

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

С.М. Каштанов С.А. Мельник
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 14 » 06 2019 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

За напрямом підготовки 6.050902 Радіоелектронні апарати

(код та назва спеціальності)

на тему: Безпотоковий блок живлення
радіометричних приймачів

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи РК-51

(шифр групи)

Дроздов Денис Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

С.М. Каштанов
(підпис)

Керівник доцент, к.т.н. Терещук С.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

С.М. Терещук
(підпис)

Консультант з охорони праці доцент, к.т.н., Каштанов С.Ф.

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

С.Ф. Каштанов
(підпис)

Рецензент ст. викл. нар. Юр. Мельник С.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

С.М. Мельник
(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент

Дроздов Денис Михайлович
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) радіотехнічний
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

За напрямом підготовки 6.050902 Радіоелектронні апарати
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
С.А. Нелін
(підпис) (ініціали, прізвище)
«15» травня 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект (роботу) студенту

Дроздов Дмитро Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Триггер каналний блок
вимірювання радіометричних приймачів

керівник проекту (роботи) Дроздов Сергій Михайлович ктм, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «27» травня 2019 р. №1399-С

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14.06.2019р.



3. Вихідні дані до проекту (роботи) Вихідні напруги +3,5В, +2В,
+5В, 5В, рівень шумної складової вихідних напруг
не більше 5мВ

4. Зміст (дипломної роботи) розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Вступ; Огляд існуючих рішень та аналіз ТЗ; Обґрунтування та вибір схематетричного рішення, вимог до бази; Проектування блокувальної частини;

Проектується принцип та схема його конструктивності; Висновки.

5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів тощо) *Структурна схема, схеми електричні принципи креслення чиркованих ізоляційних складальних креслення друкованих вузлів.*

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
З охорони праці	к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.		

7. Дата видачі завдання 15 травня 2019 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	<i>З'ясування ТЗ з керівником</i>	<i>16.05-17.05.2019р.</i>	
2.	<i>Вибір типу електричної конструкції</i>	<i>20.05-22.05.2019р.</i>	
3.	<i>Вибір структурних та чиркованих</i>	<i>23.05-27.05.2019р.</i>	
4.	<i>Вибір електричної схеми та пер. ланки</i>	<i>28.05-31.05.2019р.</i>	
5.	<i>Проектування друкованих плат</i>	<i>03.06-05.06.2019р.</i>	
6.	<i>Корекція, що містить конструктивність</i>	<i>06.06.-10.06.2019р.</i>	
7.	<i>Структурна схема</i>	<i>11.06.-12.06.2019р.</i>	
8.	<i>Відповідальна чиркованих плат</i>	<i>13.06.-14.06.2019р.</i>	

Студент


(підпис)

D. M. Dроздов
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

S. M. Печенюков
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

АНОТАЦІЯ

У дипломному проекті розроблено спеціальний багатоканальний блок живлення для дослідного НВЧ-радіометричного стенду. Особливістю даного блоку живлення є низький рівень шумів та пульсацій вихідних напруг, їхня висока стабільність.

У проекті проведено аналіз відомих конструкцій, враховуючи всі переваги та недоліки розглянутих рішень, особливі вимоги до конструкції, електричних параметрів та функціоналу, що визначаються його призначенням, було спроектовано багатоканальний блок живлення радіометричних приймачів, а саме виконано: розроблення структурної схеми, розроблення схеми електричної принципової, вибір елементної бази, вибір компонентної бази, розроблення друкованих плат, аналіз конструкції.

Пристрій успішно експлуатується в складі дослідного НВЧ-радіометричного сканеру у ДНДЦ «Айсберг».

Дипломний проект складається з пояснювальної записки обсягом 52 сторінки, включає 19 рисунків, 12 таблиць, 8 креслень, 19 посилань, 4 додатки.

Ключові слова: Багатоканальний блок живлення, малOSHумлячий блок живлення, стабілізоване джерело напруги.

ANNOTATION

In the graduation thesis a special multichannel power supply for the experimental microwave-radiometric test bench was developed. The main features of this power supply are low noise, low pulsation level and high stability of the output voltages.

The thesis includes the analysis of known designs, taking into account all the advantages and disadvantages of the existing solutions, special requirements for the design, electrical parameters and functions of said power supply. Thesis focuses on development of power supply that complies with aforementioned considerations, namely: development of the structural scheme, development of the schematics, selection of components, development of printed circuit boards, and analysis of the overall design.

The device is successfully operated as part of an experimental microwave-radiometric scanner at SRC "Iceberg".

The graduation thesis consists of explanatory note covered on 52 pages. It includes 19 figures, 12 tables, 8 drawings, 19 references, 4 appendices.

Key words: Multichannel power supply, low-noise power supply, stabilized voltage source.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПІСКА
до дипломного проекту**

на тему: Багатоканальний блок живлення радіометричних приймачів

Київ — 2019

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	5
Вступ.....	6
1 Огляд існуючих рішень. Розробка та аналіз технічного завдання.....	7
1.1 Огляд аналогів.....	7
1.2 Огляд та аналіз схемотехнічних рішень.....	9
1.3 Аналіз технічного завдання.....	11
2 Обґрунтування та вибір схемотехнічного рішення, елементної бази..	13
2.1 Розробка структурної схеми.....	13
2.2 Вибір компонентної бази.....	15
2.2.1 Вибір діодних мостів.....	15
2.2.2 Вибір операційних підсилювачів.....	16
2.2.3 Вибір дисплею цифрового індикатору.....	16
2.2.4 Опис решти компонентної бази.....	17
2.3 Розробка принципової електричної схеми модулю випрямлячів, попередніх та додаткових стабілізаторів.....	21
2.4 Розробка принципової електричної схеми модулю стабілізації та контролю.....	23
2.5 Розробка принципової електричної схеми модулю індикації.....	26
2.6 Опис алгоритму роботи модулю індикації.....	26
3 Проектування електронних модулів.....	28
3.1 Проектування електронного модулю стабілізації та контролю.....	28
3.1.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати.....	28
3.1.2 Вибір матеріалу.....	28

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		2

3.1.3	Вибір класу точності плати та щільності виробництва	28
3.1.4	Розрахунок розмірів контактних майданчиків	28
3.1.5	Визначення габаритів друкованої плати, параметрів друкованого монтажу	29
3.1.6	Розрахунок ширини друкованих провідників, зазорів між елементами друкованого малюнку.....	30
3.2	Проектування електронного модулю випрямлячів, попередніх та додаткових стабілізаторів.....	32
3.2.1	Розрахунок розмірів контактних майданчиків	32
3.3	Проектування електронного модулю індикації.....	33
3.3.1	Розрахунок розмірів контактних майданчиків	34
4	Проектування приладу та аналіз його працездатності.....	36
4.1	Опис конструкції блоку живлення	36
4.2	Розрахунок надійності блоку живлення	38
4.3	Результати перевірки вихідних параметрів блоку живлення.....	40
5	Охорона праці.....	42
5.1	Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів.	42
5.2	Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії	43
5.2.1	Електробезпека.....	43
5.2.2	Вимоги до освітленості робочих місць при роботі з лабораторно-вимірювальними приладами.	44
5.3	Пожежна безпека та профілактика.....	46
	Висновки	48

					PK51.436714.001 ПЗ	<i>Лис</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Да-</i>		3

Перелік джерел посилань.....	49
Додаток.....	52

ДРОЗДОВ Д.М. РК-51, 2019

					РК51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		4

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

Arduino— програмно-апаратна платформа на основі мікроконтролерів AVR;

AVR — родина восьмибітних контролерів корпорації Atmel;

LDO — low-dropout regulator — лінійний стабілізатор з малим падінням напруги;

PSRR — power supply rejection ratio — коефіцієнт придушення нестабільності джерела живлення;

АЦП — аналого-цифровий перетворювач;

БЖ — блок живлення;

ДП — друкована плата;

ТЗ — технічне завдання;

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

ВСТУП

Однією з проблем пасивної радіолокації та радіометрії, так само як і радіолокації та радіометрії з шумовою підсвіткою є низькі рівні корисного сигналу, співмірні з природними шумами та завадами, тому питання власних шумів приймального тракту таких систем стоїть особливо гостро. Одними з основних джерел шумів приймально-підсилювальних пристроїв є шуми та дрейф напруги живлення, тому використання блоків живлення з високою стабільністю, малим рівнем шумів та пульсацій вихідної напруги є ключовим у створенні радіометричної системи з високою чутливістю та точністю.

Особливості конструкції НВЧ-радіометричних приймачів на основі арсенід-галієвих напівпровідникових пристроїв також накладають обмеження на конструкцію блоку живлення, оскільки він повинен забезпечувати правильну послідовність підключення напруг, що унеможливить вихід приймача з ладу через «блукаючий потенціал».

В радіометричному сканері, для якого розробляється даний блок живлення, застосовані блоки приймання-детектування, що потребують три напруги живлення: +5 В, -5В, +3,5В для приймача 8мм-діапазону, та +5 В, -5 В, +2 В для приймача 3мм-діапазону.

Дипломний проект передбачає розробку такої конструкторської документації:

- Структурної схеми;
- Схеми електричної принципової;
- Друкованої плати (ДП);
- Друкованого вузла.

					РК51.436714.001 ПЗ	Лис
						6
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ. РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Перед визначенням аналогів, розробкою та аналізом ТЗ доцільно зробити огляд конструкції НВЧ-радіометричного сканеру, для живлення приймального тракту якого і розробляється даний блок живлення.

Розроблений ДНДЦ «Айсберг» радіометричний сканер[1] призначений для виявлення та ідентифікації горючих речовин в закритій діелектричній тарі шляхом ближньої радіолокації у міліметровому діапазоні хвиль із шумовою підсвіткою, що підвищує контраст досліджуваного об'єкту. При чому потужність застосованих джерел підсвітки незначно перевищує рівень природних шумів, так званого радіотеплового випромінювання.

Виходячи з цього очевидно, що рівні корисних сигналів у приймальних трактах сканеру є низькими, що і визначає високі вимоги щодо стабільності та рівня шумів напруги живлення цих кіл.

1.1 Огляд аналогів

Виходячи з вимог до розроблюваного БЖ його прямими аналогами можна вважати лабораторні блоки живлення(ЛБЖ). Порівняння здійснимо за наступними критеріями:

- кількість каналів;
- рівень шумів;
- стабільність вихідної напруги;
- ціна.

Для порівняння візьмемо наступні ЛБЖ: Rohde&Schwarz HMP4040[2], Rigol DP821[3], Siglent SPD3303X[4], BVP Labmini 15V15A[5], Uni-TrendUTP3303[6].

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						7
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

Таблиця 1.1 — Порівняння характеристик ЛБЖ

Модель	Кількість каналів	Рівень шумів	Нестабільність вихідної напруги	Ціна, грн.
Rohde & Schwarz HMP4040	4	1,5мВ RMS	$\leq 0.05\% + 1\text{ мВ}$	58830,50
Rigol DP821	2	0,35мВ RMS	$\leq 0.02\% + 1\text{ мВ}$	16690,52
Siglent SPD3303X	3	$\leq 1\text{ мВ RMS}$	$\leq 0.01\% + 3\text{ мВ}$	16631
BVP Labmini 15V15A	1	Не вказаний	Не вказана	5235
Uni-Trend UTP3303	3	$\leq 1\text{ мВ RMS}$	$\leq 0,01\% + 3\text{ мВ}$	5056

Серед розглянутих блоків живлення повністю відповідає вимогам лише модель Rohde&Schwarz HMP4040 проте її недоліком є висока вартість. Решта блоків живлення (крім BVP Labmini 15V15A) відповідає вимогам щодо стабільності і рівня шумів, проте має недостатню кількість вихідних каналів, що викличе необхідність використовувати два блоки живлення. Таке рішення збільшить вірогідність відмови та вартість обладнання, захає робоче місце.

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						8
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

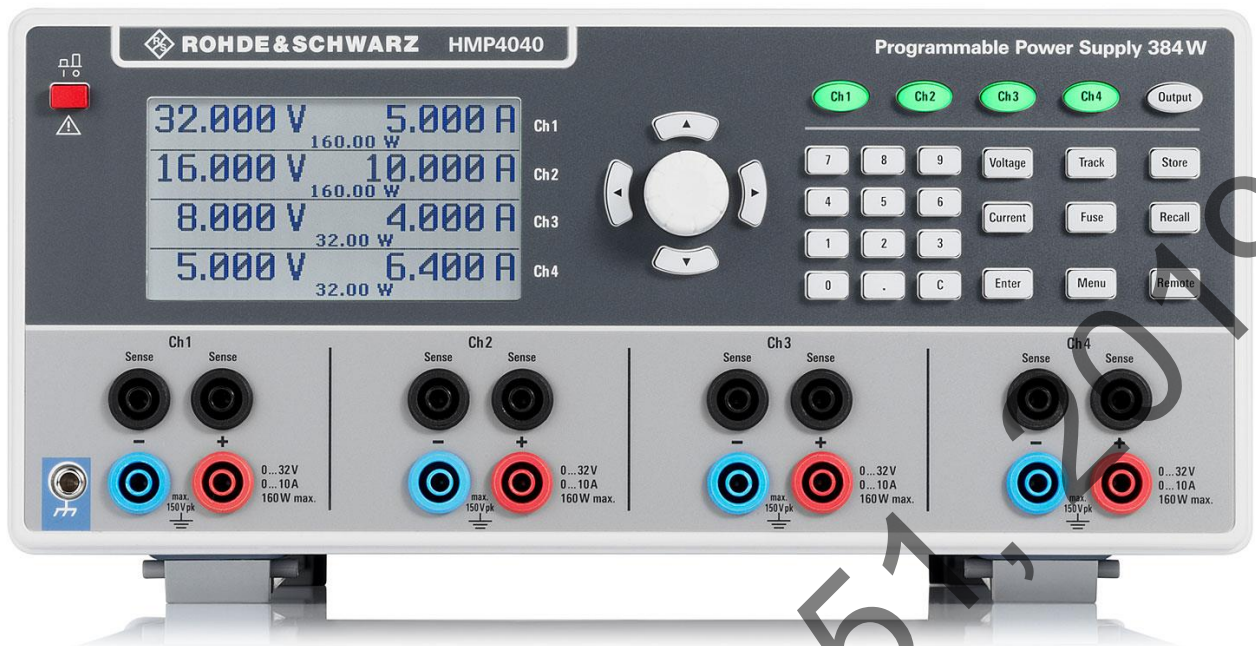


Рисунок 1.1 — ЛБЖ Rohde&Schwarz HMP4040

Виходячи з того, що специфічність застосування дозволяє відмовитися від регулювання вихідних напруг, а споживаний приймачами струм значно менший за максимальні струми розглянутих блоків живлення, можна зробити висновок, про можливість виготовлення блока живлення, що буде не лише відповідати поставленим технічним вимогам, а й бути більш компактним і мати меншу собівартість.

1.2 Огляд та аналіз схемотехнічних рішень

Основними різновидами блоків живлення РЕА є лінійні та імпульсні вторинні джерела живлення. Перевагою імпульсних джерел живлення є високий ККД та малі розміри (порівняно з лінійними блоками живлення), а застосування цифрових систем керування дозволяє досягти високої точності та стабільності вихідних параметрів. Проте, в силу фундаментальних принципів їхньої роботи такі джерела живлення є потужним джерелом широкосмугових електромагнітних завад, що поширюються як у навколишньому просторі, так і вхідних та вихідних колах ІДЖ.

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						9
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

Лінійні стабілізатори напруги є історично першими, тому їхня схемотехніка і можливості представлені значно ширші, розділимо їх на чотири основні групи:

- параметричні стабілізатори на стабілітронах (включаючи стабілізатори з емітерними та стоковими повторювачами);
- параметричні стабілізатори з колами авторегулювання на ОП;
- інтегральні стабілізатори напруги першого покоління (такі як 78xx та LM317);
- інтегральні стабілізатори з малим падінням напруги та малим рівнем шумів (LDO).

Параметричні стабілізатори на стабілітронах є найпростішими стабілізаторами напруги, проте вони мають значний тепловий та струмовий дрейф вихідної напруги, низький рівень придушення шумів джерела живлення та низьку стабільність вихідної напруги.

Введення кіл авторегулювання значно покращує характеристики стабілізатора, проте велика кількість дискретних компонентів ускладнює регулювання та налагодження таких стабілізаторів.

Інтегральні стабілізатори являють собою параметричні стабілізатори з колами авторегулювання та силовим ключем (зазвичай за схемою емітерного повторювача) виконані у вигляді єдиної ІМС, це значно покращує стабільність і повторюваність характеристик стабілізаторів. Для стабілізаторів першого покоління характерні: дрейф напруги і власні шуми на рівні десятків мВ, PSRR на рівні 20...40 дБ.

Подальший розвиток схемотехніки лінійних стабілізаторів та технологій напівпровідникових мікросхем призвів до виникнення нового класу ІМС — LDO-стабілізатори. Такі стабілізатори можуть працювати при різниці між вхідною та вихідною напругою менше 0,7 В (мінімальна різниця напруг для інтегральних стабілізаторів першого покоління 1.2 В), забезпечують дрейф напруги і власні шуми на рівні одиниць мВ, PSRR до 100 дБ, при чому дода-

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						10
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

ткові зовнішні кола корекції змінної складової дозволяють довести цей показник до рівня 120–130 дБ.

Очевидно, що саме такі стабілізатори мають бути застосовані в блоці живлення, до якого ставляться особливі вимоги щодо шумів і стабільності напруги.

1.3 Аналіз технічного завдання

Відповідно до технічного завдання блок живлення повинен мати чотири повністю незалежних канали з високою стабільністю та низьким рівнем шумів, крім того слід передбачити ще три «внутрішні» напруги живлення (+/-5В для вимірювальних кіл та +5В для індикації).

Накладені вимоги щодо умов експлуатації та транспортування вимагають життєздатності пристрою при:

Кліматичне виконання за ГОСТ 15150-69 У4.2 [7]— для макрокліматичних районів з помірним кліматом (У), для експлуатації в приміщеннях зі штучно регульованими кліматичними умовами (4), для експлуатації в лабораторних, капітальних житлових і інших подібних приміщеннях (2) з такими умовами:

- робочі температури, +10 ... +35 °С;
- граничні температури, +1 ... +40 °С;
- верхнє значення відносної вологості, 80 % при 25 °С;

Умови експлуатації згідно ГОСТ 16019-2001, С1.[8].

С1 — стаціонарна, встановлюється в опалюваних наземних і підземних спорудах з такими умовами:

- синусоїдальна вібрація (діапазон частот, 10...70 Гц, амплітуда прискорення $19,6 \text{ м/с}^2$ або 2 g, тривалість впливу 90 хв);
- механічні удари при експлуатації (відсутні), при транспортуванні (пікове ударне прискорення 147 м/с^2 або 15 g, тривалість удару 6 мс, число ударів в кожному напрямку 4000);

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						11
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

- понижена температура, робоча +5 °С, гранична –40°С, час витримки при цих температурах 2 год;

- підвищена температура, робоча +40 °С, гранична +55°С, час витримки при цих температурах 2 год.

Визначений вимогами щодо конструкції корпус є достатньо малогабаритним, що накладає обмеження щодо компонентної бази, густини монтажу та компонування вузлів блоку живлення. Також, враховуючи відсутність у корпусі вентиляційних отворів, слід приділити особливу увагу тепловому режиму пристрою.

Вимоги щодо дизайну та ергономіки спільно з вимогами щодо індикації також накладають певні обмеження щодо типу індикатора – він має бути досить малогабаритним (оскільки площа передньої панелі складає 8100 мм² і на ній повинно бути розміщено достатньо багато елементів) при цьому будучи достатньо інформативним та легко зчитуваним.

ДРОЗДОВ Д.М. РК51.436714.001 2019

					РК51.436714.001 ПЗ	Лис
						12
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

2 ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СХЕМОТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ, ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

2.1 Розробка структурної схеми

Виходячи з ТЗ блок живлення складатиметься з наступних функціональних вузлів:

- 4 подібних джерела напруги з колами вимірювання вихідної напруги і струму навантаження;
- цифровий індикатор;
- джерело живлення вимірювальних кіл;
- джерело живлення цифрового індикатору.

Враховуючи особливі вимоги до БЖ доцільно застосувати двокаскадну стабілізацію у джерелах вихідної напруги — попередній стабілізатор реалізує обмеження вихідного струму та часткове придушення пульсацій напруги, тоді як основний стабілізатор буде здійснювати остаточне формування вихідних напруг. Крім того, таке рішення покращить тепловий режим основного стабілізатора, що позитивно позначиться на надійності БЖ і його вихідних параметрах.

					РК51.436714.001 ПЗ	Лис
						13
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

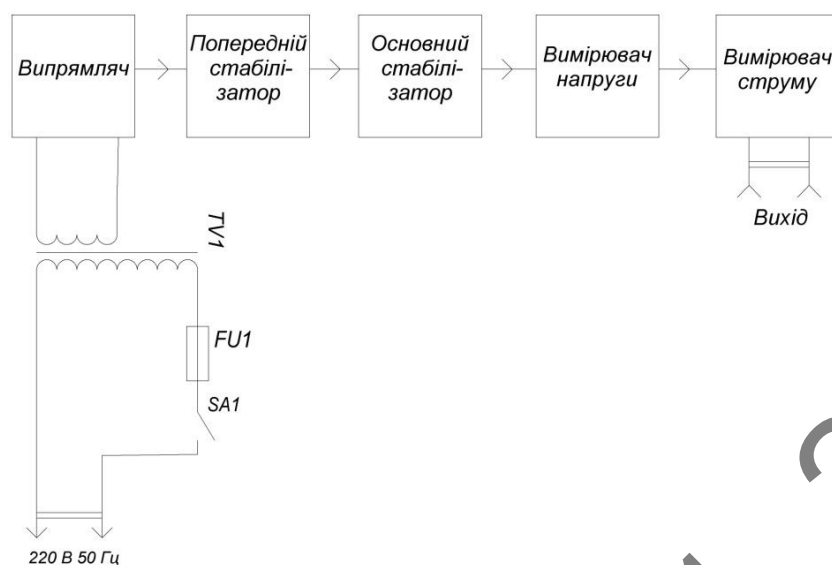


Рисунок 2.1 — Узагальнена структурна схема джерела вихідної напруги

Вимірювач напруги складається з подільника напруги та буферного операційного підсилювача, який виключить вплив вхідних кіл АЦП на вимірювану напругу.

Вимірювач струму складається з шунту та диференційного підсилювача який детектує падіння напруги на шунті і підсилює його до рівня, необхідного для коректної роботи АЦП.

В каналі від'ємної напруги обидва підсилювачі включені в інвертуючому режимі.

Відповідно до ТЗ в каналах «+2 В» та «+3,5 В» безпосередньо на виході передбачені ключі на польових транзисторах, зв'язані з каналом «-5 В» через каскад на біполярному транзисторі ввімкненому по схемі із спільною базою. Таким чином вихідний струм цих каналів буде протікати лише за наявності напруги, близької до -5 В на виході відповідного каналу.

Виходячи з габаритів визначеного в ТЗ корпусу функціональні складові блоку живлення можна об'єднати в три друковані модулі:

- модуль випрямлячів, попередніх та додаткових стабілізаторів;
- модуль стабілізації та контролю;
- модуль індикації.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-

PK51.436714.001 ПЗ

Лис
14

Решту елементів (роз'єм живлення, вихідні роз'єми, запобіжник, трансформатори, клему заземлення, вимикачі, трансформатори) розмістити на шаці БЖ.

Структурна схема БЖ наведена в додатку Б.

2.2 Вибір компонентної бази

Виходячи з умов щодо уніфікації та стандартизації та враховуючи несерійне (одиничне) виготовлення БЖ абсолютна більшість компонентів обрана виходячи з освоєності і наявності їх у ДНДЦ «Айсберг». Виключеннями з цього правила є: діодні мости, операційні підсилювачі та дисплей цифрового індикатору.

2.2.1 Вибір діодних мостів

Виходячи з технічного завдання до діодних мостів ставляться наступні вимоги:

- прямий струм не менше 1 А;
- зворотна напруга не менше 20 В;
- SMD-виконання.

Проведемо порівняльний аналіз наявних на ринку діодних мостів, що відповідають цим вимогам. Інформація, наведена в таблиці 2.1, отримана з каталогу магазину «IMRAD» [9].

Таблиця 2.1 — Порівняння характеристик діодних мостів

Тип	Максимальний прямий струм	Зворотна напруга	Корпус	Вартість
ONS-FAIRDF01S	1,5 А	100 В	D-71	21,18грн
ONS-FAIRDF10S	1,5 А	1000 В	D-71	13,63грн
ONS-FAIRDF01S	1,5 А	800 В	D-71	6,79грн
DC Components DB157S	1,5 А	1000 В	D-71	4,64грн

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		15



Рисунок 2.2 — Діодний міст DB157S

Проаналізувавши характеристики цих діодних мостів обрано DC Components DB157S, оскільки при рівних електричних параметрах вони мають найменшу вартість.

2.2.2 Вибір операційних підсилювачів

В розробках ДНДЦ «Айсберг» широко застосовуються операційні підсилювачі Analog Devices AD8605[10] та OP777[11]. Це прецизійні інструментальні ОП, які вирізняються високою точністю та стабільністю своїх електричних параметрів. Оскільки в розроблюваному БЖ ОП будуть застосовані в колах вимірювання постійної напруги і ТЗ не висуває вимог щодо точності індикації доцільно знизити собівартість БЖ застосувавши інші ОП.

Наприклад, Texas Instruments LMC7101 [12] — Rail-to-Rail операційний підсилювач, виконаний за КМОН-технологією, що вирізняється малим споживаним струмом та низьким коефіцієнтом нелінійних спотворень. ОП виконаний в корпусі SOT-23-5, що дозволяє значно підвищити щільність монтажу в умовах обмежених габаритів БЖ.

2.2.3 Вибір дисплею цифрового індикатора

Цифровий індикатор вихідних напруг і струмів призначений для оперативного контролю під час роботи БЖ, тому він повинен бути легко зчитуваним під різними кутами, забезпечувати достатню інформативність.

На початковому етапі розглядалося застосування рідкокристалічного дисплею типу WH0802, його перевагою є висока інформативність та зручність роботи з МК, проте він має ряд недоліків, які унеможливили його викорис-

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						16
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

тання в цій конструкції: малі кути огляду, великі габарити модулю порівняно з габаритами робочої частини дисплею.

Виходячи з цього було прийняте рішення про використання семисегментних індикаторів. З метою підвищення технологічності використані індикатори у SMD-виконанні — KCSC02-105[13]:

- схема ввімкнення — спільний катод;
- колір — яскраво-червоний;
- висота символу — 5 мм.



Рисунок 2.3 — Семисегментний індикатор KCSC02-102

Для спрощення взаємодії МК з індикатором було використано спеціальну мікросхему, драйвер світлодіодних масивів Maxim MAX7219 [14] який підключається до МК за допомогою послідовного синхронного інтерфейсу і дозволяє реалізувати динамічну індикацію на 8 розрядному семи сегментному дисплеї. В розроблюваному БЖ використано 4 розряди — знак і 3 значущі цифри.

2.2.4 Опис решти компонентної бази

Як було зазначено вище, виходячи з того, що розроблюваний блок живлення є одиничним виробом для внутрішнього використання у ДНДЦ «Айс-

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						17
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

берг», основним критерієм при виборі компонентної є освоєність і наявність компонентів на підприємстві. Таке рішення знижує собівартість і пришвидшує процес розробки та виробництва.

Основні стабілізатори напруги — Analog Devices ADP333x, фіксований ADP3330-5[15] для каналу «+5 В» та регульовані ADP3331 [16] для каналів «+3,5 В» та «+2 В», оскільки в ряду фіксованих напруг даного сімейства стабілізаторів відсутні відповідні номінали.

Ці стабілізатори забезпечують:

- стабільність вихідної напруги не гірше 1,4%;
- залежність вихідної напруги від струму навантаження 0,4 мкВ/мА;
- PSRR: –70 дБ на частотах до 1 кГц і –40 дБ на частотах до 100 кГц;
- власні шуми (RMS) не гірше 97 мкВ.



Рисунок 2.4 — Інтегральний стабілізатор ADP3331

В каналі «–5 В» використано стабілізатор Texas Instruments TPS73201 він має аналогічні характеристики щодо шумів та дрейфу, проте призначений для роботи з від’ємними напругами.

Потужні транзистори, призначені для розвантаження основних стабілізаторів — BD139, BD140, потужні кремнієві біполярні транзистори в корпусі TO-126 виробництва ON Semiconductors, NPN і PNP відповідно.

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						18
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

Попередні стабілізатори — LM317, LM337, регульовані інтегральні стабілізатори першого покоління (для додатних і від'ємних напруг відповідно), що забезпечують [17]:

- залежність вихідної напруги від струму навантаження не більше $0.5 U_{\text{вих}}/\text{mA}$;
- PSRR: -64 дБ на частоті 120 Гц;
- Власні шуми (RMS) не більше 3 мВ.

Стабілізатори живлення ОП — 7805, 7905.

Стабілізатор живлення цифрової шкали AD3330-5 з транзисторним повторювачем на BD140, таке рішення застосоване для більш ефективного подавлення завад, що виникають при роботі цифрових пристроїв, особливо при динамічній індикації на семисегментних індикаторах.

В якості МК модулю цифрової шкали використано AVR ATmega328p, який має АЦП з восьми аналоговими входами та сумісний з програмно-апаратною платформою Arduino, що дозволяє значно пришвидшити та спростити процес розробки та налагодження програмного забезпечення для пристрою. Зниження швидкодії, характерним для цієї програмно-апаратної платформи, в даному випадку можна знехтувати.

Електролітичні конденсатори згладжувальних фільтрів — алюмінієві, SMD, типу SVPF (Panasonic). Використання танталових конденсаторів у згладжувальних фільтрах є небажаним, оскільки вони швидко деградують під впливом великої амплітуд змінної напруги.

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		19



Рисунок 2.5 — Електролітичний конденсатор типу SVPF

Інші електролітичні конденсатори — танталові, типорозмірів ТАЈА, ТАЈД.

Неполярні конденсатори — керамічні, типорозмірів 0603, 0805, 1206.

Резистори — метал-оксидні, типорозмірів 0603, 1206, точністю 5%.

Трансформатори — ТПП-208-220/127-50 та ТПП-245-220/127-50.

Роз'єм живлення — KLS1-AS-301.

Світлодіоди — Bright Led Corp. BL-BEG274.

Загальний вимикач — KLS7-025-10211BB.

Вимикачі каналів — SPDT TSM102A2.

Запобіжник в тримачі — KLS5-254-2.

Вихідні роз'єми — MP1-10-1B, відповідно до ТЗ.



Рисунок 2.6 — Роз'єм радіо герметичний багатоконтактний всекліматичний MP1-10-1B

Використання освоєної і наявної компонентної бази дозволяє пришвидшити процес розробки пристрою і виготовлення дослідного зразку.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-

PK51.436714.001 ПЗ

Лис
20

2.3 Розробка принципової електричної схеми модулю випрямлячів, попередніх та додаткових стабілізаторів

Попередні стабілізатори для робочих каналів являють собою пари послідовно ввімкнених стабілізаторів напруги LM317 (LM337 для каналу «-5В») в корпусі DPAK. Перший стабілізатор ввімкнений за схемою джерела напруги 8 В, а другий — обмежувач струму 500 мА.

Номінали резисторів відповідно до [17] розраховуються наступним чином.

Для джерела напруги вихідна напруга обчислюється за наступною формулою:

$$U_{\text{Вих.}} = U_{\text{он.}} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right), \quad (2.1)$$

де $U_{\text{он.}} = 1.25\text{В}$, $R2 = 240\ \Omega$ в типовому включенні.

Виразивши $R1$ з формули 2.1 та провівши необхідні підстановки маємо:

$$R1 = \frac{R2}{\left(\frac{U_{\text{вих.}}}{U_{\text{он.}}} - 1 \right)} = \frac{240}{\left(\frac{8}{1.25} - 1 \right)} = 1.3(\text{кОм}), \quad (2.2)$$

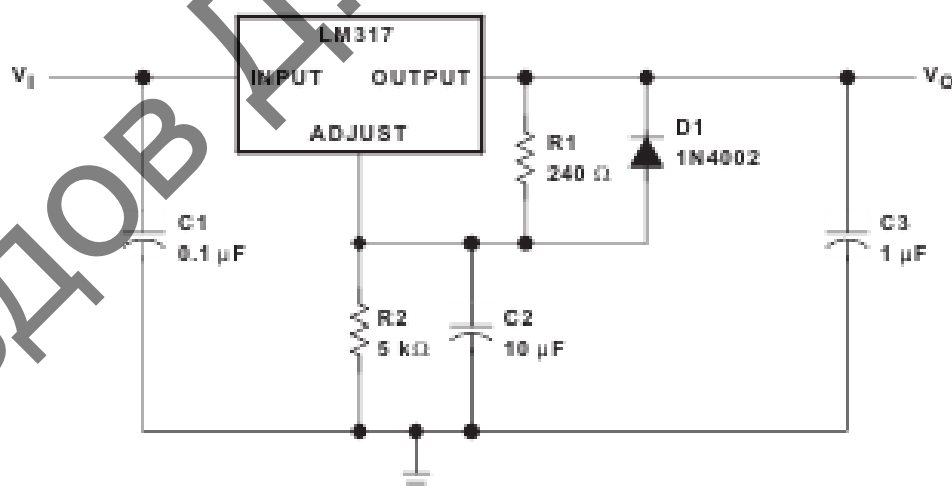


Рисунок 2.2 — Типова схема включення LM317 в якості джерела напруги

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		21

Вихідний струм при включенні в якості джерела струму обчислюється за формулою 2.3.

$$I_{\text{Вих.}} = \frac{1.2B}{R1}, \quad (2.3)$$

Відповідно, при струмі 500 мА опір R1 становитиме 2.4 Ом.

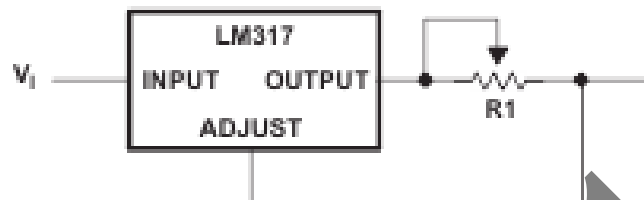


Рисунок 2.7 — Типова схема включення LM317 в якості обмежувача струму.

Стабілізатори живлення операційних підсилювачів (7805, 7905) ввімкнені за типовою схемою.

Стабілізатор живлення модулю індикації ADP3330-5 ввімкнений за схемою з транзисторним повторювачем та ланкою придушення шумів.

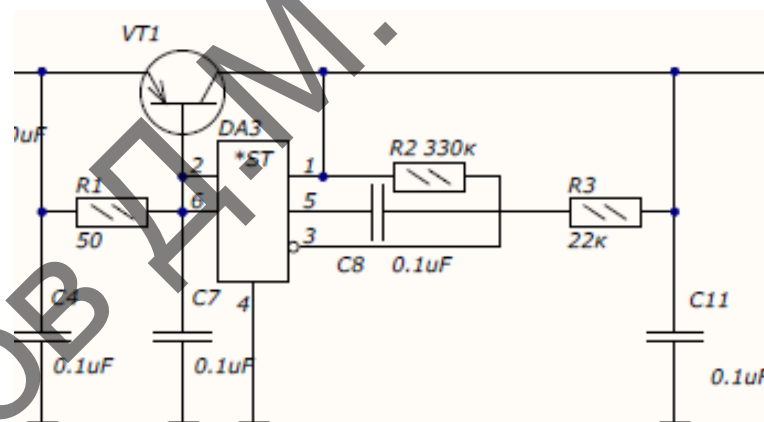


Рисунок 2.8 — Фрагмент принципової схеми модулю випрямлячів. Стабілізатор живлення модулю індикації.

Ланка R3-C8 забезпечує зворотній зв'язок по змінному струму, що призводить до збільшення PSRR на 30 дБ.

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		22

2.4 Розробка принципової електричної схеми модулю стабілізації та контролю

Основний стабілізатор в каналі «+5 В» включений аналогічно до розглянутого в попередньому підрозділі стабілізатора живлення модулю індикації.

Основні стабілізатори в каналах «+3.5 В» та «+2 В» ввімкнені за подібними схемами, за винятком зовнішнього подільника на резисторах, що формує зворотній зв'язок за постійною напругою і визначає вихідну напругу.

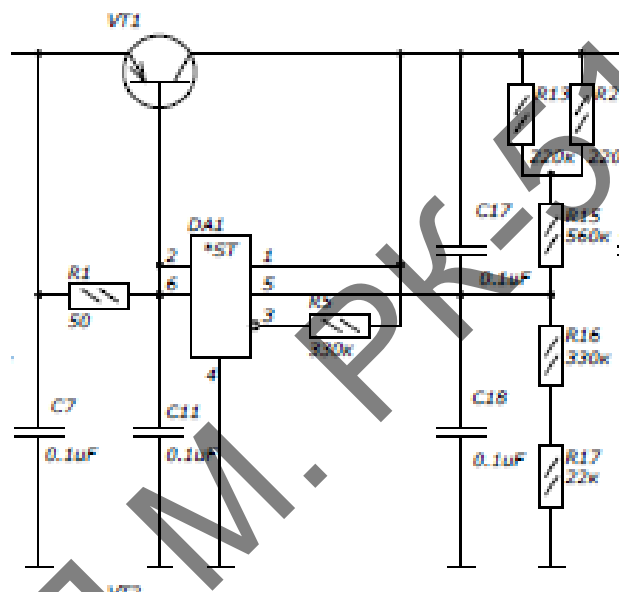


Рисунок 2.9 — Фрагмент принципової схеми модулю стабілізації.
Основний стабілізатор каналу «+3,5 В».

Зворотній зв'язок за змінним струмом виконано через конденсатор C17.

Подільник напруги виконаний у вигляді послідовно-паралельної (R13 R21 R15) та послідовної (R16 R17) ланок, таке рішення дозволяє отримати високу точність значення вихідної напруги шляхом підбору резисторів під час налагодження, застосування підстроювальних резисторів в даному випадку є небажаним через їхню низьку надійність та стабільність при тривалій експлуатації. Аналогічним чином виконані і інші подільники напруг в цій схемі.

Відповідно до [16] опори резисторів подільника напруги для стабілізатора ADP3331 визначається за формулами:

					РК51.436714.001 ПЗ	Лис
						23
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

$$R1 = 230 \left(\frac{U_{out}}{U_{FB}} \right) - (кОм), \quad (2.4)$$

$$R2 = \frac{230}{\left(1 - \frac{U_{FB}}{U_{out}} \right)} - (кОм), \quad (2.5)$$

де $R1$ — верхнє плече подільника, $R2$ — нижнє плече подільника, U_{out} — вихідна напруга, $U_{FB} = 1.204 \text{ В}$ — внутрішня опорна напруга стабілізатора.

Таблиця 2.2 — Опори подільників напруги основних стабілізаторів.

Канал	Верхнє плече, кОм	Нижнє плече, кОм
«+3,5 В»	669 кОм	351 кОм
«+2 В»	382 кОм	578 кОм

Стабілізатор TPS73201 в каналі «-5 В» включено за типовою схемою з транзисторним повторювачем та ланкою придушення шумів, описаною в [18].

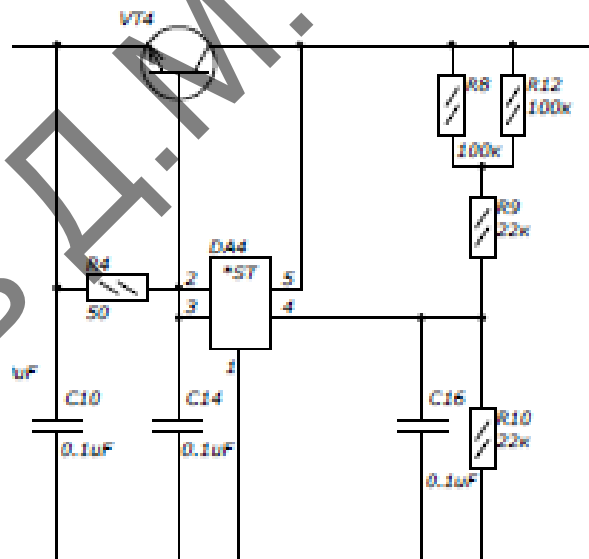


Рисунок 2.10 — Фрагмент принципової схеми модулю стабілізації. Основний стабілізатор каналу «-5 В».

Значення плечей подільника напруги (72 кОм та 22 кОм) рекомендовані виробником для вихідної напруги -5 В.

Для вимірювання напруг застосовано подільники напруги з коефіцієнтом поділу 1 до 30 та буферні операційні підсилювачі з коефіцієнтом підсилення 10, які дозволяють узгодити рівні вимірювані напруги із входом АЦП.

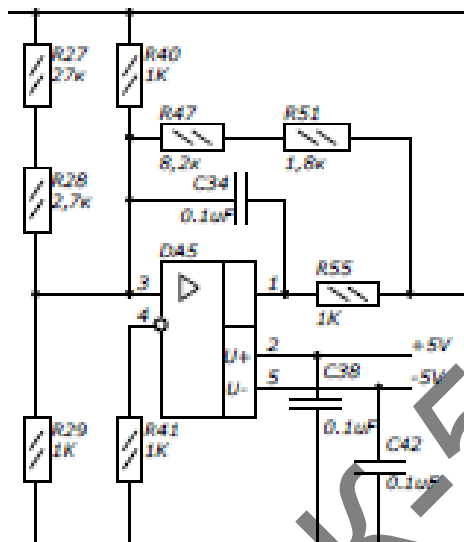


Рисунок 2.11 — Фрагмент принципової схеми модулю стабілізації.
Ланка вимірювання напруги у каналі «+3.5 В»

Для вимірювання струму застосовано шунт номіналом 15 мОм ввімкнений між входами диференціального підсилювача. Схема ланки вимірювання струму наведена на рисунку 2.8.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-

PK51.436714.001 ПЗ

Лис
25

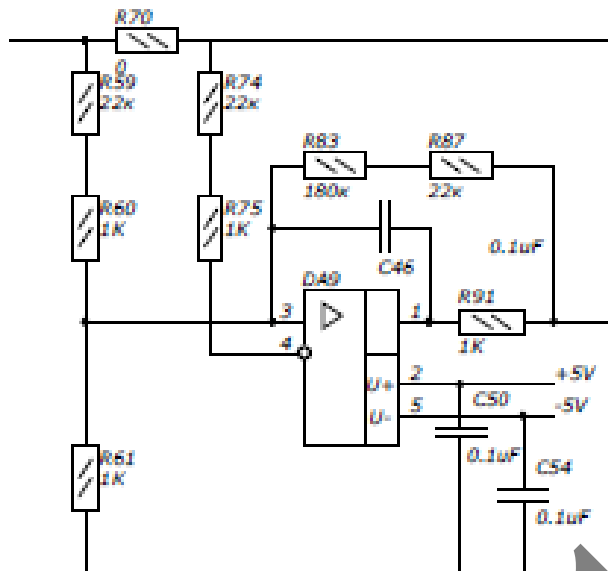


Рисунок 2.12 — Фрагмент принципової схеми модулю стабілізації.
Ланка вимірювання струму у каналі «+3.5 В»

В каналі «-5 В» обидва операційні підсилювачі ввімкнені в інвертуючому режимі.

2.5 Розробка принципової електричної схеми модулю індикації

Основою модулю індикації є мікроконтролер ATmega328p до якого під'єднані кнопки вибору режиму індикації, світлодіоди, що показують поточний режим роботи індикатора та драйвер семисегментного дисплею MAX7219з 4 семисегментними індикаторами.

В модулі індикації передбачено роз'єм для підключення ISP-програмактора, що дозволяє за необхідності оновлювати програмне забезпечення мікроконтролера.

Принципові схеми всіх трьох модулів і принципова схема блоку живлення загалом наведені в додатку Б.

2.6 Опис алгоритму роботи модулю індикації

Після включення живлення модуль індикації починає роботу в режимі індикації напруги каналу «+3.5 В», який встановлено за замовченням. Світяться світлодіоди «U» та «СН 1». Мікроконтроллер опитує перший вхід

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						26
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

АЦП, усереднює 10 послідовних вимірювань з інтервалом 10 мс, перераховує отримане значення у напругу у вольтях та виводить її на дисплей, цикл вимірювання повторюється кожні 0.3с.

Цикл вимірювання струму аналогічний, відрізняється перерахунковим коефіцієнтом, значення струму виводиться у міліамперах.

При натисканні кнопок «U/I» чи «CH» спрацьовує переривання, підпрограма обробки якого відповідно інкрементує змінну, що вказує режим роботи модулю індикації.

Таблиця 2.3 — Режими роботи модулю індикації

Режим роботи	Вхід АЦП	СД «U»	СД «I»	СД «1»	СД «2»	СД «3»	СД «4»
Напруга каналу «+3.5 В»	A0	+		+			
Напруга каналу «+2 В»	A1	+			+		
Напруга каналу «+5 В»	A2	+				+	
Напруга каналу «-5 В»	A3	+					+
Струм в каналі «+3.5 В»	A4		+	+			
Струм в каналі «+2 В»	A5		+		+		
Струм в каналі «+5 В»	A6		+			+	
Струм в каналі «-5 В»	A7		+				+

Програма для мікроконтролера написана на діалекті мови C++ який являє собою програмну частину платформи Arduino.

Лістинг програми приведено в додатку Г.

3 ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ МОДУЛІВ

3.1 Проектування електронного модулю стабілізації та контролю

3.1.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

Габаритні обмеження накладені на друкований вузол, що розроблюється, вимагають високої щільності монтажу та виключають застосування вивідних елементів, враховуючи виготовлення ДВ в умовах дослідного виробництва в ДНДЦ “Айсберг” дана плата матиме односторонній монтаж та два шари металізації, тож її доцільно виготовляти комбінованим негативним методом.

3.1.2 Вибір матеріалу

Матеріалом плати обрано фольгований склотекстоліт FR-4 35/35 1,5мм.

Склотекстоліт має високу механічну міцність, термостійкість, низькі втрати, високий поверхневий опір. Товщина основи вибрана виходячи із способу закріплення ДП для виключення її деформації.

3.1.3 Вибір класу точності плати та щільності виробництва

Відповідно до запланованої щільності монтажу, умов експлуатації та технологічних можливостей виробництва, обраний клас точності – 3.

3.1.4 Розрахунок розмірів контактних майданчиків

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу за формулою:

$$Dk = Dv + 0,3 \text{ мм} \quad (3.1)$$

де Dk — розміри контактних майданчиків;

Dv — розміри виводів.

Розміри контактних майданчиків для з'єднання з іншими ДВ обрані виходячи із необхідності забезпечення їхньої механічної міцності і теплостійкості при монтажу і налагодженні; зручності монтажу.

Отримані значення наведено в таблиці 3.1.

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						28
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

Таблиця 3.1 — Розміри для елементів поверхневого монтажу

Тип корпусу	Dv (мм)	Dk (мм)
0603	0.3 x 0.8	0.6 x 1.1
0805	0.4 x 1.25	0.7 x 1.55
1206	0.5 x 1.6	0.8 x 1.9
TAJ A	0.8 x 1.2	1.1 x 1.5
TAJ D	2.4 x 1.3	2.7 x 1.6
SOT-23	0.4 x 0.3	0.7 x 0.6
SO-8	0.4 x 0.5	0.7 x 0.8
Контактний майданчик для з'єднання ДВ		1.5 x 1.5

Розраховані розміри контактних майданчиків відповідають рекомендаціям виробників та вимогам обраного класу точності.

3.1.5 Визначення габаритів друкованої плати, параметрів друкованого монтажу

Для визначення площі плати треба розрахувати мінімальну площу, що відповідає загальній площі всіх елементів кожної сторони, тобто елементів поверхневого монтажу та вивідних елементів окремо. Тож розрахуємо площу всіх елементів.

Корпус	W	L	n	k	S
Резистор 0603	1,55	0,9	100	1	131,75
Резистор 1206	3,2	1,6	4	1	20,48
Конденсатор 0603	1,55	0,9	44	1	57,97
SOT-23-6	2,9	2,8	3	2	48,72
SOT-23-5	2,9	2,8	7	2	113,68
SOT-23-3	2,9	2,8	1	1,5	12,18
SO-8	4,9	6	1	2	58,8
TAJ A	1,6	3,2	6	1	30,72
TAJ D	7,3	4,3	16	1	502,24
Конт. 2Пол.	3	6	10	1	180
Конт. 8Пол.	3	24	1	1	72
Отвори	5	5	4	1	100
Загалом					1328,5

Рисунок 3.1 — Розрахунок площі плати

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						29
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

W — ширина елементів;

L — довжина елементів;

n — кількість елементів;

k — коефіцієнт форми;

S — загальна площа елементів певного корпусу;

З рисунку 3.1 отримуємо, що мінімальна площа плати — 1329 мм^2 , площа плати за розмірами корпусу 4400 мм^2 . Відповідно, розміри плати, визначені компонованням пристрою (77 на 58мм) забезпечать оптимальне розміщення елементів, вигляд розробленої плати зображено на рис.3.2.

3.1.6 Розрахунок ширини друкованих провідників, зазорів між елементами друкованого малюнку

Розрахунок проведений у програмі Mathcad. Розрахунки і проміжні результати наведені у додатку В.

Для розрахунку ширини друкованих провідників необхідно знати який максимальний струм та напруга проходять через силові та сигнальні ланцюги. Аналізуючи отримане завдання отримуємо, що для сигнальних провідників $I_{\text{max}} = 0,05\text{A}$, а для силових $I_{\text{max}} = 0,5\text{A}$.

В схемі відсутні кола ВЧ та кола з високими напругами, тому основні обмеження щодо зазорів між елементами друкованого малюнку накладаються особливостями виробництва.

Таблиця 3.2 – Параметри друкованого малюнку

Тип кола	Максимальний струм, А	Максимальна напруга, В	Ширина провідника, мм	Ширина зазору, мм
Силові	0,5	5	0,5	0,45
Сигнальні	0,005	5	0,4	0,45

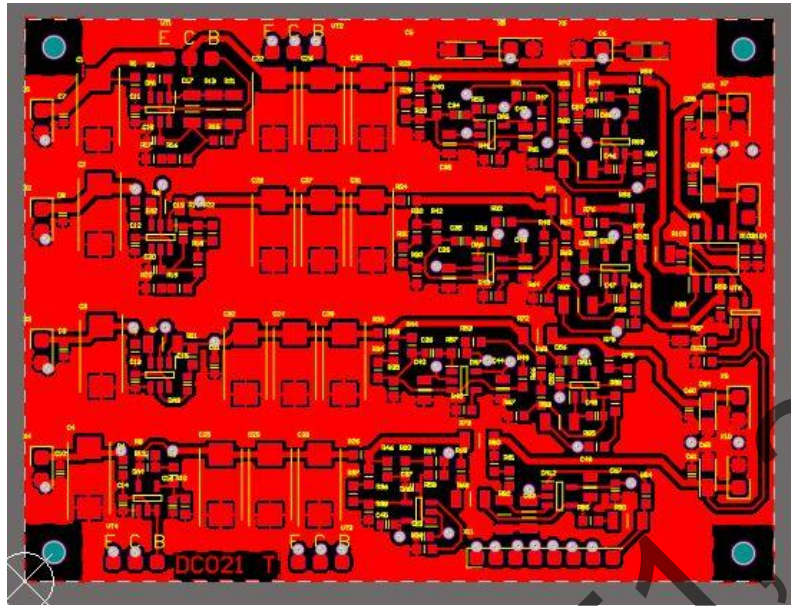


Рисунок 3.2 — Трасування ДП у верхньому шарі

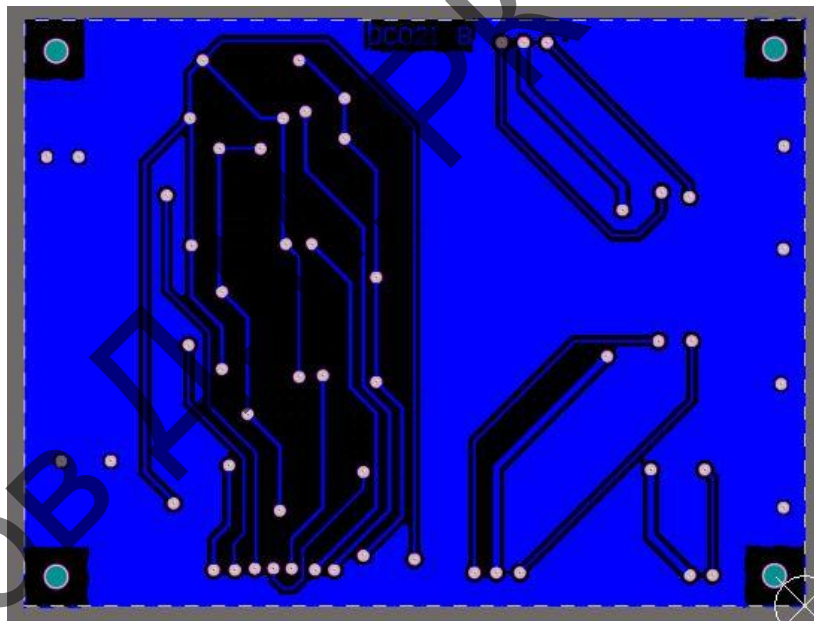


Рисунок 3.3 — Трасування ДП у нижньому шарі

На нижній шар ДП винесені доріжки, що під'єднують силові транзистори до стабілізаторів, роз'єм підключення цифрової шкали до відповідних вимірвальних каскадів та напруги живлення цих каскадів. Для подавлення паразитних зв'язків між шарами ДП доріжки на верхньому шарі розміщені переважно вздовж ДП, а на нижньому — впоперек.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-

PK51.436714.001 ПЗ

Лис
31

3.2 Проектування електронного модулю випрямлячів, попередніх та додаткових стабілізаторів

Метод виготовлення, матеріал, клас точності ДП та параметри елементів друкованого монтажу аналогічні до описаних в підрозділі 3.1. Виходячи з конструкції блоку живлення ДП модулю випрямлячів повинна мати довжину, ширину та установчі розміри, аналогічні розмірам ДП модулю стабілізації.

3.2.1 Розрахунок розмірів контактних майданчиків

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу за формулою 3.1.

Розміри контактних майданчиків для з'єднання з іншими ДВ обрані виходячи із необхідності забезпечення їхньої механічної міцності і теплостійкості при монтажу і налагодженні; зручності монтажу.

Отримані значення наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3— Розміри для елементів поверхневого монтажу

Тип корпусу	Dv (мм)	Dk (мм)
0603	0.3 x 0.8	0.6 x 1.1
0805	0.4 x 1.25	0.7 x 1.55
1206	0.5 x 1.6	0.8 x 1.9
SVPF F12	1.1 x 3.3	1.4 x 3.6
ДРАК	1.0 x 1.6	1.3 x 1.9
ДРАК (фланець)	5.3 x 5.2	5.6 x 5.5
SOT-23	0.4 x 0.3	0.7 x 0.6
D-71	1.0 x 1.6	1.3 x 1.9
Контактний майданчик для з'єднання ДВ		1.5 x 1.5

Розраховані розміри контактних майданчиків відповідають рекомендаціям виробників та вимогам обраного класу точності.

3.3.1 Розрахунок розмірів контактних майданчиків

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу за формулою 3.1.

Розміри контактних майданчиків для з'єднання з іншими ДВ обрані виходячи із необхідності забезпечення їхньої механічної міцності і теплостійкості при монтажу і налагодженні; зручності монтажу.

Отримані значення наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4—Розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу

Тип корпусу	Dv (мм)	Dk (мм)
0603	0.3 x 0.8	0.6 x 1.1
1206	0.5 x 1.6	0.8 x 1.9
TQFP32	0.4 x 0.6	0.7 x 0.9
KX-9	1.1 x 0.8	1.4 x 1.1
KCSC02	0.7 x 2.5	0.9 x 2.8
KFC-A06	1.0 x 1.6	1.3 x 1.9
TAJ A	0.8 x 1.2	1.1 x 1.5
Контактний майданчик для з'єднання ДВ		1.5 x 1.5

Розміри отворів та контактних майданчиків для світлодіодів визначаються за наступними формулами:

$$Do = Dv + 0.1 \text{ мм} \quad (3.1)$$

де Do —діаметр отвору;

Dv —діаметр виводу.

$$Dk = Do + 0.6 \text{ мм} \quad (3.1)$$

де Dk —діаметр контактного майданчику;

Do —діаметр отвору.

Таблиця 3.5 — Розміри контактних майданчиків для світлодіодів

Dv (мм)	Do (мм)	Dk (мм)
0.5	0.6	1.2

Розраховані розміри контактних майданчиків відповідають рекомендаціям виробників та вимогам обраного класу точності.

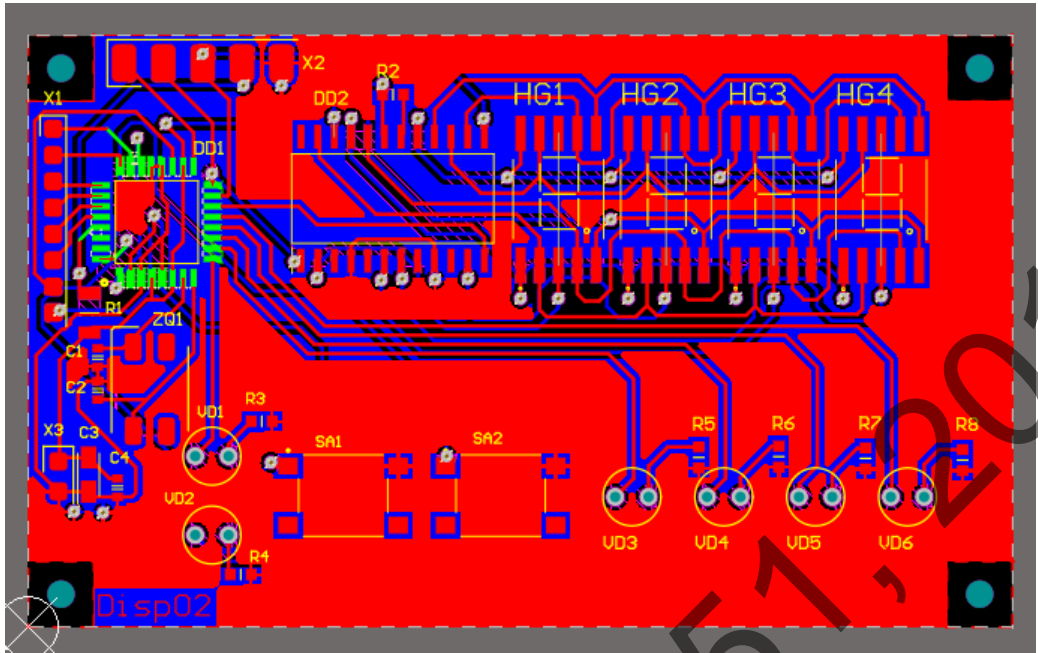


Рисунок 3.5 — Трасування ДП модулю індикації у верхньому шарі

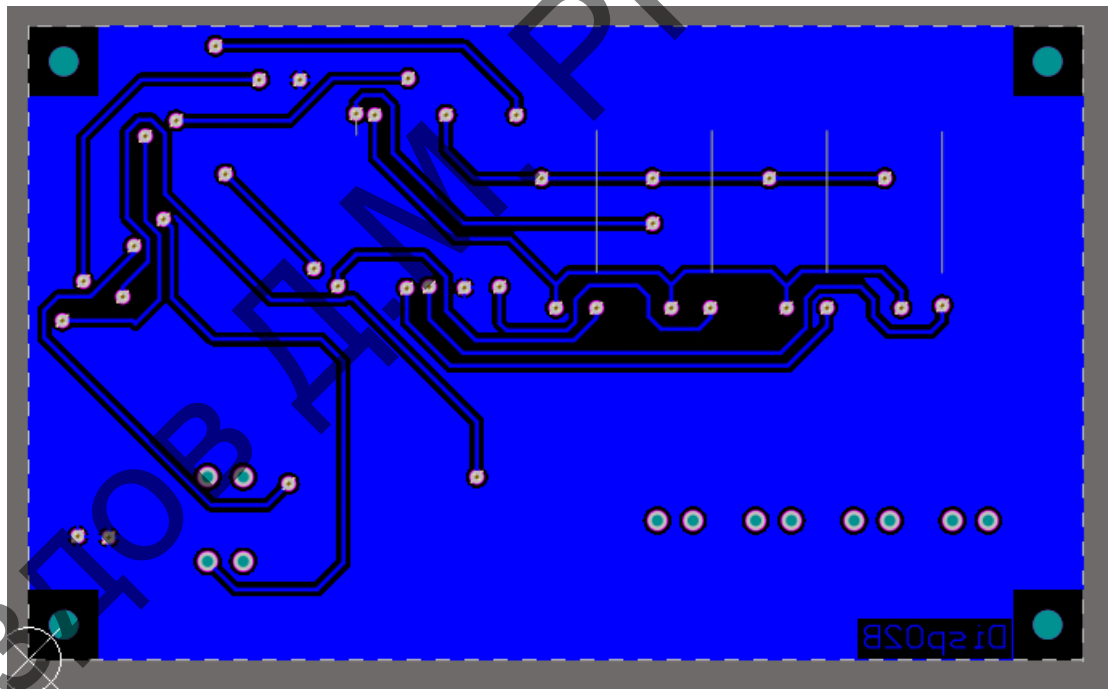


Рисунок 3.3 — Трасування ДП модулю індикації у нижньому шарі

Трасування ДП у двох шарах виконане виходячи з необхідності виконання вимог щодо взаємного розміщення ЕРЕ та щільності монтажу.

Креслення друкованих плат, складальні креслення друкованих вузлів наведені в ілюстративному матеріалі.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-

PK51.436714.001 ПЗ

Лис
35

4 ПРОЕКТУВАННЯ ПРИЛАДУ ТА АНАЛІЗ ЙОГО ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

4.1 Опис конструкції блоку живлення

Відповідно до ТЗ блок живлення змонтовано в дюралюмінієвий уніфікований корпус.

На задній стінці корпусу змонтовані:

- ззовні — гніздо живлення, тримач запобіжника, додаткова клемма заземлення;
- зсередини — силові транзистори стабілізаторів напруги на діелектричних прокладках.

На нижній частині корпусу змонтовані:

- ззовні — ніжки гумові;
- зсередини — трансформатори, дюралюмінієва перегородка в передній частині корпусу.

Друкований вузол «Модуль випрямлячів» розміщений над трансформатором ТПП-208, змонтований на латунних різьбових стійках висотою 60 мм закріплених на нижній панелі корпусу.

Друкований вузол «Модуль стабілізації» розміщений над ДВ «Модуль випрямлячів», змонтований на латунних різьбових стійках висотою 15 мм, які одночасно виконують функцію кріплення модулю випрямлячів. ДВ закріплений гвинтами латунними М2х5.

Друкований вузол «Модуль індикації» змонтовано на латунних різьбових стійках висотою 5 мм на перегородці всередині корпусу тазакріплений гвинтами латунними М2х5. ДВ змонтований таким чином, щоби елементи індикації та керування були співвісні з відповідними отворами на передній панелі приладу.

На передній панелі змонтовані: вимикач живлення, вимикачі каналів, вихідні роз'єми.

					РК51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		36

З'єднання між друкованими вузлами та ЕРЕ розміщеними на корпусі блоку живлення — нероз'ємні, паяні, виконані монтажним проводом відповідно до схеми електричної принципової РК51.436714.001 ЕЗ.

Роз'єм для підключення приймача 8 мм діапазону та відповідний перемикач промарковані «RX 8», для приймача 3 мм діапазону — «RX 3».

Кнопка перемикання режиму роботи індикатора промаркована «U/I», перемикання каналу індикатора — «CH».

Світлодіод, що вказує на роботу в режимі вимірювання напруги «U», вимірювання струму — «I».

Світлодіоди, що вказують канал, параметри якого виводяться на індикатор промарковані «1», «2», «3», «4», що відповідає каналам «+3.5 В», «+2 В», «+5 В», «-5 В».

Вимикач живлення промарковано «POWER».

Усі маркування нанесені лазерним гравіюванням.

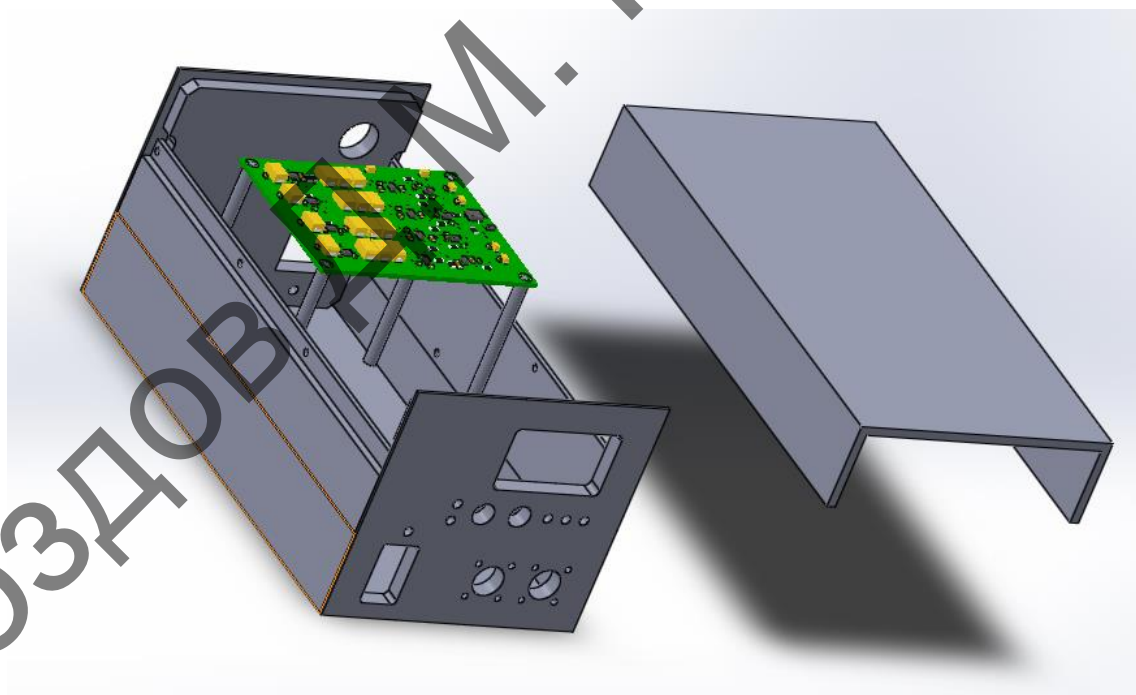


Рисунок 4.1 — Тривимірна модель компонування блоку живлення

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-

РК51.436714.001 ПЗ

Лис
37

4.2 Розрахунок надійності блоку живлення

Надійність роботи пристрою — здатність виконувати визначені функції протягом визначеного періоду часу, за умови виконання умов транспортування, зберігання та експлуатації.

Основними показниками й характеристиками надійності є:

- $P(t)$ — ймовірність безвідмовної роботи;
- $\lambda(t)$ — інтенсивність відмов;
- $T(t)$ — середній час безвідмовної роботи;
- $Q(t)$ — ймовірність відмови.

Для визначення надійності розробленого БЖ виконаємо розрахунок імовірності відмови та середнього часу безвідмовної роботи.

Виходячи з складності та відповідальності конструкції даного блоку живлення для розрахунків приймемо наступні умови:

- Відмова будь якого з елементів пристрою призводить до відмови пристрою загалом;
- Відмови елементів є взаємовипадковими та взаємозалежними подіями;
- Інтенсивність відмов елементів не залежить від часу, тобто $\lambda_0 = const$.

Згідно з методикою, описаною у джерелі [19], були отримані дані, що занесені до таблиці 4.1. Виходячи з того, що даний БЖ відноситься до стаціонарної апаратури, поправковий коефіцієнт K_e , який враховує умови експлуатації пристрою, дорівнює 2.

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						38
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

Таблиця 4.1 – Параметри надійності елементів схеми

Тип та назва елемента	$\lambda_0 \cdot 10^6$, $1/\text{год}$	N , шт.	K_1	K_H	$\lambda_p \cdot 10^6$, $1/\text{год}$
SMD-резистор	0.06	127	1.1	0.8	0.05
SMD-конденсатор	0.06	65	1.1	0.8	0.05
Конденсатор танталовий	3	21	0.15	0.5	0,225
Мікросхема напівпровідникова	2	25	0.5	0.4	0.4
Транзистор	2,5	7	0.3	0.2	0,75
Конденсатор електролітичний SVPF	15	7	0.3	0.5	2.5
Резонатор кварцевий	5	1	0.5	0.4	1
Світлодіод	10	1	0.5	0.4	2
Індикатор світлодіодний семисегментний	10	4	0.5	0.4	2
Кнопка тактова	0.06	2	1.1	0.8	0.05

- λ_p — робоче значення інтенсивності відмов;
- N_i — кількість елементів кожного типу;
- K_1 — поправковий коефіцієнт, який враховує теплове навантаження;
- K_H — коефіцієнт електричного навантаження на елемент.

Тоді інтенсивність відмов пристрою визначається за формулою:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^k N_i \cdot \lambda_i \quad (4.1)$$

де, N_i — кількість елементів конкретного виду в схемі.

λ_i — інтенсивність відмови конкретного елемента.

Розраховане значення інтенсивності відмов: $\lambda = 5.82 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{год}}$.

Тоді середній час безвідмовної роботи визначається як:

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						39
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_p} \quad (4.2)$$

Підставивши значення розрахованої інтенсивності відмов у формулу (4.2) отримаємо:

$$T_0 = \frac{1}{5.82 \cdot 10^{-5}} \approx 17200 \text{ год}$$

Технічне завдання вимагає середній час безвідмовної роботи не менше 15000 годин, тобто відповідно до проведених розрахунків надійність розробленого блоку живлення відповідає поставленим вимогам.

Виходячи з умов експлуатації і пристрою розрахунки віброміцності і теплового режиму є недоцільними.

4.3 Результати перевірки вихідних параметрів блоку живлення

Для підтвердження відповідності вихідних параметрів блоку живлення були проведені експериментальні випробування під навантаженням. Були виміряні просадка напруги під навантаженням в кожному каналі

Таблиця 4.2 — Результати вимірювання вихідної напруги під навантаженням

Струм Канал	0 мА	50 мА	100 мА	200 мА	300 мА
+ 3.5 В	3.499 В	3.499 В	3.480 В	3.480 В	3.464 В
+ 2 В	1.999 В	1.999 В	1.980 В	1.980 В	1.970 В
+ 5 В	5.005 В	5.005 В	4.985 В	4.985 В	4.980 В
- 5 В	4.997 В	4.997 В	4.977 В	4.977 В	4.957 В

Просадка вихідної напруги під навантаженням відповідає інформації наведеній виробниками стабілізаторів і вкладається у технічні вимоги.

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		40

Таблиця 4.3 — Результати вимірювання дрейфу вихідної напруги

Час, год / Канал	0	1	2	5	10
+ 3.5 В	3.499 В	3.497 В	3.499 В	3.499 В	3.497 В
+ 2 В	1.999 В	1.999 В	2.01 В	1.999 В	2.01 В
+ 5 В	5.005 В	5.005 В	5.004 В	5.008 В	5.003 В
- 5 В	4.997 В	4.495 В	5.001 В	5.001 В	5.001 В

Примітка. Вимірювання проводилися при струмі навантаження 100 мА.

Дрейф вихідної напруги носить випадковий характер і вкладається в межі визначені ТЗ.

Таблиця 4.4 — Результати вимірювання змінної складової вихідної напруги

Струм, мА / Канал	0	250
+ 3.5 В	1 мВ	2 мВ
+ 2 В	2 мВ	3 мВ
+ 5 В	1 мВ	2 мВ
- 5 В	3 мВ	3 мВ

Підвищений рівень шуму у каналі «-5 В» (порівняно з іншими каналами) швидше за все пов'язаний з особливостями виробництва використаних мікросхем і силових транзисторів.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Так як темою дипломного проекту є розробка спеціального лабораторного обладнання, а саме блоку живлення радіометричних приймачів, то цьому розділі необхідно розробити відповідні технічні рішення та організаційні заходи з безпеки, гігієни праці та виробничої санітарії при експлуатації даного блоку живлення та визначення основних заходів з пожежної безпеки та профілактики у робочих приміщеннях.

Оскільки даний пристрій відповідно до технічних вимог виконано в радіогерметичному корпусі, то питання захисту користувачів від електромагнітного впливу не розглядається у даному розділі.

Основну увагу приділено питанням електробезпеки та питанням, які пов'язані із створенням безпечних та комфортних умов праці користувачів лабораторного стенду для експлуатації в складі якого призначений даний блок живлення.

5.1 Визначення основних потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Основними потенційно небезпечними та шкідливими факторами, які мають місце при роботі з дослідно-вимірвальним електрообладнанням, можна віднести:

- можливість ураження електричним струмом;
- недостатній рівень освітленості або підвищена яскравості освітленості робочої зони;
- значне розумове навантаження;
- наявність електромагнітного випромінювання;
- невідповідність параметрів мікроклімату санітарним нормам;
- підвищений рівень виробничого шуму тощо.

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						42
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

5.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Електробезпека.

Причинами ураження електричним струмом можуть бути:

- дотик до струмоведучих частин;
- дотик до відключених струмоведучих частин або до конденсаторів, на яких залишився залишковий заряд в разі помилкового включення установки;
- дотик до неструмоведучих металевих частин при аварійному режимі роботи електроустаткування.

Прилади й устаткування живляться від 3-х фазної електричної мережі напругою 220В и частотою 50Гц, система заземлення TN-C.

Згідно з ДСТУ ІЕС 61140:2015 електрообладнання, яке встановлене у робочому приміщенні має 0Іклас електрозахисту - вимірювальні пристрої.

Виробниче приміщення згідно ПУЕ-2017 та ДБН В.2.5-27 – 2006відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналу електричним струмом, оскільки:

- відносна вологість повітря не перевищує 75%;
- температура не вище 35°С;
- відсутні хімічно агресивні середовища;
- відсутня можливість одночасного дотику до металевих елементів електроустаткування та до металоконструкцій будинку, які з'єднані із землею;
- має місце надійне заземлення та занулення.

Проведемо перевірочний розрахунок вимикаючої здатності автоматів захисту й вирівнювання режиму роботи елемента заземлення корпусів електроустаткування. Струм короткого замикання визначаються по формулі:

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						43
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_{н} + \frac{Z_{T}}{3}} = \frac{220}{1,8 + 1,4 + 0,2} = 64,7 \text{ A}$$

де $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ – фазова напруга;

$R_{\phi} = 1,8 \text{ Ом}$ – опір фазового проводу;

$R_{н} = 1,4 \text{ Ом}$ – опір нульового проводу;

$\frac{Z_{T}}{3} = 0,2 \text{ Ом}$ – еквівалентний опір трансформатора.

Для правильної роботи автоматів максимального струмового захисту повинна виконуватись нерівність:

$$I_{кз} \geq 1,4 \cdot I_{от}$$

де $I_{от}$ – номінальний струм спрацювання автомату захисту. Звідси вивчаємо, що $I_{от}$ повинен бути не більше, ніж $67,4 \text{ А}$. Автомати, що використовуються у робочих приміщеннях мають номінальний струм спрацювання 20 А – 25 А , що відповідає вимогам.

Розрахуємо напругу дотику до зануленого встаткування:

$$U_{н} = I_{кз} \cdot R_{н} = 64,7 \cdot 1,4 = 92,6 \text{ В}$$

Розрахована величина напруги дотику $U_{н}$ при часі спрацювання автоматів струмового захисту $t < 0,5 \text{ с}$ не перевищує припустимого значення $U_{доп} = 100 \text{ В}$, що задовольняє вимогам ПУЕ-2017.

Додаткових засобів по забезпеченню електробезпечності не потрібно.

5.2.2 Вимоги до освітленості робочих місць при роботі з лабораторно-вимірювальними приладами.

Одним із елементів, що впливають на комфортні умови праці працюючих, є виробниче освітлення. До систем виробничого висвітлення, що обслуговує робочі місця з лабораторно-вимірювальними приладами, пред'являються наступні основні вимоги:

- відповідність рівня освітленості робочих місць характеру виконуваної зорової роботи;

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		44

- рівномірний розподіл яскравості на робочих поверхнях й у навколишньому просторі;
- відсутність різких тіней, прямих і відбитих відблисків;
- сталість освітленості в часі й просторі;
- оптимальна спрямованість випромінюваного освітлювальними приладами світлового потоку;
- довговічність, економічність, електро- і пожегобезпечність, естетичність, зручність і простота експлуатації.

Для висвітлення таких робочих місць, застосовується природне, штучне освітлення.

Згідно вимогам щодо безпеки захисту працівників під час роботи з екранними пристроями та ДСанПіН 3.3.2-007-98, освітлення у виробничих приміщеннях з лабораторно-вимірювальними приладами повинна бути сумісне. Природне освітлення повинне здійснюватися через отвори, орієнтовані переважно на північ і північний схід. Згідно ДБНВ 2.5-28-2006 «Природне й штучне освітлення. Норми проектування» коефіцієнт природної освітленості (КПО) виробничих приміщень із моніторами комп'ютерів повинен бути не нижче 1,5 %.

Розташування будинків і планування виробничих приміщень повинне виключати надмірне надходження тепла від сонячної радіації через вікна і пряме попадання сонячних променів на пристрої ПК і носії інформації.

Штучне освітлення в приміщеннях з моніторами комп'ютерів необхідно здійснювати по загальній системі рівномірного освітлення. Світильники загального освітлення необхідно розташувати у виді ліній (суцільних або переривчастих) збоку від робочих місць паралельно лінії зору користувачів.

Допускається використання світильників таких класів світлорозподілу:

- прямого світла (П);
- переважно прямого світла (Н);
- переважно відбитого світла (В).

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		45

Як джерела штучного освітлення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ із розсіювачами й екранними сітками.

Коефіцієнт пульсації світлового потоку джерел світла не повинен перевищувати 5 %. Для зменшення коефіцієнта пульсації світлового потоку необхідно використати джерела світла з високочастотними пускорегулюючими апаратами. Яскравість світильників загального висвітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° щодо вертикалі в поздовжній і поперечній площинах повинна становити не більше 200 кд/м², а захисний кут світильників повинен становити не більше 40°.

Для обмеження прямої близькості від джерел природного й штучного освітлення необхідно, щоб яскравість їхніх поверхонь, які перебувають у полі зору користувачів, не перевищувала 100 кд/м², яскравість відблисків на екрані монітору комп'ютера 40 кд/м², а яскравість стелі 200 кд/м².

У поле зору користувача монітора комп'ютера повинне бути забезпечене відповідний розподіл яскравості. Відношення значень яскравості робочих поверхонь до загальної яскравості у приміщенні не повинне перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і навколишніх предметів (стіни, устаткування, меблі) – 5:1.

У виробничих приміщеннях з моніторами комп'ютерів показник засліпленості повинен становити не більше 20 одиниць, а показник дискомфорту – не більше 40 одиниць.

Для забезпечення нормованих показників освітленості в приміщеннях з лабораторно-вимірювальними приладами необхідно не менш 2 разів у рік очищати від пилу й бруду скла вікон і світильники і вчасно замінювати несправні світильники.

5.3 Пожежна безпека та профілактика.

Причини виникнення пожежі в робочому приміщенні, де використовуються лабораторно-вимірювальними приладами, можуть носити електричний і неелектричний характер.

					РК51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		46

До причин електричного характеру ставляться: короткі замикання, перевантаження, іскріння від порушення ізоляції, електрична дуга, що виникає між контактами комутаційних апаратів, незадовільні контакти в місцях з'єднання проводів (скрутки) і їхнє сильне нагрівання внаслідок великого перехідного опору при протіканні електричного струму.

Причини неелектричного характеру: порушення режимних вимог, халатне й необережне поводження з вогнем, порушення правил пожежної безпеки.

Приміщення відповідно до ДБН В.2.5-56-2014 обладнане чотирма пожежними датчиками типу ДПС-038 (площа, що перебуває під захистом одного датчика становить до 25 м², відстань між датчиками становить 4м). Відповідно до ДСТУ 3675-98 і ISO 3941-77 як первинний засіб гасіння пожежі використовується чотири вогнегасника ОУ-3 – вуглекислий (клас пожежі “Е”). Вибір речовини вогнегасника обґрунтовується тим, що у вогні можуть виявитися електричні пристрої, що перебувають під напругою. Кількість, розміщення і зміст первинних засобів гасіння пожежі повністю задовольняє всім вимогам ДСТУ 3675-98 й ISO 3941-77. Крім цього, у коридорі є 2 пожежних крани і ящик з піском. Витримано всі умови НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Витримано всі умови ДБН В.1.1-7-2016 по вогнестійкості будинків, часу евакуації у випадку пожежі, ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень. Двері приміщень відкриваються назовні, ширині дверей 1.3 м при нормі не менш 0.8 м, висота проходу 2.2 м при нормі не менш 2м, ширина коридору 3м при нормі не менш 2м.

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
						47
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		

ВИСНОВКИ

1. Дослідний характер експлуатації та високі вимоги щодо рівня шумів у пасивних НВЧ-радіометричних системах визначають ряд жорстких вимоги до компонентів системи в тому числі до блока живлення. Огляд аналогів показав, що блоки живлення загального призначення, що відповідають усім вимогам мають зависоку вартість. Тому розробка спеціалізованого блоку живлення для радіометричних приймачів є доцільною.

2. Розроблений блок живлення має такі вихідні параметри:

- Відхилення вихідних напруг від номінальних значень, максимальне: 40 мВ.
- Вихідний струм на канал, максимальний: 500 мА.
- Дрейф вихідних напруг, максимальний: 5 мВ/год.
- Рівень змінної складової вихідної напруги, максимальний: 3мВ.

3. Блок живлення задовольняє всім вимогам технічного завдання. За результатами експлуатації було прийняте рішення про подальшу розробку блоків живлення для радіометричних систем ДНДЦ «Айсберг» на основі конструкції створеного БЖ.

					РК51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		48

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Павлюченко А.В. Дистанционная идентификация жидкости в закрытой диэлектрической емкости в миллиметровом диапазоне длин волн. 1. Принципиальная возможность. / А.В. Павлюченко, П.П. Лошицкий, А.И. Шеленговский, В. В. Бабенко // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. — 2017 — №10
2. R&S®HMP4000 Power supply series [Электронный ресурс] // Rohde & Schwarz — Режим доступа: https://www.rohde-schwarz.com/ua/product/hmp4000-productstartpage_63493-47360.html
3. DP800 Series | High Performance Linear DC Power Supplies [Электронный ресурс] // Rigol — Режим доступа: <https://www.rigolna.com/products/dc-power-loads/dp800/>
4. Siglent SPD3303X Программируемый прецизионный источник питания, 3-х канальный; 0-32В; 0-3,2А [Электронный ресурс] // Gtest — Режим доступа: <https://gtest.com.ua/spd3303x.html>
5. Импульсный регулируемый блок питания BVP Lab mini 15V15A, 1 канал: 15В/15А [Электронный ресурс] // Gtest — Режим доступа: <https://gtest.com.ua/bvp-lab-mini-15v15a.html>
6. Линейный, регулируемый блок питания UTP3303, 3 канала - 2х(0-32В/3А), 1х(5В/3А) [Электронный ресурс] // Gtest — Режим доступа: <https://gtest.com.ua/utp3303.html>
7. Машины, приборы и другие технические изделия. Термін та видання: ГОСТ 15150-69. — [Введ. в дію 01.01.1971]. — М. : Государственный стандарт союза ССР, 1969. — 81с.
8. Аппаратура сухопутной подвижной радиосвязи.. Термін та видання: ГОСТ 16019-2001. — [Введ. в дію 01.01.2002]. — М. : Межгосударственный стандарт, 2001. — 11с.

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		49

9. Диодные мосты (Тип: однофазный, Максимальный средний ток диода($I_f(av)$), А) [Электронный ресурс] // IMRAD — Режим доступа: <https://imrad.com.ua/ru/mostovoj-vypryamitel/maksimalny-sredny-tok-dioda-i-sub-f-av---sub----a=1.14-2;tip=odnofazny;#page=1>
10. Precision, Low Noise, CMOS, Rail-to-Rail, Input/Output Operational Amplifiers AD8605/AD8606/AD8608 [Электронный ресурс] // Analog Devices — Режим доступа: <https://www.analog.com/ru/products/ad8605.html>
11. Precision Micropower Single-Supply Operational Amplifiers OP777/OP727/OP747 [Электронный ресурс] // Analog Devices — Режим доступа: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/OP777_727_747.pdf
12. LMC7101, LMC7101Q-Q1 Tiny Low-Power Operational Amplifier With Rail-to-Rail Input and Output [Электронный ресурс] // Texas Instruments — Режим доступа: www.ti.com/lit/gpn/LMC7101Q-Q1
13. KCSC02-105 [Электронный ресурс] // Kingbright — Режим доступа: <http://www.kingbright.com/attachments/file/psearch/000/00/00/KCSC02-105%28Ver.9A%29.pdf>
14. MAX7219/MAX7221 Serially Interfaced, 8-Digit LED Display Drivers [Электронный ресурс] // Maxim Integrated — Режим доступа: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX7219-MAX7221.pdf>
15. High Accuracy, Ultralow IQ, 200 mA, SOT-23, anyCAP Low Dropout Regulator Data Sheet ADP3330 [Электронный ресурс] // Analog Devices — Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADP3330.pdf>
16. High Accuracy, Ultralow IQ, 200 mA, SOT-23, anyCAP Low Dropout Regulator Data Sheet ADP3331 [Электронный ресурс] // Analog Devices — Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADP3331.pdf>

					PK51.436714.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		50

- 17.LM317 3-Terminal Adjustable Regulator datasheet (Rev. X) [Електронний ресурс] // Texas Instruments — Режим доступу: www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf
- 18.TPS732xx Capacitor-Free, NMOS, 250-mA Low-Dropout Regulator With Reverse Current Protection // Texas Instruments — Режим доступу: <https://www.ti.com/lit/gpn/tps732>
- 19.Фізико-теоретичні основи конструювання електронних апаратів: Методичні рекомендації до виконання розрахункових та контрольних робіт для студентів напряму підготовки 6.050902 «Радіоелектронні апарати» / Уклад.: С. М. Перегудов, М. В. Зінченко. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – Електронне видання комбінованого використання на CD-ROM.

ДЮОЗДОВ Д.М. РК-51 2019

					<i>PK51.436714.001 ПЗ</i>	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		51

ДОДАТОК

До додатків виносяться:

Додаток А Технічне завдання;

Додаток Б Конструкторська документація;

Додаток В Лістинг розрахунку ширини друкованих провідників в пакеті MathCAD;

Додаток Г Лістинг програми для мікроконтролера модуля індикації.

ДРОЗДОВ Д.М. РК-51, 2019

					РК51.436714.001 ПЗ	Лис
						52
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Да-		