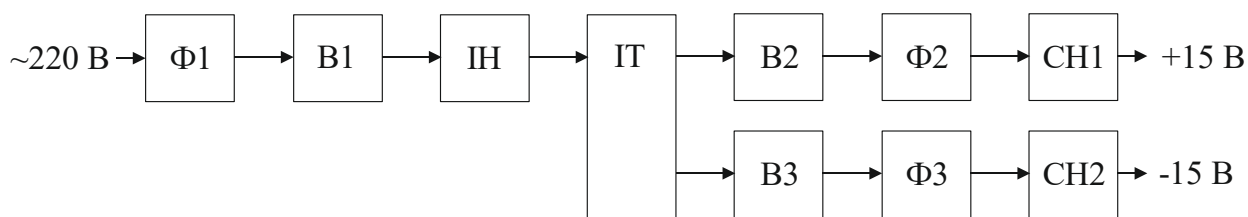


Рисунок 2.8 – Структурна схема блоку живлення

Мережева напруга через фільтр $\Phi 1$ подається на випрямляч $B1$ і перетворюється на постійну, яка живить інвертор напруги ($ІН$). В якості інвертора використовується спеціалізована мікросхема IR53H(D)420. Частота інвертора 20 кГц, яка визначається за допомогою RC-кола R2, C4 [8].

Навантаженням інвертора виступає імпульсний трансформатор ($ІТ$). Він має дві вторинні обмотки з відповідною напругою кожного каналу. Змінна напруга кожного з каналів перетворюється на постійну за допомогою випрямлячів $B2$ і $B3$, після чого фільтруються фільтрами $\Phi 2$ і $\Phi 3$. Канали, що живлять інтегральні мікросхеми пристрою, додатково стабілізуються лінійними стабілізаторами напруги $СН1$ та $СН2$.

2.3.2 Розробка електричної принципової схеми блоку живлення

Розрахуємо потужність, що споживається від джерела живлення під час роботи установки. Споживана потужність складається із загальної потужності споживачів:

$$P_{\text{спож}} = I_1 \cdot U_1 + I_2 \cdot U_2 = 22.5 \text{ Вт.} \quad (2.6)$$

З невеликим запасом прийємо потужність джерела живлення, що дорівнює 25 Вт. Змінна напруга мережі подається через заводний фільтр на мостову схему випрямлення.

Вхідний завододавляючий фільтр має властивість двонаправленого завододавлення, тобто запобігає проникненню високочастотних імпульсних перешкод з мережі (які іноді можуть мати ще й значну амплітуду) в джерело живлення, і навпаки – з джерела живлення в мережу. Скористаємося стандартними параметрами фільтра: $C1 = C2 = 0,1$ мкФ, $L1 = 5$ мГн. Резистор $R1$ номіналом 100 кОм призначений для розрядки конденсаторів $C1$, $C2$ після відключення джерела живлення від мережі. Обмотки дроселя $L1$ мають однакову кількість витків і намотуються двома дроти одночасно. Розрахуємо число витків дроселя w , застосувавши як сердечник феритове кільце марки 2000НМ1 К12×8×3:

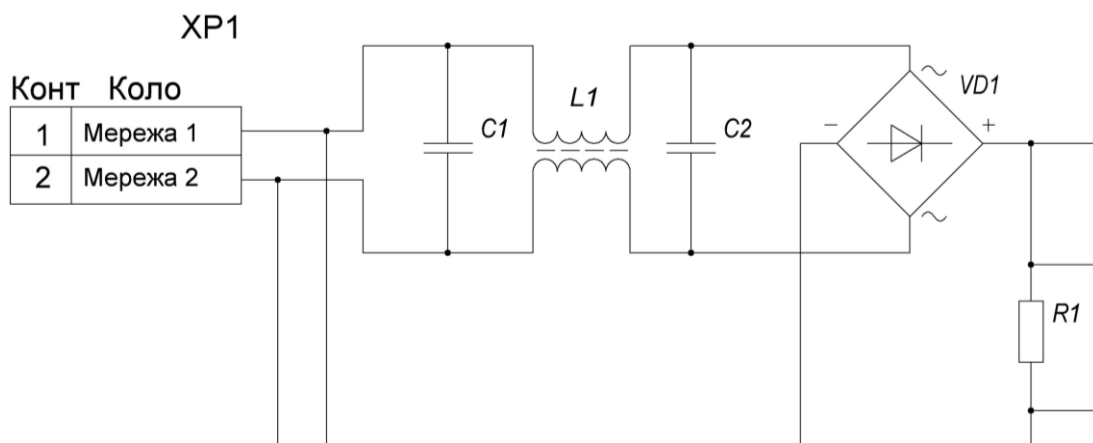


Рисунок 2.9 – Схема електрична принципова схеми блоку живлення

$$w = \sqrt{\frac{L_1 \cdot I_{cp}}{4\pi \cdot 10^{-7} \mu S_c}}, \quad (2.7)$$

де L_1 – індуктивність дроселя;
 l_{cp} – середня довжина магнітної лінії;
 μ – відносна магнітна проникність;
 S_c – площа перерізу сердечника.

Середня довжина магнітної лінії сердечника дорівнює:

$$l_{cp} = \pi \frac{D+d}{2} = \pi \frac{12+8}{2} = 31.4 \text{ мм} = 3,14 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \quad (2.8)$$

де D – зовнішній діаметр сердечника;
 d – внутрішній діаметр сердечника.

$$S_c = h \frac{D-d}{2} = 3 \cdot \frac{12-8}{2} = 6 \text{ мм}^2 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2, \quad (2.9)$$

де h – висота сердечника;

$$w_1 = \sqrt{\frac{L_1 \cdot l_{cp}}{4\pi \cdot 10^{-7} \mu S_c}} = \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 3.14 \cdot 10^{-2}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1223 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}} = 130 \text{ вит.} \quad (2.10)$$

Обчислимо струм I_{L1} через дросель:

$$I_{L1} = \frac{P_{ДЖ}}{U_{мер}} = \frac{25}{220} = 0,114 \text{ А}, \quad (2.11)$$

де $P_{ДЖ}$ – потужність джерела живлення;
 $U_{мер}$ – мережна напруга.

Знайдемо площу поперечного перерізу дроту $S_{np1} = S_{np2}$, прийнявши щільність струму, що дорівнює $j = 3 \text{ А/мм}^2$:

$$S_{np1} = S_{np2} = \frac{I_{L1}}{j} = \frac{0,114}{3} = 0,038 \text{ мм}^2, \quad (2.12)$$

Звідки знайдемо діаметр d_2 :

$$d_2 = \sqrt{\frac{4S_{np1}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,038}{\pi}} = 0,22 \text{ мм}, \quad (2.13)$$

Виберемо обмотувальний провід марки ПЕТ-155-0,25 (рис. 2.10).

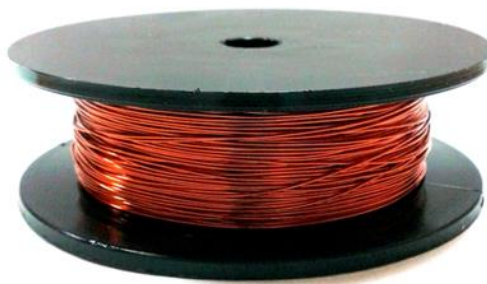


Рисунок 2.10 – Обмотувальний провід марки ПЕТ-155-0,25

Виберемо діодний випрямний міст VD1 DF10M.

Проведемо розрахунок трансформатора.

Напруга і струм первинної обмотки трансформатора складають:

$$U_1 = \sim 220 \text{ В}, I_1 = 0,114 \text{ А}.$$

Напруги та струми вторинних обмоток трансформатора становлять:

$$1) U_{21} = \sim 21 \text{ В}, I_1 = 0,2 \text{ А};$$

$$2) U_{22} = \sim 21 \text{ В}, I_2 = 0,2 \text{ А};$$

U_{21} та U_{22} беремо з урахуванням падіння напруги на діодах (по 1 В на кожному) та мікросхемі стабілізатора (2,5 В).

Знайдемо значення добутку площі поперечного перерізу S_C на площу вікна S_0 сердечника трансформатора.

$$S_C S_0 = \frac{t_i P_\Gamma}{k_C k_0 j B_m} = \frac{2,98 \cdot 10^{-5} \cdot 25}{1 \cdot 0,18 \cdot 3 \cdot 10^6 \cdot 0,38} = 1,176 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4, \quad (2.14)$$

де t_i – тривалість імпульсів;
 P_Γ – габаритна потужність;
 k_C – коефіцієнт заповнення сердечника;
 k_0 – коефіцієнт заповнення вікна;
 B_m – індукція.

Отриманого значення $S_C S_0$ задовольняє сердечник 7x4x1,5.

Розрахуємо кількість витків у первинній обмотці:

$$w_1 = \frac{t_i U_1}{S_C k_C 2 B_m} = \frac{2,98 \cdot 10^{-5} \cdot 220}{4,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 0,38} = 40 \text{ вит}, \quad (2.15)$$

Розрахуємо діаметр дроту:

$$S_{np1} = \frac{I_{L1}}{j} = \frac{0,114}{3} = 0,038 \text{ мм}^2, \quad (2.16)$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 S_{np1}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,038}{\pi}} = 0,22 \text{ мм}, \quad (2.17)$$

Вибираємо обмотувальний провід марки ПЕТ-155-0,25.

						КПТР. 2018004.01.08 ПЗ	Арк 40
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			

Знайдемо коефіцієнт трансформації n_1, n_2 кожного каналу:

$$n_1 = n_2 = \frac{U_{21}}{U_1} = \frac{21}{220} = 0.095; \quad (2.18)$$

Обчислимо кількість витків у вторинних обмотках w_{21}, w_{22} :

$$w_{21} = w_{22} = w_1 \cdot n_1 = 40 \cdot 0.095 = 4 \text{ вит}; \quad (2.19)$$

Задавшись щільністю струму в обмотках трансформатора, що дорівнює $j = 3 \text{ А/мм}^2$, розрахуємо площу поперечного перерізу дроту та його діаметр:

$$S_{21np} = S_{22np} = \frac{I_{L1}}{j} = \frac{0,2}{3} = 0,066 \text{ (мм}^2\text{)}, \quad (2.20)$$

$$d_{21} = d_{22} = \sqrt{\frac{4S_{21np}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,066}{\pi}} = 0,3 \text{ (мм)}, \quad (2.21)$$

Виберемо обмотувальний провід марки ПЕТ-155-0,3.

Розрахунок випрямлячів.

Для першого і другого каналів з урахуванням падіння напруги на вентилях випрямляча випрямлена напруга дорівнює:

$$U_{d1} = U_{d2} = 0.9U_1 - 2 = 0.9 \cdot 21 - 2 = 16.9 \text{ В}. \quad (2.22)$$

Зворотна напруга на діодах U_{vm} випрямляча складає:

$$U_{vm} = \frac{\pi}{2} U_1 = 1,57 \cdot 21 = 33 \text{ В.} \quad (2.23)$$

Середнє значення струму через діод I_{vc} дорівнює:

$$I_{vc} = \frac{I_1}{2} = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ А.} \quad (2.24)$$

По довіднику вибираємо діодні мости VD5 і VD6 для обох каналів марки DF10M, параметри яких: $I = 1 \text{ А}$; $U_{зв} = 1000 \text{ В}$.

Вибір лінійних стабілізаторів напруги.

За довідником для стабілізації напруги в першому та другому каналах вибираємо стабілізатор серії LM78M15, параметри якого: $U_{cm} = +15 \text{ В}$; $U_{BX} = 17,5 \div 35 \text{ В}$; $I_{max} = 0,5 \text{ А}$.

Розрахунок LC-фільтрів для каналів +15 та -15 В.

Коефіцієнт пульсацій на виході випрямляча q_1 :

$$q_1 = \frac{2}{m^2 - 1} = \frac{2}{2^2 - 1} = 0,67, \quad (2.25)$$

де $m = 2$ – фазність випрямляча.

Необхідний коефіцієнт згладжування фільтра:

$$S = \frac{q_1}{q_2} = \frac{0,67}{0,3} = 2,23. \quad (2.26)$$

$$X_{C12} = X_{C13} = 0,01 \cdot R_H = 0,01 \cdot \frac{U_H}{I_H} = 0,845 \text{ Ом,} \quad (2.27)$$

$$C12 = C13 = \frac{1}{\omega \cdot X_{C8}} = 7,8 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.} \quad (2.28)$$

Вибираємо конденсатори C12 та C13 типу К50-35-25В-10 мкФ.

Визначимо величину індуктивності дроселів, що згладжують L_2 і L_3 :

$$L_2 = L_3 = \frac{S}{\omega^2 \cdot C12} = \frac{2,23}{(1,256 \cdot 10^5)^2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ Гн.} \quad (2.29)$$

Вибираємо дроселі L2 та L3 типу ЕС24-101К з індуктивністю 15 мкГн.

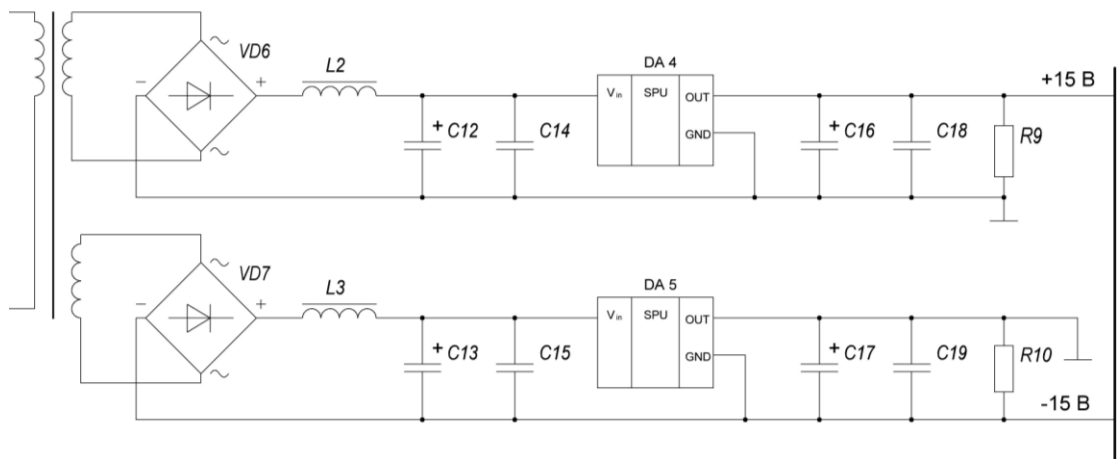


Рисунок 2.11 – Схема електрична принципова схеми блоку живлення

На виході стабілізаторів напруги вибираємо заводоподавляючі конденсатори 1 мкФ. Для придушення високочастотних завад на вході та виході стабілізатора ставлять високочастотні конденсатори ємністю 100 нФ.

Для розряду ємностей фільтра у випадку роботи джерела живлення без навантаження передбачені баластні резистори R_9 та R_{10} опором по 10 кОм.

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ХАРАКТЕРИОГРАФА ДЛЯ МПД-ТРАНЗИСТОРІВ

3.1 Конструкторський розрахунок друкованої плати




Для проведення конструкторського розрахунку є такі дані:

- плата одностороння з розмірами 160x100 мм;
- матеріал основи – склотекстоліт фольгований марки СФ-2-35 ГОСТ 10316-78 товщиною 2 мм (рис. 3.1);
- резистивне покриття – олово-свинець;
- крок координатної сітки – 2,5 мм;
- точність виконання елементів конструкції друкованої плати – за першим класом.

Відповідно до таблиці 3.1 [1], першому класу точності відповідають наступні мінімальні значення основних параметрів елементів конструкції друкованої плати для вузького місця:

- ширина друкарського провідника $t' = 0,75$ мм;
- відстань між краями сусідніх елементів провідного малюнка $S' = 0,75$ мм;
- відстань від краю просвердленого отвору до краю контактного майданчика (гарантійний пояс) $b = 0,30$ мм;
- відношення діаметра неметалізованого отвору до товщини друкованої плати $\gamma^* = 0,4$.

Номінальні значення діаметрів перехідних металізованих та монтажних отворів визначаються за формулою:

					КПТР. 2018004.01.08 ПЗ		
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			
		Мейхер О.А.			Літера	Аркуш	Аркушів
		Карпова Л.В.				44	
					ХНУ, гр. ТР-18-1		
		Підченко С.К.			Пояснювальна записка		

$$d' = d_E + r' + |\Delta d'_{HB}|, \quad (3.1)$$

де d_E – максимальне значення діаметра виведення навісного елемента, що встановлюється на друковану плату;

r' – різниця між мінімальним значенням діаметра отвору і максимальним значенням діаметра виведення встановлюваного елемента;

$\Delta d'_{HB}$ – нижнє граничне відхилення номінального значення діаметра отвору.

Таблиця 3.1 – Найменші номінальні розміри елементів провідного рисунка друкованих плат залежно від класу точності (в міліметрах)

Найменування параметру	Найменші номінальні значення розмірів для класу точності						
	1	2	3	4	5	6	7
Ширина провідника	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Відстань між провідниками	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Гарантійний пасок контактного майданчика	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025	0,020	0,015

Конструкція розроблюваного пристрою включає елементи з наступними діаметрами виводів:

– 0,8 мм – конденсатори К50-35, конденсатори К10-17Б, мікросхема TDE1898C_SIP9, мікросхеми КР140УД17, діоди КД521А, транзистори 2N6488G, 2N6491G, трансформатор, резистори, роз'єм;

– 1,3 мм – діоди КД521А.

Значення r' вибирається в межах $0,1 \div 0,4$ мм. Відповідно до таблиці 3.2 [1], значення $\Delta d'_{HV}$ для друкованих плат першого класу точності становить 0,1 мм.

Таблиця 3.2 – Найменші номінальні розміри елементів провідного рисунка друкованих плат залежно від класу точності (в міліметрах)

Наявність металевого покриття	Граничне відхилення розмірів провідного малюнка для класу точності						
	1	2	3	4	5	6	7
Без покриття	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	+0 -0,03	+0 -0,02	+0 -0,015
З покриттям	+0,25 -0,15	+0,15 -0,10	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	$\pm 0,02$	$\pm 0,015$

Для паяння дротів діаметром 0,8 мм:

$$d_3' = 0,8 + 0,2 + 0,1 = 1,1 \text{ мм.} \quad (3.2)$$

Для паяння дротів діаметром 1,3 мм:

$$d_3' = 1,3 + 0,2 + 0,1 = 1,6 \text{ мм.} \quad (3.3)$$

Для розрахунку найменшого номінального значення діаметра контактної майданчика під обраний отвір для друкованих плат використовується така формула:

$$D_{КП} = d' + \Delta d'_{BB} + 2 \cdot b' + \Delta b'_{BB} + 2 \cdot \Delta d'_{TP} + \left[T_{d'}^2 + T_{D_{КП}}^2 + t_{HB}^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.4)$$

де $\Delta d'_{BB}$ – верхнє граничне відхилення діаметра отвору;

$\Delta t'_{BB}$ і $\Delta t'_{HB}$ – верхнє та нижнє граничні відхилення діаметра контактного майданчика;

$T_{d'}^2$ – позиційний допуск розташування отвору;

$T_{D_{КП}}^2$ – позиційний допуск розташування центру контактного майданчика.

Згідно з таблицями 3.2 і 3.3 [1] для друкованої плати, виготовленої за першим класом точності $d'_{BB} = 0,1$ мм, $T_{d'}^2 = 0,2$ мм; $T_{D_{КП}}^2 = 0,35$ мм; $\Delta t'_{HB} = 0,1$ мм.

Таблиця 3.3 – Значення позиційних допусків розташування осей отворів у діаметральному поданні (в міліметрах)

Розмір більшої сторони друкованої плати					Позиційний допуск на розташування отворів для класу точності						
					1	2	3	4	5	6	7
		До	180	включ.	0,20	0,15	0,08	0,05	0,05	0,03	0,03
Св.	180	до	360	включ.	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08	0,05	0,05
		Св.	360		0,30	0,25	0,15	0,10	0,10	0,08	0,08

Для отворів діаметром 0,8 мм отримуємо:

$$D_{КП} = 0,8 + 2 \cdot 0,1 + \left[0,2^2 + 0,35^2 + 0,1^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 1,4 \text{ мм.} \quad (3.5)$$

Для отворів діаметром 1,5 мм отримуємо:

$$D_{KIT1} = 1,3 + 2 \cdot 0,1 + \left[0,2^2 + 0,35^2 + 0,1^2\right]^{\frac{1}{2}} = 1,9 \text{ мм.} \quad (3.6)$$

Найменше значення ширини провідника розраховується за такою формулою:

$$t' = t'_{MD} + |\Delta t'_{HB}|, \quad (3.7)$$

де t'_{MD} – мінімально допустима ширина провідника.

Враховуючи, що значення t'_{MD} для першого класу точності становить 0,75 з таблиці 3.3 [1], отримуємо:

$$t' = 0,75 + 0,1 = 0,85 \text{ мм.} \quad (3.8)$$

Номінальне значення відстані між сусідніми елементами провідного рисунка визначається за такою формулою:

$$S' = S'_{MD} + \Delta t'_{BB}, \quad (3.9)$$

де S'_{MD} – мінімально допустима відстань між сусідніми елементами провідного рисунка.

Враховуючи, що значення S'_{MD} для першого класу точності складає 0,75 з таблиці 3.2 [1], отримуємо:

$$S' = 0,75 + 0,1 = 0,85 \text{ мм.} \quad (3.10)$$

Розрахунок мінімальної відстані для прокладання n -го кількості провідників між двома отворами з контактними майданчиками діаметрами $D_{КП1}$ та $D_{КП2}$ виробляють за формулою:

$$l' = \frac{(D_{КП1} + D_{КП2})}{2} + t' \cdot n + S' \cdot (n + 1) + T'_1, \quad (3.11)$$

де T'_1 – позиційний допуск розташування друкованого провідника щодо сусіднього елемента провідного рисунка.

Відповідно до таблиці 3.4 [1] значення T'_1 для односторонніх друкованих плат першого класу точності становить 0,2 мм.

Таким чином, для $n = 1$ та $D_{КП1} = D_{КП2} = 1,3$ мм отримаємо:

$$l'_1 = \frac{(1,3 + 1,3)}{2} + 0,85 + 0,85 \cdot (1 + 1) + 0,2 = 4,05 \text{ мм.} \quad (3.12)$$

Проведення аналізу результатів конструкторського розрахунку друкованої плати джерела живлення характеристики для МДП-транзисторів показує, що результати, отримані в ході розрахунку, задовольняють вимогам топології рисунка друкованої плати.

Таблиця 3.4 – Значення допустимих робочих напруг між елементами провідного рисунка, розташованими на зовнішньому шарі друкованої плати, залежно від впливаючих факторів

Відстань між елементами провідного рисунка, мм					Допустима робоча напруга, В			
					Нормальні умови	Відносна вологість повітря (98±2)% при температурі (30±2) С°	Знижений атмосферний тиск	
							53600 Па (300 мм рт.ст.)	666 Па (5 мм рт.ст.)
От	0,05	до	0,075	включ.	-	-	-	-
Св.	0,075	до	0,1	"	-	-	-	-
"	0,10	"	0,20	"	-	-	-	-
"	0,20	"	0,30	"	30	20	25	20
"	0,30	"	0,40	"	100	50	80	30
"	0,40	"	0,70	"	150	100	110	58
"	0,70	"	1,20	"	300	230	160	80
"	1,20	"	2,00	"	400	300	200	100
"	2,00	"	3,50	"	500	360	250	110
"	3,50	"	5,00	"	660	500	330	150
"	5,00	"	7,50	"	1000	650	500	200
"	7,50	"	10,0	"	1300	830	560	230
"	10,0	"	15,00	"	1800	1160	650	300

3.2 Розрахунок електричних параметрів друкованої плати

Ключову роль схемах займає питання зв'язку між окремими елементами. Потрібно визначити як параметри ліній зв'язку, а й вплив, наданий ними один на одного. Електричний опір провідників із покриттям визначається за формулою:

$$R = \frac{\rho}{h'} \sum_{i=1}^{m'} \frac{L'_i}{t'_i}, \quad (3.13)$$

де ρ – питомий електричний опір;

h' – товщина друкованого провідника з покриттям;

m' – кількість ділянок друкованого провідника, що мають різну ширину;

L'_i — довжина i -ої ділянки;

t'_i — ширина провідника на i -й ділянці.

Визначимо електричний опір провідника «землі».

У цьому випадку при $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8}$ Ом/м, $h' = 50 \cdot 10^{-6}$ м, $t'_i = 7,5 \cdot 10^{-4}$ м, $L'_i = 0,13$ м, одержуємо:

$$R = \frac{1,72 \cdot 10^{-6} \cdot 0,13}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 7,5 \cdot 10^{-3}} = 0,006 \text{ Ом}. \quad (3.14)$$

Допустима здатність навантаження по струму на елементи провідного рисунка розраховуються з умови допустимого перевищення температури навколишнього середовища. Для мідного друкованого провідника завтовшки 35 мкм, шириною 0,75 мм при нагріванні на 20 С° вона становитиме 1,5 А, що впливає з рисунка 3.4 [1].

Величина допустимої робочої напруги між елементами провідного рисунка для $S' = 0,75$ мм, згідно з ГОСТ 23751-86, дорівнює 350 Ст.

Допустиме падіння напруги на провіднику обчислюється за формулою:

					КПТР. 2018004.01.08 ПЗ	Арк
						51
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

$$U = \frac{\rho \cdot L'_i}{h' \cdot t'} \cdot I, \quad (3.15)$$

де I – струм через провідник.

Струм, що протікає по даним провідникам, не перевищує 0,159 А, тоді:

$$U = 0,006 \cdot 0,159 = 0,00095 \text{ В.} \quad (3.16)$$

У цій схемі допустиме падіння напруги в колах "живлення" та "сигнал" не повинно перевищувати 1-2% від номінального. Отримані в ході розрахунків результати задовольняють встановлену вимогу.

Для визначення завадостійкості пристроїв електронної техніки на друкованому провіднику, необхідно розрахувати ємнісну та індуктивну складові паразитного зв'язку, які залежать від паразитної ємності C_{II} між друкарськими провідниками та паразитної взаємоіндукції M між ними.

Паразитна ємність між двома друкованими провідниками визначається за такою формулою:

$$C_{II} = C_{ПОР} \cdot l_{ПЕР}, \quad (3.17)$$

де $C_{ПОР}$ – друкована ємність зв'язку між двома провідниками,

$l_{ПЕР}$ – довжина взаємного перекриття провідників.

Паразитна ємність між провідниками, що мають найбільшу довжину перекриття 90 мм, при $C_{ПОР} = 0,3$ пФ/мм буде розраховуватися за такою формулою:

$$C_{II} = 0,3 \cdot 90 = 27 \text{ пФ.} \quad (3.18)$$

Індуктивність друкованого прямокутного провідника обчислюється за такою формулою:

$$L_{\text{ДП}} = L_{\text{ПОГ}} \cdot l_{\text{ДП}}, \quad (3.19)$$

де $L_{\text{ПОГ}}$ – погона індуктивність плоского прямокутного провідника;

$l_{\text{ДП}}$ – довжина друкованого провідника.

Визначимо індуктивність найдовшого провідника, при $l_{\text{ДП}} = 178$ мм,
 $L_{\text{ПОГ}} = 10$ нГн/мм [1]:

$$L_{\text{ДП}} = 10 \cdot 178 = 1,78 \text{ мкГн}, \quad (3.20)$$

Взаємоіндукція між друкованими провідниками розраховується за такою формулою:

$$M_{\text{ДП}} = M_{\text{ПОГ}} \cdot l_{\text{ПЕР}}, \quad (3.21)$$

де $M_{\text{ПОГ}}$ – погона взаємоіндукція.

Визначимо взаємоіндукцію між провідниками, що мають найбільшу довжину перекриття, при $M_{\text{ПОГ}} = 3,5$ нГн, $l_{\text{ПЕР}} = 90$ мм:

$$M_{\text{ДП}} = 3,5 \cdot 90 = 315 \text{ нГн}, \quad (3.22)$$

3.3 Розробка друкованої плати пристрою

Відповідно до технічного завдання зробимо розробку друкованої плати пристрою. Проектовану друковану плату виготовлятимемо прямокутної форми з габаритними розмірами 160x100 мм.

Як матеріал основи використовуватимемо двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35 ГОСТ 10316-78 товщиною 2 мм (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Склотекстоліт фольгований марки СФ-2-35

Завдяки своїм оптимальним електричним, хімічним та механічним характеристикам, щодо загальної поширеності та вартості інших марок склотекстоліту, було обрано саме цей.

Товщина матеріалу 2 мм відповідає вимогам умов експлуатації до механічної міцності друкованої плати.

Після формування друкованого рисунка, плату необхідно покрити сплавом «Розе» для поліпшення здатності до паяння та збереження електричних параметрів провідників. Також цей сплав запобігає окислювальним процесам.

Складальне креслення та креслення друкованої плати, що дають повне уявлення про конструкцію друкованої плати, наведені в Додатку В, Г.

За допомогою програмного забезпечення *National Instruments Ultiboard* відповідно до вироблених у попередніх пунктах розрахунків, зроблено

						КПТР.2018004.01.08 ПЗ	Арк 54
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			

Трасування доріжок зі зворотного боку плати показано на рисунку 3.4.

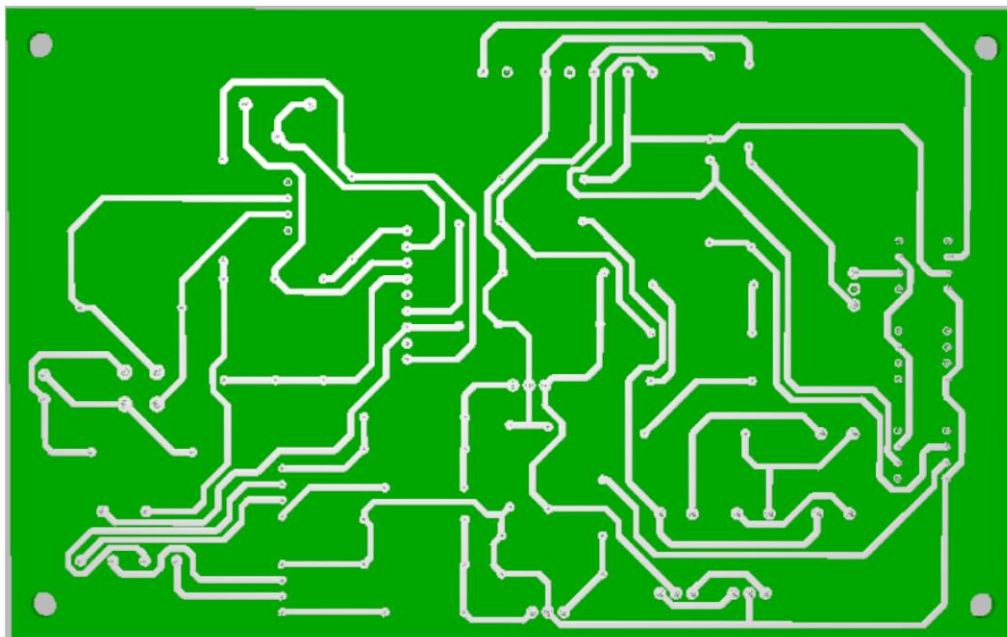


Рисунок 3.4 – 3D модель зворотної сторони друкованої плати

Вивчення та аналіз технічного завдання на пристрій, до складу якого входить проєктована друкована плата, а також аналіз схемотехнічних рішень і загальної конструкції пристрою, дозволяє зробити вибір та обґрунтування основних параметрів друкованої плати.

Невисока щільність дозволяє виготовити її відповідно до першого класу точності виконання елементів друкованого рисунка. Друковані плати 1-2-го класів точності прості у виконанні, надійні в експлуатації та мають мінімальну вартість, 3-5 класів вимагають використання високоякісних матеріалів, інструменту та обладнання.

3.4 Вибір корпусу для пристрою, що розробляється

Для захисту пристрою від дії навколишнього середовища; зниження кінцевої вартості виробу обрав корпус для характеріографа. Корпус повинен

						КПТР.2018004.01.08 ПЗ	Арк 56
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			

відповідати габаритним показникам готової друкованої плати; мати невеликий запас об'єму для монтажу у корпус. Підібрав готовий корпус G2018C. Зовнішній вигляд корпусу представлений на рисунку 3.5.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд корпусу G2018C

Він має наступні характеристики:

- матеріал – полікарбонат;
- висота корпусу – 90 мм;
- довжина корпусу – 240 мм;
- ширина корпусу – 160 мм;
- температурний діапазон – від -40 C° до $+125\text{ C}^{\circ}$.

Корпус комплектується прозорою кришкою. Кришка дасть можливість легкого доступу до плати пристрою, а прозорість підвищить безпеку пристрою завдяки візуальному доступу внутрішніх елементів. Корпус має захист IP 65. Цей ступінь захисту гарантує повну недоступність усередину корпусу пилу і струменів води. Корпус має високу ударну міцність.

ВИСНОВОК

У процесі виконання випускної кваліфікаційного проекту відповідно до технічного завдання розроблено джерело живлення характеристики графа для МДП-транзисторів.

Розглянуто найпоширеніші існуючі технічні рішення характеристики графів. Проаналізовано їх переваги та недоліки.

Розроблено електричну принципову схему проєктованого пристрою, за допомогою програмного забезпечення sPlan 7.0. У програмному середовищі NI Multisim 10.0 виконано моделювання схеми.

За допомогою програмного забезпечення NI Ultiboard 10.0 розроблено топологію друкованої плати на основі електричної принципової схеми. Друкована плата має такі геометричні розміри: довжина – 160 мм, ширина 100 мм. Було підібрано корпус пристрою, що підходить за габаритними розмірами.

Розроблений пристрій дозволяє знімати вольт-амперні характеристики МДП-транзисторів.

					КПТР. 2018004.01.08 ПЗ	Арк
						58
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Robert F. Pierret, Semiconductor Device Fundamentals, Addison-Wesley, MA, 1996.
2. Схемотехніка електронних систем: підручник : у 3 кн. Кн 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. – К. : Вища школа, 2004. – 366 с.
3. Аналогова схемотехніка : навчальний посібник / О. М. Кобяков, М. М. Ляпа, В. М. Лисенко та ін. – Суми : СумДУ, 2007. – 209 с.
4. Воробйова О. М. Основи схемотехніки : підручник / О. М. Воробйова, В. Д. Іванченко. – [2-ге вид.]. – Одеса : Фенікс, 2009. – 388 с.
5. Радіопередавальні пристрої : навчальний посібник / В. М. Ткачук, С. М. Цирульник, Т. А. Петренко. – Вінниця : Т. П. Барановська, 2015. – 188 с.
6. Авдєєнко Г.Л. Передавальні та приймальні пристрої: метод. вказівки до проведення практичних занять для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» спеціалізацій «Інформаційно-комунікаційні технології», / Уклад.: Г.Л.Авдєєнко, О.Ф.Цуканов. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 116 с.
7. Елементна база радіоелектронної апаратури та телекомунікаційних систем : лабораторний практикум / М. А. Філінюк, О. О. Лазарєв, О. В. Войцеховська, О. Л. Пастушенко ; ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 90 с.
8. Nash E. Logarithmic Amplifier Explained. Analog Dialogue, 33-3, 1999.
9. Simoneau J. B. Multitone Feedback Demodulating Log Detector for Detection of Spurious Emissions in Software Radio. IEEE Transactions on Circuits and Systems. Vol. 54, No. 10, October 2007.
10. Забродін Ю.С. Промислова електроніка: Підручник для вишів. Друге видання, стереотипне.-Л:2013-496с.

							КПТР.2018004.01.08 ПЗ	Арк 59
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата				

11. Салабай О. В. Ескізне проектування радіоприймальних пристроїв./Салабай О. В. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2012 – 76 с.

12. Кабак В.С. Схемотехніка сучасних синтезаторів частот. Навчальний посібник / В.С. Кабак, С.В. Морщавка. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 232 с.

13. Колонтаєвський, Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка: підручник / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков ; за ред. А. Г. Соскова. – друге вид. – К. : Каравела, 2009. – 416 с.

14. Крилик Л.В. Надійність та стандартизація приладів мікро- і наноелектроніки: навчальний посібник / Л. В. Крилик, О. О. Селецька ; ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 132 с.

15. Матвієнко, М. П. Основи електротехніки : підручник / М. П. Матвієнко ; КІСумДУ. – Вид. 2-ге перероб. і допов. – Київ : Ліра-К, 2018. – 228 с.

16. Матвієнко, М. П. Пристрої цифрової електроніки: навчальний посібник / М. П. Матвієнко ; МОН України, Конотопський інститут СумДУ. – Київ : Ліра-К, 2015. – 392 с.

17. Основи електроніки: навчальний посібник / А. С. Васюра, Г. Д. Дорощенко, В. П. Кожем'яко, Г.Л. Лисенко; ВНТУ. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 197 с.

18. Основи схемотехніки. Аналогова та інтегральна схемотехніка [Текст] : навчальний посібник / В. М. Кичак, В. Д. Рудик, А. О. Семенов, О. О. Семенова ; МОНМС України, ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 267 с.

19. Павлов, С. М. Основи мікроелектроніки : навчальний посібник / С. М. Павлов ; ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 224 с.

20. Павлов С. М. Технологія мікроелектронних засобів : навчальний посібник / С. М. Павлов, О. В. Войцеховська ; ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 169 с.

21. Теоретичні основи комп'ютерних напівпровідникових електронних компонентів : навчальний посібник / О. Д. Азаров, В. А. Гарнага, Т. Г. Сапсай, В.

					КПТР.2018004.01.08 ПЗ	Арк 60
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

П. Тарасенко ; МОН України, ВНТУ, НТУ України «КПІ». – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 135 с.

22. Філінюк, М. А. Конструювання та розрахунок напівпровідникових мікросхем : Навчальний посібник / М. А. Філінюк ; МО і науки України. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 138 с.

23. Грешилов А. А., Стакун В. А., Стакун А. А. Математичні методи побудови прогнозів. - М.: Радіо і зв'язок, 1997. - 112 с. - ISBN 5-256-01352-

24. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8317.pdf>.

25. <https://static.chipdip.com/lib/549/DOC001549488.pdf>.

26. <https://static.chipdip.com/lib/325/DOC004325064.pdf>.




27. <http://hardelectronics.com/stabilizator-78l05-parametry-raspinovka.html>.

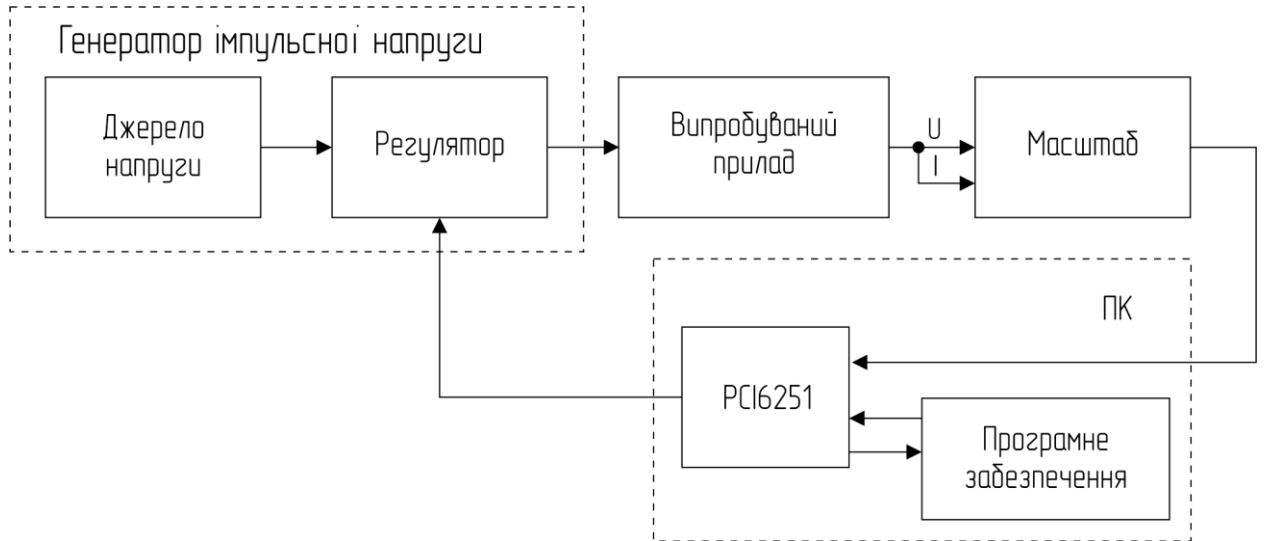
28. <https://easyeda.com/editor>.

29. <https://www.solidworks.com/sw/support/downloads.htm>.

30. <https://www.chipdip.com/catalog/549/DOC00155818.pdf>.

№ строки	Формат	Позначення	Найменування	Кіл.	№.	Примітки
			<u>Текстова частина</u>			
1	A4	КПТР.2018004.01.08 ПЗ	Пояснювальна записка	1		
			<u>Графічна частина</u>			
2	A4	КПТР.2018004.01.08 Е1	Структурна схема джерела живлення характеристики графа	1		
			Схема електрична структурна			
3	A3	КПТР.2018004.01.08 Е3	Структурна схема джерела живлення характеристики графа	1		
			Схема електрична принципова			
4	A3	КПТР.2018004.01.08 ДП	Друкована плата джерела живлення характеристики графа	1		

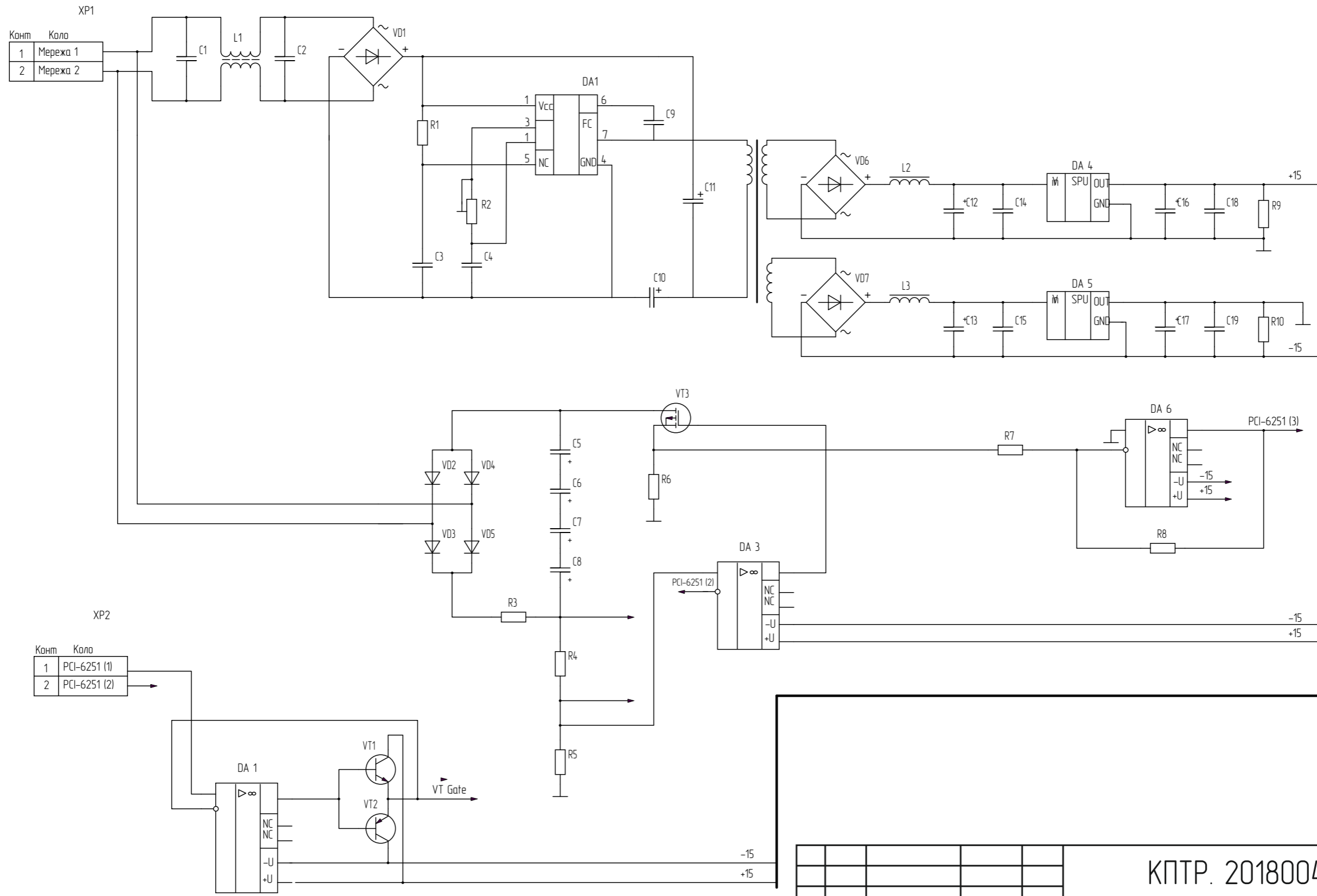
					КПТР.2018004.01.08 ВП					
Ви	Арк	№ докум.	Підпис.	Дат	Автоматизована система вимірювання характеристик МПД-транзисторів			Арк.	Аркуш	Аркушів
Розраб.	Мейхер О. А.									1
Перевір.	Карпова Л. В.				Відомість кваліфікаційного проєкту			ХНУ, гр. ТР-18-1		
Н.конт										
Затв..	Підченко									



- ГН – генератор імпульсної напруги
- ДН – джерело напруги
- Р – регулятор
- ВП – випробуваний прилад
- ПК – персональний комп'ютер
- ПЗ – програмне забезпечення

Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Структурна схема джерела живлення характериографа	Лист	Маса	Масштаб	
							1	1:1	
Розроб		Мейхер О.А.	<i>[Signature]</i>			Лист	1	Листов	1
Перевір		Карпова Л.В.	<i>[Signature]</i>			ХНУ, зр. ТР-18-1			
Т. Контр.									
Реценз									
Н. Контр.									
Затверд.		Підченко С.К.	<i>[Signature]</i>						

Інв. № підп. Підп. і дата
 Взам. інв. № Інв. № дубл. Підп. і дата



XP3

Коло	Конт
PCI-6251 (3)	1
PCI-6251 (4)	2

XP4

Коло	Конт
VT Drain	1
VT Gate	2
VT Source	3

XP2

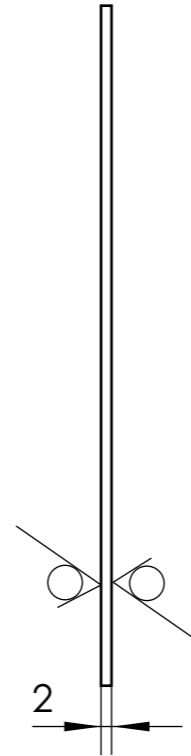
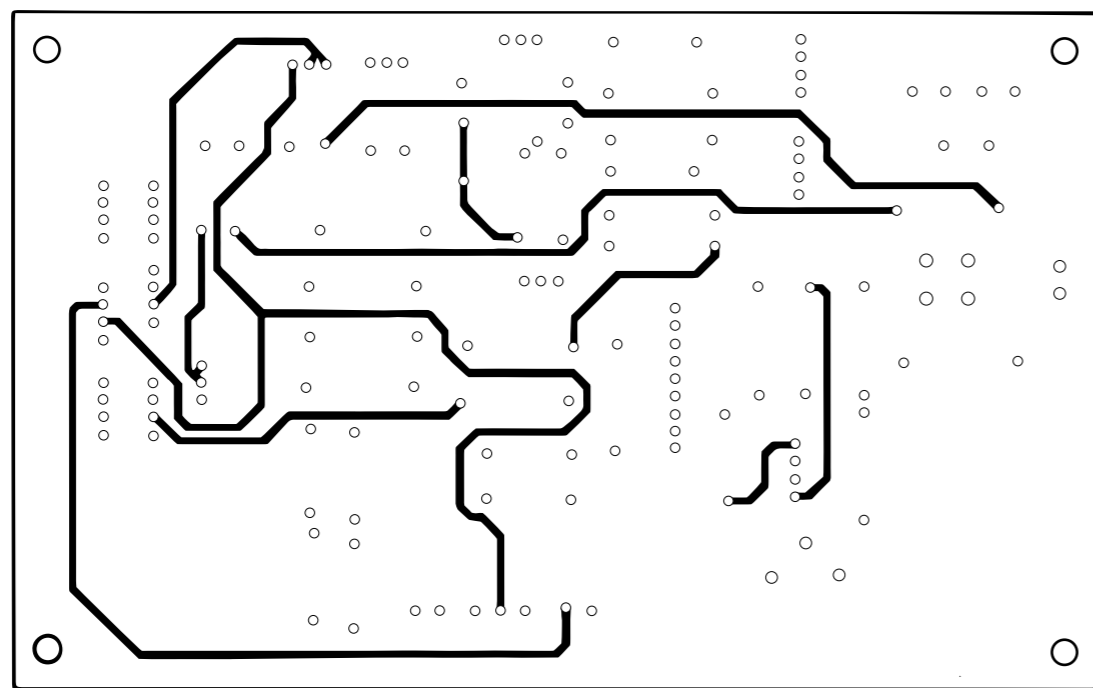
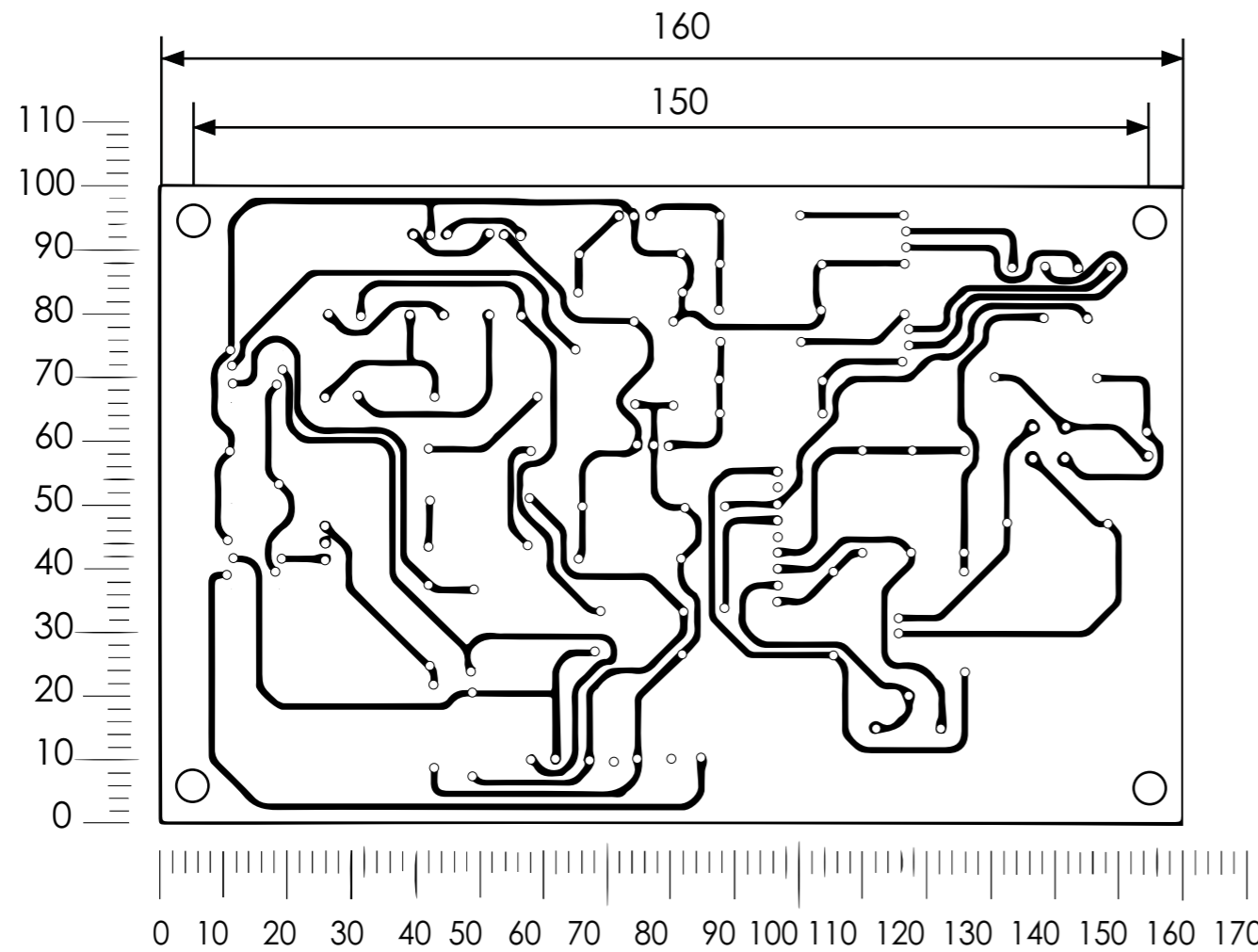
Конт	Коло
1	PCI-6251 (1)
2	PCI-6251 (2)

КПТР. 2018004.01.08 ЕЗ							
Изм/Лист	№ докум	Подп.	Дата	Схема електрина принципова джерела живлення характеристикиграфа	Лист	Маса	Масштаб
Разраб.	Мейхер О.	<i>[Signature]</i>					
Проб.	Карпова Л.	<i>[Signature]</i>			Лист	Листів 1	
Т. Контр.							
Н. Контр.							
Утв.							

ХНУ, зр. ТР-18-1

Познач.	Найменування	Кіл.	Примітки
<i>Конденсатори</i>			
C1-C4	K10-17A H50 0,1 мкФ	4	
C5-C8	K50-35-100B 1000 мкФ	4	
C9-C11	K10-17A H50 0,1 мкФ	3	
C12, C13	K50-35-25B 1 мкФ	2	
C14-C17	K10-17A H50 0,1 мкФ	4	
C18-C19	K50-35-25B 1 мкФ	2	
<i>Мікросхеми</i>			
DA1	K140YD17	1	
DA2	TDE1898C	1	
DA3	K140YD17	1	
DA4	LM78M15	1	
DA5	LM78M15	1	
DA6	K140YD17	1	
<i>Дроселі</i>			
L2, L3	EC24-101K 15 мкГн	2	
<i>Резистори</i>			
R1	CF-100 (C1-4) 1 Вт, 100 кОм, 5%	1	
R2	R-16K5-B20K, L25KC, 0,25 Вт, 20 кОм ±10%	1	
R3	CF-100 (C1-4) 1 Вт, 1 Ом, 5%	1	
R4	CF-100 (C1-4) 1 Вт, 39 кОм, 5%	1	
R5	CF-100 (C1-4) 1 Вт, 10 кОм, 5%	1	
R6	KNP-100 1 Вт, 0,1 Ом, 5%	1	
R7	CF-100 (C1-4) 1 Вт, 1 кОм, 5%	1	
R8-R10	CF-100 (C1-4) 1 Вт, 10 кОм, 5%	3	
<i>Діоди</i>			
VD1	DF10M-E3/45	1	
VD2-VD5	MUR840	4	
VD6, VD7	DF10M-E3/45	2	

<i>КПТР. 2018004.01.08 ПЕЗ</i>				
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Мейхер Олександр		
Перевір.		Карпова Леся		
Реценз.				
Н. Контр.				
Затверд.		Підченко Сергій К.		
Перелік елементів до схеми електричної принципової				
		Лист	Лист	Листів
			1	1
ХНУ, зр. ТР-18-1				



Таблиця 1

Умовне позначення	Діаметр отворів, мм	Розмір елемента, мм	Кількість отворів	Примітки
•	0,8	1,2 x 1,2	100	метал.
◦	1,2	2,0 x 2,0	48	метал.
○	3,5	4,0 x 4,0	4	метал.

1. Плату виготовити комбінованим методом.
2. Крок координатної сітки 1,25 мм.
3. Конфігурацію провідників витримати по креслярській сітці.
4. Відстань між провідниками не менше 0,3 мм.
5. Допускається у вузьких місцях заниження контактних площадок до 0,15 мм.
6. Провідники покрити сплавом «Розе».
7. Плата повинна відповідати ГОСТ 23752-79.

Инд. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

					КПТР. 2018004.01.08 ДП			
Изм/Лист	№ докум	Подп.	Дата	Друкована плата джерела живлення характернографа		Лист	Маса	Масштаб
Разраб.	Мейхер О.	<i>[Signature]</i>						1:1
Пров.	Карпова Л.	<i>[Signature]</i>				Лист	Листів 1	
Т. Контр.								
Н. Контр.		<i>[Signature]</i>		Склотекстоліт фольгирований		ХНУ, зр. ТР-18-1		
Утв.								

Завідувачу кафедри телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних
технологій
д.т.н., доценту ПІДЧЕНКУ Сергію
здобувача вищої освіти
МЕЙХЕРА Олександра
ФІТ, гр. ТР-18-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

25 травня 2022 р.

дата



підпис

Имя пользователя:
Kafedra TMIT KhNU

ID проверки:
1011435707

Дата проверки:
02.06.2022 16:36:13 EEST

Тип проверки:
Doc vs Internet

Дата отчета:
02.06.2022 16:47:10 EEST

ID пользователя:
100005657

Название файла: Мейхер_TP-18-1_1

Количество страниц: 58 Количество слов: 7575 Количество символов: 56011 Размер файла: 1.50 MB ID файла: 10

0.84% Совпадения

Наибольшее совпадение: 0.57% с Интернет-источником (<https://nauchkor.ru/uploads/documents/5d9f42457966e105519>).

0.84% Источники из Интернета

5

Страница 60

Поиск совпадений с Библиотекой не производился

0.08% Цитат

Цитаты

1

Страница 61

Не найдено ни одной ссылки

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы

76

Sat Jun 04 20:14:09 EEST 2022, Стецюк Віктор Іванович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 1.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 9%

ID: 104477 Название: Автоматизована система вимірювання характеристик МПД – транзисторів Добавлено в БД: 2022-06-04 Авторы: Мейхер Олександр Андрійович Руководители: Карпова Леся Вікторівна Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	38042	594	1648 (4%)	25 (4%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

РІШЕННЯ

кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЄКТУ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Автоматизована система вимірювання характеристик МПД-транзисторів

Автор: Мейхер Олександр Андрійович

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: к.т.н., доцент Карпова Леся Вікторівна

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	-
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	відповідає
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	-
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	-
5	Інше:	-

Підтвердження: Виявлені запозичення не є плагіатом так як розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження (є власні терміни, визначення тощо), складають 0,84% та мають посилання на приведений список літературних джерел.

«02» червня 2022 р.

Науковий керівник

Завідувач кафедрою ТМІТ

Леся КАРПОВА

Сергій ПІДЧЕНКО

ВІДГУК

на кваліфікаційний проєкт

студента групи ТР-18-1 Олександра МЕЙХЕРА

«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МПД-ТРАНЗИСТОРІВ»

Незважаючи на велику та різноманітну кількість характеріографів, кожен з яких має певні недоліки і не задовольняє нашим вимогам: за вартістю; за функціональними можливостями. Тому для проведення досліджень, вимірювань та вирішення відповідних завдань було прийнято рішення реалізувати джерело живлення характеріографа для МДП-транзисторів за допомогою програмного забезпечення NI Multisim. Джерело живлення характеріографа забезпечує побудову ВАХ МДП-транзисторів; надає можливість використання різних режимів дослідження; дозволить підключатися до персонального комп'ютера через зв'язок через плату введення/виводу даних PCI6251.

У процесі роботи використовувався досвід розробки електричних принципових схем, а також досвід експлуатації сучасного автоматизованого проектування.

Внаслідок проведеної роботи проведено розрахунок електричної принципової схеми джерела живлення характеріографа, підтверджено результати моделюванням. На основі електричної схеми розроблено друковану плату пристрою.

Під час роботи над кваліфікаційним проєктом Олександр Мейхер виконав детальний аналіз вітчизняної, закордонної технічної літератури та патентних матеріалів, що дозволило прийняти оптимальні рішення під час виконання роботи.

Під час виконання роботи Олександр Мейхер проявив креативність, ініціативність, старанність, наполегливість, здатність та вміння застосовувати набуті знання для вирішення складних завдань, обізнаність у сучасних системних та інформаційних технологіях.

Кваліфікаційний проєкт виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних телекомунікацій, а студент Олександр Мейхер заслуговує оцінки *«добре»*.

Керівник:
к.т.н., доцент



Леся КАРПОВА

РЕЦЕНЗІЯ

на бакалаврський кваліфікаційний проєкт
тема: «Автоматизована система вимірювання
характеристик МДП-транзисторів»
студента групи ТР-18-1 Олександра МЕЙХЕРА

При традиційному аналізі несправностей вимірювання електричних характеристик виконується визначення виду несправності (функціональні відмови, несправності, що з витоками постійному струмі тощо.). Характеріографи були і є одними з найпоширеніших приладів, що використовуються для вимірювання електричних характеристик на постійному струмі, оскільки вони забезпечували зручну перевірку робочих характеристик та перекривали широкий діапазон напруги та струму.

Метою кваліфікаційного проєкту є розробка джерела живлення характеріографа для МДП-транзисторів та дослідження параметрів напівпровідникових МДП-транзисторів. Ефективність даного кваліфікаційного проєкту є застосування розробленого джерела живлення для МДП-транзисторів дозволить знімати вольт-амперні характеристики потужних транзисторів.

Внаслідок проведеної роботи розроблено джерело живлення характеріографа для МДП-транзисторів. Розрахована та розроблена електрична принципова схема пристрою. Розрахунки підтверджені результатами моделювання у схемотехнічному симуляторі NI Multisim. Розроблено друковану плату пристрою.

В цілому кваліфікаційний проєкт виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних технологій телекомунікацій, а студент Олександр МЕЙХЕР заслуговує оцінки **«добре»**.

Опонент:

к.т.н., доцент кафедри
фізики та електротехніки



Олександр СРЬОМЕНКО