МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему: *Дослідження та розробка мікроелектронної системи безперебійного живлення*

Виконав: студент II курсу, групи 8.1763
спеціальності *176 «Мікро- та наносистемна техніка*
(код і назва спеціальності)
освітньої програми *Мікроелектронні інформаційні системи*
(код і назва освітньої програми)
Григор'єв Михайло Валерійович
(ініціали та прізвище)

Керівник професор кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.т.н.
Ніконова Зоя Андріївна
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *генеральний директор ТОВ «Омега, ЛТД»*

Шевченко Тамара Василівна
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра *електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення*
Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*
Спеціальність *176 «Мікро- та наносистемна техніка»*
(код і назва)
Освітня програма *Мікроелектронні інформаційні системи*
(код і назва)
Спеціалізація

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
"____" _____ *року*

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Григор'єву Михайлу Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Дослідження та розробка мікроелектронної системи безперебійного живлення

керівник роботи Ніконова Зоя Андріївна, к.т.н., проф. кафедри ЕІСПЗ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "30" вересня 2024 року № 1483-с

2 Строк подання студентом роботи: 6.12.2024

3 Вихідні дані до роботи: Номінальна вхідна напруга – 230 В, вихідний струм – 10 А, максимальна потужність приладу – 150 Вт, тип акумуляторної батареї – LiFePO4, час автономної роботи – 6 годин.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)1 Особливості джерел безперебійного живлення та аналіз властивостей мережевого обладнання. 2 Дослідження та розробка моделі мікроелектронної системи безперебійного живлення, 3 Техніко-економічне обґрунтування, 4 Охорона праці та техногенна безпека.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Ніконова Зоя Андріївна, к.т.н., проф	30.09.2023	
2	Ніконова Зоя Андріївна, к.т.н., проф	01.04.2024	
3	Ніконова Зоя Андріївна, к.т.н., проф	01.09.2024	
4	Ніконова Зоя Андріївна, к.т.н., проф	01.10.2024	

7 Дата видачі завдання 30.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення інформаційних джерел	01.11.23 – 01.04.24	
2	Збір інформації, аналіз ринку ДБЖ	01.12.23 – 01.04.24	
3	Робота над розділом 1	01.02.24 – 01.04.24	
4	Робота над розділом 2	01.04.24 – 31.08.24	
5	Робота над розділом 3	01.09.24 – 01.10.24	
6	Робота над розділом 4	01.10.24 – 01.11.24	
7	Розробка та оформлення графічного матеріалу	01.11.24 – 15.11.24	
8	Оформлення пояснювальної записки	15.11.24 – 25.11.24	
9	Перевірка роботи на доброчесність	25.11.24 – 01.12.24	
10	Підготовка до захисту	01.12.24 – 10.12.24	
11	Захист кваліфікаційної роботи	11.12.2024	

Студент _____ Григор'єв М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)_____ Ніконова З.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер_____ Верьовкін Л.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить 115 сторінок, 62 рисунки, 25 таблиць, 26 джерел літератури.

Об’єкт дослідження – джерела живлення.

Ціль роботи – дослідження та розробка мікроелектронної системи безперебійного живлення постійного струму для мережевого обладнання.

Задачі роботи – провести аналіз існуючих систем безперебійного живлення для мережевого обладнання, розробити структурну та електричну принципову схеми системи безперебійного живлення, визначити технічні характеристики, розробити друковану плату у програмному середовищі Altium, розробити 3D модель конструкцію у програмному середовищі Solid Works, провести дослідження на працездатність плати мікроелектронної системи безперебійного живлення та дослідження ефективності роботи акумуляторної батареї.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмного забезпечення Solid Works та Altium, зняття вихідних сигналів, дослідження роботи акумулятора

Короткий виклад результатів досліджень – розроблена система безперебійного живлення для мережевого обладнання, яка дозволить протягом 6 годин забезпечувати живлення роутера, модема, мережевого концентратора та оптичного терміналу.

Прогнозні пропозиції – рекомендується для використання у побутових умовах або для комерційної експлуатації.

РЕЗЕРВНЕ ЖИВЛЕННЯ, БЕЗПЕРЕБІЙНЕ ЖИВЛЕННЯ, UPS, ДБЖ, МЕРЕЖЕВИЙ КОНЦЕНТРАТОР, ОПТИЧНИЙ ТЕРМІНАЛ, WI-FI РОУТЕР МІКРОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА

Дипломну роботу виконано на кафедрі ЕІСПЗ з 25.05.2024 по 01.12.2024.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ОСОБЛИВОСТІ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ 8
1.1 Безперебійні джерела живлення 8
1.2 Аналіз сучасної продукції джерел безперебійного живлення 31
1.3 Інтернет та мережеве обладнання 39
1.4 Технології підключення інтернет-з'єднання 40
1.5 Мережеві пристрої та їх функції 46
1.6 Супутникові системи 51
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МОДЕЛІ МІКРОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ 55
2.1 Розробка структурної схеми системи безперебійного живлення .. 55
2.2 Розробка електричної принципової схеми системи безперебійного живлення 56
2.2.1 Завадоподавляючий фільтр 56
2.2.2 Випрямляч 58
2.2.3 Напівмостовий інвертор 59
2.2.4 Схема керування силовими ключами 62
2.2.5 Допоміжне живлення 65
2.2.6 Схема керування вентилятором і захисту 66
2.2.7 Схема контролю напруги на акумуляторі 67
2.3 Розрахунок мінімальної ємності акумуляторної батареї для системи безперебійного живлення 72
2.4 Розробка друкованої плати системи безперебійного живлення 75
2.5 Дослідження на працездатність плати СБЖ 82
2.6 Дослідження ефективності роботи акумуляторної батареї 85

2.7 Розробка 3D моделі мікроелектронної системи безперебійного живлення 88
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ 91
3.1 Розрахунок витрат на елементи плати системи безперебійного живлення 91
3.2 Розрахунок готової системи безперебійного живлення..... 97
3.3 Порівняльний аналіз джерел безперебійного живлення..... 97
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА..... 102
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів..... 102
4.2 Заходи з поліпшення умов праці 105
4.3 Пожежна безпека..... 107
4.4 Техногенна безпека..... 107
4.5 Розрахунок захисного заземлення..... 109
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ..... 112
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 113

ВСТУП

Електроенергія грає надзвичайно важливу роль у сучасному житті людини. Вона є невід’ємною складовою частиною нашого повсякденного існування, забезпечуючи зручність, комфорт і безпеку.

Завдяки електриці у темний час доби освітлюються будинки та вулиці населених пунктів. Удома кожна людина постійно використовує побутові електроприлади, які допомагають їй у повсякденному житті та створюють комфортне проживання. До них можна віднести: електроплиту, холодильник, мікрохвильову піч, кондиціонер, праска, телевізор, комп'ютер, смартфон і багато іншого.

Великі будівлі, торгові центри та офісні комплекси для переміщення людей використовують ліфти та ескалатори. Також усі ці будівлі та приватні житла часто оснащені системами безпеки, такими як відеоспостереження, сигналізація та контроль доступу. Вони працюють від електроенергії і забезпечують безпеку та захист від несанкціонованого доступу.

Транспортні засоби теж залежать від електроенергії. Підземне метро, електробуси, трамваї та тролейбуси є основними видами громадського транспорту для багатьох країн. Крім того, за останні кілька років багато провідних автомобільних компаній успішно розробили електромобілі або електричні велосипеди для екологічно чистого транспорту.

Промислові галузі, які використовують сучасні машини для виконання операцій, залежні від електроенергії. Такі машини використовуються промисловими підприємствами для підвищення їх продуктивності при збереженні низької вартості продукції. Ця важка техніка може працювати тільки від електрики, а в іншому випадку її важко запустити для роботи.

Електрика не обмежується лише землею, вона також дійшла до космосу. Супутники, які відправляються в космос, повинні перебувати там якомога довше.

Для його роботи потрібна електроенергія, оскільки транспортування інших видів палива в космос небезпечно і дуже дорого.

Усім відома світова інформаційна мережа Інтернет без електрики просто існувати не буде, як напевно і будь-який інший сучасний вид зв'язку.

У сучасних реаліях інтернет став не лише глобальним засобом комунікацій, але й ефективним інструментом майже в усіх сферах діяльності: в освіті, промисловості, медицині, торгівлі, транспортній та військовій галузях, в засобах масової інформації. Під час пандемії коронавірусу залежність сучасної людини від інтернету збільшилася ще більше, так як багато людей почали працювати та навчатись дистанційно.

У зв’язку з початком повномасштабного вторгнення РФ в Україну та постійними обстрілами нашої енергетичної інфраструктури, почалися перебої з електропостачанням, які призвели до аварійних та віялових відключень. Відсутність електропостачання та надійного інтернет-з’єднання паралізують роботу не тільки підприємств та бізнесу, а й призводить до неспроможності стрімко боронити нашу країну. У разі відсутності електромережі , велике навантаження бере на себе мобільний зв’язок, але у такому випадку мобільні вежі не можуть забезпечити надійне використання мобільним інтернетом.

Актуальним постає питання створення пристрою, який зможе забезпечити автономну та безперебійну роботу роутерів, модемів, мережевих терміналів та інших пристроїв. Таким може стати мікроелектронна система безперебійного живлення (СБЖ), яка здатна захистити прилади від можливих пошкоджень при перебоях в електропостачанні та забезпечити безперервне функціонування обладнання.

1 ОСОБЛИВОСТІ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Безперебійні джерела живлення

В ідеальному випадку форма напруги живлення повинна бути синусоїдальною, діюче значення напруги складає 220 В, а частота 50 Гц. В таблиці 1.1 вказані вимоги до якості електричної енергії за даними офіційного сайту Національної комісії, яка здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг згідно до ГОСТ 13109-97. [9]

Таблиця 1.1 — Вимоги до якості електричної енергії за ГОСТ 13109-97

Найменування показника	Допустиме значення показника	
	нормальне	граничне
Відхилення напруги, %	±5	±10
Коефіцієнт спотворення синусоїдальної кривої напруги, %, не більше	8	12
Доза флікера, відносних одиниць: - короткочасна - тривала		 1,38 1,00
Коефіцієнт гармонійної складової напруги непарного (парного) порядку, %, не більше	5 (2)	7,5 (3)
Не симетрія напруги, %	2	4
Тривалість провалу напруги, с		30
Відхилення частоти, Гц	±0,2	±0,4

Зазначені в таблиці 1.1 параметри якості електроенергії гарантують надійну роботу обладнання. Але насправді дуже часто форма вихідної напруги і його параметри не відповідають цим значенням.

Аналіз параметрів якості електроживлення показав, що вони мають наступні недоліки:

- Зникнення напруги (Power Failure) - відсутність напруги в електромережі протягом більше двох періодів (40 мс). Наслідками зникнення напруги можуть бути: втрата, пошкодження даних і поточної інформації в електронних пристроях, порушення технологічного процесу, вихід з ладу апаратури.

- Провал напруги (Power Sag, Voltage Dip) - раптове зниження напруги в електричній мережі нижче величини 90% від номінального значення, за яким слідує відновлення напруги до початкового або близького до нього рівня за проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд.

- Перенапруга (Power Surge, Over Voltage) - раптове підвищення напруги в електричній мережі вище величини 110% від номінального значення, за яким слідує відновлення напруги до початкового або близького до нього рівня за проміжок часу від десяти мілісекунд до декількох десятків секунд.

- Відхилення напруги (Brownout, Voltage Deviation) - відхилення (зниження / підвищення) напруги в мережі від допустимих стандартом значень на тривалий час (більше десятків секунд).

- Електромагнітна перешкода (Electrical Line Noise) - виникнення у мережі високочастотних імпульсів, що накладаються на синусоїдальну форму напруги.

- Імпульс напруги (High Voltage Spikes, Voltage Impulse) - це короткочасне перевищення напруги вище 110% від номінального значення тривалістю 10-50 мкс (з часом фронту імпульсу 1-10 мкс). При цьому, амплітуда імпульсів перенапруги може досягати величин 6000 В.

- Відхилення частоти (Frequency Variations, Frequency Deviation) - відхилення частоти на величину більше 0,2 Гц. від номінального значення (50 Гц.).

- Несинусоїдальність напруги (Harmonic Distortion)

Як відомо, стандартні мережі електропостачання не можуть забезпечити

безперебійне живлення і тому застосовуються заходи, одним з яких є застосування джерел безперебійного живлення. Однак специфіка його роботи полягає в тому, що даний пристрій створює форму змінної вихідної напруги. У цьому випадку можливе відхилення від синусоїдальної форми. Але для деяких користувачів електроенергії велике значення має дотримання форми на-пруги близької до синусоїди, яку можна забезпечити обмеженням вищих гармонійних складових у напруги живлення. В таблиці 1.2 приведені вимоги до середньоквадратичних значень напруги кожної гармоніки, усереднених на 10-хвилинному проміжку, які мають бути меншими або рівними наступним значенням [1].

Таблиця 1.2 - Вимоги до середньоквадратичних значень напруги гармонік

Непарні гармоніки				Парні гармоніки	
не кратні 3		кратні 3			
порядок	відносна амплітуда	порядок	відносна амплітуда	порядок	відносна амплітуда
5	6,0%	3	5,0%	2	2,0%
7	5,0%	9	1,5%	4	1,0%
11	3,5%	15	1,5%	6…24	0,5%
13	3,0%	21	0,5%		
17	2,0%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Джерела безперебійного живлення поділяються на 3 категорії, які вказано на рисунку 1.1

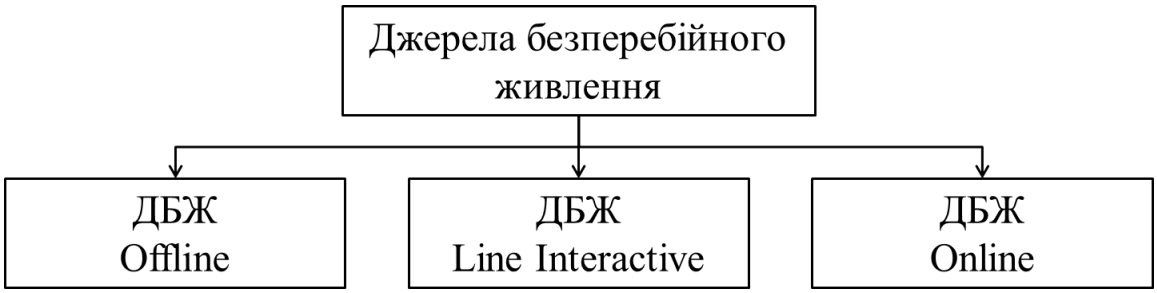


Рисунок 1.1 — Класифікація джерел безперебійного живлення

Джерело безперебійного живлення (ДБЖ) — це пристрої, які забезпечують стабільну роботу електроприладів при раптовому або плановому відключенні електроенергії, що, на жаль, сьогодні в Україні спостерігається щодня. Залежно від технічних характеристик і можливостей, такі пристрої забезпечують тривалу або короткострокову автономну роботу техніки.

До джерел безперебійного живлення слід віднести наступні:

- ДБЖ Offline (резервні джерела живлення)

Робота джерела безперебійного живлення Offline типу має досить нескладний алгоритм і структуру. Основними елементами даного виду джерела є: автоматичний перемикач, автономне джерело енергопостачання (батарея) і виходи для зовнішнього живлення. У звичайному режимі заряд батареї підтримується зарядкою через зовнішні джерела.

У звичайних випадках перемикач дозволяє використовувати електроенергію з зовнішніх джерел, але навіть при короткочасному стрибку або зникненні живлення він проводить підключення автономного джерела енергії (батарея). При цьому на весь процес перемикання йде приблизно 4 мілісекунди, що ніяк не позначається на працездатності підключеного обладнання. Електричний струм виходить з батареї в формі постійного струму, тому перетворення у змінний струм напругою 220 В використовуються спеціальні інвертори. Вони перетворюють постійний струм на змінний, який використовується для живлення електрообладнання.

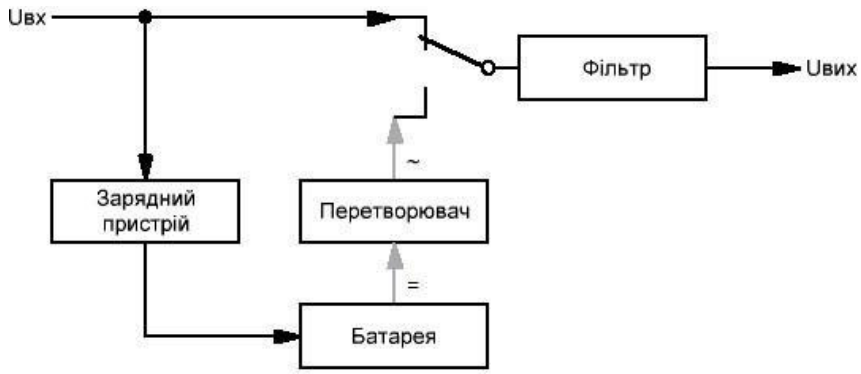


Рисунок 1.2 — Схема роботи ДБЖ Offline у нормальному режимі

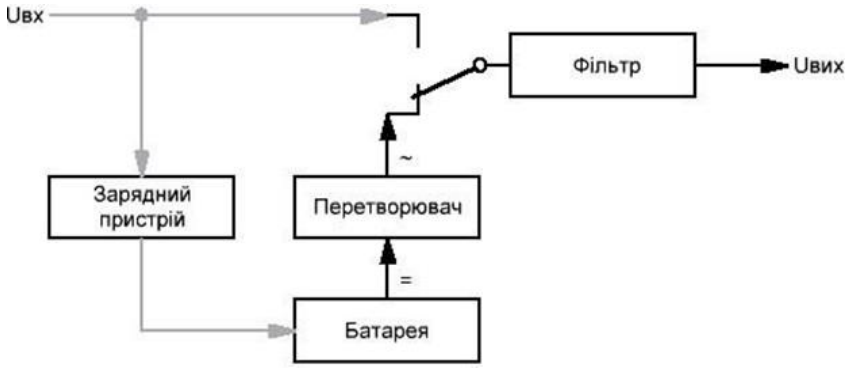


Рисунок 1.3 — Схема роботи ДБЖ Offline в аварійному режимі

Батарея, що входить в структуру даного типу ДБЖ здатна забезпечити потреби в електроенергії протягом досить невеликого відрізка часу (до 1 години в залежності від потужності обладнання). Тому даний тип ДБЖ підходить скоріше для короткочасної страховки в разі виникнення проблем з електропостачанням з центральної мережі.

На рис. 1.4 наведені осцилограми перемикання ДБЖ з режиму роботи від мережі на режим роботи від батареї та назад. Осцилограм мережа-батарея (а-г) декілька, оскільки перемикання відбувається в випадковий момент часу (коли пропадає напруга в мережі), а вид осцилограми залежить від фази на- пруги в момент переключення. Осцилограма батарея-мережа (д) показує перемикання при одній фазі напруги. На рисунку видно, що напруги до та після перемикання синфазні: тривалості напівперіодів після перемикання рівні тривалості

напівперіодів після перемикання, а напівперіод, під час якого відбулося саме перемикання, має таку ж тривалість.

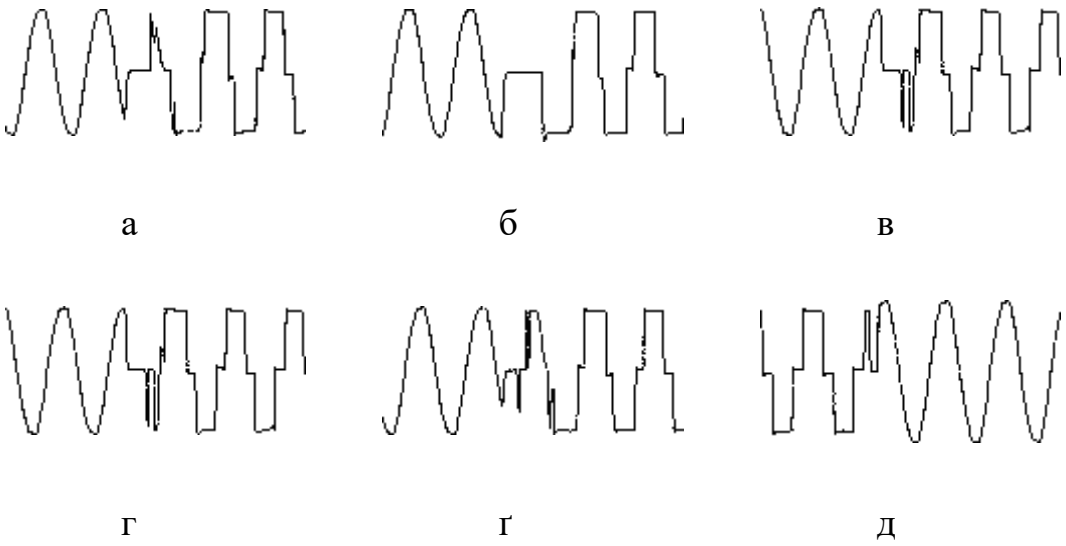


Рисунок 1.4 – Осцилограми перемикання ДБЖ Offline з режиму роботи від мережі на режим роботи від батареї (а-ґ) та назад (д)

Серед переваг ДБЖ Offline – високий ККД, наслідком якого є низьке тепловиділення всередині корпусу. Через низьке тепловиділення ці ДБЖ не вимагають примусового охолодження (за допомогою вентиляторів) а отже, менше шумлять. При режимі роботи від мережі ДБЖ Offline практично без- шумні. Шум від роботи інвертора присутній тільки під час роботи ДБЖ від батареї (тобто всього кілька хвилин). Низький рівень шуму дозволяє встановлювати ДБЖ з перемиканням безпосередньо поруч з комп’ютером.

Offline ДБЖ є одними з найпростіших, дешевих і портативних джерел. Але впоратися вони зможуть тільки з короткочасними перебоями в роботі електромережі.

Сфера застосування ДБЖ Offline – захист окремих персональних комп’ютерів, робочих станцій невеликих локальних мереж, дешевих периферійних пристроїв, що працюють в умовах звичайного офісу.

- ДБЖ Line Interactive (лінійно-інтерактивні)

Основою даного типу джерел безперебійного живлення є спеціальна лінійно-інтерактивна технологія. Відмінною особливістю, яка дозволяє дома- гатися більшої ефективності в порівнянні з Offline джерелами, є присутність трансформатора, який забезпечує стабільну вихідну напругу навіть при досить великих коливаннях величини вхідної напруги. Тобто цей тип ДБЖ дозволяє справлятися з набагато сильнішими перепадами напруги в мережі, ніж це можуть зробити звичайні Offline джерела.

Інтерактивні джерела здатні захистити електрообладнання від короткочасного зникнення або стрибка, перепаду або осідання напруги. Дані пристрої не здатні контролювати форму напруги і ефективно фільтрувати завади і викиди. Таким чином, всі завади, які можуть бути створені навантаженнями, просто вийдуть назад в електромережу.

Лінійно-інтерактивні джерела безперебійного живлення відмінно справляються з підтримкою електрообладнання, для якого важлива величина вхідної напруги, але при цьому не важливі спектральні параметри. У зв'язку з цим такі джерела знайшли своє широке поширення в захисті мережевого об- ладнання (маршрутизатори, комутатори й інші пристрої).

- ДБЖ Online (з подвійним перетворенням)

Пристрій і робочий процес даного виду істотно відрізняється від двох попередніх варіантів. Online системи використовують подвійне перетворення напруги. Це дозволяє вхідну змінну напругу перетворювати в постійний струм. Потім цим струмом живиться батарея, після чого інвертор знову змінює струм на змінний і виводить його для живлення пристроїв. Відмінною особливістю є те, що батарея постійно включена в мережу, а це дозволяє миттєво (без будь-якої затримки) нівелювати будь-які сплески напруги.

Постійний струм позбавлений недоліків, які можуть бути пов'язані з частотою, фазою або шумом і які притаманні змінним струмам. Струм над- ходить з жорстко лімітованими параметрами, а потім перетворюється в струм з жорстко

заданими рамками форми, частоти і фази.

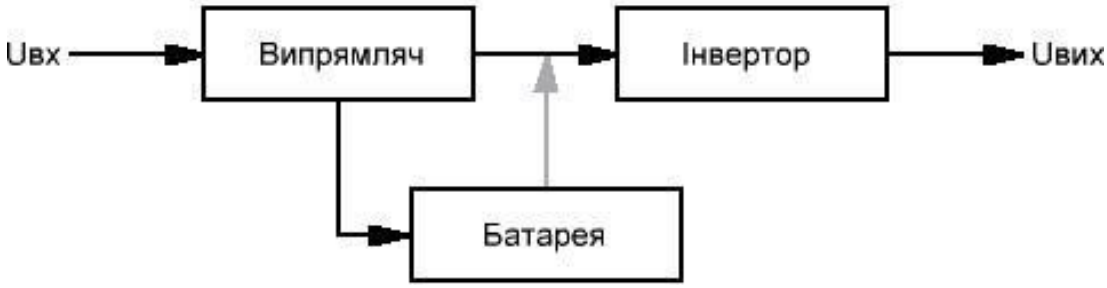


Рисунок 1.5 — Схема роботи ДБЖ Online у нормальному режимі

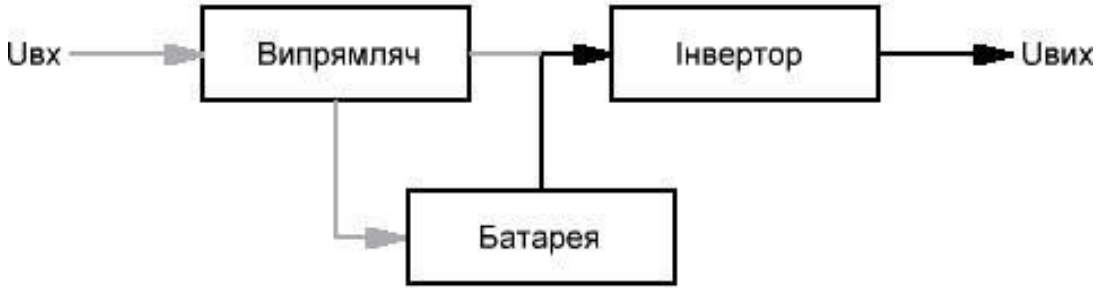


Рисунок 1.6 — Схема роботи ДБЖ Online в аварійному режимі

Online ДБЖ досить дорогі, тому вони використовуються тільки для забезпечення безпечної роботи техніки, яка дуже вимоглива. Прикладами такого обладнання можуть бути сучасні надпродуктивні сервера. Порушення в їх роботі часом можуть обернутися збитками в десятки тисяч доларів або загрозою збереження важливих комерційних даних. Тому їх висока вартість сповна виправдовує себе, а використання онлайн-джерела безперебійного живлення дозволить максимально убезпечити великі бізнес-проєкти від непередбачених збоїв.

До складових частин джерел безперервного живлення відносяться:

- Акумулятори

У безперебійних джерелах живлення використовуються акумуляторні батареї декількох типів. Вони відрізняються конструкцією, деякими технічними параметрами і вартістю. Найчастіше в джерелах безперервного живлення працюють такі типи хімічних джерел струму:

а) Акумулятори WET типу (свинцево-кислотні)

Такі акумулятори потрібні завдяки універсальним параметрам і порівняно низькій вартості. Вони представлені у величезній кількості різновидів, що використовуються в обслуговуванні систем автономного електропостачання, резервного живлення, безпеки, сонячних електростанцій, автомобілів, промислової та побутової техніки тощо.

Робота свинцево-кислотних АКБ здійснюється за рахунок взаємодії металів та рідини. Це оборотна реакція, що виникає в результаті замикання контактів негативних та позитивних пластин. Останні виконуються зі свинцю, як електроліт виступає розчин сірчаної кислоти. Саме ці елементи взаємодіють між собою в процесі заряджання та розряджання батареї.

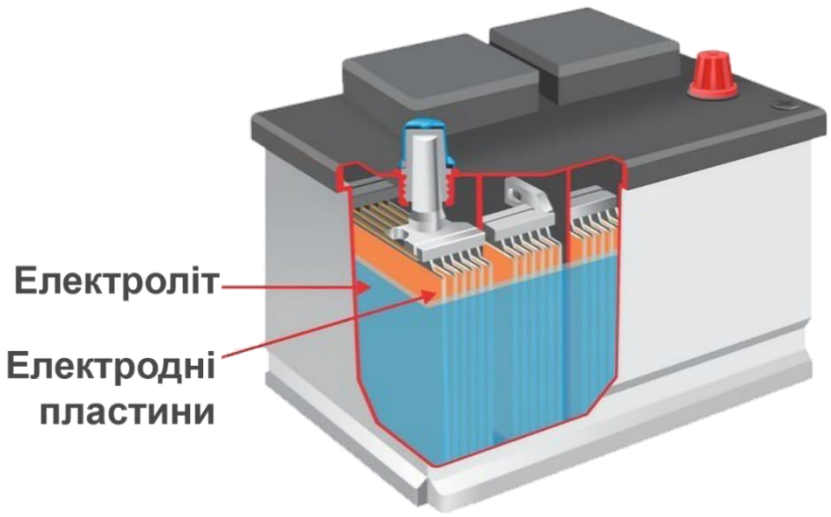


Рисунок 1.7 — Будова свинцево-кислотного акумулятора

Робота свинцево-кислотних АКБ здійснюється за рахунок взаємодії металів та рідини. Це оборотна реакція, що виникає в результаті замикання контактів

негативних та позитивних пластин. Останні виконуються зі свинцю, як електроліт виступає розчин сірчаної кислоти. Саме ці елементи взаємодіють між собою в процесі заряджання та розряджання батареї.

Грати катода та анода занурюються в електроліт. Для приготування розчину кислоти використовується дистильована вода, тому що в її складі немає агресивних речовин, здатних знизити працездатність пристрою.

Якщо до двох пластин підключається лампочка, ланцюг замикається та виникає струм, усередині конструкції відбувається хімічна реакція. На пластинах утворюється корозія, на свинці утворюється сульфат свинцю. При розряді АКБ на пластинах утворюється наліт. У повністю розрядженій батареї елементи покриваються сульфатом свинцю і мають майже однаковий заряд по відношенню до рідини, тобто низька напруга.

Коли до клем акумулятора підключається зарядний пристрій, струм проходить в електроліті у зворотному напрямку. Це спричиняє хімічну реакцію. Молекули кислоти розщеплюються, у результаті сульфат свинцю видаляється з пластин. Завдяки цьому вони знову одержують різний заряд, тобто АКБ заряджається на 100%. На практиці пластини не очищаються повністю, тому батарея має певний ресурс, досягнувши який її ємність зменшується до 70-80% від номінальної.

Переваги свинцево-кислотних акумуляторів:

- Невисока ціна;
- Низький рівень самрозряду;
- Високі робочі струми;
- Широкий діапазон робочих температур;
- Високий ККД (80-90%);

Недоліки свинцево-кислотних акумуляторів:

- Великі габарити та вага;
- Чутливі до глибоких розрядів;
- Високі ризики перегріву при неправильному заряджанні;
- Чутливі до мінусових температур;

- Невелика кількість циклів заряд-розряд;
- Низький рівень безпеки;
- У перевернутому положенні велика ймовірність розливу електроліту;

б) Акумулятори AGM типу

AGM (Absorbent Glass Mat) — як вже зазначалось, даний тип акумуляторів надзвичайно схожий з WET типом, основна відмінність полягає в тому, що електроліт знаходиться не в рідкому, а в абсорбуючому скляному маті, завдяки такому рішенню, акумулятори можна використовувати навіть лежачи. Між позитивною та негативною пластинами знаходиться свого роду губка просякнута електролітом, яка утримує електроліт в своїх порах. Усі дрібні пори абсорбуючого скляного мату заповнені електролітом, а великі пори слугують для рециркуляції газів, які утворюються в наслідок тривалої роботи акумулятора.

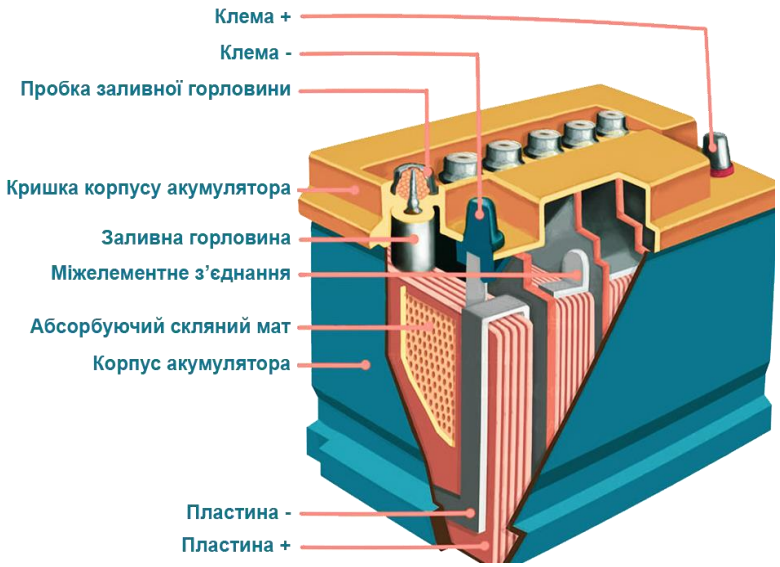


Рисунок 1.8 — Будова акумуляторів AGM типу

Переваги AGM акумуляторів:

- Не потребують постійного обслуговування;
- Герметична конструкція;

- При перевертанні електроліт не витікає, а знаходиться абсорбуючому скляному маті;
- Тривалий термін служби (5-12 років) ;
- Тривалий термін зберігання (до 3-х років) без великої втрати ємності;
- Високий струм віддачі (в 1,5 разів більший звичайних кислотних) і швидка зарядка;
- Стійкі до глибоких розрядів;
- 200 повних розрядів; 500 розрядів при розряджанні на 50%; близько 1 000 циклів при розряджанні на 20-30%;

Недоліки AGM акумуляторів:

- Висока вартість в порівнянні з свинцево-кислотними акумуляторами;
- Великі габарити та вага;
- Потребують спеціальних зарядних пристроїв;
- Чутливі до перезарядів та коротких замикань;

в) Гелеві акумулятори (Gel)

Гелеві акумулятори досить схожі з AGM типом. В гелевих акумуляторах використовується речовина на основі рідкого електроліту і двооксиду кремнію (SiO_2), завдяки чому утворюється густа маса, схожа на гель. Цією масою заповнюється простір між пластинами, і в результаті хімічних реакцій в гелі утворюються численні газові бульбашки. Через те, що електроліт знаходиться в густому стані, він менш схильний на розпад складових води та кислоти, завдяки цьому акумулятори краще витримують погані струми заряду.



Рисунок 1.9 — Гелевий акумулятор в розрізі

На відміну від AGM технології, гелеві акумулятори краще відновлюються після глибоких розрядів. Гелеві акумулятори здатні витримати більше 1 000 циклів глибоких розрядів, через це, їх широко використовують в системах резервного та автономного електроживлення.

Переваги гелевих (Gel) акумуляторів:

- Не потрібно обслуговувати акумулятор;
- Відсутність випарів електроліту;
- Установка в будь-якому положенні без проливів електроліту;
- Тривай строк служби 6-10 років;
- Стійкий до глибоких розрядів;
- Велика кількість циклів розряд-заряд;

Недоліки Gel акумуляторів:

- Висока вартість;
- Чутливі до перезарядів;

г) Літій-іонні типи акумуляторів

Літій-іонні (Li-ion) АКБ, завдяки значній щільності енергії та компактним розмірам, мають у 2–4 рази більшу ємність, ніж Свинцево-кислотні агрегати. Ключова перевага – швидка перезарядка від 0 до 100% (1-2 години). Моделі

використовуються для живлення технологічної електроніки: телефонів, планшетів, ноутбуків та ПК, радіостанцій тощо. Також їх застосовують для клінінгового та складського обладнання, електротранспорту (гіроскутерів, самокатів, велосипедів тощо), UPS, спецінструментів, сонячних електростанцій та багатьох інших установок.

Основа конструкції Li-ion пристроїв - анод, виготовлений з вуглецю пористого на мідній фользі, і катод, виконаний з оксиду літію на алюмінієвій фользі. Розділювачем виступає пористий поліпропіленовий сепаратор, який просочений електролітом, що виконує роль провідника. Всі елементи укладені в герметичний корпус, електроди підключаються до струмознімачів. У деяких моделях передбачений клапан, який відповідає за скидання тиску всередині конструкції.

Мідні та алюмінієві пластини, змащені електролітом та розділені пористим шаром, згорнуті у рулон. Корпус набуває циліндричної форми. Якщо пластини укладені по-іншому, прилад має форму призм та пакетиків. Моделі різняться складом катода. Незалежно від матеріалу, що в ньому використовується Принцип дії літієвих акумуляторів однаковий для агрегатів усіх видів. Під час подачі напруги на електроди позитивно заряджені іони літію від'єднуються від молекул оксиду та переміщуються на вуглецеву пластину. Це призводить до окисної реакції та заряду батареї. Коли Li-ion працює під навантаженням, спостерігається зворотна дія. Іони Li+ переходять на пластину з оксиду літію у звичайне положення.

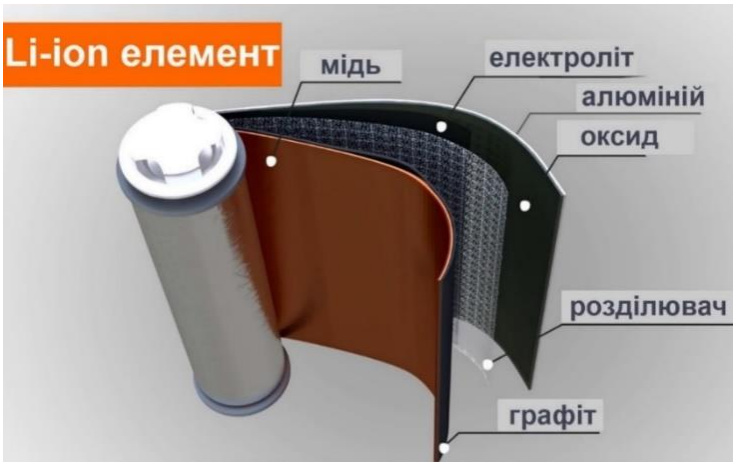


Рисунок 1.10 — Будова Li-ion елементу

Літієві джерела живлення чутливі до перезаряду. Надмірний заряд призводить до нагромадження металевого літію на поверхні анода. Цей осад може розпочинати реакцію з електролітом. При цьому на катоді починає активно виділятися кисень, про що свідчить інтенсивне нагрівання, підвищення тиску та розгерметизація АКБ.

Заряджання приладів проходить у два етапи. Перший - здійснюється при стабільному струмі 0,2С-1С до напруги 4,2, займає приблизно 40 хвилин. Другий - виконується при незмінному напрузі. Заряджання завершується, коли зарядний струм знижується до значення, що становить 3% від номінального. Щоб літієва батарея прослужила довго, необхідно заряджати струмом, що становить 50% від ємності (0,5С).

Згодом АКБ Li-ion «старіють», усередині накопичуються продукти окислення, втрачається частина ємності. Життєвий цикл акумулятора завершується, коли він втрачає 30% вихідної ємності. Ресурс моделей у середньому становить 1000 зарядів та розрядів. Щоб продовжити термін експлуатації, рекомендується не перевищувати оптимальний струм заряду (50% номінальної ємності пристрою). Наприклад, ідеальний струм заряду для батареї на 20 мАг — 10С. Також важливо уникати глибокого розряду та перезаряду АКБ, виключити переохолодження та перегрів, не зберігати розрядженим протягом тривалого часу.

Переваги Li-ion акумуляторів:

- Висока ємність, малі розміри та вага, низький саморозряд, високі робочі струми, велика циклічність заряд-розряд, не потребують обслуговування, відсутній ефект пам’яті, широкий діапазон робочих температур від -20 до +50.

Недоліки Li-ion акумуляторів:

- Критично переносять надлишкові заряди та повні розряди
- Труднощі із заряджанням при низьких температурах
- Вибухонебезпечні при пошкодженні корпусу

д) Літій-залізо-фосфатні (LiFePO4)

Батареї LiFePO4 оснащені катодом з літій-ферофосфату та анодом з вуглецю. Вони стійкі до критичних температур (від -30 до +50 ° С), тому їх можна використовувати поза приміщеннями. Ці елементи живлення безпечні в експлуатації: не спалахують і не вибухають від перенапруги. Літій-залізо-фосфатні рішення стійкі до перезарядки та перепадів в електромережі. Вони витримують піковий розрядний струм до 25С і тривалий вплив високої напруги. За місяць саморозряджаються лише на 1,5%. Прилади довговічні: робочий цикл – 2000, термін зберігання – до 15 років.

За рахунок стабільності ферофосфатні моделі підтримують прискорену зарядку великими струмами. Їх випускаються спеціальні зарядні адаптери, які несумісні з іншими типами акумуляторів. Але LiFePO4 можна заряджати універсальними ЗУ, і призначеними для Li-ion. Зберігати прилади необхідно за заряду 40–60%. Заповнити запас енергії до 80% можна приблизно за півтори години.

Літій-залізо-фосфатні батареї можна знайти у формі паралелепіпеда, циліндра та плоского корпусу. АКБ на основі LiFePO4 осередків використовують для вітрогенераторів, сонячних панелей, водного та електричного транспорту, складської техніки, ігрового обладнання та багато іншого. Вони не бояться довгих періодів простою. До кінця експлуатаційного терміну втрачають до 20% ємності.



Рисунок 1.11 — Літій-залізо-фосфатні батареї

В ході досліджень різноманітних типів батарей для джерел живлення встановлено, що літій-залізо-фосфатні батареї забезпечують параметри та характеристики достатні для розробки безперебійної системи живлення. [7]

Усереднені показники за характеристиками різних видів акумуляторів представлені у таблиці 1.3:

Таблиця 1.3 – Показники різних видів акумуляторів

	Lead-Acid	AGM	GEL	Li-Pol	LiFePO4
Напруга, В	6 та 12	2, 4, 6, 12	2, 6, 12	3,7	3,2
Циклічний ресурс	-	до 1000	до 1400	800 – 900	1000 – 2000
Прийнята глибина розряду, %	-	до 80	до 90	100	100
Діапазон робочих температур, ºС	-50…+70	-40…+70	-40…+70	-20…+40	-10…60
Термін служби, років	до 7	5 – 15	8 – 15	До 8	20 – 25
Максимальний струм заряду, % від ємності	10 – 20	20 – 30	15 – 20	1	25 – 30
Швидкість заряду, год.	8 – 12	6 – 10	8 – 12	2 – 3	2 – 3

- Випрямлячі

Функції випрямляча у ДБЖ Offline – автоматичний заряд батареї та його утримання. При повністю розрядженій батареї випрямляч заряджає її постійним струмом. Величина цього струму (в амперах) зазвичай обирається від 1/4 до 1/15 номінальної ємності батареї (в ампер-годинах). Після досягнення напруги на батареї приблизно 2.27 В на елемент акумулятора або 13.8 В на 12-ти вольтний акумулятор (для свинцевих батарей) випрямляч переходить в режим стабілізації

напруги. При цій напрузі батарея як не розряджається, так і не заряджається. Підтримка батареї під «плаваючим потенціалом» або «напругою плаваючого заряду» дозволяє компенсувати саморозряд батареї та не допустити її перезарядження.

Напруга плаваючого заряду підтримується на батареї постійною весь час, поки ДБЖ включений. Багато ДБЖ продовжують заряд батареї, навіть якщо їх мережевий вимикач знаходиться в положенні «Виключено». Це дозволяє підтримувати батарею в зарядженому стані, якщо ДБЖ не використовується.

Температурна компенсація напруги плаваючого заряду, як правило не передбачена. Це не є серйозним недоліком для ДБЖ цього типу з двох причин:

- по-перше ДБЖ Offline мають невелику потужність (не більше 1.5 кВА) і низький рівень шуму. Тому їх, як правило, встановлюють в безпосередній близькості від комп'ютера (тобто в приміщенні з нормальною температурою);
- по-друге, вони мають високий ККД. Внаслідок цього температура всередині корпусу батареї майже не відрізняється від кімнатної і температурна компенсація в більшості випадків не потрібна. Час заряду розрядженої на 50% батареї до досягнення 90% заряду змінюється від 6 до 15 годин для різ- них моделей ДБЖ.

- Інвертор

Інвертор — пристрій, який перетворює рід напруги з постійної в змінну. Основні типи інверторів:

- інвертори, що генерують напругу прямокутної форми; - інвертори з покроковою апроксимацією;
- інвертор з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ).
- перетворювач з плотностно-імпульсною модуляцією (англ. Pulse-density modulation).

Також інвертори діляться на однофазні та трифазні.

Показник, який характеризує ступінь відмінності форми напруги або струму від ідеальної синусоїдальної форми - коефіцієнт нелінійних спотворень (англ. Total Harmonic Distortion, THD).

Типові значення ступенів відмінності форми напруги або струму від ідеальної синусоїдальної форми:

- 0% – форма сигналу повністю відповідає синусоїді;
- близько 3% — форма близька до синусоїдальної;
- близько 5% — форма сигналу наближена до синусоїдальної;
- до 21% — сигнал має трапецеїдальну чи ступінчасту форму (модифікований синус або меандр);
- 43% і понад — сигнал з явно вираженою прямокутною формою (меандр).

Вихідна напруга інвертора має вигляд прямокутних імпульсів з паузами. Зазвичай виробники ДБЖ називають цей тип коливань «ступінчастим, наближенням до синусоїди» та заявляють, що для всіх типів навантаження така напруга практично еквівалентна синусоїдальній. Для того, щоб це було так (або хоча б майже так), деякі параметри прямокутних коливань, що визначають їх величину та форму, повинні збігатися з відповідними параметрами синусоїди. На практиці цього майже ніколи не дотримуються.

- Схема управління й аналізу мережі

В основному ДБЖ управляються чисто аналоговими схемами, хоча в останні роки йде процес поступового переходу на мікропроцесорне управління навіть такими простими приладами, як ДБЖ з перемиканням. Схема аналізу мережі вимірює середнє випрямлене значення напруги мережі та видає команди на перемикання з режиму на режим в залежності від його величини. Коли напруга мережі падає або зникає зовсім, схема аналізу мережі подає команду на перемикання ДБЖ на режим роботи від батареї. Якщо напруга стає вище, ДБЖ знову починає працювати від мережі. Для стійкості роботи ДБЖ у режимі, ДБЖ повинен мати невеликий (зазвичай кілька вольт) гістерезис характеристики перемикання. Отже, якщо перемикання з режиму роботи від мережі на режим

роботи від батареї проводиться, наприклад, при напрузі 185 В, то зворотне перемикання повинно відбуватися при напрузі 188-192 В.

Більшість ДБЖ з перемиканням реагують тільки на зниження напруги, тобто переключаються на роботу від батареї при досягненні напругою мережі деякого граничного значення в діапазоні 200-160 В. Тільки деякі з таких ДБЖ реагують також і на підвищення напруги, тобто переключаються на ро- боту від батареї при досягненні напругою мережі деякого граничного значення в діапазоні 250-290 В.

Ця функція ДБЖ безумовно корисна. Однак якщо ви використовуєте ДБЖ з перемиканням для захисту персонального комп'ютера з імпульсним блоком живлення, то вона не завжди є необхідною. Добре спроєктовані імпульсні блоки живлення працездатні при дуже високій напрузі. Схема управління ДБЖ стежить за станом його батареї. Коли вона розряджається повністю (напруга на елементі свинцевої кислотної батареї 1.7 – 1.75 В) блок управління знімає напругу з навантаження. Це необхідно для запобігання глибок го розряду батареї. На жаль більшість ДБЖ навіть після відключення навантаження продовжують витрачати енергію батареї для живлення невеликої частини своєї схеми. Струм розряду батареї в цьому випадку дуже малий, але якщо розряд триває довго, то батарея досягає стану глибокого розряду, після якого її можна тільки викинути. Тому, якщо ДБЖ сам відключив навантаження в результаті розряду батареї (а напруга в мережі не 'явилася), ДБЖ слід негайно вимкнути, і включати тільки після появи напруги в мережі.

- Перемикач

Для перемикання ДБЖ з режиму роботи від мережі на режим роботи від батареї використовуються швидкодіючі реле. Час спрацювання таких реле складає приблизно 2-5 мс. Це дозволяє забезпечити повний час реакції ДБЖ на збій електричної мережі 3-6 мс, включаючи сюди і час виявлення збою.

- Фільтр імпульсів

Для зменшення амплітуди високовольтних імпульсів в ДБЖ використовуються фільтри, основною частиною яких є метал-оксидний варистор. Варистор включають паралельно входу ДБЖ. Якщо напруга на вході ДБЖ знаходиться в межах допустимого, варистор має великий внутрішній опір і не впливає на роботу ДБЖ і його навантаження. Фактично він працює як конденсатор невеликої ємності. Якщо на вхід ДБЖ надходить імпульс і напруга на вході ДБЖ перевищує деяку граничну (зазвичай 400-600 В), внутрішній опір варистора різко зменшується і він шунтує (замикає) вхід ДБЖ. При цьому великі (до декількох кілоампер) імпульсні струми протікають через варистор, не потрапляючи в ДБЖ і не пошкоджуючи підключене до нього обладнання. Безпосередньо на виході варистора під час зменшення імпульсу можуть виникати перехідні процеси з імпульсними напругами порядку декількох десятків вольт. Ці імпульси потім послаблюються фільтром шумів, а в деяких моделях ДБЖ спеціальним ланцюгом.

Максимальна напруга імпульсу, яку витримує варистор, зазвичай перевищує 3000 В (тобто відповідає стандарту IEEE 587 категорія А) і для деяких моделей може перевищувати 6000 В (відповідно до категорії В того ж стандарту).

Максимальні імпульсні струми, які можуть безпечно протікати через варистор становлять 2000-6000 А. Природно варистор розміром із середню монету не може довго витримувати протікання таких великих струмів. Найбільш важливою характеристикою варисторного захисту є максимальна енергія імпульсу, яку варистор може безпечно поглинути. Виробники ДБЖ не завжди вказують цю величину. Зазвичай вона змінюється від 80 до 500 Дж для ДБЖ різних потужностей і виробників. Відповідно тривалість імпульсу, яку здатний поглинути варистор, при максимальному струмі 6000 А становить одиниці або десятки мікросекунд. Варисторний захист від імпульсів відноситься до частин ДБЖ, що має принципово обмежений ресурс. При нормальній роботі варистори поступово «вигорають» в результаті поглинання навіть невеликих імпульсів. Ресурс варисторного захисту неможливо визначити однозначно. Він залежить від типу використовуваного

варистора, кількості та сумарної енергії поглинених їм імпульсів, використання в схемі ДБЖ додаткових засобів зменшення імпульсів і т.д.

Характерний термін служби варисторного захисту мабуть можна ви- значити в 1-4 роки в залежності від моделі ДБЖ і умов експлуатації. Слід мати на увазі: ДБЖ з варисторним захистом і без гальванічної розв'язки не при- значені для роботи в дійсно жорстких умовах (на заводах з потужним обладнанням, підключеним в одну мережу разом з комп'ютерами, в польових умовах, особливо при роботі з поганими дизельними генераторами, в локальних мережах великої протяжності, розташованих в різних будівлях і т.д.).

У разі, якщо на варистор надходить імпульс, енергія якого перевищує граничне значення, характерне для поточного стану варистора, варистор ви- ходить з ладу. Після цього вхідний ланцюг ДБЖ може залишитися закороченим. Це іноді призводить до розриву корпусу варистора. Розрив супроводжується гучним хлопком (і коротке замикання іноді знімається).

- Фільтр шумів.

Для фільтрації шумів використовуються R-C або L-C фільтри, котрі вільно пропускають низькочастотні коливання з частотою близькою до 50 Гц і опираються поширенню коливань більш високої частоти. Як правило виробники не наводять докладні характеристики фільтрів, а іноді просто вказують: «ДБЖ виробляє постійну фільтрацію шумів». За розрізненими даними фірм виробників можна зробити висновок, що для кращих ДБЖ Offline зменшення шумів досягає 30-45 дБ для частот 1-10 МГц. Для більшості пристроїв мабуть характерно зменшення шуму 8-30 дБ на частотах 100 кГц-10 МГц.

- Індикатор режиму роботи та сигналізації.

На панелі ДБЖ Offline при роботі від мережі зазвичай світиться зелений світлодіод. Іноді він має маркування «Мережа/Line». У деяких моделях ДБЖ він вбудований в кнопку живлення. На ДБЖ з рідкокристалічним дисплеєм режим роботи відображається також на дисплеї. Перемикання ДБЖ на режим роботи від

батареї у деяких моделей супроводжується припиненням світіння зеленого світлодіода або зміною його кольору на червоний. Крім того під час роботи від батареї ДБЖ періодично (раз в 5-30 секунд) видають звуковий сигнал. У більшості моделей ДБЖ є клавіша відключення звукового сигналу. Робота цієї клавіші як правило блокується (тобто звуковий сигнал знову включається), якщо батарея ДБЖ підходить до певної міри розряду. У деяких моделей ДБЖ цю ступінь розряду можна змінити за допомогою перемикачів налаштування. При досягненні зазначеного ступеня розряду батареї деяких моделей ДБЖ змінюють тон або тривалість звукового сигналу (наприклад він може почати звучати безперервно. У разі, якщо до ДБЖ підключено занадто велике навантаження, більшість ДБЖ подають тривалий звуковий сигнал і відключають напругу від навантаження. На деяких ДБЖ є автоматичний запобіжник, який є наступним етапом захисту від перевантаження. Також є ІБП, які реагують на перевантаження перегоранням запобіжника без будь-якого сповіщення користувача. На щастя, у більшості з них, він доступний користувачеві (наприклад може перебувати у вхідній розетці)

- Пульт керування

На передній панелі більшості ДБЖ розташований один мережевий вимикач. У переважній більшості випадків це єдиний елемент пульта управління. На деяких ДБЖ є також кнопка «тест». Її натискання призводить до примусового перемикання ДБЖ на роботу від батареї. Ця клавіша дуже корисна. Її наявність дуже спрощує регламентну перевірку працездатності батареї ДБЖ. Таку перевірку (без клавіші «тест» її можна проводити, виймаючи вилку ДБЖ з розетки) потрібно проводити приблизно 1 раз на місяць. Кнопка відключення звукового сигналу, наявна на деяких ДБЖ, дозволяє після перемикання ДБЖ на роботу від батареї деякий час попрацювати на комп’ютері не відволікаючись постійно на звукові сигнали ДБЖ.

1.2 Аналіз сучасної продукції джерел безперебійного живлення

На сьогодні, ринок джерел безперебійного живлення активно розвивається і пропонує потенційному покупцеві безліч варіантів. Сотні моделей і модифікацій представлені десятками виробників. ДБЖ розрізняються не лише часом роботи без заряджання і номінальною потужністю, але і іншими функціями.

Нижче приведені моделі відомих фірм, таких як APC, Eaton та інші.

Компанія APC виробляє ДБЖ для персональних комп'ютерів і периферійного обладнання, призначений для використання вдома або офісі. [12]



Рисунок 1.12 — APC Back-UPS ES 400VA

Наведемо основні технічні характеристики в таблиці 1.4

Таблиця 1.4 – Характеристика APC Back-UPS ES 400VA

Діапазон вхідної напруги	180-266 В
Батарея	свинцово-кислотна
Час роботи від батареї	при повному навантаженню – 5,5 хв, при половинному навантаженню – 18 хв.

Продовження таблиці 1.4

Кількість розеток	4 з живленням від батареї; 4 розетки не мають живлення від батареї і забезпечують тільки захист від стрибків напруги
Форма вхідного сигналу	апроксимована синусоїда
Вихідна потужність	240 Вт
Максимальна енергія вхідної імпульсної дії	310 Дж
Час зарядки	960 хв.
Індикація	Живлення від мережі, живлення від батареї, необхідність заміни батареї; звукові сигнали при перемиканні або розрядці батареї
Рівень шуму	45 дБ
Інтерфейс	LAN
Робоча температура	0-40 ºС
Габарити	86x230x285 мм
Вага	5,4 кг
Вартість	90 $

Компанія APC виробляє блок, який зображено на рис.1.13.

СБЖ для настільних ПК в корпоративних середовищах невеликих підприємствах та як складових комп’ютерної медичної техніки; забезпечують надійне батарейне електроживлення при мінімальному розмірі і ергономічному дизайні СБЖ



Рисунок 1.13 — APC Back-UPS 650VA

Таблиця 1.5 – Характеристика APC Back-UPS 650VA

Діапазон вхідної напруги	140-300 В
Батарея	свинцово-кислотна
Час роботи від батареї	при повному навантаженню – 4,8 хв, при половинному навантаженню – 14,5 хв.
Кількість розеток	4 IEC-320-C13, 3 з яких з живленням від батареї; 1 розетка не має живлення від батареї і забезпечують тільки захист від стрибків напруги
Форма вхідного сигналу	апроксимована синусоїда
Вихідна потужність	400 Вт
Максимальна енергія вхідної імпульсної дії	310 Дж
Час зарядки	480 хв.

Продовження таблиці 1.5

Індикація	Живлення від мережі, живлення від батареї, необхідність заміни батареї; звукові сигнали при перемиканні або розрядці батареї
Рівень шуму	45 дБ
Інтерфейс	LAN
Робоча температура	0-40 ºС
Габарити	165x91x284 мм
Вага	5,4 кг
Вартість	153 $

Компанія Eaton є одним із провідних постачальником джерел безперебійного живлення. Виробляють ДБЖ широкого призначення: від мережевих шаф і серверних приміщень до центрів даних підприємств і хмарних дата центрів. На рисунку 1.14 зображена одна із відомих моделей - Eaton 5P 850VA.



Рисунок 1.14 — Eaton 5P 850VA

Основні технічні характеристики цієї моделі наведені у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Характеристика APC Back-UPS 650VA

Діапазон вхідної напруги	150-294 В
Батарея	свинцово-кислотна
Час роботи від батареї	при повному навантаженню – 4 хв, при половинному навантаженню – 12 хв.
Кількість розеток	6 IEC-320-C13
Форма вхідного сигналу	чиста синусоїда
Вихідна потужність	600 Вт
Максимальна енергія вхідної імпульсної дії	310 Дж
Час зарядки	540 хв.
Індикація	ЖК дисплей, який відображає стан навантаження/пристрою, стан батареї, індикатор живлення від мережі та живлення від батареї
Рівень шуму	40 дБ
Інтерфейс	USB, RS232, релейні контакти, роз’єм для мережевої карти
Робоча температура	0-40 ºС
Габарити	230x150x345 мм
Вага	10,4 кг
Вартість	312 $

Наступна модель компанії Eaton призначена для серверів, мережевого обладнання та систем. Конструкція цього пристрою виготовлена для 19" стійки та має висоту 2U.



Рисунок 1.15 — Eaton 5SC 1000VA

Таблиця 1.7 – Характеристика APC Back-UPS 650VA

Діапазон вхідної напруги	184-276 В
Батарея	свинцово-кислотна
Час роботи від батареї	при повному навантаженню – 5 хв, при половинному навантаженню – 11 хв.
Кількість розеток	8 IEC-320-C13
Форма вхідного сигналу	чиста синусоїда
Вихідна потужність	700 Вт
Максимальна енергія вхідної імпульсної дії	310 Дж
Час зарядки	520 хв.
Індикація	Живлення від мережі, живлення від батареї, необхідність заміни батареї; звукові сигнали при перемиканні або розрядці батареї
Рівень шуму	40 дБ
Інтерфейс	USB, RS232, релейні контакти, роз’єм для мережевої карти
Робоча температура	0-40 ºС
Габарити	86x440x405 мм
Вага	15 кг
Вартість	850 $

Пристрій безперебійного живлення PowerWalker VFI 10000 TGB (рис.1.16) забезпечує захист живлення для серверів, мереж телефонії та передачі даних, медичного обладнання та промислових систем. Конструкція ДБЖ дозволяє розміщувати їх як звичайним способом - горизонтально або вертикально, так і змонтувавши серверну стійку. Також має можливість підключати ще й зовнішні акумулятори.



Рисунок 1.16 — PowerWalker VFI 10000 TGB

Таблиця 1.8 – Характеристика PowerWalker VFI 10000 TGB

Діапазон вхідної напруги	160-276 В
Батарея	свинцово-кислотна
Час роботи від батареї	при повному навантаженню – 2 хв, при половинному навантаженню – 8 хв.
Форма вхідного сигналу	чиста синусоїда
Вихідна потужність	10000 Вт
Максимальна енергія вхідної імпульсної дії	310 Дж
Час зарядки	200 хв.

Продовження таблиці 1.8

Індикація	LCD-дисплей, який відображається докладну інформацію про стан системи, а також значення ключових параметрів
Рівень шуму	60 дБ
Інтерфейс	USB, RS232, SmartSlot, слот розширення, сухі контакти
Робоча температура	0-40 ºС
Габарити	452x225x589 мм
Вага	63 кг
Вартість	2750 $

Провівши аналіз існуючих джерел безперебійного живлення, що використовуються для ПК, периферійних пристроїв, мережевого обладнання серверів, медичних та промислових систем, можна констатувати, що дана галузь є досить розвиненою. Джерела що представлені на ринку дозволяють організовувати стабільну безперебійну роботу при перепадах мережі.

В даний час широкий спектр фірм займаються випуском багатьох видів блоків безперебійного живлення, серед них такі відомі фірми як APC, Eaton та інші. Дане обладнання зазвичай характеризується або високими вартісними показниками, або низькими споживчими якостями, так наприклад відсутність можливості під’єднання додаткової акумуляторної батареї, неможливість роботи системи при низькій напрузі в мережі, невеликий час автономної роботи та інші.

Тому, існує необхідність розробки джерела безперебійного живлення, який зможе забезпечити автономну та безперебійну роботу роутерів, модемів, мережевих терміналів та інших пристроїв.

1.3 Інтернет та мережеве обладнання

Інтернет – найбільша в світі інженерна система, що складається з мільйонів з'єднаних комп'ютерів, ліній зв'язку та комутаторів, з мільярдами користувачів, які підключаються через сучасні периферійні пристрої (комп'ютер, ноутбук, планшет, смартфон).

З кожним днем стає все більше пристроїв, котрі використовують інтернет-з'єднання, такі як: телевізори, смарт-приставки, ігрові консолі, побутова техніка та охоронні системи. Всі ці пристрої називаються хостами або кінцевими системами.

Кінцеві системи з'єднуються разом за допомогою ліній зв'язку та комутаторів пакетів. Лінії зв'язку бувають багатьох типів із різними фізичними носіями, включно з коаксіальним кабелем, мідним дротом, оптичним волокном і радіочастотним спектром. Різними лініями зв'язку дані можуть передаватися з різними швидкостями, при чому швидкість передачі лінії вимірюється в біт/с. Коли в одній кінцевій системі є дані для відправлення в іншу, кінцева система, що передає, сегментує їх і додає в кожен сегмент байти заголовка. Потім отримані порції інформації, відомі як пакети, надсилаються через мережу в кінцеву систему призначення, де знову збираються у вихідні дані. [4]

Комутатор пакетів отримує пакет по одній зі своїх вхідних ліній зв'язку і направляє його по одній зі своїх вихідних лінії зв'язку. Комутатори постачаються в різних формах і різновидах, але в сучасному інтернеті найбільш відомими типами є маршрутизатори та комутатори канального рівня. Комутатори обох типів направляють пакети в їхні кінцеві пункти призначення. Комутатори канального рівня зазвичай застосовуються в мережах доступу, тоді як маршрутизатори зазвичай використовуються в ядрі мережі.

Кінцеві системи отримують доступ до Інтернету через постачальників послуг інтернету, або інтернет-провайдерів (Internet Service Providers, ISP). Існують провайдери, які забезпечують послуги інтернету за місцем проживання (місцеві кабельні та телефонні компанії); корпоративні, університетські, а також тих, що надають доступ Wi-Fi в аеропортах, готелях, кав'ярнях, та інших громадських

місцях. Кожен інтернет-провайдер сам по собі має мережу, що складається з комутаторів пакетів і ліній зв'язку. Провайдери інтернету надають для кінцевих систем різні типи доступу в мережу, включно з широкосмуговим доступом за місцем проживання, наприклад DSL, оптичним терміналом або кабельним модемом, високошвидкісним доступом до локальної мережі, бездротовим доступом і доступом через модем для комутованих телефонних ліній. Інтернет-провайдери надають також доступ у всесвітню мережу для постачальників контенту, підключаючи веб-сайти безпосередньо до глобальної мережі. Інтернет - це кінцеві системи, що з'єднуються одна з одною, тобто організації, які надають до них доступ, також мають бути з'єднані між собою. Інтернет-провайдери, що перебувають на нижньому рівні, з'єднуються один з одним через національних і міжнародних інтернет провайдерів верхнього рівня, таких як Level 3 Communications, AT & T, Sprint і NTT.

Кінцеві системи, комутатори пакетів та інші частини інтернету виконують протоколи, які керують передачею та отриманням інформації в інтернеті. Двома найважливішими протоколами в інтернеті є протокол управління передачею (Transrnission Control Protocol, TCP) і протокол інтернету (lnternet Protocol, IP). У протоколі IP задається формат пакетів, які передаються між маршрутизаторами і кінцевими системами. Сукупність (стек) основних протоколів інтернету відома як TCP/IP.

1.4 Технології підключення інтернет-з’єднання

Між провайдером інтернету (ISP) та інтернет-маршрутизатором клієнта (кінцевою системою) є переважно вузли, які є обладнанням із багатьма приймачами-передавачами, які здатні перетворювати світлові імпульси в електричні сигнали та навпаки. Ці вузли розташовані в кожному обслуговуваному регіоні, і вони мають кабелі, які йдуть від них до сусідніх районів і аж до клієнтів,

з різними контрольно-пропускними пунктами або точками розгалуження уздовж маршруту. У результаті шафи використовуються для розподілу з'єднань з вулицями, розгалужувачі використовуються для надсилання ліній до будинків і будівель, а розподільні коробки використовуються для розподілу ліній у комплексах і будівлях.



Рисунок 1.15 — Схема підключення інтернет-з'єднання

Оптоволоконне з'єднання від провайдера до клієнта включає кілька контрольних точок, і оптоволоконна лінія може бути завершена та з'єднана з металевою лінією за допомогою оптичних приймачів-передавачів у будь-якій із цих контрольних точок, доки вона не досягне клієнта. Концепція волокна до X (FTTX) походить від цієї ідеї, що точка, де волоконно-оптична лінія закінчується та перетворюється на металеву лінію, визначає топологію лінії та інфраструктуру розподільчої мережі. Ось чому FTTX передбачає багато термінів, таких як FTTH, FTTN, FTTC, FTTB та інші.

✓ FTTX означає Fiber to the X (волокно до вузла), що відноситься до різноманітних топологій доставки широкосмугового оптичного волокна, які класифікуються на основі того, де закінчується волоконно-оптична лінія та починається металева лінія мережі. FTTX включає всі інші подібні терміни, такі як: FTTN, FTTC/FTTK, FTTB, FTTH, FTTP, FTTS, FTTD, FTTR, FTTS і FTTA.

✓ FTTN означає волокно до вузла або волокно до сусідів. FTTN — це великомасштабний оптичний приймач, який завершує широкосмуговий багато-волоконний оптичний кабель, що надходить від ISP (провайдера інтернет-послуг), і розподіляє його по кількох металевих мережевих лініях, які досягають дому чи офісу клієнтів. Технічно FTTN означає волокно до вузла, але зазвичай інтерпретується як волокно до сусідства, оскільки в кожному районі буде вузол для розподілу ліній інтернету. Термін FTTN також можна замінити на FTTLA (волокно до останнього підсилювача), оскільки довгий широкосмуговий багато-волоконний оптичний кабель зазвичай має підсилювачі, які підсилюють сигнал уздовж лінії.

✓ FTTC означає Fiber to the Cabinet або Fiber to the Curb (волокно до розподільної шафи). Оптоволоконна лінія інтернету FTTC закінчується в розподільчій шафі, розташованій не більше ніж 300 метрів від дому . Це означає, що лінії FTTC завершуються посередині між волоконно-оптичним вузлом і клієнтами. Оптоволоконні лінії пасивної оптичної мережі (PON) у топології FTTC часто розподіляються між кількома клієнтами за допомогою металевих кабелів із шафи.

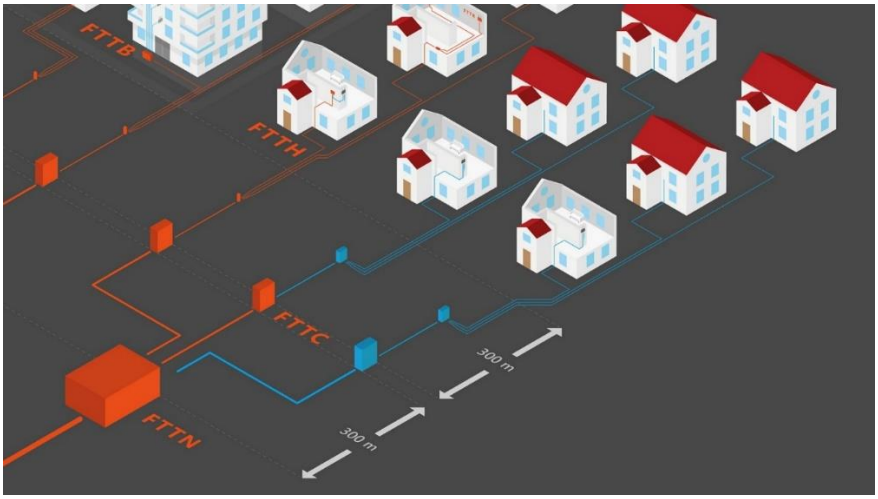


Рисунок 1.16 — Технологія FTTN та FTTC

✓ FTTH означає оптоволокно до дому чи будинку. Оптоволокно до дому, або це топологія мережевої інфраструктури, у якій оптоволоконна лінія інтернету досягає дому чи офісу клієнта або принаймні досягає 2 метрів від власності клієнта

чи приміщень компанії. FTTH може просто означати доставку оптоволоконної лінії інтернету до будинків, офісів, багатоквартирних будинків та інших об'єктів. FTTH також може називатися FTTF (оптоволокно до підлоги), FTTD (оптоволокно до дверей або оптоволокно до столу), і зазвичай використовується для позначення FTTB (оптоволокно до будівлі) і FTTP (оптоволокно до приміщень).

✓ FTTR означає оптоволокно до маршрутизатора, кімнати або радіо. FTTR має три значення. По-перше, FTTR (оптоволокно до маршрутизатора) — це оптоволоконна лінія інтернету, що проходить від провайдера до домашнього чи офісного маршрутизатора клієнта. По-друге, FTTR (оптоволокно до кімнати) — це кілька ліній FTTH (оптоволокно до дому), які розповсюджуються в будинку на кілька оптоволоконних ліній, кожна для окремої кімнати. По-третє, FTTR (Fiber to the Radio) — це оптоволоконна лінія, яка досягає базової станції радіо або мобільної мережі, але не досягає фактичної передавальної антени, як у FTTA (Fiber to the Antenna або Fiber to the Air).

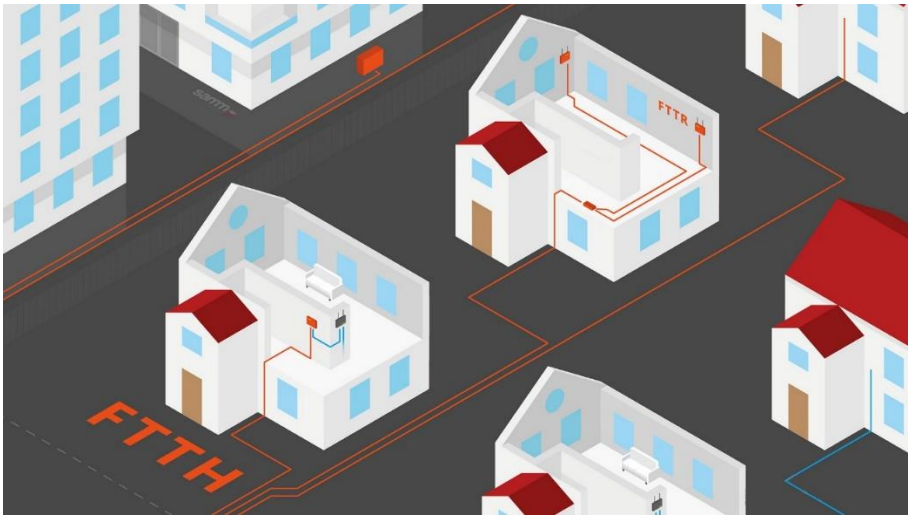


Рисунок 1.17 — Технологія FTTH та FTTR

✓ FTTB означає оптоволокно до будівлі, підвалу чи бізнесу. У FTTB волоконно-оптична лінія інтернету досягає внутрішньої частини ділової чи житлової будівлі та зазвичай завершується в волоконно-оптичній кінцевій коробці в підвалі будівлі. Ось чому FTTB (Fiber to the Building) зазвичай називають Fiber to the Basement або Fiber to the Business, коли будівля належить корпорації.

✓ FTTP означає Fiber top The Premises або Fiber to the Pole (волокно до приміщення або волокно до полу). FTTP — це термін, який зазвичай використовується для позначення топології архітектури Fiber to the Premises в інфраструктурі оптоволоконної мережі. Мається на увазі оптоволоконна лінія Інтернету, яка досягає внутрішньої сторони огорожі приміщення компанії або внутрішньої сторони багато-будинкового житлового комплексу. Цей термін FTTP є відносно великим і охоплює багато інших топологій волоконно-оптичної мережі, як-от: FTTB (волокно до будівлі), FTTH (волокно до дому), FTTD (оптоволокно до столу/дверей), FTTF (волокно до підлоги).) і FTTR (волокно до маршрутизатора).

✓ FTTS означає оптоволокно до вулиці. FTTS — це топологія архітектури широкосмугової інфраструктури, у якій оптоволоконна лінія інтернету закінчується на відстані не більше 200 метрів посередині між клієнтом і розподільною шафою.

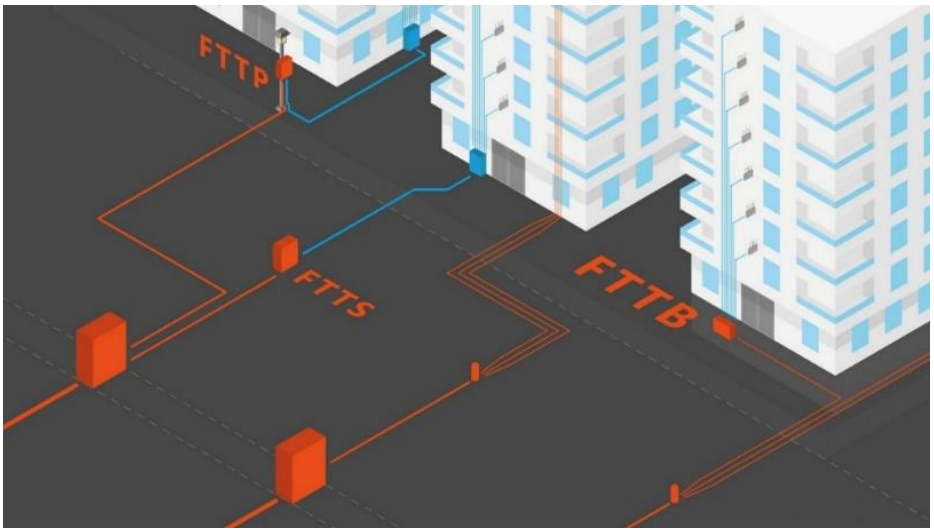


Рисунок 1.18 — Технологія FTTB, FTTP та FTTS

Термін FTTS (Fiber to the Street) використовується, коли кінцева точка оптоволокна знаходиться ближче, ніж шафа, як у FTTC, і занадто далеко від клієнта, як у FTTH або FTTP. FTTS також може означати оптоволокно до абонента, як альтернативний термін, що стосується FTTH (оптоволокно до дому) або FTTP (оптоволокно до приміщення).

✓ FTTF означає волокно до підлоги, фасаду, ферми, фабрики або годівниці. Термін FTTF може стосуватися оптоволоконної лінії Інтернету, яка досягає внутрішньої частини будівлі, і вона розбивається на кілька оптоволоконних ліній, по одній для кожного поверху, а потім завершується та передається до металевої мережі. Він дуже близький д о терміну FTTH (оптоволокно до дому), але різниця в тому, що FTTF означає, що оптоволоконна лінія закінчується вище, ніж на першому поверсі, а потім закінчується металевою мережею та розподіляється по кількох квартирах. З іншого боку, FTTF (Fiber to the Frontage) використовується як еквівалент FTTB (Fiber to the Building), що означає, що волоконно-оптична лінія досягає передньої сторони будівлі. FTTF також може означати оптоволокно до ферми або оптоволокно до заводу, залежно від типу області, в якій розміщена волоконно-оптична інфраструктура.

✓ FTTD означає оптоволокно до столу або оптоволокно до дверей. Назви топології архітектури оптоволоконної мережі мають кілька значень, як-от термін FTTD; що може означати оптоволокно до робочого столу, посилаючись на оптоволоконну лінію від сервера будівлі до офісного столу, або може означати оптоволокно до дверей, посилаючись на оптоволоконну лінію Інтернету, яка досягає зовнішньої стіни житлового будинку з FTTH (Оптоволокно до дому) мережева інфраструктура.



Рисунок 1.19 — Технологія FTTF та FTTD

✓ FTTA & FTTR означає волокно до повітря або антена та волокно до радіо. Термін топології мережевої архітектури FTTA має два визначення. Один – це волокно до антени, а інший – волокно до повітря, але обидва вони мають однакове значення. Термін FTTA (волокно до антени або волокно до повітря) використовується, коли лінії оптоволоконної мережі досягають радіоантен, які мають оптичні приймачі та передавач для перетворення оптичних сигналів у радіохвилі. Мережі FTTA представляють собою базову інфраструктуру мобільних мереж 3G, 4G і 5G. [3]



Рисунок 1.20 — Технологія FTTA & FTTR

1.5 Мережеві пристрої та їх функції

Пристрої, підключені до якого-небудь сегменту мережі, називають мережевими пристроями. Вони поділяються на 2 групи:

• Пристрої користувача. У цю групу входять комп’ютери, принтери, сканери та інші пристрої, які виконують функції, необхідні безпосередньо користувачеві мережі;

• Мережеві пристрої. Ці пристрої дозволяють здійснювати зв’язок з іншими мережевими пристроями або пристроями кінцевого користувача. У мережі вони виконують специфічні функції.

• Мережеві карти

Пристрої, які пов’язують кінцевого користувача з мережею, називаються також кінцевими вузлами або станціями (host). Прикладом таких пристроїв є звичайний персональний комп’ютер. Для роботи в мережі кожен хост оснащений платою мережного інтерфейсу (Network Interface Card – NIC), також званої мережним адаптером. Як правило, такі пристрої можуть функціонувати та без комп’ютерної мережі.



Рисунок 1.21 — Мережева карта

Мережева карта має друковану плату, яка вставляється в слот на материнській платі комп’ютера, або зовнішній пристрій. Кожен адаптер NIC має унікальний код, званий MAC-адресою. Ця адреса використовується для організації роботи цих пристроїв в мережі. Мережеві пристрої забезпечують транспортування даних, які необхідно передавати між пристроями кінцевого користувача. Вони подовжують і об’єднують кабельні з’єднання, перетворюють дані з одного формату в інший і управляють передачею даних. Прикладами пристроїв, що виконують перераховані функції, є:

- повторювачі;
- концентратори;
- мости;

- комутатори;
- маршрутизатори.

• Ретранслятори

Ретранслятор або перетворювач – це мережевий пристрій, який працює на фізичному рівні моделі OSI. Він отримує вхідний сигнал і повторно передає його для розширення сигналу на більшу відстань. Вхідні слабші сигнали регенеруються ретранслятором, а потім повторно передаються з більшою потужністю, щоб досягти пункту призначення без спотворень і шуму. Цей пристрій має два порти: один для вхідного сигналу, інший для вихідного сигналу.



Рисунок 1.22 — Ретранслятор

• Концентратор

Концентратор — це електронний пристрій, який забезпечує кілька точок підключення для інших пристроїв у мережі. Він працює на фізичному рівні моделі OSI. Він складається з кількох портів Ethernet, які забезпечують підключення двох або більше пристроїв. Він працює так само, як повторювач. Він приймає вхідний сигнал, регенерує його і пересилає на всі порти.

Існує два види концентраторів:

• Пасивні концентратори. Такі пристрої відправляють отриманий сигнал без його попередньої обробки.

• Активні концентратори (багатопортовий, повторювачі). Приймають вхідні сигнали, обробляють їх і передають до підключених комп'ютерів.



Рисунок 1.23 — Концентратор

• Мережеві мости

Мережевий міст — це електронний пристрій, який працює на рівні каналу даних або рівні 2 моделі OSI. Він вважається більш розумним, ніж концентратор, оскільки він пересилає кадр даних на основі mac-адреси. Він отримує вхідний пакет, зчитує mac-адресу джерела та призначення, а потім пересилає пакет на певний порт. Це двопортовий пристрій з одним входом і одним вихідним портом. Він використовується для поділу однієї локальної мережі, що працює на одному протоколі, на різні сегменти. Кожен сегмент у локальній мережі представляє окремий домен колізій, таким чином, зменшуючи кількість колізій у мережі, а отже, міст покращує продуктивність мережі.

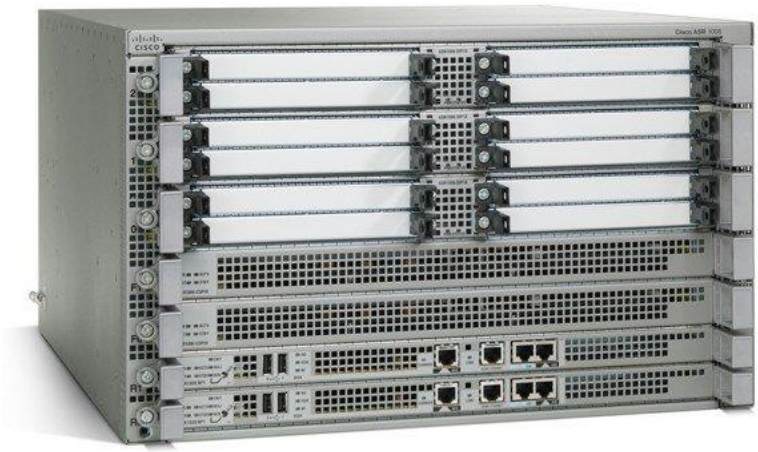


Рисунок 1.24 — Мережевий міст

• Комутатор Ethernet

Комутатори Ethernet є одними з найбільш популярних і широко використовуваних мережевих пристроїв у локальній мережі. Комутатор виглядає схожим на активний концентратор, але працює інакше, ніж концентратор, оскільки концентратор пересилає пакети на всі порти, не знаючи, до якого порту ці пакети мають бути доставлені, натомість комутатор підтримує таблицю MAC-адрес пов’язаних портів, підключених до нього, і робить рішення про пересилання пакетів на основі таблиці MAC. Отже, комутатор вважається більш розумним, ніж концентратор. Комутатор працює на рівні 2 або на рівні каналу даних моделі OSI.



Рисунок 1.25 — Комутатор Ethernet

• Маршрутизатор

Маршрутизатор працює на мережевому рівні моделі OSI і використовується для з’єднання різних мереж. На відміну від комутатора, маршрутизатор є більш складним мережевим пристроєм і потребує початкової конфігурації перед розгортанням у будь-якій мережі. Маршрутизатор пересилає пакети з однієї мережі в іншу на основі IP-адреси призначення. Для цього кожен маршрутизатор підтримує таблицю IP-маршрутизації. Коли пакет даних надходить до маршрутизатора, маршрутизатор перевіряє IP-адресу призначення у своїй таблиці маршрутизації. Якщо запис знайдено в таблиці IP, пакет пересилається на порт, до якого підключено мережу призначення. Але якщо адресу призначення не знайдено в таблиці IP, пакет відхиляється.



Рисунок 1.26 — Маршрутизатор

1.6 Супутникові системи

Аналіз літературних джерел показав, що Starlink – це затребувана в усьому світі супутникова система, яку розгортає по всьому світу компанія SpaceX. Головне

завдання Starlink полягає в тому, щоб забезпечити високошвидкісний широкосмуговий доступ до Internet навіть у тих місцях, де його не було зовсім або його якість дуже погана або просто ненадійна.

У країнах, де вже працює Starlink, встановлені наземні станції-шлюзи. Ці шлюзи стоять по всьому світу й не можуть бути занадто далеко від користувача, який намагається підключитися. Тому кількість цих шлюзів - така ж принципова річ, як і кількість супутників у небі. Поки що шлюзи є не всюди, їхня мережа також поступово розширюється. До війни найближчий до України шлюз був у Польщі, й цього було достатньо, аби під ’єднатися до платформи в Україні.

Шлюз підключається до супутника, а той, у свою чергу, передає його сигнал на тарілку-термінал. По суті, супутник - дзеркало, яке ретранслює сигнал від наземної станції в одному місці до тарілки користувача в іншому. Умовно це виглядає так:

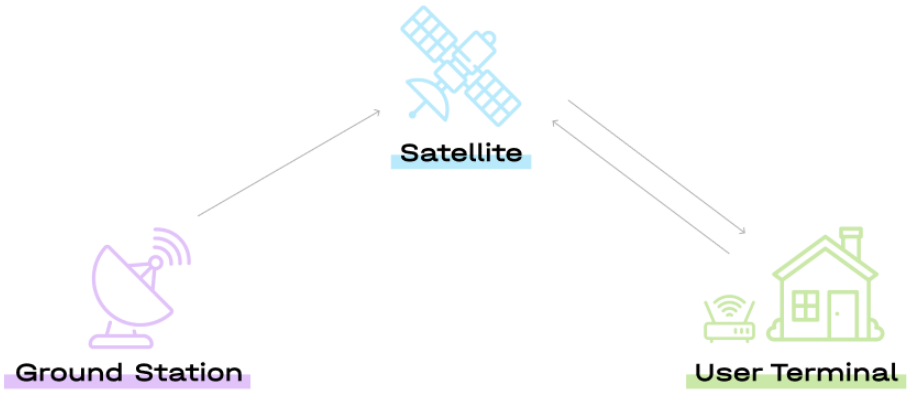


Рисунок 1.27 – Принцип роботи супутникової системи Starlink

Зараз супутникова система Starlink працює в 36 країнах світу — там, де є наземні станції-шлюзи. Щодо України, то запуск став можливим завдяки шлюзу в Польщі - саме тому в східних областях нашої країни якість мережі трохи гірша.

Для підключення до мережі, потрібен термінал, який виглядає як невелика супутникова тарілка, штатив, блок живлення та роутер.



Рисунок 1.28 – Базова комплектація Starlink

Найскладніше і найважливіше в процесі – правильно налаштувати супутникову антену. Від її розташування залежить швидкість Інтернету. Рекомендується встановлювати антену на території з відкритим небом. Після встановлення антени, необхідно під'єднати її до блока живлення та Wi-Fi-роутера.

За допомогою телефона під'єднатися до нової Wi-Fi-мережі, запустити фірмовий додаток та почекати приблизно 15 хвилин. За цей час Starlink проаналізує місце розташування термінала, підкоригує його позицію – кут нахилу та розворот тарілки, під'єднається до супутника та завершить налаштування.

На сьогодні Україна стикається з низкою викликів, серед яких актуальність використання супутникового інтернет-з’єднання стає необхідністю в різних сферах життя, зокрема в умовах війни та блек-аутів. Starlink, як ініціатива компанії SpaceX, може відігравати ключову роль у забезпеченні надійного і швидкого інтернет-з’єднання, навіть у важких умовах. Під час війни, особливо на фронті, забезпечення зв’язку важливе для координації військових операцій та обміну інформацією. У разі блекаутів, коли звичайні мережі можуть бути вимкнені, Starlink здатен стати критично важливим резервом для забезпечення комунікації. [5]

Оскільки роутери, модеми, та інші пристрої мають вхідну напругу 9…15В, споживану потужність 5…20Вт та тривалий час перезавантаження (до 1-2 хвилин), то необхідно розробити СБЖ, яка буде мати подібну конструкцію Offline ДБЖ, а також властивості Online ДБЖ подвійного перетворення.

Метою кваліфікаційної роботи є – дослідження та розробка системи безперебійного живлення постійного струму для мережевого обладнання.

Для розробки СБЖ необхідно було вирішити наступні задачі:

- Провести аналіз існуючих систем безперебійного живлення для мережевого обладнання;

- Розробити структурну та електричну принципову схеми системи безперебійного живлення, визначити технічні характеристики;

- Розробити друковану плату у програмному середовищі Altium;

- Розробити 3D модель конструкцію у програмному середовищі SolidWorks;

- Провести дослідження на працездатність плати системи безперебійного живлення;

- Провести дослідження ефективності роботи акумуляторної батареї.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МОДЕЛІ МІКРОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ

2.1 Розробка структурної схеми системи безперебійного живлення

Мікроелектронна система безперебійного живлення для мережевого обладнання має структурну схему, яка включає в себе наступні основні блоки:

- Завадоподавляючий фільтр;
- Випрямляч;
- Напівмостовий інвертор;
- Схема керування силовими ключами;
- Допоміжне живлення
- Схема керування вентилятором і захисту
- Схема контролю напруги на акумуляторі

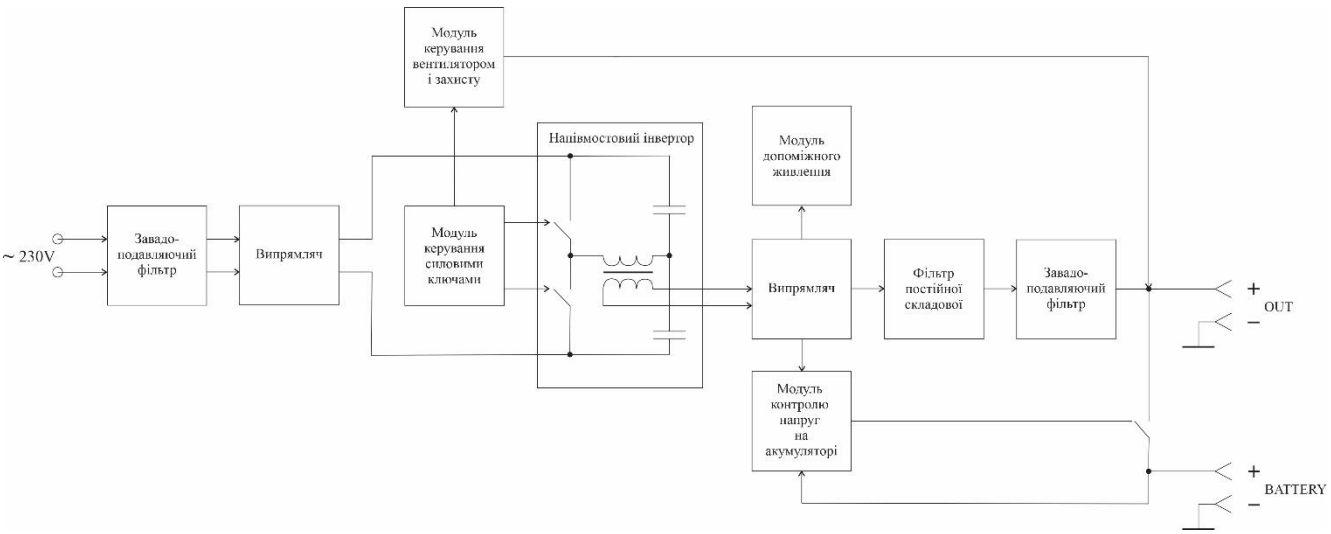


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи безперебійного живлення

Мікроелектронна система безперебійного живлення, що розробляється, повинно забезпечувати:

- живлення від мережі у звичайному режимі та від акумулятора – при відключенні електроенергії у автономному режимі;
- проводити моніторинг напруги у мережі;
- контролювати стан заряду акумулятора;
- відключати акумулятор при глибокому розряді;

Для розробленої мікроелектронної системи безперебійного живлення будо обрано основні параметри, такі як:

- Номінальна вхідна напруга — 230 В;
- Вихідний струм — 10 А
- Максимальна потужність приладу — 150 Вт;
- Тип акумуляторної батареї — LiFePO4
- Час автономної роботи — 6 годин.

2.2 Розробка електричної принципової схеми мікроелектронної системи безперебійного живлення

2.2.1 Завадоподавляючий фільтр

У мережі живлення ~230В виникають завади, сплески та провали напруги, які можуть частково або повністю вивести з ладу пристрій. Ці завади, як правило, створюються зовнішніми джерелами, наприклад, іншими пристроями, що працюють у тій самій мережі. Тому під час проєктування приладів потрібно передбачити завадоподавляючі фільтри, для того щоб мінімізувати рівень завад, які створюються самим пристроєм, щоб вони не потрапляли назад у мережу і не заважали роботі інших приладів. Це важливо для дотримання стандартів електромагнітної сумісності, таких як EN 55011, які регулюють допустимий рівень

завад для пристроїв різних класів. Стандарт EN 55011 передбачає вимірювання та контролювання електромагнітних завад у діапазоні від 150 кГц до 30 МГц. Ці частоти можуть створювати особливо сильні завади в електричних та електронних пристроях.

У схемі (рис. 2.2) застосовується комбінований фільтр, який поєднує в собі функції, як диференційних, так і синфазних фільтрів. Це дозволяє забезпечити максимальний захист від обох типів завад і підвищує загальну ефективність фільтрації. Використання таких фільтрів допомагає відповідати вимогам електромагнітної сумісності, що є важливим для сертифікації обладнання.

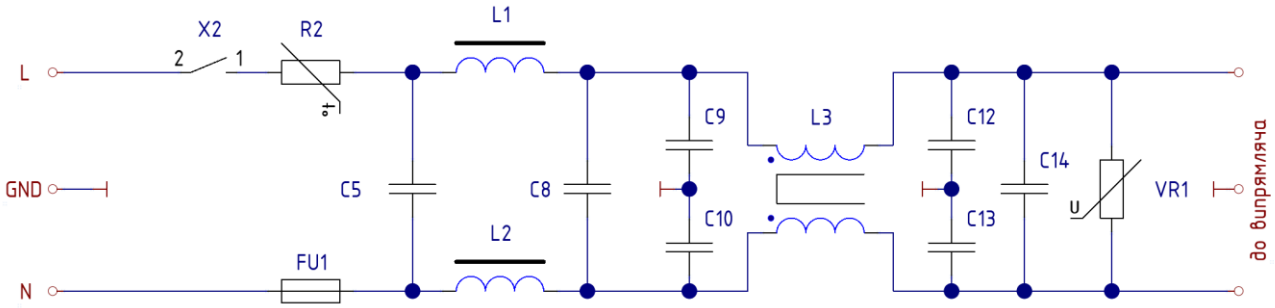


Рисунок 2.2 – Схема завадоподавляючого фільтра

У схемі (рис 2.2) використовується терморезистор R2, варистор VR1 і запобіжник FU1 для забезпечення захисту розроблюваної СБЖ від підвищень напруг. Кожен з цих елементів виконує свою специфічну функцію і разом вони забезпечують надійний захист пристрою.

Терморезистор R2 з негативним температурним коефіцієнтом (NTC) обмежує початковий зарядний струм при увімкненні пристрою. Його опір високий при низькій температурі, але він знижується у міру нагрівання.

Варистор VR1 швидко реагує на короткочасні імпульси високої напруги, наприклад, викликані блискавкою або раптовим відключенням/включенням електромережі. Коли напруга перевищує певний поріг, варистор знижує свій опір і шунтує надлишкову енергію, щоб захистити решту схеми.

Запобіжник перериває ланцюг у випадку, якщо струм перевищує безпечний рівень протягом тривалого часу. Він розривається (перегорає) при перевищенні струмового порогу, повністю роз'єднуючи ланцюг і припиняючи подачу струму на обладнання.

2.2.2 Випрямляч

Випрямляч створює вихідний сигнал постійної напруги, перетворюючи змінний струм (AC), що тече в обох напрямках, на постійний струм (DC), який тече лише в одному напрямку. Це досягається за допомогою мостової схеми з чотирьох діодів, які випрямляють обидві півхвилі змінного струму, спрямовуючи їх в один напрямок. Проте після випрямлення струм залишається пульсуючим, тому для його згладжування додається конденсатор. Конденсатор накопичує заряд під час пікових значень напруги і поступово розряджається, коли напруга знижується, забезпечуючи більш рівномірний рівень вихідної напруги

На рисунку 2.3 представлена схема випрямляча у вигляді діодного моста VD5 з паралельно підключеним конденсатором C18.

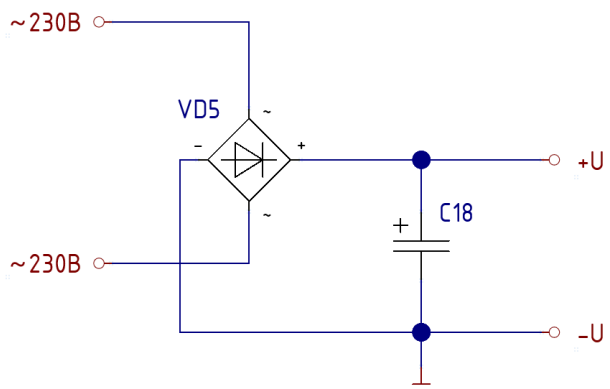


Рисунок 2.3 – Схема випрямляча

2.2.3 Напівмостовий інвертор

Напівмостовий інвертор - це тип інвертора, який перетворює постійну напругу (DC) у змінну напругу (AC). Він складається з двох транзисторів і двох конденсаторів, з'єднаних послідовно між позитивним і негативним виводами джерела постійної напруги. На рисунку 2.4 представлена схема напівмостового інвертора.

Силові транзистори VT3 та VT4 мають працювати в ключовому режимі, тобто один відкритий, другий має бути закритим. В іншому випадку відбудеться коротке замикання. Для виконання цієї вимоги контролер із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) має формувати затримку між імпульсами керування ключами. Затримка потрібна для того, щоб транзистор встиг закритися, а для цього потрібен час, оскільки ключі мають ненульовий час відкриття\закриття. Ця затримка (рис. 2.5) в технічній літературі називається «dead-time» (мертвий час). Для цього напівмостового інвертора «dead-time» складає 1-2мкс.

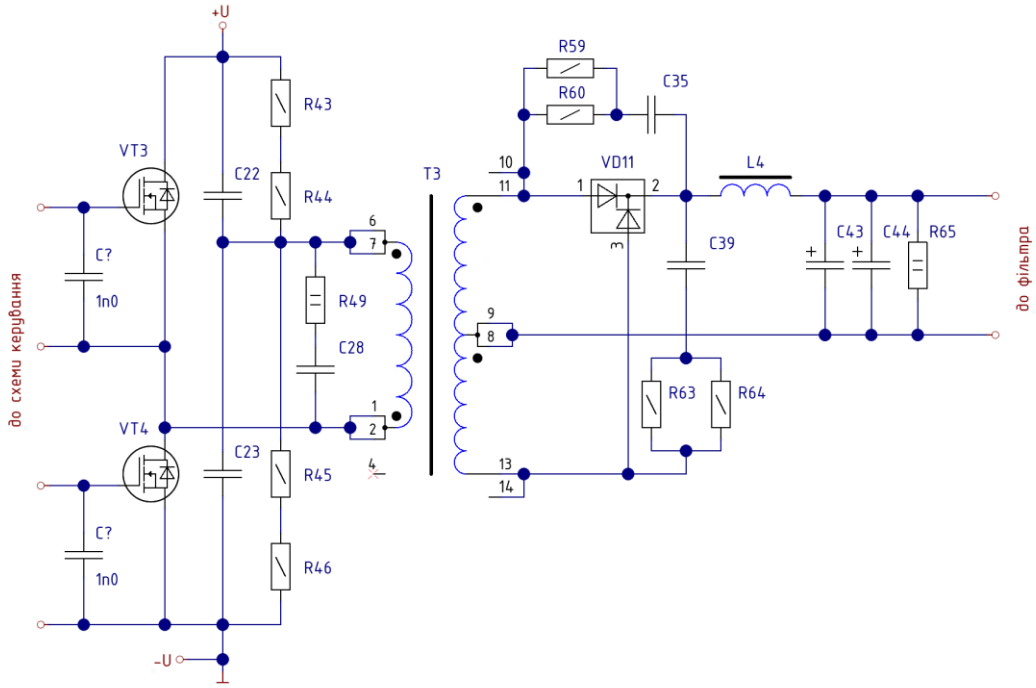


Рисунок 2.4 – Схема напівмостового інвертора

За рахунок індуктивності розсіювання у первинної обмотки трансформатора, під час закриття ключів виникають високочастотні викиди напруги. Для вирішення цієї задачі використовують швидкі діоди, які виводять ці викиди назад у конденсатор (С18). У схемі (рис. 2.4) ключі вже мають вбудовані діоди.

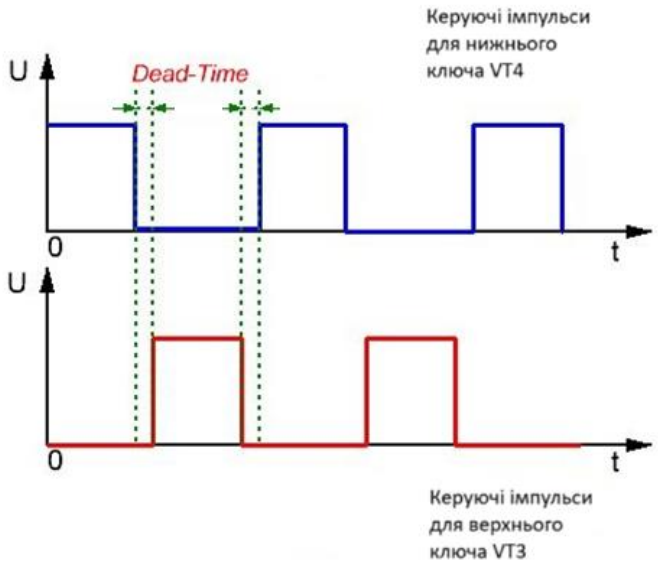


Рисунок 2.5 – Затримка між керуючими імпульсами

Перший такт: ШІМ контролер формує позитивний відкриваючий імпульс, який надходить на затвор VT4. Транзистор відкривається, починає протікати струм ланцюгом: «+U», конденсатор С22, первинна обмотка трансформатора Т3, транзистор VT4, «-U».

На вторинній обмотці трансформатора індукуватиметься вторинна напруга. Струм протікатиме таким чином: «+» вторинної обмотки Т3, надшвидкий діод VD11 (вивід 1 та 2), дросель L4, конденсатори С43 та С44, частково живлячи навантаження R65. Весь цей час ключ VT3 закритий.

Ключ VT4 закривається. ШІМ-контролер, перед подачею імпульсу, що відкриває, витримує паузу (dead-time). За цей час VT4 повністю встигає закритися. Навантаження живиться від конденсатора С43,С44.

Другий такт: при надходженні позитивного відкриваючого імпульсу, на транзистор VT3, струм протікатиме таким ланцюгом: «+U», транзистор VT3,

первинна обмотка трансформатора Т3, конденсатор С23, «-U». Транзистор VT4 весь цей час буде закритий.

На вторинній обмотці трансформатора індукується напруга, протилежної полярності відносно попереднього такту. Струм протікатиме таким ланцюгом: «+» вторинної обмотки Т3, швидкий діод VD11 (вивід 2 та 3), конденсатори С43 та С44, частково живлячи навантаження R65.

Встановлений LC-фільтр (L4, С43 та С44) згладжує ШІМ-сигнал, перетворюючи його на стабільну напругу. Змінюючи ширину імпульсів у ШІМ-сигналі можна регулювати середнє значення вихідної напруги. LC-фільтр усереднює ці імпульси, утворюючи стабільну напругу, яка пропорційна середньому значенню ШІМ.

Транзистори VT3, VT4 і діод VD11 виконані в корпусі TO-220, який здатний ефективно відводити тепло. Проте в умовах значного тепловиділення, яке виникає при роботі з високими струмами або напругами, встановлення радіатора є необхідним для забезпечення надійної роботи компонентів і попередження їх перегріву.

Максимальна теоретична потужність, яка виділяється на VD11:

$$P_{VD11} = I_f \cdot V_f \tag{2.1}$$

де:

- I_f – прямий струм через діод;
- V_f – пряме падіння напруги (для MBR20100CT приблизно 0,85 В при 10 А)

$$P = 10 \cdot 0{,}85 = 8{,}5\text{Вт} \tag{2.2}$$

Максимальна теоретична потужність, яка виділяється на VT3 та VT4:

$$P_{VT3,VT4} = I \cdot V \tag{2.3}$$

де:

- I – струм через елемент

• V – напруга, що падає на елементі (для транзистора це колектор-емітерна напруга 2В)

$$P_{VT3,VT4} = 2 \cdot 5 = 10\text{Вт} \quad (2.4)$$

Транзистори VT3, VT4 і діод VD11 слід встановити на радіатор. Для цього обрано модель БПО-3745. VT3 і VT4 можуть бути розміщені на спільному радіаторі, за умови використання ізолюючих прокладок і термопасти. Оскільки компоненти працюють у середовищі з високою температурою, необхідно забезпечити активне охолодження.

3D-модель цих радіаторів буде виглядати наступним чином:

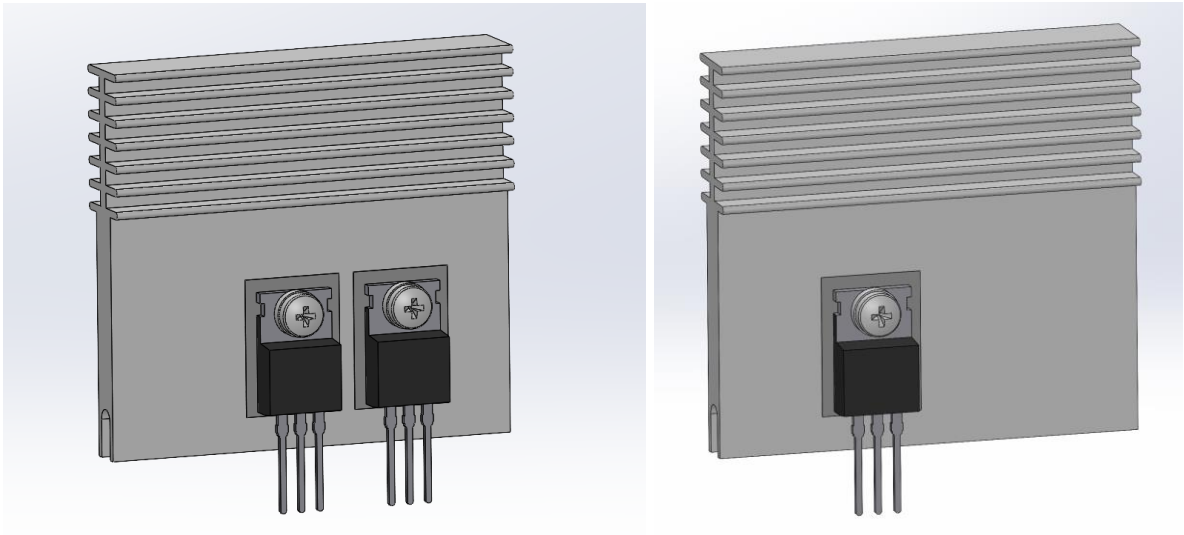


Рисунок 2.6 – 3D-модель радіаторів

2.2.4 Схема керування силовими ключами

Схема керування силовими ключами (рис. 2.7) є важливою складовою напівмостового інвертора, оскільки від неї залежить якість надійного відкриття, закриття, та перемикання силових транзисторів, які утворюють змінну напругу на виході.

Основним елементом цієї схеми виступає ШІМ контролер, що генерує протифазні імпульси для керування обома ключами, наприклад, TL494. Використання ШІМ контролера TL494 є популярним завдяки можливості зручно налаштовувати широтно-імпульсну модуляцію, регулювати частоту комутації і використовувати вбудовані підсилювачі похибки для зворотного зв'язку. Схема на базі TL494 забезпечує протифазне керування силовими ключами інвертора напруги, що дозволяє створювати змінну напругу на виході перетворювача.

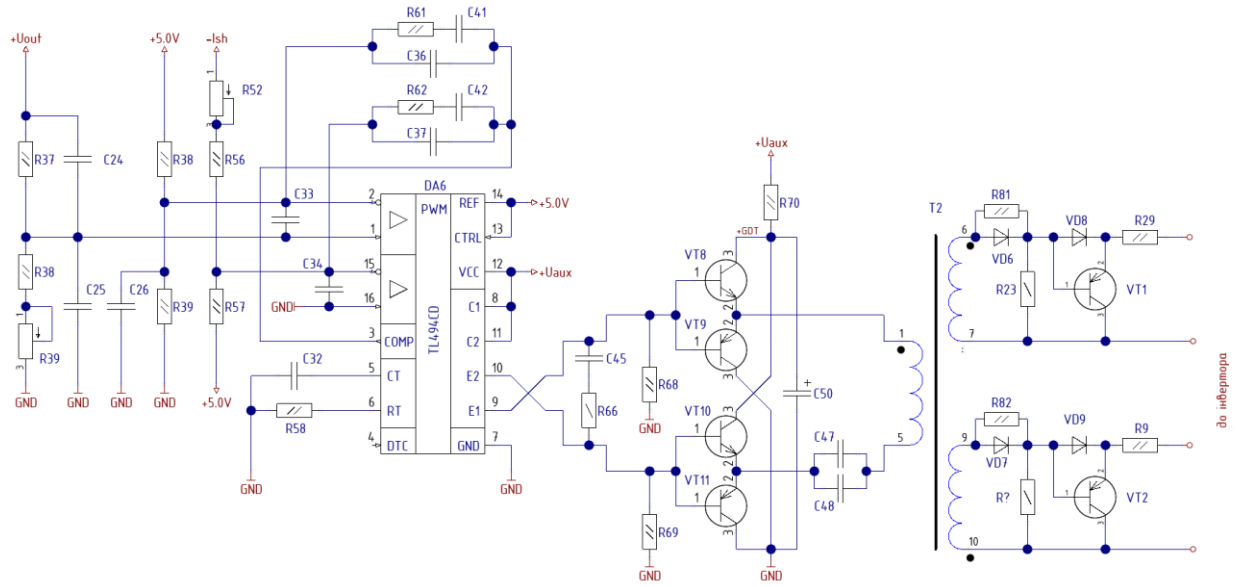


Рисунок 2.7 – Схема керування силовими ключами

Зворотний зв'язок у ШІМ контролері виконує критичну роль у стабілізації вихідної напруги, і його робота значною мірою залежить від значень опору та ємності елементів у конторі зворотного зв’язку. Ця комбінація компонентів визначає частотну характеристику контуру і швидкість реакції системи на зміни вихідної напруги. Резистори і конденсатори створюють необхідну амплітудно-фазову характеристику зворотного зв’язку для компенсації факторів впливу таких, як коливання вхідної напруги, зміна опору навантаження, зміна втрат потужності в елементах комутації та їх нагрівання, тощо.

При зміні навантаження або вхідної напруги ШІМ контролер отримує від зворотного зв’язку сигнал про відхилення від заданого значення. Контур з

резисторами та конденсаторами формує цей сигнал так, щоб усунути миттєві коливання, одночасно зберігаючи чутливість до стійких відхилень.

Зворотний зв'язок побудовано на основі ПІД-регулятора (пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор). Це алгоритм керування, широко використовуваний в автоматичних системах керування для підтримки заданого значення параметра об'єкта (наприклад, температури, тиску, швидкості). ПІД-регулятор обчислює керуючий вплив на основі трьох складових:

Пропорційна – забезпечує керування пропорційно відхиленню поточного значення параметра від заданого.

Інтегральна – враховує накопичені помилки, що дозволяє зменшити статичне відхилення.

Диференційна – реагує на швидкість зміни помилки, допомагаючи запобігати її подальшому збільшенню.

Разом ці складові забезпечують баланс між швидкістю реакції, точністю та стабільністю системи.

Сигнали ШІМ контролера зазвичай мають відносно низьку потужність, тому, щоб уникнути перевантаження контролера струмами, додають емітерний повторювач. Ця схема повторює вхідну напругу і при цьому значно підсилює вихідний струм, що забезпечує стабільну і надійну роботу всієї системи керування.

Трансформатор Т2 застосовується для гальванічної розв'язки, оскільки ШІМ контролер встановлений на вторинній стороні, а силові ключі — на первинній. Це дозволяє передавати керуючі імпульси від контролера до ключів без прямого електричного з'єднання, що забезпечує гальванічну ізоляцію між керуючою схемою і силовою частиною, підвищуючи безпеку та захист від впливу високих напруг.

Транзистори VT1 та VT2 встановлені для забезпечення надійного вимкненого стану силових ключів. Коли на вхід подається сигнал "0", транзистори підсилюють його, що гарантує повне закриття ключів. Це особливо важливо для запобігання одночасному відкриттю силових транзисторів (так званому "протяг"),

оскільки у такому разі через коротке замикання може утворитися значний струм, що призведе до перегріву та можливого виходу пристрою з ладу.

2.2.5 Допоміжне живлення

Допоміжне живлення використовується для забезпечення стабільної роботи керуючих елементів перетворювача. Він побудований на основі зворотноходного перетворювача, який складається з ШІМ контролера, трансформатора та зворотного зв’язку.

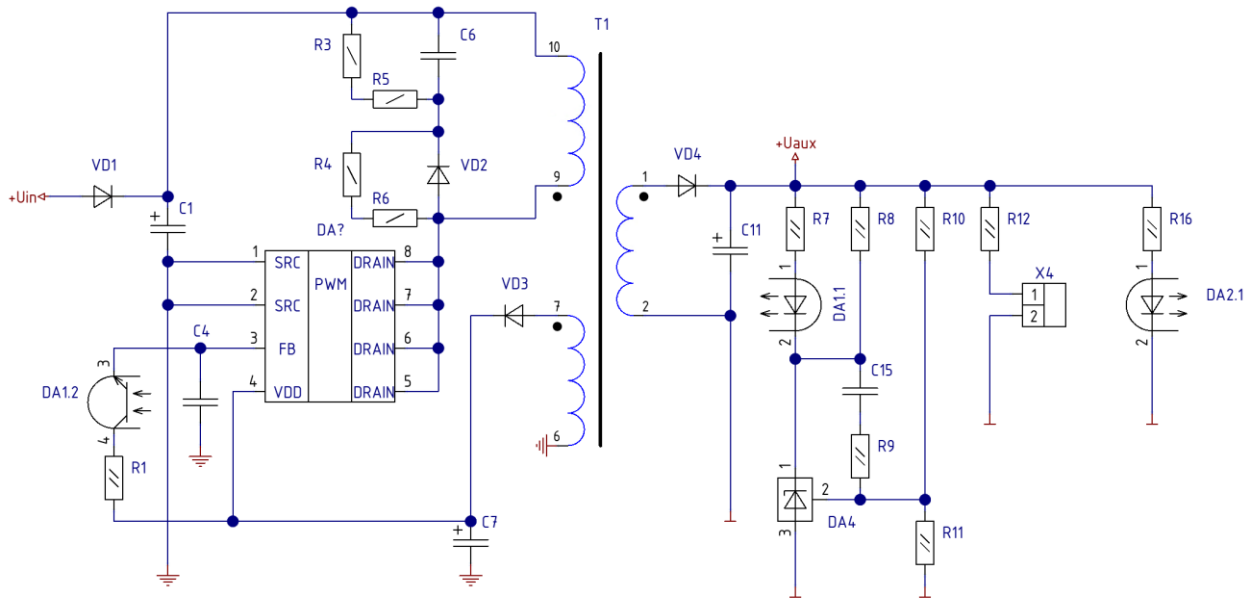


Рисунок 2.8 – Схема допоміжного живлення

Через пускові резистори (R3,R4,R5,R6) в момент запуску проходить невеликий струм, який починає заряджати конденсатор (C7). Коли напруга на конденсаторі досягає потрібного рівня, ШІМ-контролер (DA3) активується і починає працювати. Він генерує імпульси, що запускають трансформатор. Після цього на допоміжній обмотці трансформатора з'являється напруга, яка стає джерелом живлення для контролера. Таким чином, контролер переходить із

живлення від конденсатора на живлення від трансформатора, і система починає працювати стабільно. Цей механізм забезпечує плавний запуск схеми та дозволяє уникнути перевантажень і пошкоджень компонентів.

2.2.6 Схема керування вентилятором і захисту

Схема побудована на основі мікросхеми LM339 (рис.2.9) і забезпечує контроль напруги допоміжного живлення перетворювача, плавного запуску ШІМ-контролера на початку роботи та його блокування при небажаних умовах.

Також, схема виконує таку функцію, як терморегулювання вентилятора. Резистор R55 встановлює мінімальну швидкість обертання вентилятора, щоб забезпечити його роботу на старті незалежно від температури. При підвищенні температури транзистор VT6 активується, що підключає каскад DA5.3, який збільшує напругу на вентиляторі, прискорюючи його обертання. Якщо температура стає критично високою, активується транзистор VT7, підключаючи каскад DA5.4 для максимального збільшення швидкості вентилятора.

Якщо терморезистор, який підключається до роз'єму X3, виходить з ладу (обрив), компаратор DA5.2 формує сигнал блокування, який відключає схему, щоб уникнути перегріву пристрою.

Каскад DA5.1 контролює напругу допоміжного живлення. Якщо напруга знижується, він вимикає ШІМ-контролер, щоб система не працювала при нестабільному живленні.

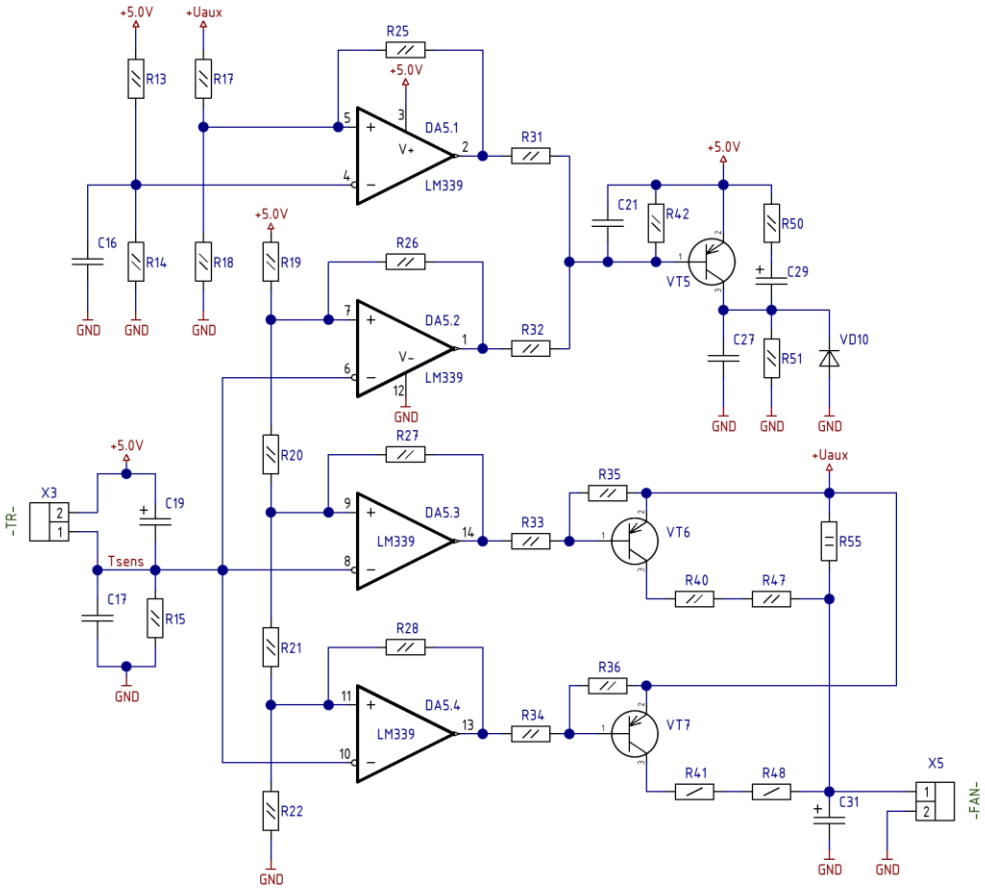


Рисунок 2.9 – Схема керування вентилятором і захисту

2.2.7 Схема контролю напруги на акумуляторі

Схема контроля напруги на акумуляторі (рис. 2.10) використовується для таких задач, як:

- контроль правильності підключення полярності акумуляторної батареї;
- забезпечення підключення акумуляторної батареї на заряд при наявності мережі;
- запобігти надмірному розряду акумуляторної батареї.

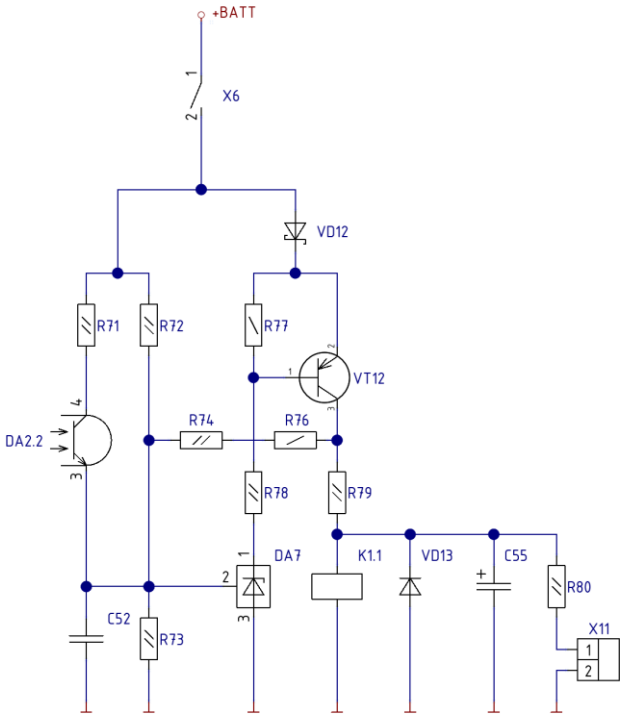


Рисунок 2.10 – Схема контролю напруги на акумуляторі

Головними компонентами схеми контролю напруги є оптрон DA2 та діод Шотткі VD12. Діод VD12 відповідає за перевірку полярності, пропускаючи струм тільки при правильному підключенні. У разі неправильної полярності схема не активується, що забезпечує захист акумулятора від короткого замикання.

Оптрон DA2 відповідає за підключення акумуляторної батареї до зарядного пристрою, коли є живлення від мережі. Він також захищає акумулятор від надмірного розряду: при зниженні напруги акумулятора до критичного рівня (10В) оптрон передає сигнал на DA7, щоб вимкнути навантаження.

Розробивши структурну схему системи безперебійного живлення і використовуючи середовище проєктування Altium, розроблено принципову схему усієї системи живлення. З урахуванням усіх вищезазначених блоків, схема має вид, представлений на рисунку 2.11. Повний список застосованих компонентів наведений у таблиці 2.1.

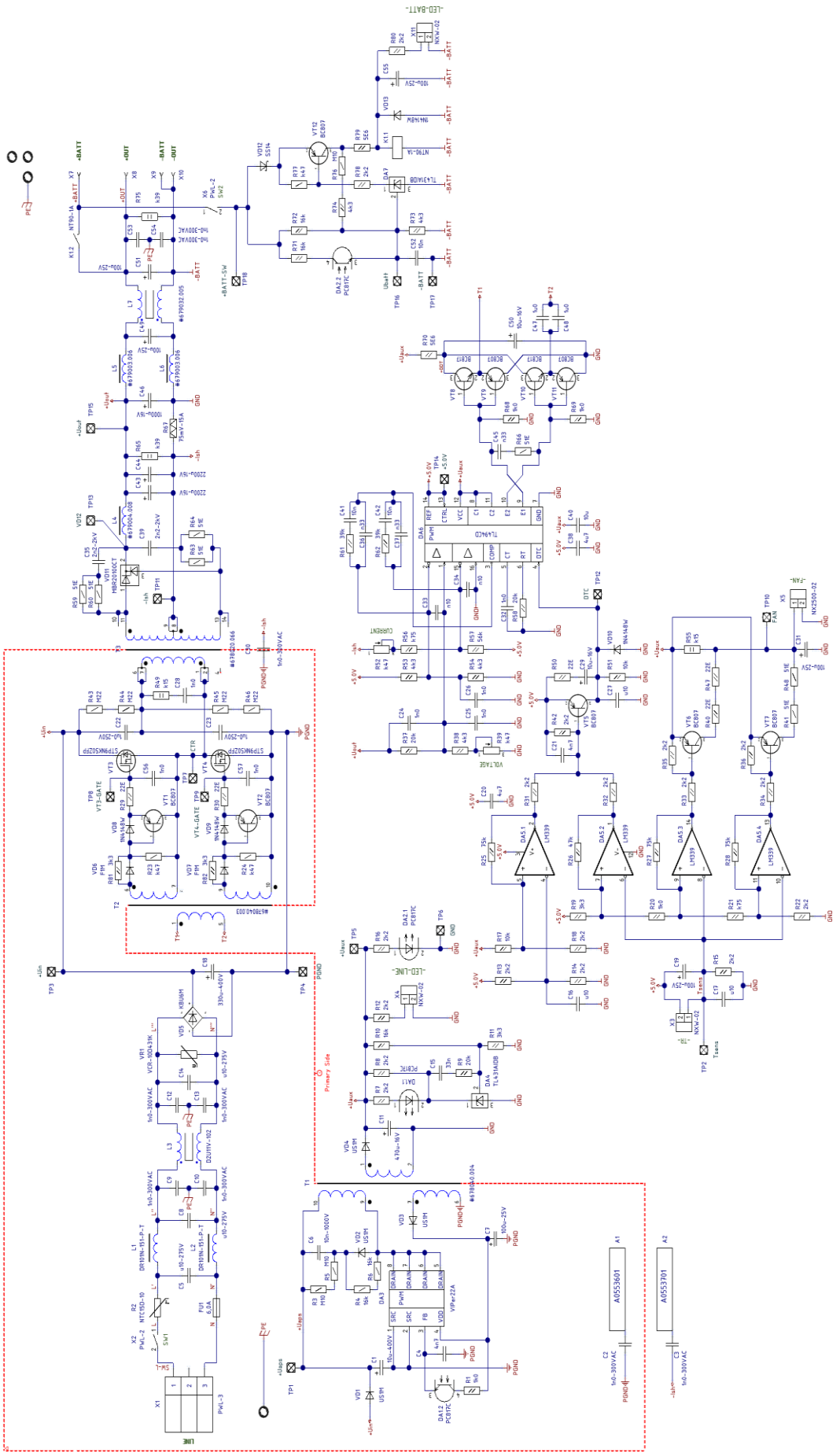


Рисунок 2.11 – Електрична схема системи безперебійного живлення

Таблиця 2.1 — Перелік використаних компонентів

Позиційне ім'я	Найменування	Тип корпусу	Кіл-ть	Шар
1	2	3	4	5
A1	A0553601		1	Top
A1,A2	M3*8 (цил/гл; PH1; цб) DIN7985	-	2	
A2	A0553701		1	Top
C1	10u-400V(10x21) ESG	ECAP	1	Top
C11	470u-25V(8x11)	ECAP	1	Top
C15	33n-50V-X7R (0.033uF-50V-X7R)	0805	1	Bottom
C16,C17, C27	u10-50V-X7R (0.1uF-50V-X7R)	0805	3	Bottom
C18	330u-400V(30x40) Kendeil K05	ECAP	1	Top
C2,C3, C9,C10, C12,C13, C30, C53,C54	MPX-X1Y2-1n0-300V (рас.7,5)	MPX	9	Top
C20, C38	4u7-25V-X5R (4.7uF-25V-X5R-10%)	0805	2	Bottom
C22,C23	MPR-1u0-400V (p=15mm) SPKF09	MPR	2	Top
C25, C26, C32, C56, C57	1n0-50V-X7R (1000pF-50V-X7R-10%)	0805	5	Bottom
C28	VCH-1n0-2kV	VCH	1	Top
C29, C50	10u-63V(5x11)	ECAP	2	Top
C33,C34,C36,C37	n10-50V-NP0 (100pF 50V NP0)	0805	4	Bottom
C35, C39	2n2-2000V-X7R-10% (2.2nF-2000V-X7R-10%)	1206	2	Bottom
C4, C21	4n7-50V-X7R (4700pF-50V-X7R-10%)	0805	2	Bottom
C40	10u-25V-X5R-10% (10uF-25V-X5R-10%)	1206	1	Bottom
C41,C42, C52	10n-50V-X7R (0.01uF-50V-X7R-10%)	0805	3	Bottom
C43,C44,C46	ECAP-1000u-16V (10x16) ECR	ECAP	3	Top
C45	n33-50V-NP0 (330pF-50V-NP0-5%)	0805	1	Bottom
C47,C48	1u0-50V-X7R (1uF-50V-X7R)	0805	2	Bottom
C5, C8, C14	MKP-X2-u10-310VAC (p=10mm) STX2	MKP	3	Top
C6	10n-1000V-X7R-10% (10nF-1000V-X7R-10%)	1206	1	Bottom

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
C7, C19, C31, C49, C51, C55	ECAP-100u-35V(6.3x11) JRB	ECAP	6	Top
DA1,DA2	PC817C - EL817C	DIP-4	2	Top
DA3	VIPER12ADIP-E	DIP-8	1	Top
DA4, DA7	LTL431ATLT1G	SOT-23	2	Bottom
DA5	LM339 -R (DIP-14)		1	Top
DA6	TL494CD	SO-16	1	Bottom
FU1	6,0A	3.6*10	1	Top
FU2	40A (auto-medium-19mm) AMF-40A	-	1	Top
K1	NT90 - NT90RHAE12CB	-	1	Top
L1,L2	DM1010 - DR1010N-151-P-T (150uH, 1.59A)	-	2	Top
L3	D2U11V-102 (1000uH 2.00A)	-	1	Top
L4	#679004.008		1	Top
L7	#679032.005		1	Top
R1, R20, R68,R69	1k0-1% (1kOm)	0805	5	Bottom
R10, R71,R72	16k0 (16kOm)	0805	3	Bottom
R11, R19, R81, R82	3k3-1% (3.3kOm)	0805	5	Bottom
R17, R51	10k-1% (10kOm)	0805	2	Bottom
R2	NTC 16R 4A D=15mm (MF72-16D15)	-	1	Top
R21, R56	k75 (750 Om)	0805	2	Bottom
R23,R24, R77	k47 (470 Om)	1206	3	Bottom
R25, R27,R28	75k-1% (75kOm)	0805	3	Bottom
R26	47k-1% (47kOm)	0805	1	Bottom
R29,R30, R40, R47, R50	22E (22 Om)	0805	5	Bottom
R3, R5, R76	M10 (100kOm)	1206	3	Bottom
R38, R53,R54, R73,R74	4k3 (4.3kOm)	0805	5	Bottom
R39, R52	k47 (470 Om)	3296W	2	Top
R4, R6	16k (16kOm)	1206	2	Bottom
R41, R48, R59,R60, R63,R64, R66	51E (51 Om)	1206	7	Bottom
R43...R46	M22 (220kOm)	1206	4	Bottom
R49, R55	RSF-2-k15	RSF-2	2	Top
R57	56k (56kOm)	0805	1	Bottom
R61,R62	39k-1% (39kOm)	0805	2	Bottom
R65, R75	RSF-2-k39	RSF-2	2	Top

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
R7,R8, R12...R16, R18, R22, R31...R36, R42, R78, R80	2k2-1% (2.2kOm)	0805	18	Bottom
R70, R79	5E6 (5.6Om)	0805	2	Bottom
R9, R37, R58	20k-1% (20kOm)	0805	3	Bottom
T1	#678024.015		1	Top
T2	#678024.014		1	Top
T3	#678020.066		1	Top
VD1...VD4	US1M	SMA	4	Bottom
VD10, VD13	1N4007W	SOD-123	2	Bottom
VD12	SS14	SMA	1	Bottom
VD5	RS407 (4.0A; 700Vrms)		1	Top
VD6,VD7,VD8,VD9	F1M	SOD-123	4	Bottom
VR1	VCR-10D431K (430V) S10K275	VCR	1	Top
VT1,VT2, VT5...VT7, VT9, VT11,VT12	BC807-40LT1	SOT-23	8	Bottom
VT8, VT10	BC817-40,215	SOT-23	2	Bottom
X1	PWL-3/2-R	-	1	Top
X3	NXW-02	-	1	Top
X4, X11	NXW-02	-	2	Top
X5	NX2500-02SMS	-	1	Top

2.3 Розрахунок мінімальної ємності акумуляторної батареї для мікроелектронної системи безперебійного живлення

Для розрахунку мінімальної ємності акумуляторної батареї для системи безперебійного живлення з заданими параметрами виконаємо обчислення з урахуванням наступних даних:

Вихідна напруга: U=13.8В,

Споживаний струм навантаження: I=10А,

Час автономної роботи: T = 6 год,

Тип акумулятора: літій-залізо-фосфатний (LiFePO4),

Глибина розряду для LiFePO4 (DOD): 0.8–0.9 (80–90%),

ККД системи (η): зазвичай (95%).

Мінімальна ємність батареї в ампер-годинах (А·год) розраховується за формулою:

$$C_{min} = \frac{I \cdot T}{DOD \cdot \eta} \quad (2.5)$$

Розрахунок:

$$C_{min} = \frac{10 \cdot 6}{0{,}9 \cdot 0{,}95} = 70{,}18 \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (2.6)$$

Мінімальна ємність акумуляторної батареї для 6 годин автономної роботи становить 70.2 А·год.

Додаємо запас у 10–15% для компенсації втрат та старіння батареї:

$$C_{res} = C_{min} \cdot 1{,}15 = 70{,}2 \cdot 1{,}15 \approx 80{,}73 \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (2.7)$$

Акумуляторна батарея повинна мати ємність не менше 80,8 А·год для 6 годин автономної роботи.

Для отримання необхідної напруги 13.8В, потрібно з'єднати комірки послідовно**.** Напруга батареї при послідовному з'єднанні визначається як:

$$U_{battery} = N_{serial} \cdot U_{cell} \quad (2.8)$$

де

- N_{serial} — кількість послідовно з’єднаних комірок;
- $N_{cell} = 3{,}2\text{В}$ (номінальна напруга однієї комірки).

$$N_{serial} = \frac{U_{battery}}{U_{cell}} = \frac{13{,}8}{3{,}2} = 4{,}31 \quad (2.9)$$

Мінімальна кількість комірок $N_{serial} = 4$. Це дає загальну напругу 12.8В (у розрядженому стані) і 14.6В (у зарядженому стані), що відповідає діапазону вашої системи.

Вибрано акумуляторну батарею типу літій-залізо-фосфатний (LiFePO4) та ємністю 20 А·год. Акумуляторна комірка має вигляд:



Рисунок 2.12 – Зовнішній вигляд акумуляторної комірки

При послідовному з'єднанні ємність не змінюється, тому для досягнення потрібної ємності 80 А·год потрібно з’єднати комірки паралельно. Тому, акумуляторна батарея для системи безперебійного живлення має вигляд:

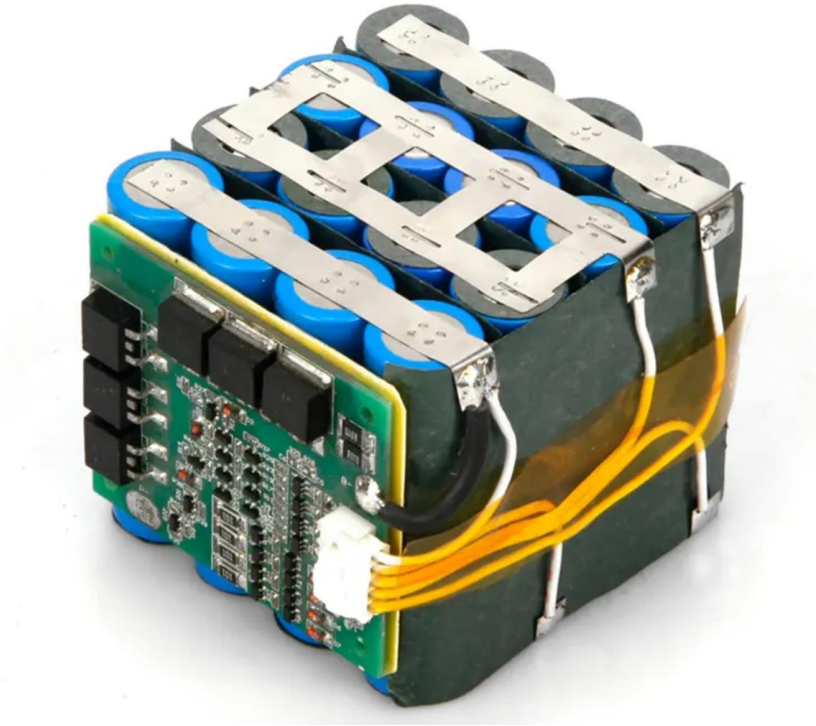


Рисунок 2.13 – Акумуляторна батарея для мікроелектронної системи безперебійного живлення

Для забезпечення захисту акумуляторної батареї необхідно використовувати систему управління батареєю (BMS). Ця система виконує функцію балансування напруги між окремими комірками, що є особливо важливим при їх послідовному з'єднанні, щоб запобігти надмірному заряду або розряду кожної комірки. Для роботи з акумуляторною батареєю BMS повинна відповідати таким вимогам:

Конфігурація: 4S4P (4 комірки послідовно, 4 паралельно)

Номінальний струм: 20А (для СБЖ вистачить із запасом)

Піковий струм: 40–50А

Зарядна напруга: 14.6В.

Захист від розряду: 10.0–10.5В.

Балансування: пасивне

2.4 Розробка друкованої плати системи безперебійного живлення

Друкована плата — це пластина з діелектричного матеріалу (склотекстоліт, текстоліт, гетинакс, ситал тощо), на поверхні або всередині якої створено один чи кілька шарів провідних доріжок. На платі розміщуються електронні компоненти, які з'єднуються з провідними доріжками за допомогою паяння, а в рідкісних випадках — зварювання. У результаті цього формується електронний модуль, тобто змонтована друкована плата.

Друковані плати класифікуються за такими ознаками:

1) Кількість шарів

- Одношарові плати: Найпростіший тип плат, на якому всі компоненти розміщені на одному шарі. Використовуються для простих пристроїв із невеликою кількістю елементів.

- Двошарові плати: Компоненти розміщуються на обох сторонах плати, а з'єднання між ними забезпечується отворами або міжшаровими мідними

переходами. Це універсальний варіант, який широко застосовується в сучасній електроніці.

• Багатошарові плати: Складаються з більш ніж двох шарів (зазвичай від 4 до 12, але може бути більше). Використовуються для складних пристроїв, оскільки забезпечують компактність, кращу електричну провідність і знижують рівень електромагнітних завад.

2) Тип діелектрика

• Фенольна смола (FR-1, FR-2, FR-3): Недорогий матеріал, що часто застосовується в одноразових електронних пристроях.

• Епоксидна смола (FR-4): Найпопулярніший матеріал для друкованих плат завдяки високій надійності та універсальності.

• Поліамідна плівка: Використовується для виготовлення гнучких друкованих плат і шлейфів.

• Алюмінієві та мідні пластини з діелектричним покриттям: Використовуються для ефективного відведення тепла, наприклад, у платах для світлодіодів.

• Керамічні діелектрики: Застосовуються в високоточних і високочастотних пристроях. Мають високу теплопровідність, механічну міцність і стійкість до електричних навантажень.

3) Типи струмопровідних шарів

Зазвичай як струмопровідний шар використовується мідь, що наноситься або приклеюється до діелектрика. У спеціалізованих платах також застосовуються:

• Дорогоцінні метали для підвищення провідності.

• Резистивні суміші для інтегрованих резисторів у платі.

4) Типи покриття монтажних майданчиків

Щоб захистити мідь від окислення, монтажні майданчики, перехідні отвори та інші елементи покривають спеціальними матеріалами:

• Припій зі свинцем (HASL).

• Припій без свинцю (HASL).

• Хімічне покриття золотом (ENIG).

- Хімічне покриття сріблом.
- Хімічне покриття оловом.

Існує п'ять класів точності виготовлення друкованих плат, які визначаються відповідно до рекомендацій ДСТУEN61188-1-1:2022.

Перший і другий класи точності застосовуються для плат із низькою щільністю розміщення дискретних елементів та мікросхем із невисоким ступенем інтеграції.

Третій клас точності підходить для компонентів як із поверхневим монтажем (SMT), так і з монтажем через отвори (THT), коли поверхня плати має середню або високу щільність розміщення елементів.

Четвертий клас точності використовується для плат із високою щільністю мікросхем, як із поверхневим монтажем, так і з монтажем через отвори.

П'ятий клас точності призначений для плат із максимально високою щільністю розміщення компонентів поверхневого монтажу.

Всі вище перераховані класи точності мають параметри з відповідними значеннями для кожного з них. Параметри приведені у в таблицях 2.2 та 2.3.

Таблиця 2.2 — Граничні значення основних параметрів ДМ

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b^{r}_{пр}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$I^{г}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{по}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини плати, мм	$К_{дт}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 2.3 — Допустимі похибки виконання елементів ДМ

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{\text{сп}}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	$\delta_{\text{о}}$	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{\text{КМ}}$	0,015(0,05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{\text{фф}}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{\text{сш}}$	0,05

Для друкованої плати системи безперебійного живлення вибрані такі основні вимоги:

- Матеріал плати: FR-4
- Кількість шарів: 2
- Товщина плати : 1,6
- Размір плати : 150*115 мм
- Min провідник: 0,35 мм
- Min відстань між доріжками: 0,35 мм
- Min поясок: 0,25 мм
- Покриття монтажних майданчиків: Припій зі свинцем (HASL)
- Маска: зелена
- Маркування: білою фарбою

В результаті аналізу параметрів класів точності, які перераховані вище, прийнято рішення використовувати 2 клас точності, так як низька щільність розміщення елементів і більша частина компонентів на друкованій платі буде використовуватися в корпусі поверхневого монтажу.

При трасуванні друкованої плати використовується ширина не меньше ніж 0,5 мм. Це рішення обумовлене зниженням опору провідника й зменшенням можливості його пошкодження. Також для провідників живлення і землі

використовуються набагато ширші провідники там, де це можливо, розміри досягають до 1,5 мм. Для живлення виділені окремі шари, на яких залиті великі площі для зменшення опору. Те саме зроблено і для шарів землі, що у свою чергу зменшує максимальну відстань, яку проходить струм і опір. Також шари землі зменшують завади, які створюють провідники живлення та інформаційні.

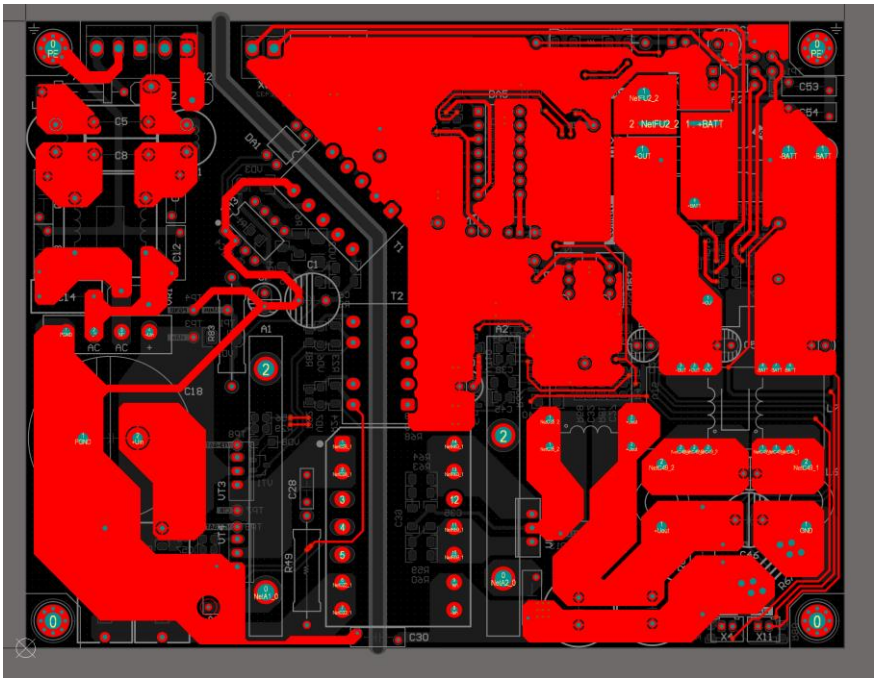


Рисунок 2.14 – Трасування друкованої плати Top шар

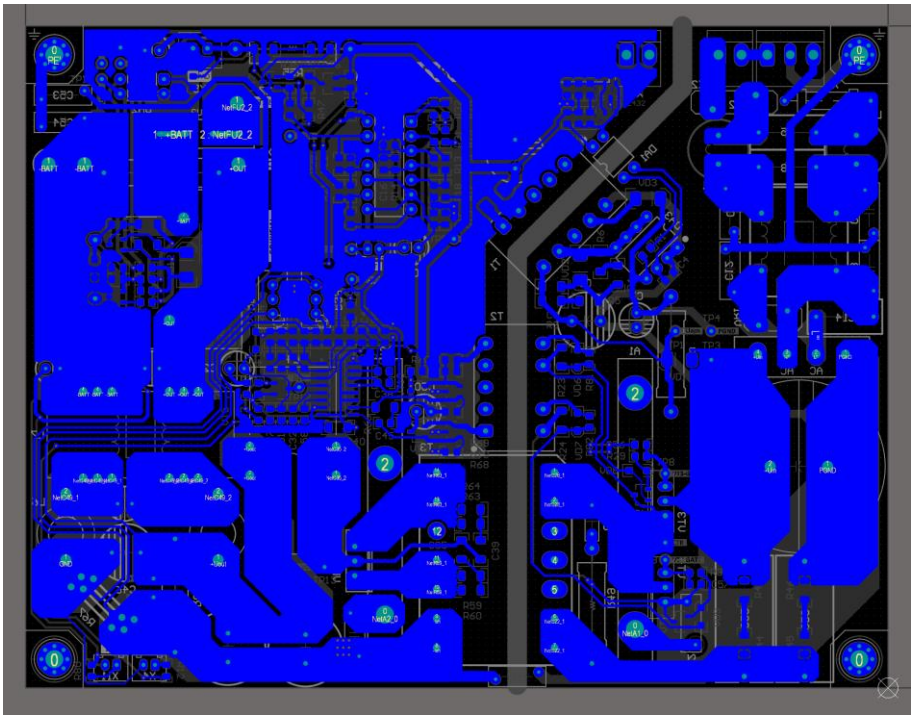


Рисунок 2.15 – Трасування друкованої плати Bottom шар

Після завершення розміщення всіх елементів, трасування доріжок і нанесення маркування, друкована плата матиме такий вигляд:

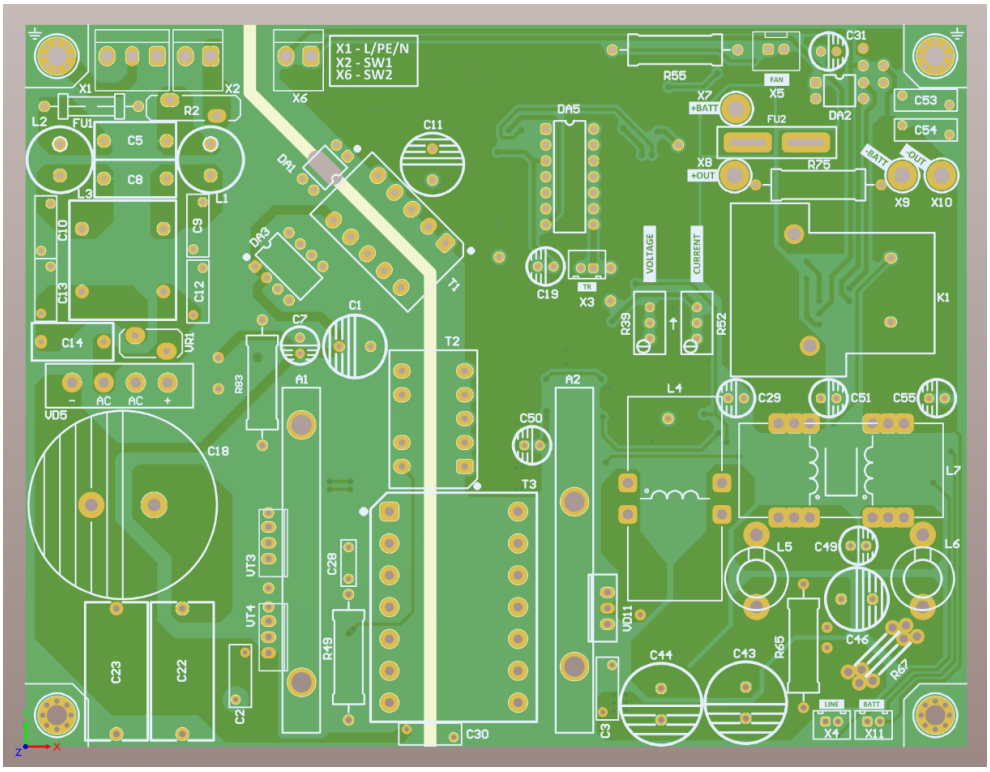


Рисунок 2.16 – 3D-модель готової друкованої плати Top шар

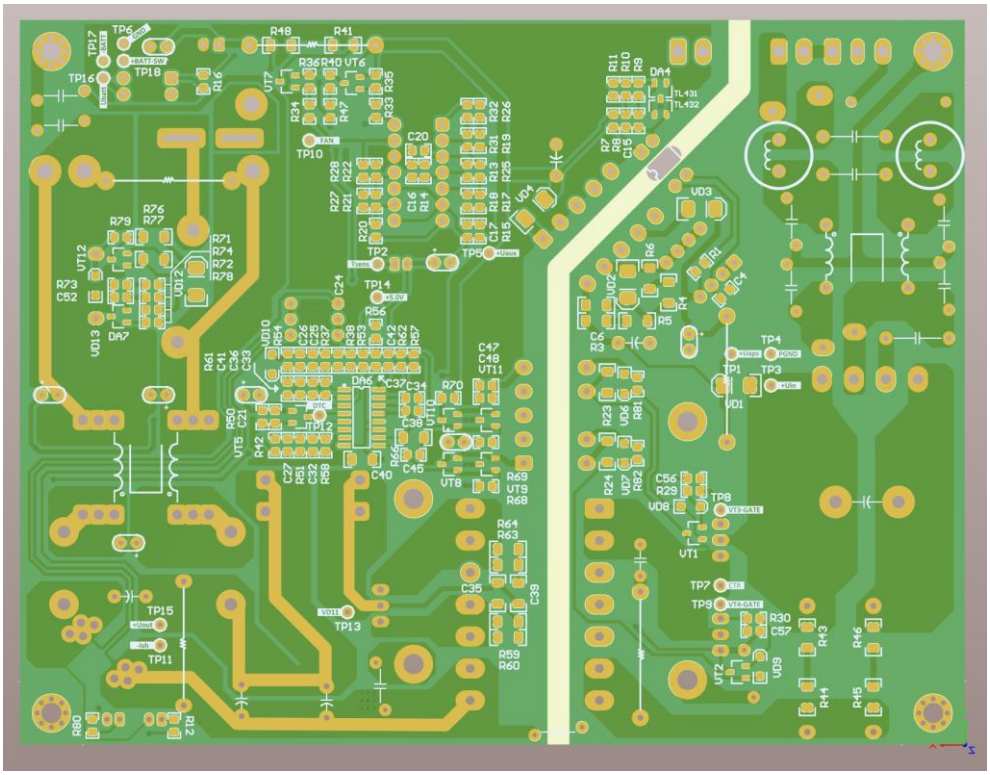


Рисунок 2.17 – 3D-модель готової друкованої плати Bottom шар

3D-модель плати системи безперебійного живлення має такий вигляд:

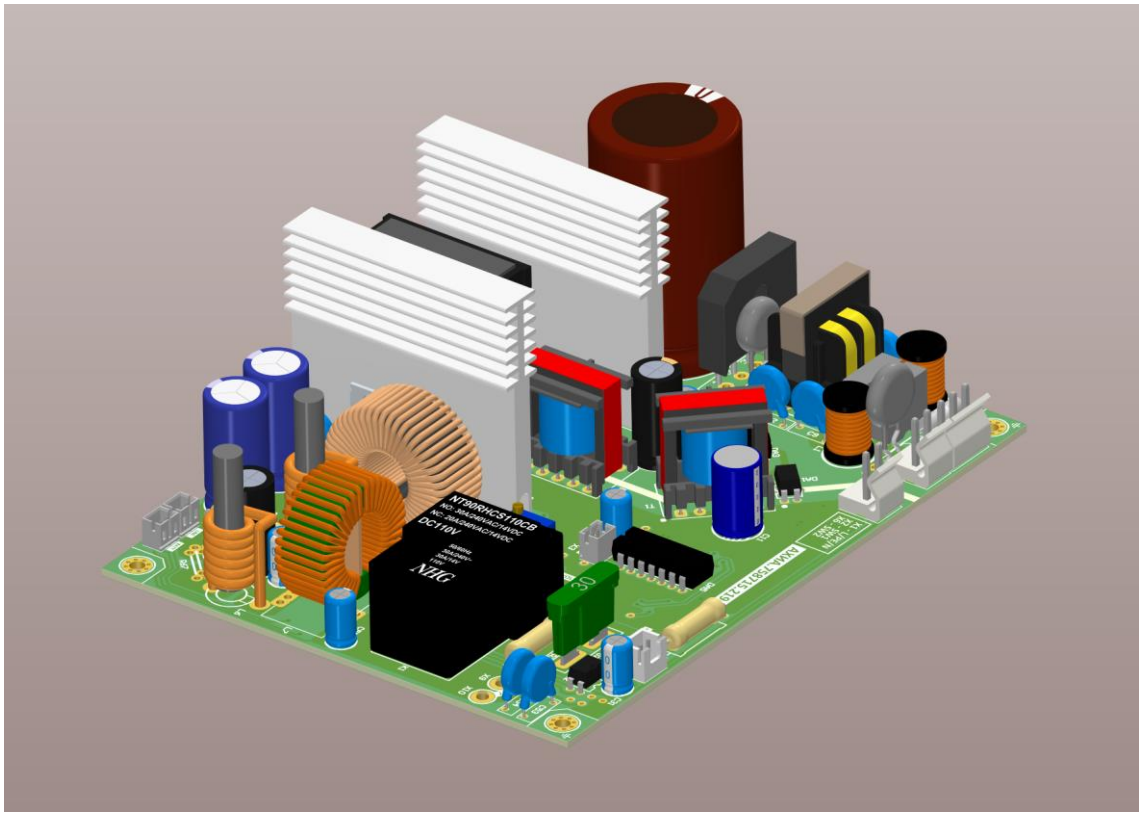


Рисунок 2.18 – 3D-модель плати системи безперебійного живлення

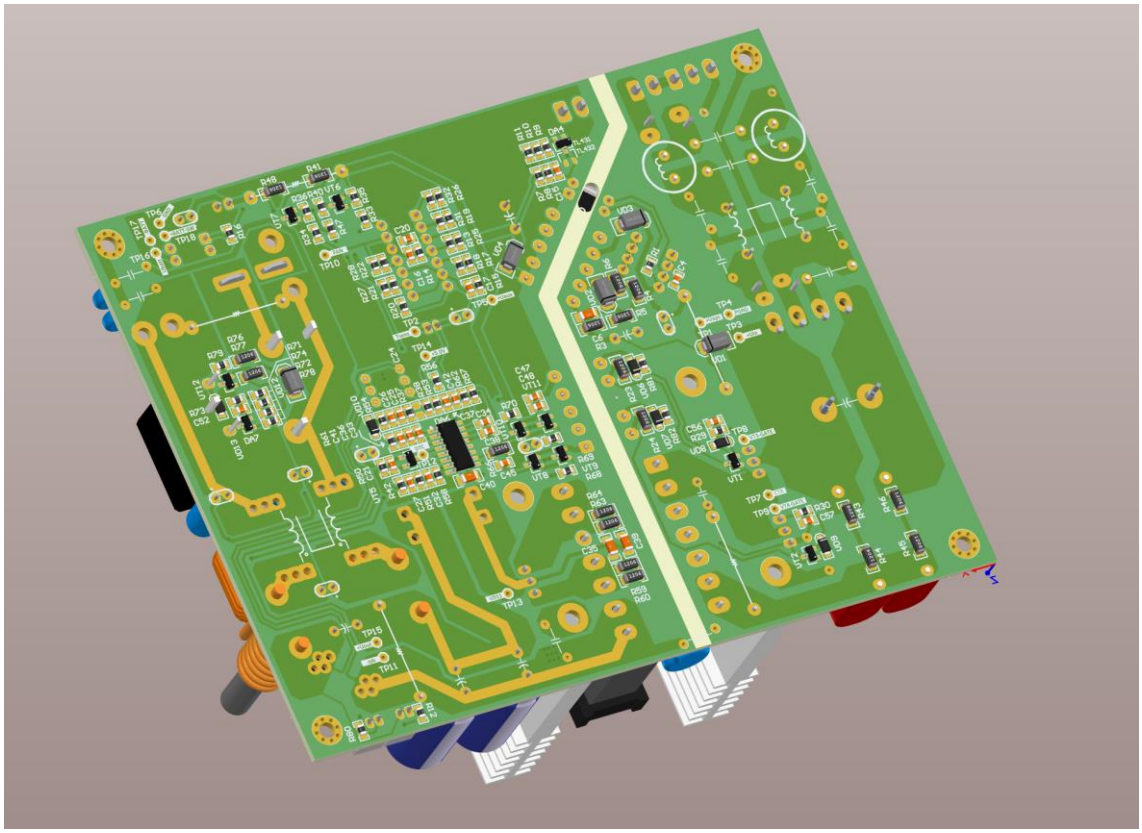


Рисунок 2.19 – 3D-модель плати системи безперебійного живлення

2.5 Дослідження на працездатність плати СБЖ

Для дослідження на працездатність плати системи безперебійного живлення необхідні такі прилади:

- Джерело напруги постійного струму на 12V/0.2A;
- Джерело напруги 230V змінного струму;
- Осцилограф;
- Вольтметр;
- Амперметр для постійного струму.

Подається 12V з джерела постійного струму з обмеженням 0.2A на лінію "Ucc". Перевіряємо плавний пуск і форму сигналу на затворах силових транзисторів VT3 і VT4 відносно їх витіків. Частота сигнала 30kHz±10%.

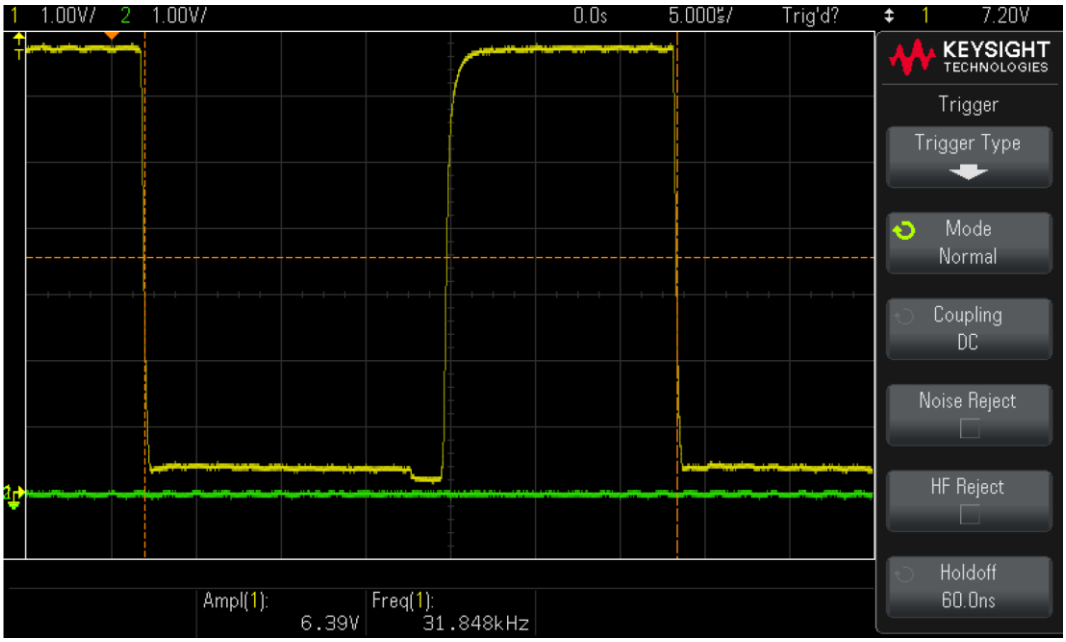


Рисунок 2.20 – Сигнал на затворах силових транзисторів VT3 і VT4 відносно їх витіків

Перевіряємо тривалість затримки (dead time) між сигналами (≈ 2,0 мкс)

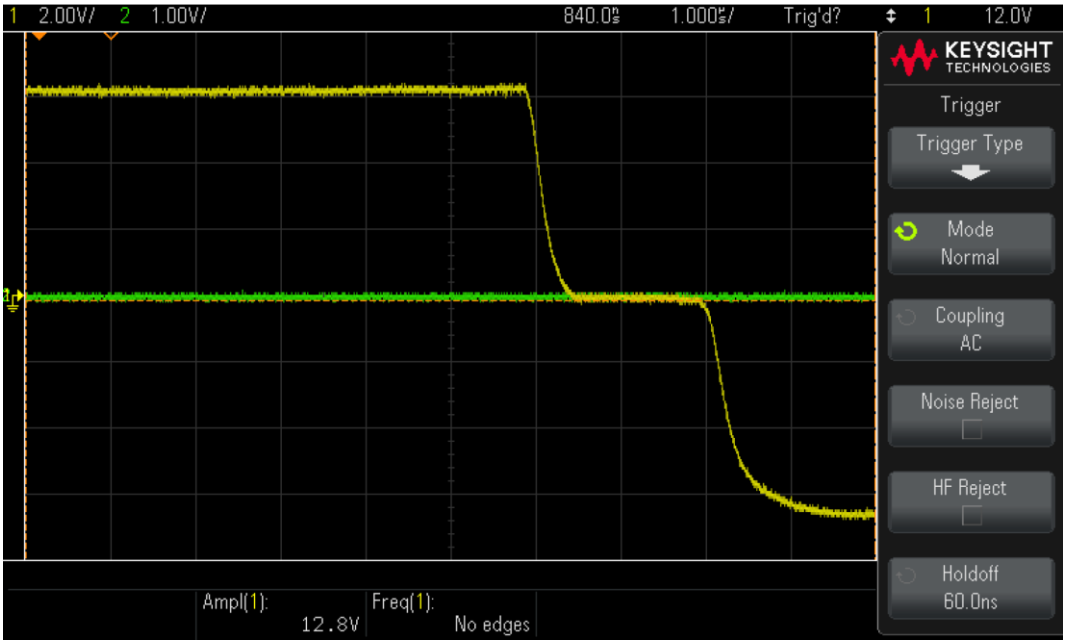


Рисунок 2.21 – Сигнал на затворах силових транзисторів VT3 і VT4 відносно їх витіків

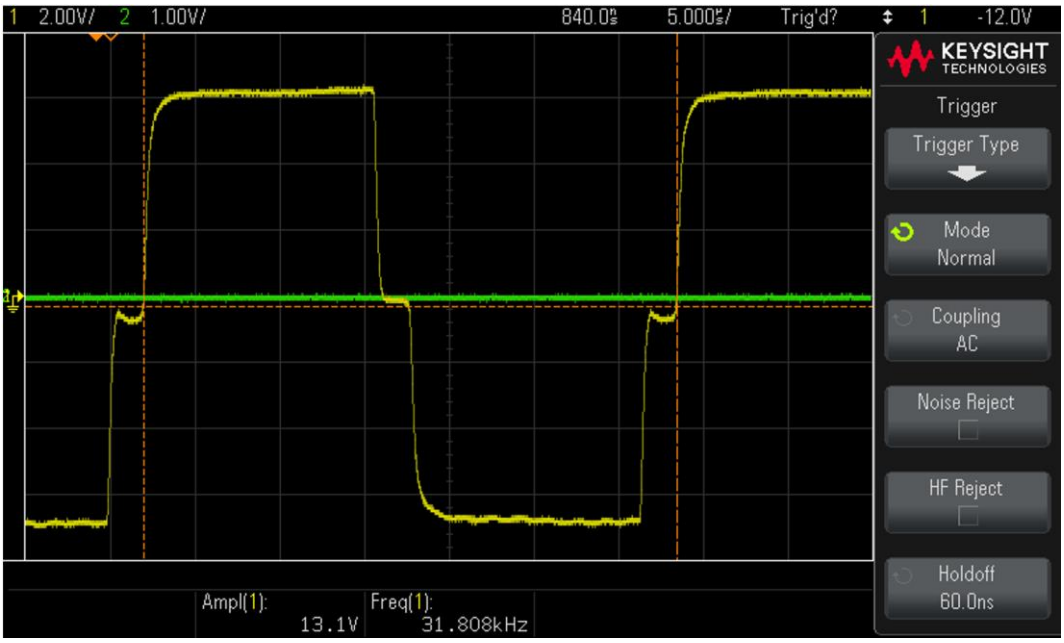


Рисунок 2.22 – Сигнал на затворах силових транзисторів VT3 і VT4 відносно їх витіків

Перевіряємо форму сигналу на виводі «E1» ШІМ-контролера DA6:

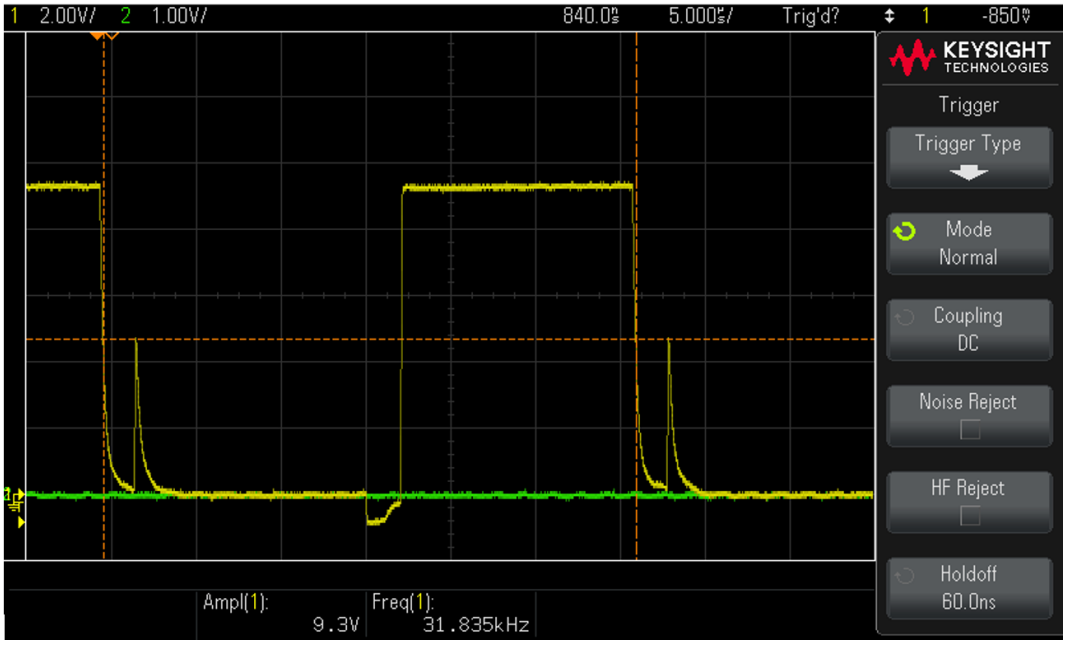


Рисунок 2.23 – Сигнал на виводі «E1» ШІМ-контролера DA6

Перевіряємо форму сигналу на виводі «CT» ШІМ-контролера DA6:

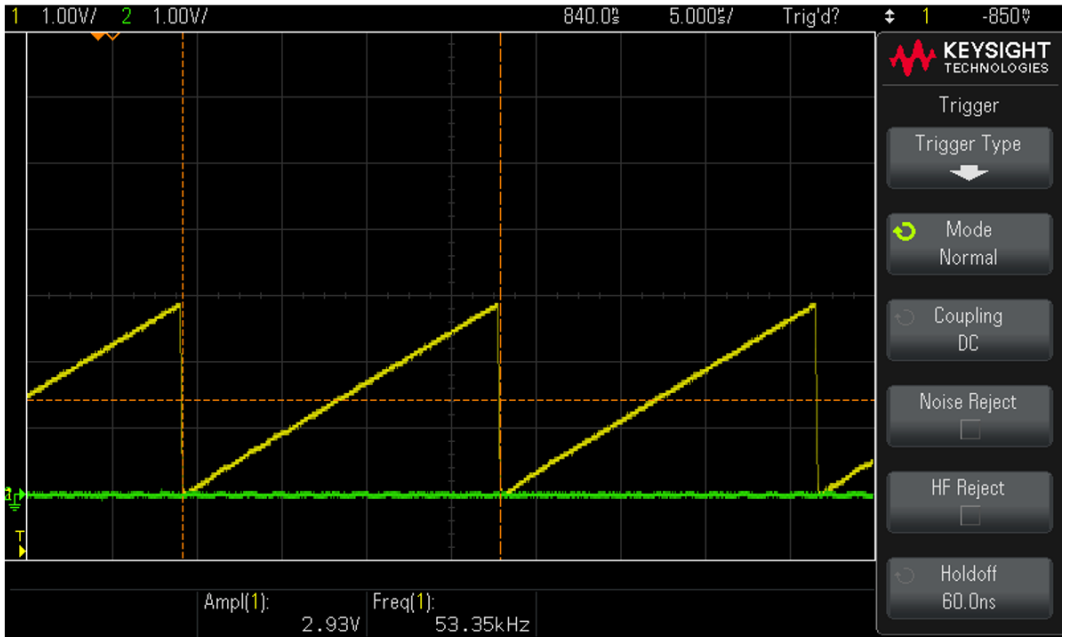


Рисунок 2.24 – Сигнал на виводі «E1» ШІМ-контролера DA6

Перевіряємо роботу плати при мінімальному навантаженні та отримуємо сигнал на виході:

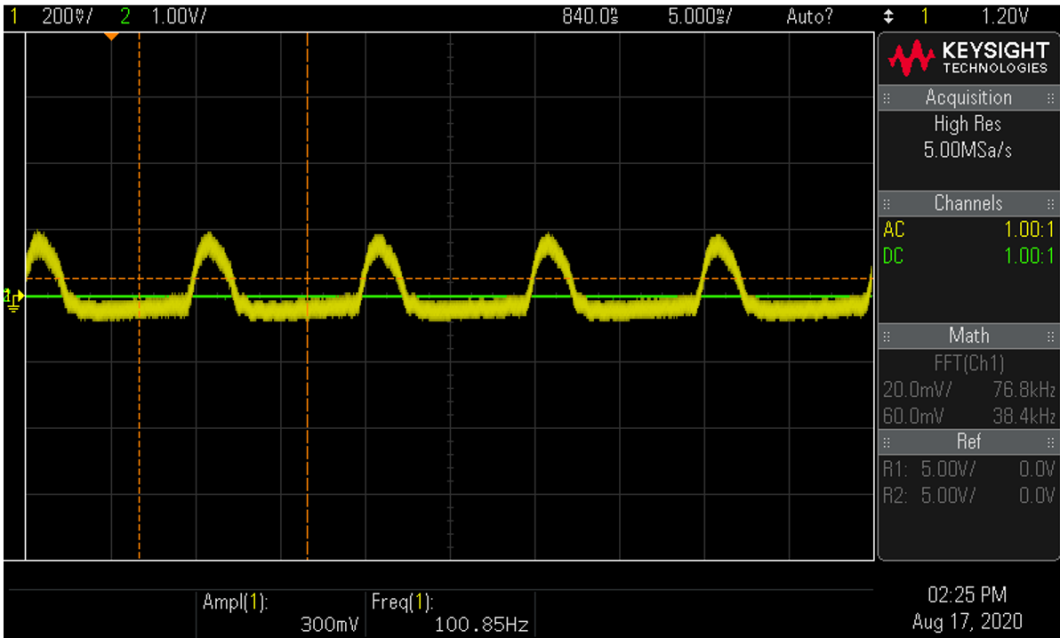


Рисунок 2.25 – Сигнал на виході при навантаженні 1,1А

У ході проведених досліджень та вище зазначених сингалів, можна зробити висновок, що розроблена плата системи безперебійного живлення є цілком працездатною.

2.6 Дослідження ефективності роботи акумуляторної батареї

Проведено дослідження ефективності вибраної акумуляторної батареї для системи безперебійного живлення. У ході дослідження було отримано:

- Крива залежності вольтажу від часу заряду та стану заряду акумулятора;
- Крива розряду акумулятора під різним навантаженням.

Для отримання залежності вольтажу від часу заряду та стану заряду акумулятора необхідно:

1) Підключити акумулятор до зарядного пристрою та вимірювальних приладів.

2) Заряджати акумулятор з певним струмом.

3) Фіксувати вольтаж через регулярні проміжки часу.

4) Визначати стан заряду в процентах.

Таблиця 2.4 — Результати вимірювань

Вольтаж (V)	Час заряду (хв)	Стан заряду (%)
10,5	0	0
11	20	15
11,5	40	30
12	60	50
12,5	100	65
13	120	80
13,5	150	100

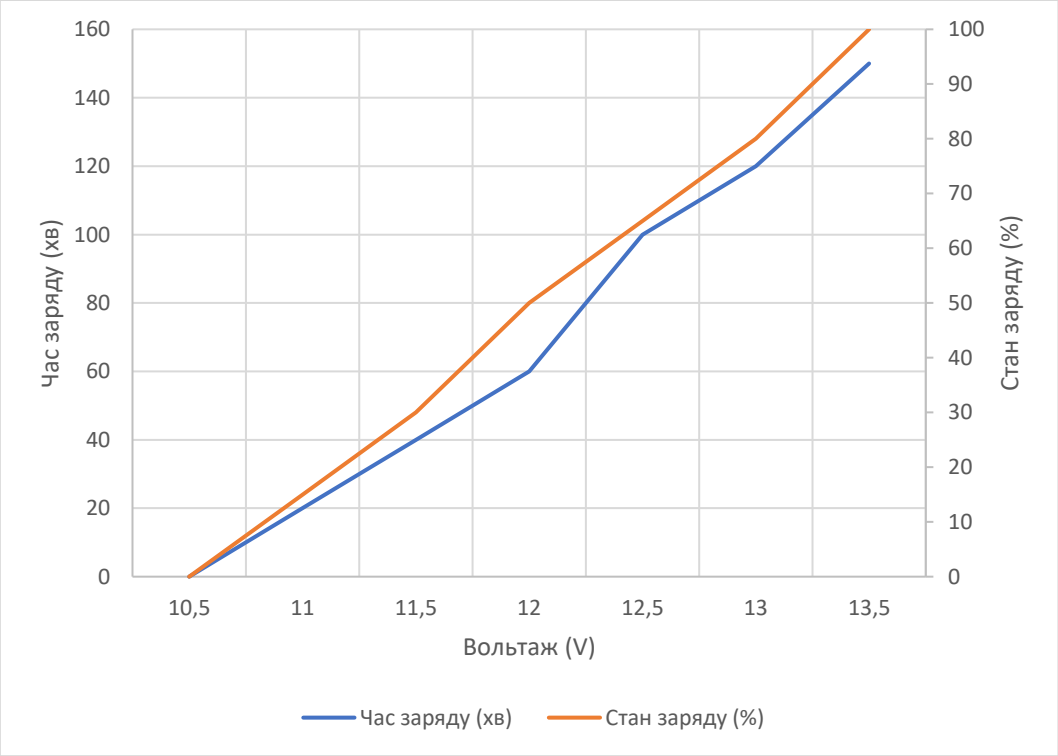


Рисунок 2.26 – Залежність вольтажу від часу заряду та стану заряду акумулятора (25°C)

Для побудови кривої розряду вибраної акумуляторної батареї під різним навантаженням мережевого обладнання, спочатку потрібно визначити основні навантаження, які будуть використовуватися в експерименті. Для дослідження вибрані такі прилади:

- Оптичний термінал – 6 Вт
- WiFi роутер – 12 Вт
- Відеореєстратор – 36 Вт

Таблиця 2.5 — Результати вимірювань

Час розряду, год.	Вольтаж, В (6 Вт)	Вольтаж, В (12 Вт)	Вольтаж, В (36 Вт)
0	13,2	13,2	13,2
1	12,9	12,7	12
2	12,6	12,3	11,5
3	12,3	12	11
4	12	11,6	10,5
5	11,8	11,2	10
6	11,6	10,8	9,5
7	11,4	10,5	9
8	11,2	10,2	8,5
9	11	9,8	8
10	10,8	9,5	7,5

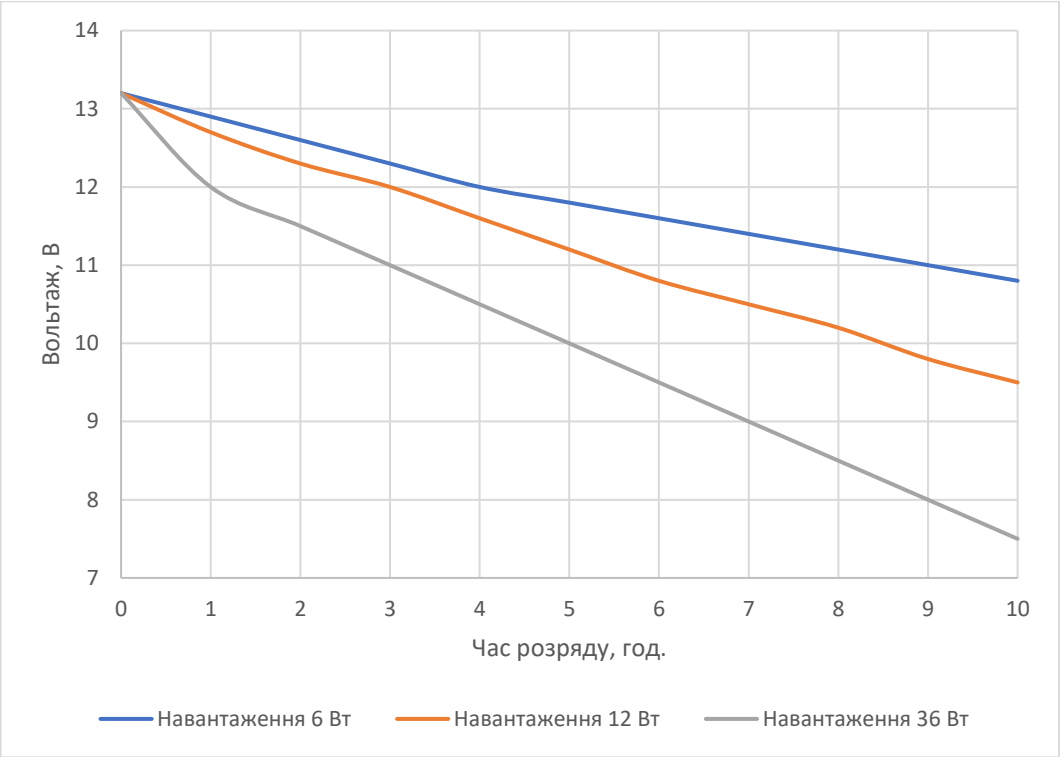


Рисунок 2.27 – Залежність розряду акумулятора під навантаженням

За результатами досліджень можна зробити висновок про те, що акумуляторна батарея відповідає необхідним вимогам.

2.7 Розробка 3D-моделі мікроелектронної системи безперебійного живлення

Для розробки 3D-моделі мікроелектронної системи безперебійного живлення застосовувалось програмне середовище SOLIDWORKS. Головними складовими є корпус і кришка, які наведені на рисунку 2.28. і 2.29. Для проектування 3D-моделі було обрано сталь товщиною 0,8 мм.

У корпусі передбачені місця для установки вимикача, світлодіодів, роз’єма 220В, роз’єма DC 5.5x2.5, вентилятора, а також для плати системи безперебійного живлення та акумуляторної батареї.

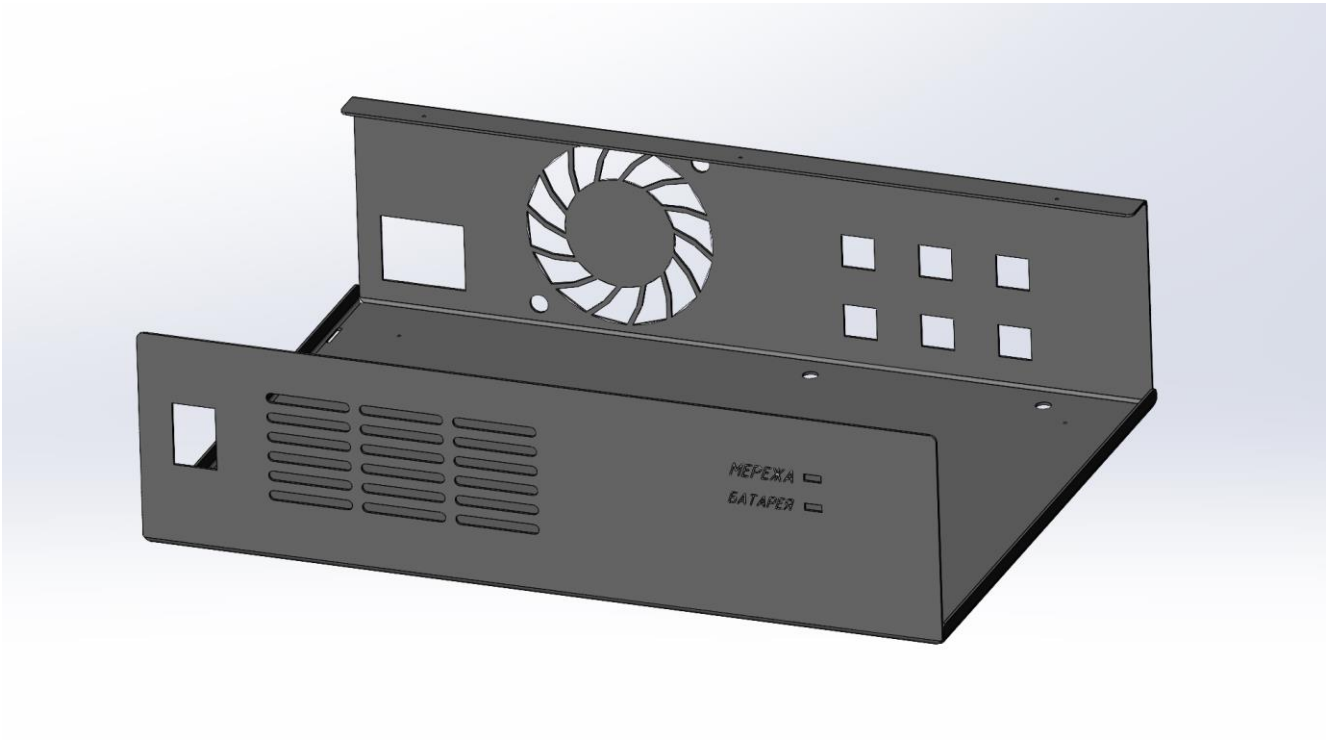


Рисунок 2.28 – 3D модель корпусу мікроелектронної системи безперебійного живлення

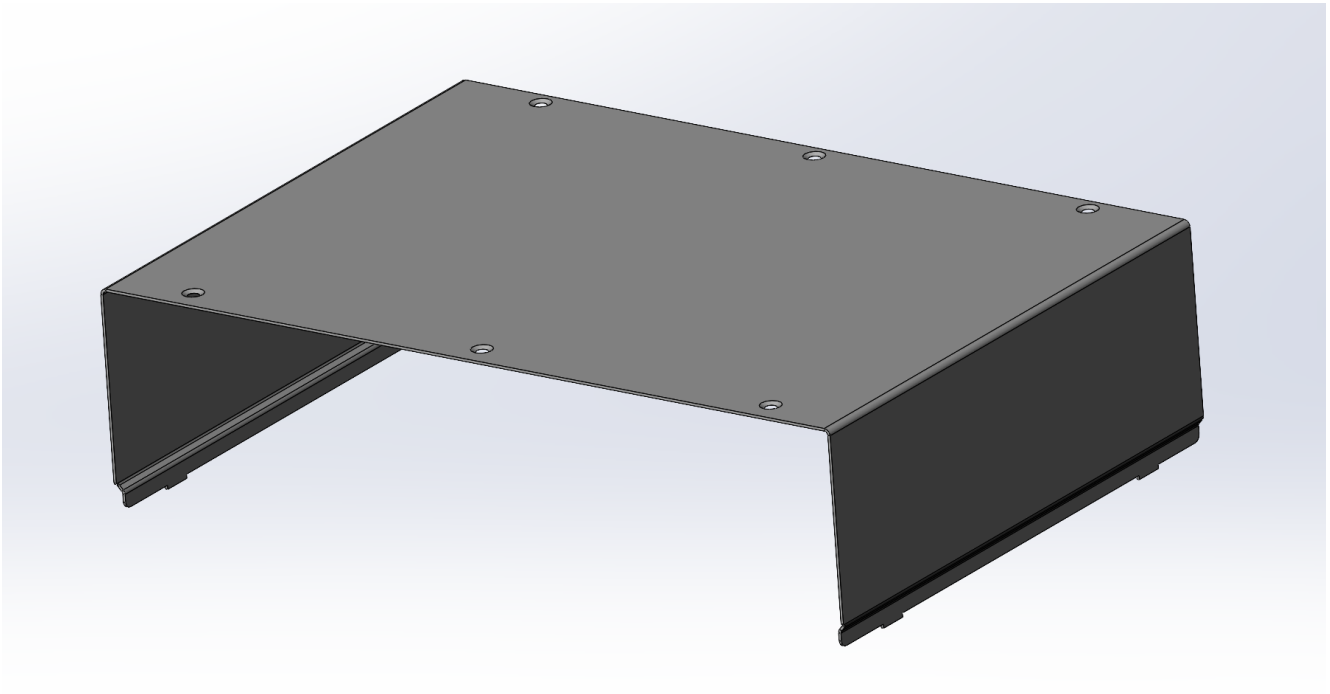


Рисунок 2.29 – 3D модель кришки мікроелектронної системи безперебійного живлення

В кінці розробки поєднуємо всю конструкцію разом. Остаточна 3D модель збірки корпусу представлена на рисунку 2.30 і 2.31.



Рисунок 2.28 – 3D-модель мікроелектронної системи безперебійного живлення, вигляд спереду

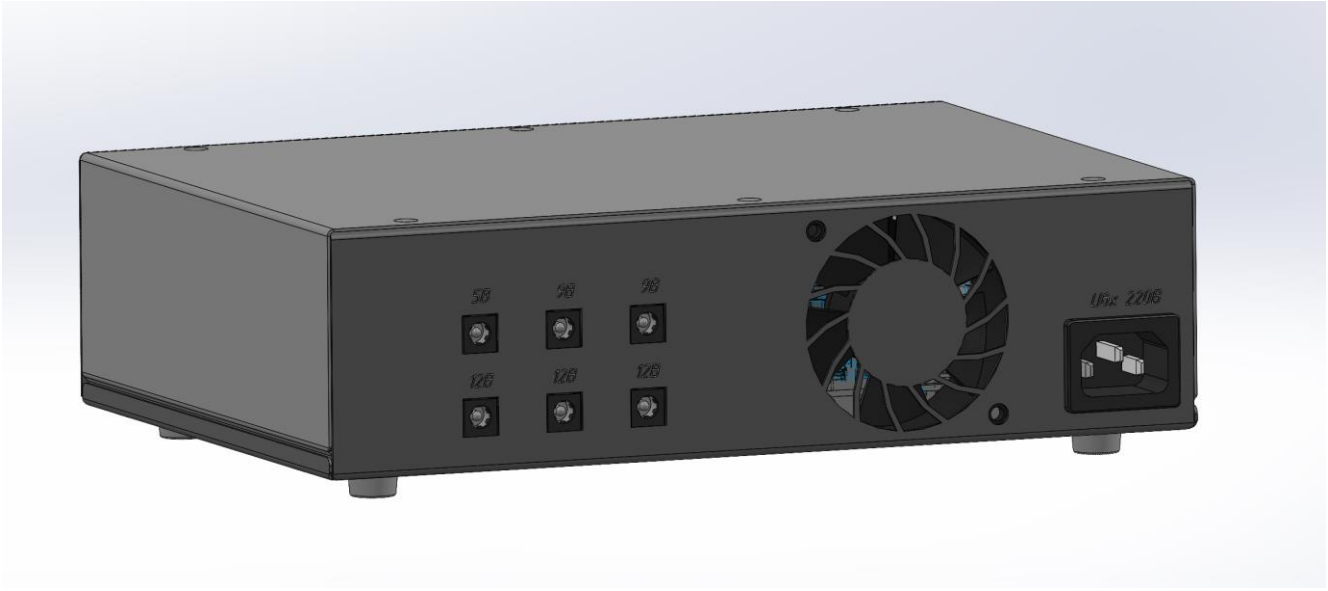


Рисунок 2.29 – 3D-модель мікроелектронної системи безперебійного живлення, вигляд ззаду

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

3.1 Розрахунок витрат на елементи плати системи безперебійного живлення

Таблиця розрахунку вартості плати приладу показала, що вартість приладу без акумуляторної батареї становитиме 793.24 грн.

Таблиця 3.1 – Розрахунок вартості плати приладу

Найменування елементу	Позиційне ім'я	Номінал	Кіл-ть, шт	Ціна за одиницю, грн	Ціна, грн
1	2	3	4	5	6
Радіатор	A1	A0553601	1.00	104,88 ₴	104,88 ₴
Гвинт	A1,A2	M3*8 (цил/гл; PH1; цб) DIN7985	4.00	0,21 ₴	0,84 ₴
Радіатор	A2	A0553701	1.00	78,23 ₴	78,23 ₴
Конденсатор	C1	10u-400V(10x21) ESG	1.00	5,05 ₴	5,05 ₴
	C11	470u-25V(8x11)	1.00	1,82 ₴	1,82 ₴
	C15	33n-50V-X7R (0.033uF-50V-X7R)	1.00	0,22 ₴	0,22 ₴
	C16,C17, C27	u10-50V-X7R (0.1uF-50V-X7R)	3.00	0,12 ₴	0,36 ₴

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Конденсатор	C18	330u-400V(30x40) Kendeil K05	1.00	89,51 ₴	89,51 ₴
	C2,C3, C9,C10, C12,C13, C30, C53,C54	MPX-X1Y2-1n0-300V (pac.7,5)	9.00	2,05 ₴	18,45 ₴
	C20, C38	4u7-25V-X5R (4.7uF-25V-X5R-10%)	2.00	0,34 ₴	0,68 ₴
	C22,C23	MPR-1u0-400V (p=15mm) SPKF09	2.00	3,90 ₴	7,80 ₴
	C25, C26, C32, C56, C57	1n0-50V-X7R (1000pF-50V-X7R-10%)	5.00	0,30 ₴	1,50 ₴
	C28	VCH-1n0-2kV	1.00	0,49 ₴	0,49 ₴
	C29, C50	10u-63V(5x11)	2.00	0,29 ₴	0,58 ₴
	C33,C34,C36,C37	n10-50V-NP0 (100pF 50V NP0)	4.00	0,17 ₴	0,68 ₴
	C35, C39	2n2-2000V-X7R-10% (2.2nF-2000V-X7R-10%)	2.00	1,05 ₴	2,10 ₴
	C4, C21	4n7-50V-X7R (4700pF-50V-X7R-10%)	2.00	0,18 ₴	0,36 ₴

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Конденсатор	C40	10u-25V-X5R-10% (10uF-25V-X5R-10%)	1.00	0,88 ₴	0,88 ₴
	C41,C42, C52	10n-50V-X7R (0.01uF-50V-X7R-10%)	3.00	0,14 ₴	0,42 ₴
	C43,C44,C46	ECAP-1000u-16V (10x16) ECR	3.00	2,85 ₴	8,55 ₴
	C45	n33-50V-NP0 (330pF-50V-NP0-5%)	1.00	0,23 ₴	0,23 ₴
	C47,C48	1u0-50V-X7R (1uF-50V-X7R)	2.00	0,40 ₴	0,80 ₴
	C5, C8, C14	MKP-X2-u10-310VAC (p=10mm) STX2	3.00	1,63 ₴	4,89 ₴
	C6	10n-1000V-X7R-10% (10nF-1000V-X7R-10%)	1.00	0,66 ₴	0,66 ₴
	C7, C19, C31, C49, C51, C55	ECAP-100u-35V(6.3x11) JRB	6.00	0,49 ₴	2,94 ₴

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Мікросхема	DA1,DA2	PC817C - EL817C	2.00	0,91 ₴	1,82 ₴
	DA3	VIPER12ADIP-E	1.00	11,15 ₴	11,15 ₴
	DA4, DA7	LTL431ATLT1G	2.00	1,97 ₴	3,94 ₴
	DA5	LM339 -R (DIP-14)	1.00	18,10 ₴	18,10 ₴
	DA6	TL494CD	1.00	3,72 ₴	3,72 ₴
Запобіжник	FU1	6,0A	1.00	1,35 ₴	1,35 ₴
	FU2	40A (auto-medium-19mm) AMF-40A	1.00	4,10 ₴	4,10 ₴
Реле	K1	NT90 - NT90RHAE12CB	1.00	35,00 ₴	35,00 ₴
Дросель	L1,L2	DM1010 - DR1010N-151-P-T (150uH, 1.59A)	2.00	9,83 ₴	19,66 ₴
	L3	D2U11V-102 (1000uH 2.00A)	1.00	16,50 ₴	16,50 ₴
	L4	#679004.008	1.00	40,89 ₴	40,89 ₴
	L7	#679032.005	1.00	47,38 ₴	47,38 ₴
Резистор	R1, R20, R68,R69	1k0-1% (1kOm)	4.00	0,07 ₴	0,28 ₴
	R10, R71,R72	16k0 (16kOm)	3.00	0,07 ₴	0,21 ₴
	R11, R19, R81, R82	3k3-1% (3.3kOm)	4.00	0,07 ₴	0,28 ₴
	R17, R51	10k-1% (10kOm)	2.00	0,06 ₴	0,12 ₴

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Резистор	R2	NTC 16R 4A D=15mm (MF72-16D15)	1.00	5,33 ₴	5,33 ₴
	R21, R56	k75 (750 Om)	2.00	0,06 ₴	0,12 ₴
	R23,R24, R77	k47 (470 Om)	3.00	0,10 ₴	0,30 ₴
	R25, R27,R28	75k-1% (75kOm)	3.00	0,12 ₴	0,36 ₴
	R26	47k-1% (47kOm)	1.00	0,08 ₴	0,08 ₴
	R29,R30, R40, R47, R50	22E (22 Om)	5.00	0,06 ₴	0,30 ₴
	R3, R5, R76	M10 (100kOm)	3.00	0,10 ₴	0,30 ₴
	R38, R53,R54, R73,R74	4k3 (4.3kOm)	5.00	0,06 ₴	0,30 ₴
	R39, R52	k47 (470 Om)	2.00	1,70 ₴	3,40 ₴
	R4, R6	16k (16kOm)	2.00	0,11 ₴	0,22 ₴
	R41, R48, R59,R60, R63,R64, R66	51E (51 Om)	7.00	0,07 ₴	0,49 ₴
	R43...R46	M22 (220kOm)	4.00	0,08 ₴	0,32 ₴
	R49, R55	RSF-2-k15	2.00	1,06 ₴	2,12 ₴
	R57	56k (56kOm)	1.00	0,06 ₴	0,06 ₴
	R61,R62	39k-1% (39kOm)	2.00	0,06 ₴	0,12 ₴
	R65, R75	RSF-2-k39	2.00	1,05 ₴	2,10 ₴
	R7,R8, R12...R16, R18, R22, R31...R36, R42, R78, R80	2k2-1% (2.2kOm)	18.00	0,07 ₴	1,26 ₴
	R70, R79	5E6 (5.6Om)	2.00	0,05 ₴	0,10 ₴
	R9, R37, R58	20k-1% (20kOm)	3.00	0,08 ₴	0,24 ₴

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
Трансформатор	T1	#678024.015	1.00	32,30 ₴	32,30 ₴
	T2	#678024.014	1.00	75,47 ₴	75,47 ₴
	T3	#678020.066	1.00	40,13 ₴	40,13 ₴
Діод	VD1...VD4	US1M	4.00	0,26 ₴	1,04 ₴
	VD10, VD13	1N4007W	2.00	0,16 ₴	0,32 ₴
	VD12	SS14	1.00	0,55 ₴	0,55 ₴
	VD5	RS407 (4.0A; 700Vrms)	1.00	5,80 ₴	5,80 ₴
	VD6,VD7,VD8,VD9	F1M	4.00	0,40 ₴	1,60 ₴
Варістор	VR1	VCR-10D431K (430V) S10K275	1.00	1,42 ₴	1,42 ₴
Транзистор	VT1,VT2, VT5...VT7, VT9, VT11,VT12	BC807-40LT1	8.00	0,44 ₴	3,52 ₴
	VT8, VT10	BC817-40,215	2.00	0,46 ₴	0,92 ₴
Роз'єм	X1	PWL-3/2-R	1.00	1,50 ₴	1,50 ₴
	X3, X4, X11	NXW-02	3.00	0,35 ₴	1,05 ₴
	X5	NX2500-02SMS	1.00	0,12 ₴	0,12 ₴
Друкована плата	P1	Друкована плата СБЖ	1.00	72,56 ₴	72,56 ₴
				Разом	**793,24 ₴**

3.2 Розрахунок готової системи безперебійного живлення

Таблиця 3.2 – Розрахунок вартості системи безперебійного живлення

Номенклатура	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Ціна, грн
Кришка	1,00	150,45 ₴	150,45 ₴
Корпус	1,00	257,36 ₴	257,36 ₴
Плата СБЖ	1,00	793,24 ₴	793,24 ₴
Світлодіод	2,00	30,00 ₴	60,00 ₴
Стяжка	1,00	0,18 ₴	0,18 ₴
Вентилятор 60*60*25	1,00	94,81 ₴	94,81 ₴
Плата	1,00	150,00 ₴	150,00 ₴
Вимикач SWR-45	1,00	6,85 ₴	6,85 ₴
Роз'єм АС-1	1,00	11,00 ₴	11,00 ₴
Гвинт М3*6 потай	4,00	0,63 ₴	2,52 ₴
Гвинт М3*6 РН1	4,00	0,14 ₴	0,56 ₴
Саморіз вент5,0*12 (РН2)	2,00	0,41 ₴	0,82 ₴
Мережевий шнур (євро)	1,00	100,00 ₴	100,00 ₴
Акумуляторна батарея	1,00	5 200,00 ₴	5 200,00 ₴
Плата BMS	1,00	139,00 ₴	139,00 ₴
		Разом	**6 966,79 ₴**

3.3 Порівняльний аналіз джерел безперебійного живлення

Кожен з представлених ДБЖ (табл. 3.3) має свої переваги, тож для вибору кращого проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів враховуючі шкалу відносної важливості (табл. 3.4).

Таблиця 3.3 – Варіанти джерел безперебійного живлення

Пристрій	Найменування
A	APC Back-UPS ES 400VA
B	APC Back-UPS 650VA
C	Eaton 5P 850VA
D	Розроблений прилад

Таблиця 3.4 – Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	Рівна важливість
3	Помірна перевага
5	Сильна перевага
7	Значна перевага
9	Дуже сильна перевага
2, 4, 6, 8	Проміжні судження

Вибір робимо за критеріями:

1. Потужність.

2. Вартість.

3. Маса.

4. Струм заряду батареї.

5. Діапазон вхідних напруг.

Встановлюємо вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.5).

Аналогічним образом складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.6 – 3.11). Оскільки тепер порівнюються 4 прилади по одному критерію, то $i = 1 \div 5$.

X_i – локальний пріоритет, тобто відносна вага i-го критерію в глобальному критерії:

$$X_i = \frac{\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6} \omega_i}}{\sum_{i=6}^{6} \sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6} \omega_i}} \quad (3.1)$$

Таблиця 3.5 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6} \omega_i}$	X_i
1	1	1/3	3	3	5	5	1.710	0.260
2	3	1	5	5	7	7	3.004	0.457
3	1/3	1/5	1	1	3	3	0.918	0.140
4	1/5	1/7	1/3	1/3	1	3	0.553	0.084
5	1/5	1/7	1/3	1/3	1/3	1/3	0.383	0.058
∑							6.569	1

Таблиця 3.6 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «Потужність»

Критерій	A	B	C	D	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6} \omega_i}$	X_i
A	1	3	1	1/3	1	0.226
B	1/3	1	1/3	1/5	0.530	0.120
C	1	3	1	1/3	1	0.226
D	3	5	3	1	1.886	0.427
∑					4.416	1

Таблиця 3.7 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «Вартість»

Критерій	A	B	C	D	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6} \omega_i}$	X_i
A	1	3	7	1/9	1.153	0.217
B	1/3	1	7	1/9	0.799	0.150
C	1/7	1/7	1	1/9	0.362	0.068
D	9	9	9	1	3	0.565
∑					5.313	1

Таблиця 3.8 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «Маса»

Критерій	A	B	C	D	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}$	X_i
A	1	1/3	9	3	1.442	0.294
B	3	1	9	5	2.265	0.462
C	1/9	1/9	1	1/5	0.368	0.075
D	1/3	1/5	5	1	0.833	0.170
∑					4.908	1

Таблиця 3.9 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «Струм заряду батареї»

Критерій	A	B	C	D	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}$	X_i
A	1	5	3	1/5	1.201	0.246
B	1/5	1	1/3	1/9	0.442	0.091
C	1/3	3	1	1/5	0.765	0.157
D	5	9	5	1	2.466	0.506
∑					4.873	1

Таблиця 3.10 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «Діапазон вхідних напруг»

Критерій	A	B	C	D	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^{6}\omega_i}$	X_i
A	1	5	3	1/3	1.308	0.290
B	1/5	1	1/3	1/5	0.487	0.108
C	1/3	3	1	1/3	0.833	0.184
D	3	5	3	1	1.886	0.418
∑					4.513	1

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт.

З порівняння глобальних пріоритетів різних видів ДБЖ (табл. 3.11) видно, що найбільшим є пріоритет у розробленого.

Таблиця 3.11 – Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

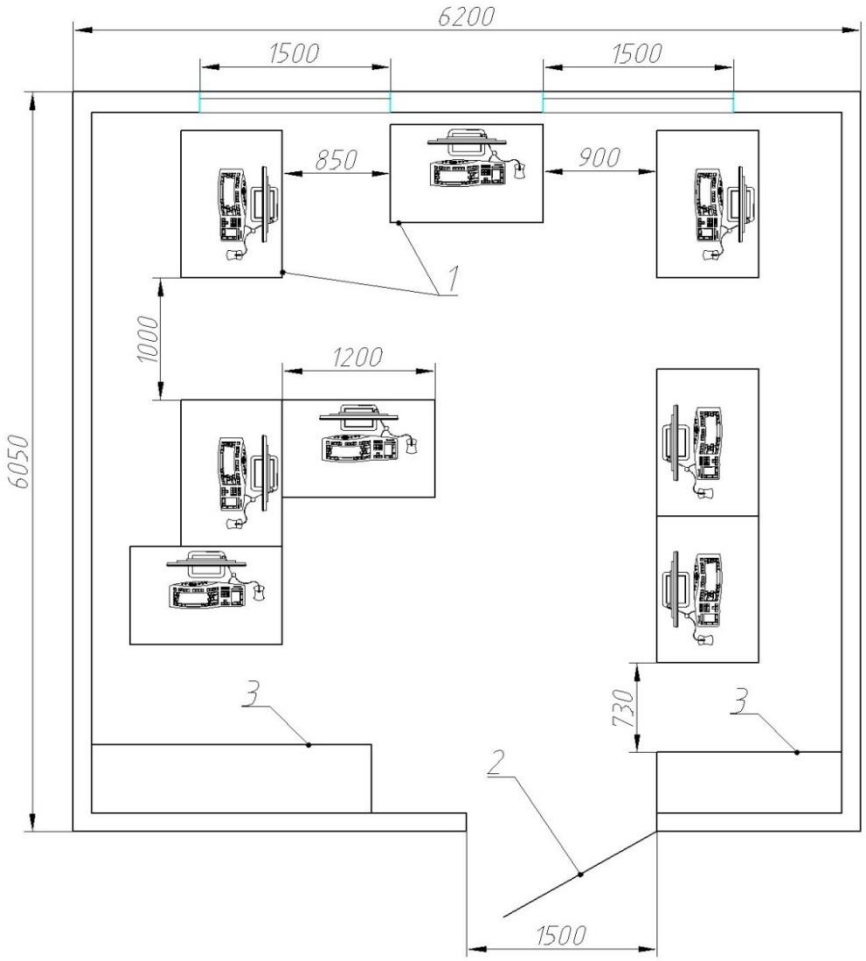
Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	Глобальний
Вага	0.260	0.457	0.140	0.084	0.058	
A	0.226	0.217	0.294	0.246	0.290	0.237
B	0.120	0.150	0.462	0.091	0.108	0.178
C	0.226	0.068	0.075	0.157	0.184	0.125
D	0.427	0.565	0.170	0.506	0.418	0.460

За допомогою методу аналізу ієрархій проведене порівняння чотирьох пристроїв різних виробників за наступними критеріями: потужність, вартість, маса, струм заряду батареї та діапазон вхідних напруг. Найбільший локальний пріоритет у критерію «Вартість» (див. табл. 3.5). За даними таблиць глобальний пріоритет за багатьма критеріями є найвищим для розробленої системи безперервного живлення. Тому перевага віддається розробленому приладу, саме він буде використовуватися для живлення мережевого обладнання у разі відключення мережі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Даний об'єкт: приміщення лабораторії інформаційних технологій (рисунок 4.1).



1- робочі столи; 2 – двері; 3 – шафа.

Рисунок 4.1 – План розташування робочих місць

Розміри приміщення складають: довжина 6,05 м, ширина 6,2 м, висота 3м. Загальна площа дорівнює 37,51 м^2. У приміщенні працюють 8 співробітників, тобто на кожного доводиться по 4,7 м^2. Забарвлення стін світло-коричневе, стеля - біла, підлога - паркетна, світло-коричнева. У приміщені лабораторії є два вікна, які виходять на сонячну сторону будівлі. Скло на вікнах закривають жалюзі білого кольору. Джерело світла в приміщенні - люмінесцентні лампи, висота підвіски світильників 2,9 м, відстань між світильниками 1 м.

Особливістю негативного впливу комп'ютерних технологій на працездатність і здоров'я людини є комплексна одночасна дія декількох шкідливих факторів, при значній інтенсивності яких відбувається накопичення і акумулювання їх впливу, що викликає суттєві зміни в організмі людини, розлад функцій окремих органів і систем.

До основних негативних факторів належать: випромінювання різних діапазонів електромагнітного спектру (рентгенівське та оптичне випромінювання, високочастотні та низькочастотні ЕМП, ЕМП з надто низькими частотами, електростатичні поля), шум у джерелі ВДТ, психосоціальні фактори виробничого середовища, нервово-емоційна напруга та інші.

Робота ЕВМ і ВДТ призводить до зміни фонової концентрації іонів повітря. Так приблизно через 5 хвилин роботи монітору концентрація легких негативних іонів знижується в 5-10 разів (фонове значення цього показника становить 350-620 іонів/см^3), а через 3 години роботи їх концентрація наближається до нуля. Знижується, також, концентрація середніх і тяжких негативних іонів, натомість концентрація позитивного заряджених іонів різко зростає, що дуже негативно відбивається на газообміні в легенях, загальному почутті людини. Значна кількість позитивних іонів, особливо тяжких, призводить до підвищення артеріального тиску, тахікардії, прояву болю в області серця, затруднення дихання, прискоренню швидкості осідання еритроцитів, розладу функцій центральної нервової системи (дратівливість, головний біль, порушення сну, тонусу м'язів і ін., порушення травлення).

Оптимальним рівнем аероіонізації на робочому місці вважається вміст легких іонів від 150 до 5000 в 1 см^3 повітря.

Доза рентгенівського випромінювання перед екраном монітора на відстані 50 см від його поверхні є безпечною, вона не досягає межі допустимого рівня (50 мкР/год), але не вивчена дія цих променів у поєднанні з іншими, які генеруються ЕОМ на людину, що не дозволяє говорити відносно безпечної їх дії.

Згідно даних ВООЗ, електромагнітні випромінювання викликають розвиток катаракти. Потенційно сприяють розвитку катаракти іонізуюче, ультрафіолетове - А, інфрачервоне і мікрохвильове випромінювання.

На працездатність та самопочуття людини негативно впливає шум від роботи електронно-обчислювальних машин. При цьому тривала дія шуму призводить до зниження розумової працездатності на 10-15%, швидкої зорової втоми, послаблення уваги, порушення психофізіологічних процесів. Вплив шуму ВДТ є однією із причин розвитку стресу, погіршення настрою, сенсорного перевантаження, змін кровопостачання тканин і органів у зв'язку зі спазмами капілярів.

Професійна діяльність працівника на ВДТ є причиною функціональних змін нервово-м'язового апарата і кровопостачання ока, які призводять до розвитку астеноптичних скарг. Встановлено, що жінки частіше, ніж чоловіки, скаржаться на зоровий дискомфорт. При цьому відмічено, що в більшості випадків частота астенопії зростає зі збільшенням тривалості роботи за ВДТ.

Астноптичні скарги пов'язані також з освітленням робочого місця, відблиском екрану, тремтінням та мерехтінням зображення, сухістю повітря тощо. Встановлено, що у 72% користувачів ВДТ мають місце скарги на біль в очах. Результатом напруженої тривалої зорової роботи на ЕОМ може бути не лише специфічній зоровий дискомфорт, але і виникнення головного болю.

Стресові стани, які розвиваються при довготривалій напруженій роботі за ЕОМ, є однією із причин виникнення соматичних, фізіологічних, психологічних змін в організмі.

Фізіологічні порушення супроводжуються розладами функцій шлунково-кишкового тракту, серцево-судинної системи, скелетних м'язів, залоз внутрішньої секреції, шкіри, статевої системи. Встановлено, що ці розлади частіше мають місце у працівників з високою та середньою тривалістю роботи за ЕОМ.

До психологічних і поведінкових розладів відносяться: агресивність, фрустрація, нервозність, дратівливість, порушення сну, швидкий розвиток втоми тощо.

Зміни на соматичному, фізіологічному, психологічному і поведінковому рівнях працівників на електронно-обчислювальних машинах та відеодисплейних терміналах пов'язані з високим навантаженням при виконанні завдань, високою емоціонально-психологічною напруженістю та дією негативних виробничих факторів.

Для визначення заходів поліпшення умов праці в даній лабораторії складена таблиця основних характеристик приміщення (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Узагальнена таблиця характеристик лабораторії інформаційних технологій

№	Назва характеристик	Нормативне значення	Фактичне значення	Відхилення
1.	Загальна площа	-	37,51 м^2	-
2.	Кількість робочих місць	-	8	-
3.	Площа 1-го робочого місця	6 м^2	4,7 м^2	-1,3 м^2
4.	Джерело світла в приміщенні - комбіноване	>750лк	800лк	+50лк (норма)

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Організація робочого місця користувача відеотермінала повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам, характеру та особливостям трудової діяльності. Площа

одного робочого місця повинна бути не менше 6 м^2, а обсяг – не менше 20 м^3. Але данна вимога не відповідає дійсності в лабораторії інформаційних технологій, так як площа на одне робоче місце складає лише 4,7 м^2. Для дотримання ергономічних вимог необхідно перенести два робочих місця в інше приміщення, тим самим вирішиться питання зменшення випромінювання від ЕОМ сусідніх робочих місць.

Робочі місця для працюючих з дисплеями необхідно розташовувати таким чином, щоб до поля зору працюючого не потрапляли вікна та освітлювальні прилади. Відеотермінали повинні встановлюватися під кутом 90 - 105 градусів до вікон та на відстані, не меншій 2,5-3м від стіни з вікнами.

До поля зору працюючого з дисплеєм не повинні потрапляти поверхні, які мають властивість віддзеркалювання. Покриття столів повинне бути матовим з коефіцієнтом 0,25 - 0,4.

Відстань між робочими місцями з ПК повинна бути не меншою 1,5 м у ряду та не меншою 1 м між рядами. ПК повинні розміщуватися не ближче 1 м від джерела тепла.

Відстань від очей користувача до екрану повинна становити 500 - 700 мм, кут зору - 10 - 20 градусів, але не більше 40 градусів, кут між верхнім краєм відео терміналу та рівнем очей користувача повинен бути меншим 10 градусів. Найбільш вигідне є розташування екрану перпендикулярно до лінії зору користувача.

Для захисту від шуму у виробничому приміщенні та на робочих місцях застосовуються шумопоглинальні засоби (негорючі спеціальні перфоровані плити, мінеральна вата, підвісні стелі й ін.). Під матричні принтери треба підкладати вібраційні килимки для гасіння вібрації та шуму.

Нормалізувати іонний склад повітря виробничої зони можна різними способами: механічна вентиляція, застосування іонізаторів, заземлених захисних екранів тощо.

4.3 Пожежна безпека

Дане приміщення за ступенем пожежної небезпеки можна віднести до класу «Е», тому що в роботі використовується папір, пластикові меблі й меблі з ДВП. За ступенем вогнестійкості приміщення відноситься до II категорії. Це відповідає нормам пожежної безпеки, зазначеним у СНіП 2.01.02-85.

Приміщення, в яких розташовані комп'ютери, повинні бути не нижче II ступеня вогнестійкості. Поруч з приміщенням не повинен бути приміщень пожежо- та вибухонебезпечних. У приміщеннях повинні зберігатися ті носії інформації, які необхідні для роботи, решта – в окремих приміщеннях на негорючих стелажах у залізних коробках. Підлоги повинні бути знімні і повинні бути виготовленні бути виготовленні з негорючих або важко горючих матеріалів. Підпільний простір має бути оснащений системою автоматичної пожежної сигналізацією, автоматичною установкою пожежогасіння. Приміщення повинно бути оснащене сигналізацією з димооповестітелями і пожежогасіння. У приміщенні повинні знаходитися переносні вуглекислотні вогнегасники 2 шт. на 20 $м^2$.

В аналізованому приміщенні встановлені димооповестітелі та пожежною сигналізацією. Приміщення має II ступеня вогнестійкості, так само в приміщенні площею 10 $м^2$ є один переносний вуглекислотний вогнегасник, що відповідає нормам охорони праці.

4.4 Техногенна безпека

Показником ефективності евакуації є час, протягом якого люди можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлю чи споруду загалом. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує часу настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення

граничних для людини значень чинників пожежі (критичних температур, концентрацій кисню тощо).

Виходи вважаються евакуаційними, якщо вони ведуть:

- з приміщень першого поверху назовні безпосередньо або через коридор, вестибюль, сходову клітку;

- з приміщень будь-якого поверху, крім першого, в коридори, що ведуть на сходову клітку (в тому числі через хол); при цьому сходові клітки повинні мати вихід назовні безпосередньо або через вестибюль, відокремлений від прилеглих коридорів перегородками з дверима;

- з приміщень у сусіднє приміщення на цьому ж поверсі, що забезпечене виходами, зазначеними вище.

Евакуаційні виходи повинні розташовуватися розосереджено. Евакуаційних виходів повинно бути не менше двох. Двері на шляхах евакуації повинні відчинятися в напрямку виходу з будівель (приміщень). Допускається влаштування дверей з відкриванням усередину приміщення в разі одночасного перебування в ньому не більше 15 осіб. При наявності людей у приміщенні двері евакуаційних виходів можуть зачинятись лише на внутрішні засуви, які легко відмикаються. Мінімальна ширина шляхів евакуації- не менше 1 м, дверей - не менше 0,8 м. Відстань від найвіддаленішої точки цеху або приміщення до евакуаційного виходу визначається згідно зі СНіП 2.09.02-85 залежно від ступеня вогнестійкості будівлі та кількості людей, що евакуюються.

З метою організації евакуації людей у випадку виникнення пожежі розроблений спеціальний план евакуації працівників будинку, який показаний на рисунку 4.1. Всі двері на шляху евакуації відкриваються тільки убік виходу. Сумарна ширина сходів, дверей і проходів на шляху евакуації не менша 1 м, що задовольняє вимогам ДБН В.1.1-7:2016. [12]

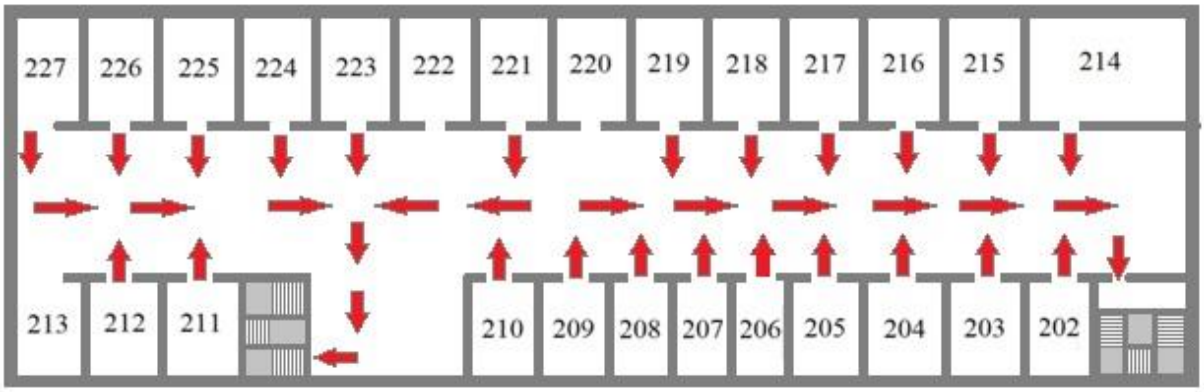


Рисунок 4.2 – План евакуації у випадку виникнення пожежі; 1 – приміщення в якому проводиться аналіз

4.5 Розрахунок захисного заземлення

Заземленню підлягають вимірювальні установки, напруга живлення яких 220В. У якості заземлювача візьмемо сталеві вертикальні стержні довжиною l = 2 м, діаметром d = 0,03 м, діаметр сполучної смуги b = 0,03

Контур заземлення розташовано нагоризонтальному майданчику біля корпусу академії. Грунт - суглинок.

Допустимий опір заземлюючого пристрою ($R_н$) дорівнює 4 Ом. Визначимо питомий електричний опір грунту (суглинку), ρ якого дорівнює 100 Ом·м. Розрахуємо опір розтікання струму одного вертикального стержня:

$$R_в = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln\frac{4 \cdot l}{d} = \frac{100}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2} \ln\frac{4 \cdot 2}{0{,}03} = 44{,}46 \text{ Ом} \quad (4.1)$$

Приймемо число заземлювачів:

$$n = \frac{R_l}{R_n} = \frac{44{,}46}{4} = 11{,}1 \approx 12 \quad (4.2)$$

Визначимо довжину горизонтальної смуги (по контуру):

$$l_{\text{г}} = a \cdot n = 2 \cdot 12 = 24 \text{ м} \quad (4.3)$$

де а - відстань між вертикальними електродами (а = 2 м)

Опір горизонтальної смуги:

$$R_{2\text{с}} = \frac{\rho}{\pi l_{\text{г}}} \ln \frac{4 \cdot l_{\text{г}}}{b} = \frac{100}{3{,}14 \cdot 24} \ln \frac{4 \cdot 24}{0{,}03} = 10{,}7 \text{ Ом} \quad (4.4)$$

Коефіцієнт екранування для вертикального заземлювача [13]:

$$\eta_{\text{в}} = \frac{0{,}68 + 0{,}56}{2} = 0{,}62 \quad (4.5)$$

і для горизонтальної смуги

$$\eta_{\text{г}} = \frac{0{,}34 + 0{,}4}{2} = 0{,}37 \quad (4.6)$$

Опір групи вертикальних заземлювачів:

$$R_{\text{гр}} = \frac{R_{\text{вз}}}{n \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{44{,}46}{12 \cdot 0{,}62} = 5{,}97 \text{ Ом} \quad (4.7)$$

Опір горизонтальної смуги з врахуванням екранування:

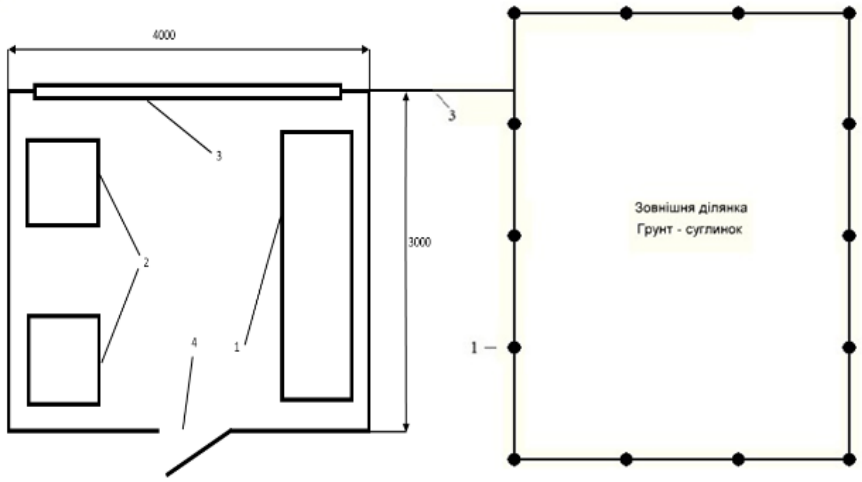
$$R_{\text{г}} = \frac{R_{\text{го}}}{\eta_{\text{г}}} = \frac{10{,}7}{0{,}37} = 28{,}91 \text{ Ом} \quad (4.8)$$

Опір заземлювача в цілому:

$$R_{\text{з}} = \frac{R_{\text{гр}} \cdot R_{\text{г}}}{R_{\text{гр}} + R_{\text{г}}} = \frac{5{,}97 \cdot 28{,}91}{5{,}97 + 28{,}91} = 4{,}94 \text{ Ом} \quad (4.9)$$

Як видно опір заземлювача перевищує нормативне (4 Ом), тому збільшимо кількість заземлювачів до n =14,тоді опір заземлювача в цілому складе $R_з = 3,97 < R_н$.

Число заземлюначів дорівнює 14, які розміщені по контуру зовнішньої ділянки, як показано на рисунку 4.3.



1 – заземлювачі; 2 - електроустаткування що заземлюється;3 - сполучна смуга;

Рисунок 4.3 — Розміщення електродів заземлення на зовнішній ділянці та сполученої смуги лабораторії проведення експерименту

Таким чином, для виконання захисного заземлення використовується 14 вертикальних стержнів діаметром 0,03 м, завдовжки 2 м, кожен з яких має опір 44,46 Ом. Опір сполучної смуги 10,7 Ом. Опір заземлювачів в цілому складе 3,97 Ом, що забезпечує безпечну роботу на установках лабораторії.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Аналіз роботи джерел безперебійного живлення показав, що для резервного електропостачання, при відключенні напруги в мережі, необхідна система безперебійного живлення мережевого обладнання, яка буде компактною за габаритами і невисокої вартості.

Розроблено функціональну та електричну принципову схеми, друковану плату та 3D модель системи безперебійного живлення, яка є простою у використанні та забезпечить працездатність приладів до 6 годин при зникненні наруги в мережі.

Проведено дослідження на працездатність плати системи безперебійного живлення та ефективність роботи акумуляторної батареї. За результатами досліджень встановлена залежність вольтажу від часу заряду акумулятора при температурі 25°C та залежність розряду акумулятора під навантаженням, що підтвердило відповідність акумуляторної батарея необхідним вимогам.

Запропонований пристрій рекомендовано для використання у побутових умовах, комерційній експлуатації підприємств і організацій та в лабораторіях кафедри.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мікроелектронні інформаційні системи: навчально-методичне видання / А.О. Ніконова та ін. Запоріжжя: ЗНУ, 2023, 52 с.

2. Григор'єв М.В., Ніконова З.А., Худолєй А.П. Система безперебійного живлення постійного струму. Міжнародна науково-практична конференція ІННІ ім. Ю. М. Потебні ЗНУ «Сучасні виклики та напрями вдосконалення в економічній та технічній наукових сферах». Запоріжжя. 2023. С. 281-283. URL: https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf8/zbirnyk_23.pdf

3. Григор'єв М.В., Небеснюк В.О. Мікроелектронна система безперебійного живлення для мережевого обладнання. Міжнародна науково-практична конференція Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ «Інженерні інновації та розбудова національної економіки». Запоріжжя. 2024. С.708-710. URL: https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf10/zbirnyk_24.pdf

4. ГОСТ 13109-97. Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення Міждержавний стандарт. [Чинний від 01.01.2000]. Технічний комітет зі стандартизації в галузі електромагнітної сумісності технічних засобів (ТК 30).

5. Джерело безперебійного живлення ДБЖ. Основні характеристики. URL: https://teplota.ua/articles/dgherelo-bezperebynogo-ghivlennya-dbgh-osnovn-harakteristiki/ (Дата звернення 01.03.2024).

6. Типи акумуляторних батарей: повний огляд. URL: https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/10591.html#q2-2-3 (Дата звернення 01.05.2024).

7. APC Back-UPS ES 400VA. URL: https://s4u.com.ua/apc-ups-es-400va.html?srsltid=AfmBOopXGXrwKCPrYM4WhCtIIWmS0DqwkwwgPO_L3DVdfUT_X-X7bwoQ (Дата звернення 01.05.2024).

8. ДБЖ APC Back-UPS 650 BX650CI-RS. URL: https://esell.com.ua/sistemy-pitaniya/ibp/ibp-apc-back-ups-650-bx650ci-rs (Дата звернення 01.05.2024)

9. ДБЖ Eaton 5P 850 BA. URL: https://220volt.com.ua/ua/ibp-eaton-5p-850-va/ (Дата звернення 01.05.2024).

10. ДБЖ Eaton 5SC. URL: https://www.eaton.com/ua/uk-ua/catalog/backup-power-ups-surge-it-power-distribution/eaton-5sc-ups-emea.html (Дата звернення 01.05.2024).

11. ДБЖ PowerWalker VFI 10000 TGB PF1. URL: https://a-trade.com.ua/ua/product/ibp-powerwalker-vfi-10000-tgb-pf1. (Дата звернення 01.05.2024).

12. Kurose J., Ross K., Computer Networking: A Top-Down Apporoach // Addison-Wesley. 2013. Vol. 912.

13. Мережеві пристрої. Властивості мережевих пристроїв та їх функції. URL: https://gazik.ua/blog/porady-pokuptsyam/merezhevi-prystroyi-vlastyvosti-merezhevykh-prystroyiv-ta-yikh-funktsiyi/ (Дата звернення 01.02.2024).

14. Technology-Computer Networking — Computer Networks and the Internet. URL: https://www.linyibin.cn/2017/02/12/technology-ComputerNetworking-Internet/ (Дата звернення: 01.02.2024).

15. What Does FTTH and FTTX Mean, and What is the Internet? URL: https://telecom.samm.com/what-does-ftth-fttx-mean-and-what-is-the-internet/ (Дата звернення 01.02.2024)

16. Network Devices: Types, Functions and Best Practices for Security Management. URL: https://blog.netwrix.com/2019/01/08/network-devices-explained/ (Дата звернення 01.04.2024)

17. What is a Network Device. URL: https://mycomputernotes.com/what-is-network-device-and-its-types/#:~:text=Network%20device%20is%20the%20physical,devices%20to%20a%20computer%20network./ (Дата звернення 01.04.2024).

18. Що таке друкована плата (PCB) | Все, що вам потрібно знати. URL: https://uk.fmuser.net/content/?5849.html (дата звернення: 01.05.2024).

19. Поширені типи акумуляторів, які найчастіше використовуються для накопичення електроенергії. URL: https://sun-energy.com.ua/articles/typy-akumulyatoriv. (Дата звернення 01.07.2024).

20. SMD Конденсатори 0805. URL: https://voron.ua/uk/catalog/passive-components/capacitor/smd-ceramic-capacitor/smd-capacitors-0805. (Дата звернення 01.08.2024).

21. Космодром – електронні компоненти. URL: https://www.kosmodrom.ua/ (Дата звернення 01.08.2024).

22. Altium Designer Documentation. URL: https://www.altium.com/documentation/altium-designer?srsltid=AfmBOorFel4SFtbIkzDy7ElE5tP5HU6dnZj4613e0hoahUYBjYgkDWF8 (Дата звернення 01.08.2024).

23. INTRODUCING SOLIDWORKS. URL: https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_EN.pdf (Дата звернення 01.08.2024).

24. Про затвердження правил пожежної безпеки в Україні. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15/ed20230407#Text (Дата звернення 01.10.2024).

25. ДБН В 1.1-7:2016 Пожежна безпека об`єктів будівництва. Загальні вимоги [Чинний від 01.06.2017] Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017, 38 с.

26. Основи охорони праці: навч. посіб. / Р.М. Івах та ін. 4-те вид. Київ: Кондор, 2010. 464 с.